

N°d'ordre :

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université de Saida– Dr. Moulay Tahar

Faculté des Sciences

Laboratoire de Recherche « Ressources Hydriques et Environnement »



THÈSE

Présentée pour obtenir le diplôme de

Doctorat 3^{ème} Cycle LMD

Spécialité : Environnement et Gestion Durable Des Ressources

Filière : Biologie

Par :

ZOUIDI Mohamed

Thème :

**Vulnérabilités du « continuum » phyllosphère-litière du
Pinus halepensis Mill. dans la zone aride et semi aride de
l'Ouest Algérien**

Thèse soutenue le 04/ 12/ 2019 devant le jury composé de :

Mr. Labani. A	Prof.	Université de Saida – Dr. Moulay Tahar	Président
Mr. Borsali. AH	MCA.	Université de Saida – Dr. Moulay Tahar	Rapporteur
Mr. Benabdeli. K	Prof.	Université de Mascara – Dr. Mustapha Stambouli	Examineur
Mr. Terras. M	MCA.	Université de Saida – Dr. Moulay Tahar	Examineur
Mr. Hachem. K	MCA.	Université de Saida – Dr. Moulay Tahar	Examineur

Remerciements

Nous remercions **DIEU**, le tout puissant de nous avoir accordé santé et courage pour accomplir ce modeste travail.

En tout premier lieu, j'aimerais exprimer ma profonde reconnaissance et mes remerciements les plus sincères à mon directeur de thèse Monsieur **BORSALI Amine Habib**, Docteur à l'université de Saida, pour sa disponibilité exceptionnelle, ses qualités humaines et scientifiques qui m'ont permis d'acquérir des connaissances indispensables.

J'exprime ma profonde reconnaissance, aux **Dr Raphael GROS**, **Dr Anne-Marie FARNET**, **Dr Catherine REBUFA** pour leurs accueils au laboratoire d'écologie microbienne de l'université d'Aix Marseille et particulièrement pour les facilités d'accès à tous les appareils de ce laboratoire d'écologie microbienne de l'université d'Aix Marseille en France. Je tiens à vous remercier pour toute l'aide et le soutien de tous les instants que vous m'avez apporté, pour l'encadrement scientifique très formateur et de qualité, ainsi que pour les conseils et astuces qui ont permis de faciliter le travail. Merci pour la gentillesse. Merci pour tout.

Mes sincères remerciements sont adressés aussi à Monsieur **HEMAD Ahmed** et Madame **MESSAOUDI Amel** ingénieurs d'état de laboratoire à l'Université Moulay Tahar de Saida qui m'ont facilité l'accès au laboratoire et permis d'évoluer dans un cadre de vie et de travail remarquable.

Ce travail a nécessité de nombreuses journées de terrain et je tiens à remercier ici toutes les personnes qui travaillent au service des forêts spécialement **Mr Bosta Boubakeur** de la wilaya de Saida et **Mr Feguigui Omar** de la wilaya de Naâma qui m'ont offert leurs aides tout au long de l'élaboration de cette thèse.

Je tiens à remercier tous les membres du jury composé de **Prof Labani A**, **Prof Benabdeli K**, **Dr Terras M**, **Dr Hachem K** qui m'ont fait l'honneur d'accepter de lire, d'examiner ce travail et d'assister à cette soutenance. Qu'ils en soient sincèrement remerciés.

Je souhaite remercier vivement toutes les personnes qui m'ont aidé dans mon travail au laboratoire et sur le terrain en particulier **Mr Allam Ayoub**, **Mr Berkane Ali** et **Mr Djebbouri Mohamed** sans oublier tous mes collègues (chercheurs enseignants- chercheurs, et étudiants) de l'université « Moulay Tahar » de Saida.

Je suis reconnaissant envers ma famille pour leurs sacrifices et leur compréhension. J'exprime également mes sincères et cordiaux remerciements à mes parents, mes sœurs et à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Avant tout c'est grâce à Allah que je suis arrivé à ce stade.

Je Dédie ce modeste travail avec toute l'ardeur de mes sentiments :

À mes chers parents

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon grand respect, et ma reconnaissance pour les sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation. J'implore Dieu le tout-puissant de vous accorder bonne santé et longue vie.

Mes très chères sœurs

Votre soutien m'a donné force et encouragement ainsi que votre amour fraternel. Puisse Dieu le tout puissant, vous préserver et vous accorder la santé, une longue vie et beaucoup de bonheur.

A tous mes amis.

Mohamed

Avertissement

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur : ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite de ce travail expose à des poursuites pénales.

Contact : zoudibiologie20@gmail.com

Liste des Tableaux

Tableau 01 : Type de climat du bassin méditerranéen.....	09
Tableau 02 : Principales essences des forêts algériennes.....	21
Tableau 03 : Principaux insectes ravageurs dans la forêt Algérienne.....	25
Tableau 04 : Données géographiques des stations météorologiques.....	63
Tableau 05 : Données climatiques des stations situées dans la zone d'étude (ancienne période 1913-1938).....	65
Tableau 06 : Données climatiques des stations situées dans la zone d'étude (nouvelle période 1985-2015).....	66
Tableau 07 : Types de climats en fonction des amplitudes thermique.....	66
Tableau 08 : Fréquences des vents dans les zones d'études.....	68
Tableau 09 : Indice d'aridité de De Martonne.....	70
Tableau 10 : L'échelle de taux de carbonate de calcium (CaCO_3) total.....	80
Tableau 11: Localisation et caractéristique des stations d'échantillonnages de litière forestière.....	90
Tableau 12: Propriétés physiques des sols de la zone aride et la zone semi aride.....	103
Tableau 13: Propriétés chimiques des sols forestiers de la zone aride et la zone semi aride.....	104
Tableau 14: Propriétés microbiologiques des litières forestière en zone aride semi aride.....	124

Liste des Figures

Figure 01 : Les paysages végétaux du bassin méditerranéen.....	07
Figure 02 : Carte bioclimatique en Algérie.....	11
Figure 03 : Répartition des forêts en Algérie du Nord.....	20
Figure 04 : Bilan des feux de forêts 2000 – 2017.....	23
Figure 05 : Composition moyenne du sol.....	28
Figure 06 : Les fonctions du sol.....	33
Figure 07 : Schéma des critères de qualité des sols.....	37
Figure 08 : Schéma de la dégradation des sols.....	52
Figure 09 : Localisation des zones d'études.....	53
Figure 10 : La forêt de djebel Sid Ahmed Zeggai.....	54
Figure 11 : Carte des sols de la wilaya de Saida.....	56
Figure 12 : La forêt de djebel Antar.....	58
Figure 13 : Carte pédologique de la région centre de la wilaya de Naâma.....	61
Figure 14 : Diagrammes ombrothermiques de Bagnoul et Guassen.....	69
Figure 15 : Détermination du type de climat dans les zones d'études d'après le climagramme d'Emberger.....	72
Figure 16 : Schéma d'échantillonnage des sols dans chaque zone.....	76
Figure 17 : Situations géographiques des zones d'études.....	76
Figure 18 : Exemple d'un spectre MIR et attribution des principaux pics.....	85
Figure 19 : Schéma de l'accessoire de réflexion totale atténuée simple réflexion.....	92
Figure 20 : Stations d'échantillonnages des aiguilles dans les zones d'études.....	94
Figure 21 : Les propriétés microbiennes des sols en zone aride et semi aride.....	105
Figure 22 : Analyse en composants principale (ACP) des échantillons de sol en fonction des propriétés analysées.....	107
Figure 23 : Résultats d'analyse spectrométrique des sols.....	108
Figures 24 : Propriétés physico-chimiques des litières de pin d'Alep en zone aride et semi aride.....	120
Figure 25 : ACP des propriétés physico-chimiques des litières collectées dans la zone aride et semi-aride.....	121
Figure 26 : ACP des données spectrales MIR.....	122
Figure 27 : ACP du plan de données spectrales proche infra rouge.....	123
Figure 28 : Profil spectroscopique des litières dans les zones arides et semi-arides.....	127

Figure 29 : Paramètres physico-chimiques des aiguilles de pin d'Alep (<i>Pinus halepensis</i> Mill.) entre la zone semi aride et l'aride.....	133
Figure 30 : Analyse en composants principale (ACP) des échantillons des aiguilles en fonction des résultats d'analyse.....	134
Figure 31 : L'effet de l'intensité de sécheresse sur la couleur des aiguilles.....	137
Figure 32 : ACP dans (PC1, PC2) plan des données proche infra rouge des aiguilles de pin d'Alep collectées dans les zones arides et semi-arides.....	139
Figure 33 : PC1 chargement de spectre.....	139
Figure 34 : Le début de la germination des graines imbibées par l'eau distillée.....	141
Figure 35 : Cumule du taux de germination du <i>Pinus halepensis</i> Mill en fonction de l'intensité du stress hydrique.....	142
Figure 36 : Effet des différentes pressions osmotiques sur le taux et la vitesse de germination des graines de <i>Pinus halepensis</i>	142
Figure 37 : Cumule du taux de germination du <i>Pinus halepensis</i> en fonction de l'intensité du stress salin.....	143
Figure 38 : Effet des différents stress salin sur le taux et la vitesse de germination des graines de <i>Pinus halepensis</i>	144

Liste des acronymes

ACP: Analyse en Composantes Principales

ANAT: Agence nationale de l'aménagement territoire

ANOVA: Analyse de Variance

BNEDER : Bureau national des études de développement rural

C/N : Rapport carbone sur azote.

DGF : Direction général des forêts

FAO: Food and Agriculture Organization

g.g⁻¹.s.s : Germe par gramme de sol

GIEC: Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

H : Heure.

IUCN: International Union for Conservation of Nature

MIR : moyen Infrarouge

ml : Mililitre

MO: Matière Organique

Ms : millisiemens

NaCl : Chlorure de Sodium.

NT: Azote total

OGA: Oxytetracyclique glucose agar

OMM : Organisation métrologique mondiale

OMS : Organisation mondiale de la santé

ONM: Office national de météorologique

p : poids

P : Précipitation

PEG: Polyéthylène glycol

PIR : proche infrarouge

PNUE: Programme des Nations Unies pour l'environnement

Q2 : Coefficient d'Emberger

qCO₂ : Quotient métabolique.

SATEC : Société d'aide technique et de coopération

T° : température.

T° : Température

TG: Taux de Germination.

UE : Union européenne.

UFC : Unité formant colonie

YEM: Yeast extract

Table des Matières

Introduction Générale.....	01
-----------------------------------	-----------

Partie I : Synthèse Bibliographique

Chapitre I. La forêt, un allié durable contre le changement climatique

I.1.Introduction.....	05
I.2. Les forêts méditerranéennes.....	05
I.2.1. Biogéographie.....	06
I.2.2. Diversités génétiques et biologiques.....	07
I.2.3. Le climat, facteur de diversité des écosystèmes forestiers méditerranéens.....	08
I.2.4. La forêt et le changement climatique dans la méditerranée.....	11
I.2.5. Structure et organisation des forêts méditerranéennes.....	14
I.2.6. Situation actuelle et l'avenir des forêts méditerranéennes.....	15
I.3. Les forêts en Algérie.....	17
I.3.1. Aperçue historique.....	17
I.3.2. Profil forestier de l'Algérie.....	19
I.3.3. Situation actuelle des forêts en Algérie.....	21
I.3.4. Facteur de dégradation de la forêt en Algérie.....	22

Chapitre II. Le sol, élément majeur pour les forêts

II.1. Généralités.....	27
II.2. Formation des sols.....	28
II.3. Origine et diversité des sols.....	29
II.3.1. Les sols rouges et bruns fersiallitiques.....	30
II.3.2. Les sols calcimagnésiques.....	31
II.3.3. Les vertisols.....	31
II.3.4. Les sols salsodiques ou sols halomorphes.....	31
II.4. Les Fonctions du sol.....	32
II.5. Qualité des sols.....	33
II.5.1. Qualité physique.....	35
II.5.2. Qualité chimique.....	36
II.5.3. Qualité biologique.....	36
II.6. Les facteurs de dégradation des sols.....	37

Chapitre III : La relation entre le couvert végétale et les conditions édaphiques

III.1. Généralité.....	40
III.2. Action du sol sur la végétation.....	40
III.2.1. Le sol en tant que support de vie.....	41
III.2.2. Le sol fournisseur en nutriments.....	41

III.3. Action de la végétation sur le sol.....	42
III.4. Le Sol et la Forêt.....	43
III.4.1. Spécificités liées aux sols forestiers.....	44
III.4.2. Intérêt à faire un diagnostic des sols forestiers ?.....	44
III.5. les sols des zones arides et semi aride.....	45
III.5.1. Les différents types de sols des zones d'arides.....	47
III.5.1.1. Les sols salés.....	48
• Effet de la salinité sur le sol.....	48
III.5.1.2. Les sols gypseux.....	48
• Effet du gypse sur le sol.....	49
III.5.1.3. Les sols calcaires.....	49
• Effet du calcaire sur le sol et les végétaux.....	50
III.5.2. Dégénération et vulnérabilité des sols dans les zones arides et semi arides.....	50

Partie II : Matériels et Méthodes

Chapitre I. Présentation des zones d'études.

I.1. Zone semi aride (Saida).....	53
I.1.1. Aperçu sur la région d'étude.....	53
I.1.2. Présentation de la zone d'étude.....	54
I.1.3. Caractérisation de la zone d'étude.....	55
I.1.3.1. Cadre géologique.....	55
I.1.3.2. Cadre pédologique.....	55
I.1.3.3. Cadre hydrogéologique.....	56
I.1.3.4. Aspect floristiques.....	57
I.2. Zone aride (Wilaya de Naâma).....	57
I.2.1. Aperçu sur la région d'étude.....	57
I.2.2. Présentation de la zone d'étude.....	58
I.2.3. Caractérisation de la zone d'étude.....	58
I.2.3.1. Cadre Géologique.....	59
I.2.3.2. Cadre édaphique.....	59
I.2.3.3. Cadre Hydrogéologique	61
I.2.3.4. La Flore.....	62

Chapitre II : Etude climatique.

II.1. Introduction.....	63
II.2. Choix des stations de référence.....	63
II.3. Paramètres climatiques.....	64
II.3.1. Précipitations.....	64
II.3.2. Les régimes pluviométriques.....	64
II.3.3. Température.....	64

II.3.4. Amplitude thermique.....	66
II.3.5. Vent.....	67
II.3.6. Synthèse bioclimatique.....	68
II.3.6.1. Diagramme ombrothermique de Bagnoul et Guassen.....	68
II.3.6.2. Indice d'aridité de De Martonne.....	70
II.3.6.3. Quotient pluviométrique d'Emberger « Q2 ».....	71
II.4. Conclusion.....	72

Chapitre III : Etude de sol.

III.1. Introduction.....	74
III.2. Choix des stations et échantillonnage des sols.....	75
III.3. Analyse Physiques des sols.....	76
III.3.1. Analyse granulométrique.....	77
III.3.2. Couleur.....	77
III.3.3. Humidité gravimétrique.....	77
III.3.4. Capacité de rétention.....	77
III.3.5. Porosité.....	77
III.3.6. Densité apparente (masse volumique).....	78
III.3.7. La densité réelle (densité de la phase solide).....	78
III.3.8. Perméabilité.....	78
III.4. Analyses Chimiques des sols.....	79
III.4.1. Dosage du carbone.....	79
III.4.2. Dosage de l'azote total.....	79
III.4.3. Rapport C/N.....	79
III.4.4. La matière organique (MO).....	79
III.4.5. pH et la conductivité électrique.....	80
III.4.6. Mesure des teneurs en carbonates de calcium.....	80
III.4.7. Dosage des éléments minéraux.....	80
III.4.8. Analyse spectrométrique des sols dans le proche infrarouge (SPIR).....	81
III.4.9. Analyse spectrométrique des sols dans le moyen infrarouge (SMIR).....	83
III.5. Analyse biologique des sols.....	85
III.5.1. Respiration basale.....	85
III.5.2. Biomasse microbienne.....	86
III.5.3. Le quotient métabolique (qCO ₂).....	86
III.5.4. Dénombrement de la microflore.....	86
III.5.4.1 Préparation des suspensions dilutions.....	87
III.5.4.2. La microflore bactérienne.....	87
III.5.4.3. Les champignons.....	87
III.5.4.4. Les rhizobiums.....	87

Chapitre IV. Etude de la litière forestière des pinèdes.

IV. Introduction.....	89
IV.1. Sites et plan d'échantillonnages.....	89
IV.2. Analyses physico-chimiques de la litière.....	90
IV.2.1. Teneur en eau.....	90
IV.2.2. Teneur en carbone et en azote.....	90
IV.2.3. pH et conductivité.....	90
IV.3.4. Analyse par la spectroscopie.....	90
IV.3.4.1. Conditions d'enregistrement des spectres en proche infrarouge (PIR).....	90
IV.3.4.2 Conditions d'enregistrement des spectres en moyen infrarouge (MIR).....	91
IV.3. Analyse biologique de la litière.....	92

Chapitre V. Etude du comportement adaptatif des graines et des aiguilles de pin d'Alep en zone aride et semi-aride

V.1. Comportement des aiguilles de pin d'Alep face aux facteurs de milieux.....	94
V.1.1. Introduction.....	94
V.1.2. Sites et plan d'échantillonnage.....	94
V.1.3. Caractéristiques morphologiques et chimiques des matériaux des aiguilles.....	95
V.1.3.1. Morphologie des aiguilles.....	95
V.1.3.2. Détermination de la teneur en eau.....	96
V.1.3.3. Traitement de la plante.....	96
V.1.3.4. Détermination de la teneur en cendres.....	96
V.1.3.5. Détermination de la teneur en Matière organique.....	96
V.1.3.6. Détermination du pH et salinité des aiguilles.....	96
V.1.3.7. Calcul des rendements en extraits secs.....	97
V.1.3.8. Détermination du taux de chlorophylle.....	97
V.1.3.9. Apport de la spectroscopie infrarouge sur les aiguilles de pin d'Alep.....	97
V.2. Comportement des graines face aux facteurs de milieux.....	98
V.2.1. Introduction.....	98
V.2.2. Récolte des graines de pin d'Alep.....	99
V.2.3. Effet du stress osmotique sur la germination.....	99
V.2.4. Effet de la salinité sur la germination.....	100
V.2.5. Paramètres mesuré.....	100
V.2.5.1. Le taux de germination pour chaque lot (TG).....	100
V.2.5.2. Vitesse de germination pour chaque lot.....	101
VII. Analyses statistiques.....	101

Partie III : Résultats et Discussions

Chapitre I. Caractérisation physico-chimique et microbiologique des sols forestiers à pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) des zones semi arides et arides de l'ouest Algérien

I.1. Introduction.....	102
I.2. Résultats.....	103
I.2.1. Propriétés physiques des sols dans la zone aride et semi aride.....	103
I.2.2. Propriétés chimiques des sols dans la zone aride et semi aride.....	104
I.2.3. Propriétés microbiennes des sols dans la zone aride et semi aride.....	105
I.2.4. Synthèse des ACP.....	106
I.2.4. Prédiction spectroscopique.....	107
I.3. Discussion.....	108
I.3.1. Effets du gradient d'aridité sur la qualité physique des sols.....	109
I.3.2. Effets de la zone sur les propriétés chimiques.....	111
I.3.3. Caractères microbiologique des sols en fonction d'un gradient latitudinal.....	114
I.4. Conclusion.....	117

Chapitre II. Impact du gradient d'aridité sur la litière forestière des résineux du « *Pinus halepensis* Mill » de l'Ouest Algérien

II.1. Introduction.....	119
II.2. Résultats.....	119
II.2.1. Propriétés physico-chimiques des litières des pinèdes.....	119
II.2.1.1. Prédiction par la spectroscopie.....	121
II.2.1.1.1. Spectres MIR (proche infrarouge).....	122
II.2.1.1.2. Spectres PIR (proche infrarouge).....	123
II.2.2. Propriétés biologique des litières des pinèdes.....	124
II.3. Discussion.....	124
II.3.1. Effet d'aridité sur les propriétés de la litière des pinèdes dans l'ouest Algérien.....	125
II.3.2. Prédiction spectroscopique des propriétés de la litière.....	127
II.3.2. Comportement biologique de la litière des pinèdes face à l'aridité du climat.....	128
II.4. Conclusion.....	130

Chapitre III. Impact d'aridité sur les paramètres physico-chimiques et morphologique des aiguilles de « *pinus halepensis* Mill. » dans l'ouest Algérien

III.1. Introduction.....	131
III.2. Résultats.....	131
III.3. Discussion.....	134
III.3.1. Impact du gradient d'aridité sur la morphologie des aiguilles de « <i>pinus</i>	

<i>halepensis</i> Mill. ».....	134
III.3.2. Impact d'aridité sur les caractéristiques physico-chimiques des aiguilles de « <i>pinus halepensis</i> Mill. ».....	135
III.3.3. Prédiction proche infra rouge sur la composition chimique des aiguilles.....	138
III.4. Conclusion.....	140

Chapitre IV. Comportement germinatif des graines de *Pinus halepensis*. Mill face aux facteurs de milieux (aride et semi-aride).

IV.1. Introduction.....	141
IV.2. Résultats.....	141
IV.2.1. Début de la germination.....	141
IV.2.2. Effet du stress osmotique sur la germination du Pin d'Alep.....	141
IV.2.3. Effet du stress salin sur la germination du Pin d'Alep.....	143
IV.3. Discussion.....	144
IV.3.1. Effet du stress hydrique sur la germination.....	144
IV.3.2. Effet du stress salin sur la germination.....	146
IV.4. Conclusion.....	147
Conclusion Générale.....	149
Références Bibliographiques.....	153
Annexes.....	181
Articles scientifiques	
Résumé	

Introduction Générale

Introduction générale

Les forêts méditerranéennes sont profondément liées à la vie des populations locales depuis plusieurs millénaires. Elles fournissent une source de revenus et contribuent à la conservation de la biodiversité, à la capture et au stockage du carbone, à la protection des sols et de l'eau, et elles offrent des zones de loisirs. Pourtant, elles sont soumises à une pression croissante. Cette pression inclut les pressions exercées par les hommes, dont les besoins augmentent et changent, et les contraintes dues aux changements climatiques, y compris les augmentations de température et les diminutions en précipitation (Lovero, 2015). En contexte méditerranéen et en réponse à ces contraintes, les forêts méditerranéennes représentent des systèmes qui constituent un milieu naturel fragile et non équilibré, en général bien adaptés dans l'espace et dans le temps à diverses contraintes comme les « conditions pédoclimatiques », et donc aux modifications de dynamique ou de structure et d'architecture des peuplements qu'ils peuvent engendrer (Barbero et Quézel, 1989). Dans cette région méditerranéenne on retrouve des formations végétales de type forêt ou pré- forêt « maquis et garrigues », occupées par des espèces ligneuses présentant des caractéristiques spécifiques aux contraintes déjà évoquées.

A l'instar des pays du pourtour méditerranéen l'Algérie assiste à une dégradation intense de son patrimoine forestier. Cette superficie globale est constituée de sol pauvre en matière organique, sol rocailleux, sol dégradé par l'érosion hydrique et éolienne, en plus des ravages causés par les incendies répétés durant la période estivale. On peut citer aussi : les ravages causés par les insectes (chenille processionnelle), maladies, surpâturage illicite (bovins et caprins). La biodiversité forestière est en régression dans la plupart des régions forestières sous l'effet des pressions diverses et répétées réduisant considérablement ses potentialités végétales, hydriques et édaphiques.

Le sol est un milieu vivant issu de l'altération physique et chimique de la roche mère sous l'action des agents climatiques (température, précipitation, humidité...) et biologiques. Il assure plusieurs fonctions écologiques (Thiombiano, 2015) : l'hébergement des microorganismes et des plantes (fonction biologique), l'amélioration de la qualité des éléments nécessaires (eau, matières organiques, potassium, azote) à la vie et à l'alimentation (fonction alimentaire). De par sa position d'interface avec les autres compartiments de l'environnement (atmosphère, biosphère, hydrosphère), le sol joue aussi un rôle important dans la régulation des grands cycles planétaires à l'exemple de l'eau, du carbone et de l'azote (fonction de régulation) Aubert (2012). Malheureusement, cette structure aux services

multiples, formée pendant plusieurs millénaires est fragile, périssable et non renouvelable à l'échelle humaine (Burrow, 2015). Les sols méditerranéens présentent une grande diversité en raison de la grande variabilité des facteurs naturels (climat, végétation, physiographie, géologie et lithologie) qui conditionnent leur formation et leur répartition (Tillier, 2011). Les sols de la région méditerranéenne, tels qu'ils se présentent aujourd'hui, sont les fruits d'interactions qui durent depuis des millénaires entre les processus naturels de la pédogenèse, et les activités des sociétés humaines qui se sont développées dans cette région. La dégradation de ces sols est une préoccupation écologique dont les conséquences sont ressenties le plus fortement par les populations pauvres des pays en voie de développement.

Selon OMS (2007), Au XX^e siècle, la dégradation des sols s'est accélérée à cause de leur fragilité pour plusieurs raisons : les précipitations irrégulières et souvent violentes favorisant l'érosion ; l'importance des pentes dans les nombreux secteurs de collines et de montagnes aggrave le phénomène ; les températures élevées accélèrent la minéralisation de la matière organique ; le couvert végétal est souvent réduit à cause de la dureté du climat et des actions anthropiques, et de ce fait protège mal le sol ; dans les zones arides ou semi-arides, l'érosion éolienne est souvent importante ; dans certaines plaines littorales ou alluviales, la présence d'une nappe salée peut amener la salinisation des sols (Plan Bleu, 2003). Les sols forestiers constituent un enjeu vital dans la conservation des forêts. Dans ce contexte, il est important de pouvoir suivre la qualité des sols sur le court et le moyen terme, il est assez largement admis qu'il n'existe pas d'indicateur unique et universel de la qualité d'un sol forestier (Fox, 2000).

Aujourd'hui la gestion durable des forêts algériennes doit donc être éclairée par la notion de la rhizosphère, qui représente la partie du sol entourant les racines vivantes et forme un milieu extrêmement complexe où s'opèrent de multiples interactions entre la plante, le sol et les organismes telluriques, par une étude et évaluation de la qualité physico-chimique des sols forestiers et de la vulnérabilité de leurs activités microbiennes face aux facteurs climatiques. Tout programme de réhabilitation ou de régénération des écosystèmes forestiers particulièrement en zones arides et semi-arides dégradées doit prendre en considération l'impact des facteurs pédoclimatiques sur le comportement des espèces cibles de cette réhabilitation.

Hypothèse et objectifs

Dans le contexte forestier méditerranéen et dans la région de l'Ouest Algérien, les études de végétation ont été abordées à différentes échelles bioclimatiques. Ils ont montré une transformation de la végétation d'origine et la disparition de certaines espèces, en particulier dans les zones semi-arides et arides. Cela a été observé par plusieurs scientifiques qui associent ce phénomène aux changements climatiques dans ces régions marquées ces dernières années par de longues périodes de sécheresse; néanmoins, aucune étude ne montre l'état actuel de la qualité rhizosphérique qui constitue un lieu d'échange entre le végétal et le minéral ; c'est un milieu complexe aux multiples interactions qui forme un support de vie pour cette végétation de ces zones.

Notre hypothèse est que ces changements de paysage et la régression de certaines espèces de plantes ne sont pas seulement le résultat du changement climatique, ils sont également dus à de profonds changements dans le sol. Pour comprendre et voir si ces transformations sont les résultats d'un gradient d'arpentage latitudinal, nous avons sélectionné deux zones situées respectivement dans les étages bioclimatiques semi-arides et arides. Notre choix c'est orienté sur ces deux domaines car c'est à ce niveau que nous assistons à la plus grande dégradation des plantes et des sols et qu'il s'agit également des derniers obstacles à la désertification. Pour cela plusieurs objectifs ont été menés dans ce travail :

- Etudier l'impact d'aridité sur la qualité physico-chimique et sur la biomasse microbienne dans les sols forestiers de pin d'Alep en zones semi-aride et aride de l'ouest Algérien, voir quels sont les facteurs pédoclimatiques limitant de la communauté microbienne dans ces sols ;
- Etudier les propriétés physico-chimiques et biologiques de la litière forestière des résineux protecteur du sol et fournisseur de la matière organique et leur évolution dans ces deux zones différentes ;
- Etudier l'effet des principales contraintes environnementales en zones arides et semi-arides affectant la germination des semences de pin d'Alep, notamment la sécheresse et la salinité qui empêche la régénération des espèces forestières menacées ;
- Etudier la stratégie d'adaptation du pin d'Alep par le changement morphologique et physico-chimiques des aiguilles entre l'étage bioclimatique semi-aride et l'aride afin de faire sortir l'impact des principales conditions pédo-climatiques régionales sur l'adaptation des aiguilles du pin d'Alep face aux conditions extrêmes.

Ce travail s'articule en trois parties :

- **La première partie** fait le point sur l'état des forêts des zones arides et semi arides, un allié durable contre le changement climatique (Chapitre I) et sur le sol, élément majeur pour les forêts (Chapitre II). Puis la relation entre le couvert végétale et les conditions édaphique qui font l'objet du Chapitre III
- **La deuxième partie** décrit le contexte expérimental de terrain (Chapitre I) et les méthodes de mesure des propriétés des sols (chapitre II), les différentes analyses de litières forestière (Chapitre III), les protocoles d'études des aiguilles de pin d'Alep (Chapitre IV),
- **La troisième partie** traite les résultats obtenus avec l'outil statistique comparatif et leur discussion. Elle se divise en quatre chapitres, le chapitre I présente l'étude comparative des sols forestiers dans les zones arides et semi-arides. Le chapitre II décrit successivement le comportement des litières des pinèdes dans ces deux zones. Puis la tolérance des graines de pin d'Alep face aux stress du milieu aride qui fait l'objet du chapitre III et finalement une étude comparative sur l'adaptation des aiguilles de pin d'Alep avec les conditions xérique dans l'Ouest Algérien.

Dans cette étude nous nous sommes intéressés plus particulièrement à la forêt de djebel Sid Ahmed Zeggai situé dans la wilaya de Saïda qui représente la zone semi aride et la forêt de djebel Antar wilaya de Naâma qui représente la zone aride. Les deux forêts sont dominées par le pin d'Alep.

Partie I

Synthèse bibliographique

Chapitre I

*La forêt, un allié durable contre le
changement climatique*

La forêt, un allié durable contre le changement climatique

I.1. Introduction

Les définitions du terme de forêt sont complexes et sujettes à controverses elles se diffèrent selon les pays et les auteurs. Elle tient compte de la surface, de la densité, de la hauteur des arbres et du taux de recouvrement du sol. Un boisement est considéré comme forêt à partir d'un taux de recouvrement de 10 % alors qu'en Europe (Définition CEE, ONU/FAO), on ne parle de forêt qu'à partir d'un taux de recouvrement de 20 %.

Selon Benabdeli, (1996), la forêt est une formation végétale arborescente, ligneuse dont les espèces dominantes qui la composent se distinguent par un fut et un houppier individualisés avec une hauteur minimale de 4 mètre dont la concurrence se fait par les racines ou les frondaisons.

D'un point de vue botanique, une forêt est une formation végétale, caractérisée par l'importance de la strate arborée, mais qui comporte aussi des arbustes, des plantes basses, des grimpantes et des épiphytes (Jouzel et *al.*, 2008).

D'un point de vue de l'écologie, la forêt est un écosystème complexe et riche, offrant de nombreux habitats à de nombreuses espèces et populations animales, végétales, fongiques et microbiennes entretenant entre elles, pour la plupart, des relations d'interdépendance (Jancovici, 2011).

Aujourd'hui La forêt peut être à la fois considérée comme un milieu naturel et comme un secteur de production de biens et de services. Sa place, son usage, voire sa "représentation" varient selon de nombreux paramètres, notamment ceux de l'environnement socio-économique. La forêt, considérée sous l'angle économique, se situe dans un contexte à la fois mondialisé, soumis aux aléas des marchés internationaux des matières premières, mais aussi de plus en plus territorialisé au travers des nouveaux outils de gouvernance (comme, par exemple, les chartes forestières de territoire). Par sa multifonctionnalité, la forêt concerne de nombreux secteurs d'activité humaine et il convient de s'interroger sur sa place réelle dans le développement des territoires (Bariteau et *al.*, 2008).

I.2. Les forêts méditerranéennes

La forêt méditerranéenne, dans son acception large, est donc très présente dans le paysage méditerranéen mais, culturellement, elle est absente des représentations méditerranéennes, en tant que telle : « la notion de "forêt méditerranéenne" échappe à beaucoup, puisqu'une personne sur deux affirme n'avoir jamais entendu cette expression, et

avoir des difficultés à imaginer ce qu'elle désigne. On peut donc consulter des sites forestiers méditerranéens, même régulièrement, sans les imaginer comme partie d'une réalité commune. Certains vont même jusqu'à douter de l'existence d'une forêt méditerranéenne, trouvant l'expression "paradoxe", ou affirmant que "ce n'est pas de la forêt". Il est vrai que la forêt ne figure ici qu'au second plan des représentations mentales des espaces naturels plutôt composées de bord de mer, de garrigue et de pinèdes » (Cazaly, 2002).

Pendant des siècles les forêts méditerranéennes ont été considérées comme des réserves pour l'extension des cultures, là où les sols s'y prêtent, et des pâturages. Elles ont été en tout cas soumises à une exploitation pastorale intensive, à des abattages inconsidérés et à des incendies répétés. Ces forêts ont donc payé un très lourd tribut à l'action humaine. C'est pourquoi elles sont aujourd'hui généralement dégradées dans leur ensemble, et à leur niveau la notion de climax est plutôt théorique. Il faut ajouter aussi que d'un point de vue floristique ces forêts méditerranéennes ont subi des transformations pendant les grandes glaciations quaternaires qui ont éliminé de nombreuses espèces forestières. En tout état de cause, les facteurs écologiques et historiques ont joué dans ces forêts un rôle décisif dans la mise en place de la flore et de la faune (Barbéro et *al.*, 1974 ; Abbas et *al.*, 1985).

La forêt méditerranéenne est ainsi, jusqu'au XIX^{ème} siècle, une « forêt de subsistance » fournissant bois de feu, charbon de bois, tanin, champignons et fruits, fourrage, abri pour les troupeaux, miel et d'autre produits. Elle est ainsi l'objet d'une exploitation et d'une mise en valeur intense (voire intensive) qui conduit à sa quasi-disparition. (Vernet, 1997; Léonard, 2003 ; Blondel, 2009).

I.2.1. Biogéographie

Sur le plan géographique, la région méditerranéenne s'étend des Alpes au Sahara, et de l'océan Atlantique à la mer Caspienne; elle englobe 25 pays qui peuvent être divisés en quatre groupes: Europe du Sud-ouest (Espagne, France, Italie, Portugal); Europe du Sud Est (Albanie, Bulgarie, Chypre, Grèce, Malte, Roumanie, Slovénie, Turquie, ex Yougoslavie); Afrique du Nord (Algérie, Egypte, Jamahiriya arabe libyenne, Maroc, Soudan, Tunisie); partie orientale de la Méditerranée (Palestine, Jordanie, Liban, Arabie Saoudite, République arabe syrienne, Yémen). (M'Hirit, 1999). La forêt méditerranéenne ne couvre que 1,5 pour cent de l'ensemble des surfaces boisées de la planète, couvrant une aire géographique considérable de 81 millions d'hectares (Figure 01).

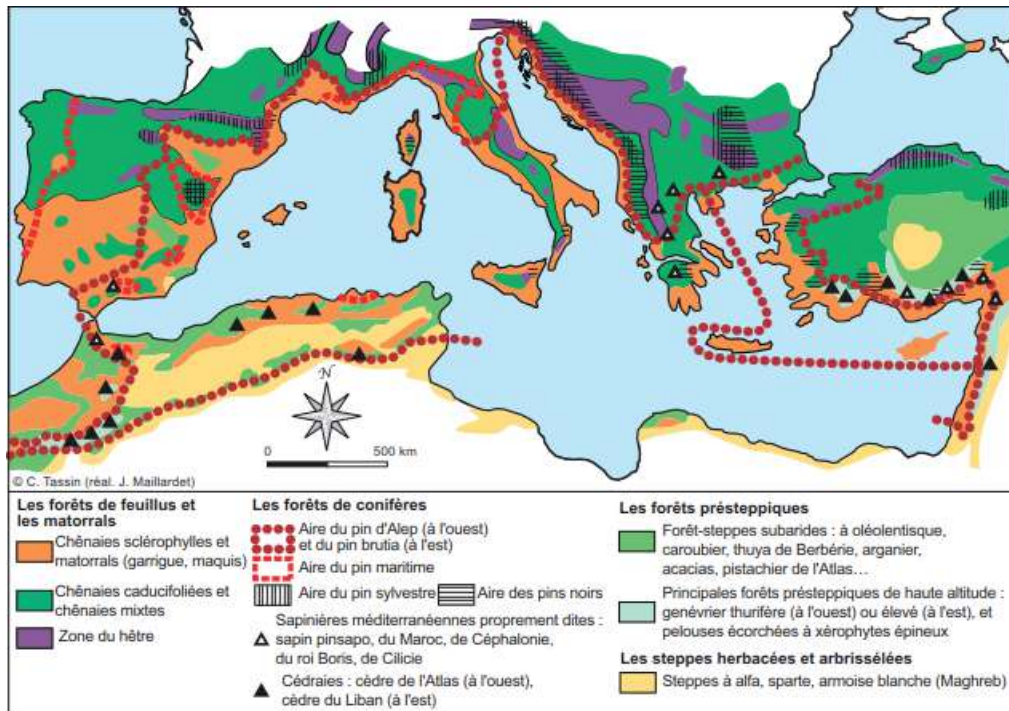


Figure 01: Les paysages végétaux du bassin méditerranéen (Tassin, 2012).

I.2.2. Diversités génétiques et biologiques

Estimée à 25 000 espèces ou 30 000 espèces et sous-espèces, la richesse floristique de la région méditerranéenne équivaut à environ 10 % des végétaux supérieurs du globe présents sur seulement 1,6 % de la surface terrestre (Médail et Quézel, 1997). Deux pôles principaux de diversité végétale existent, l'un occidental qui comprend la péninsule ibérique et le Maroc, et l'autre oriental avec la Turquie et la Grèce. Dans le but d'identifier les secteurs de plus forte biodiversité et les plus menacés du globe, les biologistes de la conservation ont défini des « points chauds » (*hotspots*) de biodiversité, zones de haute priorité de conservation (Myers et *al.*, 2000). Ces *hotspots* abritent une richesse élevée en espèces et en endémiques, et ils ont subi d'importantes pertes d'habitats naturels causées par d'intenses impacts anthropiques. Sur cette base, 10 points chauds (*hotspots*) régionaux de biodiversité méditerranéenne ont été identifiés (Médail et Quézel, 1997 ; 1999), mais à la lueur de récents bilans floristiques, il conviendrait probablement d'en ajouter deux autres (littoral et îles de la Croatie et la Kabylie en Algérie). Ces *hotspots* péri-méditerranéens abritent environ 5500 végétaux endémiques, soit 44 % de la richesse floristique méditerranéenne sur 22 % des terres (*ca.* 515 000 km²). Cette biodiversité unique se concentre notamment dans les zones refuges, territoires où des populations végétales ou animales ont pu persister durant les épisodes

glaciaires-interglaciaires du Pléistocène. Les fortes hétérogénéités topographiques et climatiques de la région méditerranéenne ont aussi permis à bon nombre d'espèces de trouver un habitat favorable lors des changements climatiques (Vogel et *al.*, 1999). Les travaux récents montrent l'importance de ces zones refuges pour expliquer l'organisation et l'originalité de la biodiversité méditerranéenne actuelle (Tzedakis et *al.*, 2002 ; Petit et *al.*, 2003).

De nombreuses essences forestières méditerranéennes se caractérisent par une instabilité génétique qui se traduit en général par des incertitudes taxinomiques difficiles à élucider. Contrairement à ce qui se passe en région européenne où la mise en place des structures forestières est à peu près partout postérieure aux glaciations, et leurs constituants génétiquement peu variables, les essences forestières méditerranéennes, présentes localement dans les refuges au moins durant tout le quaternaire, se caractérisent au contraire par une diversité et une instabilité génétique évidente. Cette diversité génétique élevée s'explique principalement par des contacts entre populations d'origine différente, mais aussi des fragmentations dans le temps et dans l'espace des aires de répartition comme l'ont montré (Pitt et *al.*, 2002) chez les chênes caducs. Les lieux de rencontre de génomes de diverses origines forment en effet des zones hybrides, véritable melting-pot de diversité. Les isolements anciens entre populations de ligneux méditerranéens ont par ailleurs conduit à une non sélection des barrières reproductives. Ceci explique les grandes facilités qu'offrent beaucoup d'espèces forestières méditerranéennes aux processus d'hybridation (et de "pollution" génétique) quand elles entrent en contact, par voie naturelle ou anthropique (reboisements).

I.2.3. Le climat, facteur de diversité des écosystèmes forestiers méditerranéens

Braudel (1985) affirme que l'unité essentielle de la Méditerranée, c'est le climat, très particulier, semblable d'un bout à l'autre de la mer, unificateur des paysages et des genres de vie ». Ce climat, ses conséquences sur les milieux naturels et leurs évolutions historiques sont aujourd'hui relativement bien connues grâce aux nombreux travaux menés depuis le milieu du XX^{ème} siècle. L'ensemble de ces études montre à la fois une unité liée aux spécificités climatiques (notamment la sécheresse estivale) mais aussi une grande diversité en raison de la fragmentation des milieux, de l'impact de l'homme et des variantes climatiques. Les climatologues définissent en effet différents bioclimats méditerranéens à l'aide d'indices climatiques tels que la moyenne des minima du mois le plus froid (m), la pluviométrie totale annuelle (P), le quotient pluviothermique ou encore l'indice xérothermique. A chacun de ces

bioclimats correspond un type de végétation potentielle, et donc un type de forêt avec ses espèces emblématiques et représentatives (Tillier, 2011).

Le climat méditerranéen est défini comme un climat extratropical à photopériodisme saisonnier et quotidien, à pluviosité concentrée durant les saisons froides et relativement froides, l'été, saison plus chaude, étant sec (Emberger, 1954). La sécheresse estivale peut durer de deux à six mois; la pluviosité annuelle oscille entre 100 mm environ dans les zones pré désertiques et plus de 2 500 mm sur certaines montagnes exposées aux vents humides (Pyrénées et Cévennes en France, Rif au Maroc) (Chaabane, 2012)

Les températures mensuelles du mois le plus froid (janvier en général) peuvent aller de -17 °C dans la partie orientale de l'Anatolie en Turquie ou dans le Moyen-Atlas oriental au Maroc à +10 °C sur le littoral méditerranéen, tandis que les températures mensuelles des mois les plus chauds (juillet et août) peuvent atteindre 40 °C. Les températures moyennes mensuelles vont de 5 °C à 18 °C. (Daget, 1977 ; Quézel, 1985 ; Chaabane, 2012).

La classification la plus souvent utilisée a été élaborée par Emberger (1939), en utilisant un diagramme bidimensionnel dans lequel la valeur d'un «quotient pluviothermique» d'une localité déterminée est en ordonnée et la moyenne du mois le plus froid de l'année en abscisse. La représentation d'un ensemble de stations de la région biogéographique méditerranéenne a permis de délimiter quatre zones climatiques: aride, semi-aride, subhumide et humide. Le positionnement sur de tels diagrammes des coordonnées de stations externes où se présente telle ou telle plante méditerranéenne permet de délimiter l'aire bioclimatique qu'elle occupe (Tableau 01) (Daget, 1977 ; Quézel, 1985).

Tableau 01: Type de climat du bassin méditerranéen (M'Hirit, 1999).

Type de climat	Précipitations	Saison sèche
Désertique et subdésertique	$P < 100 \text{ mm}$	10 à 12 mois
Aride (méditerranéen inférieur)	$100 < P < 300 \text{ mm}$	7 à 9 mois
Semi-aride (thermo-méditerranéen)	$300 < P < 600 \text{ mm}$	4 à 7 mois
Subhumide (méditerranéen supérieur)	$600 < P < 800 \text{ mm}$	3 à 5 mois
Humide (supra méditerranéen et montagnard méditerranéen)	$P > 800 \text{ mm}$	< 3 mois

Les quatre étages bioclimatiques (Figure 02) de l'Algérie se distinguent par :

- *Les étages humide et subhumide* : Localisés essentiellement sur la côte et dans l'Atlas Tellien, Ils sont caractérisés par des hivers pluvieux et doux, et des étés chauds et secs. Les précipitations diminuent d'Est en Ouest (1000 - 400 mm) et du Nord au Sud. Les températures moyennes minimales et maximales oscillent respectivement entre 5° et 15°C en hiver et de 25° à 35°C en été. Les vents humides venant de la mer apportent des pluies, de l'automne au printemps. Ces pluies sont plus abondantes à l'Est qu'à l'Ouest. Cependant, l'influence du désert se fait sentir à travers l'action du «sirocco», (vent sec et chaud, soufflant du Sud au Nord).

- *L'étage semi-aride* : localisé sur les Hautes Plaines et dans l'Atlas Saharien, il est caractérisé par des précipitations faibles et irrégulières, de 200 à 400 mm par an. Les pluies sont rares, surtout sur les Hautes Plaines Oranaise. En hiver la température peut descendre au-dessous de 0 °C en revanche, en été elle dépasse 30, voire même 40 °C.

- *L'étage aride/Saharien* : Localisé dans la région saharienne, il est caractérisé par des pluies rares et très irrégulières provoquant souvent des inondations. Les précipitations sont inférieures à 150 mm par an. Le Sahara est l'une des régions les plus chaudes du monde : les températures de jour peuvent atteindre en été 45 et même 50 °C.

Le climat méditerranéen est le dernier climat apparu sur terre entre 5000 et 2500 ans avant aujourd'hui. Malgré ses contraintes de sécheresse, il s'est révélé être très favorable à une multitude d'espèces. Il constitue une zone de transition entre climat tropical et tempéré, sa topographie le place également comme transition entre climat montagnard et climat aride. La position enclavée entre mer et montagne a contribué à l'émergence d'un fort endémisme.

De nombreuses espèces y ont trouvé refuge ou y sont restées bloquées lors des périodes de glaciation. Les conséquences de ce type de climat sur les milieux naturels et leurs évolutions historiques sont aujourd'hui relativement bien connues grâce aux nombreux travaux menés depuis le milieu du 20^{ème} siècle. L'ensemble de ces études montre à la fois une unité liée aux spécificités climatiques (notamment la sécheresse estivale) mais aussi une grande diversité en raison de la fragmentation des milieux, de l'impact de l'homme et des variantes climatiques. L'Algérie fait partie de la zone subtropicale de l'Afrique du Nord. Le climat en Algérie diffère d'une région à une autre. Au Nord, il est de type méditerranéen et englobe principalement le littoral. Entre l'atlas tellien et l'atlas saharien où culminent les hauts plateaux, le climat est de type continental avec des étés chauds et secs et des hivers humides et frais. Le climat est désertique vers le Sud au-delà de la chaîne montagneuse de l'atlas saharien. Les précipitations sont caractérisées par une variabilité très marquante entre le Nord et le Sud et entre l'Est et

l'Ouest. A la décroissance des pluies du Nord au Sud se superpose une décroissance de l'Est à l'Ouest. En effet, la région Est du pays est plus pluvieuse par rapport à la région Ouest. La tranche de pluie annuelle décroît à mesure que l'on avance aussi vers le Sud et l'Ouest. Au Sud de l'atlas saharien, les précipitations annuelles tombent à moins de 100 mm, cette valeur étant habituellement considérée comme marquant le début du désert (Figure 02).

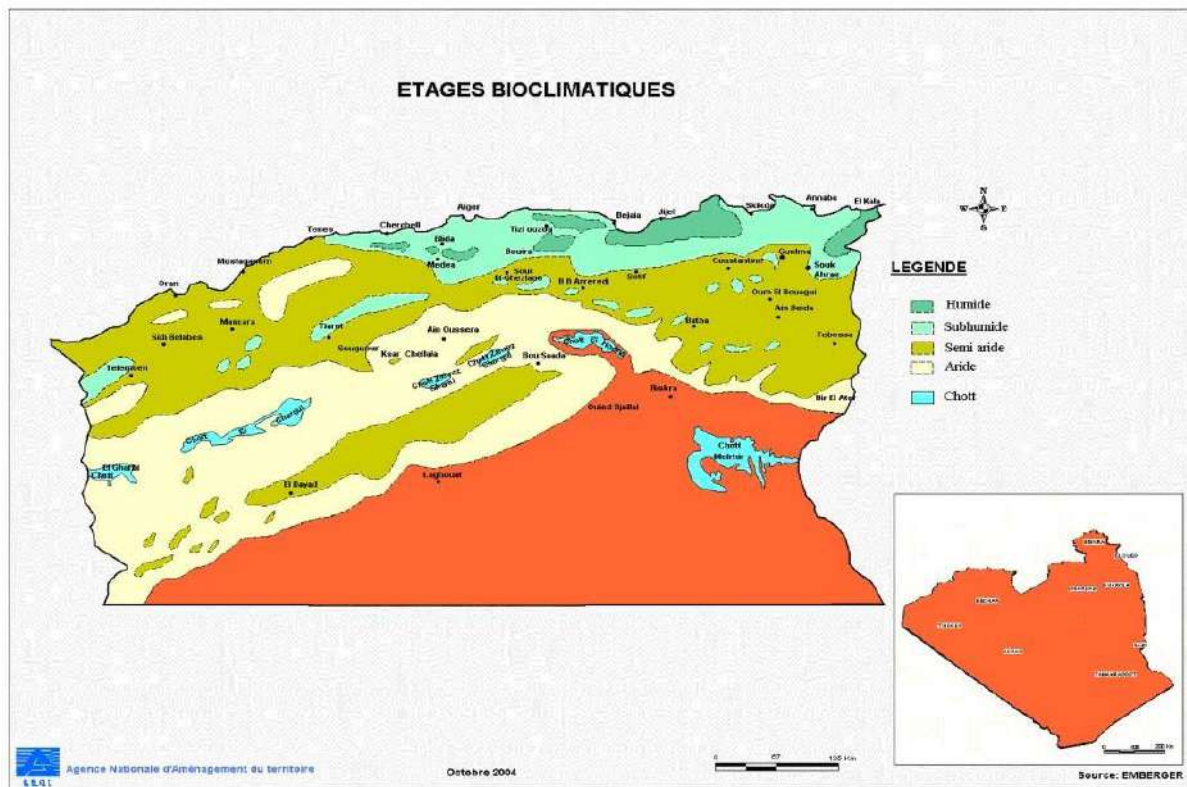


Figure 02 : Carte bioclimatique en Algérie (ANAT, 2004).

I.2.4. La forêt et le changement climatique dans la méditerranée

La Méditerranée est une région qui sera fortement affectée par le changement climatique. Les données publiées dans cet Etat des forêts méditerranéennes montrent bien que le changement climatique est déjà une réalité dans la région. Au cours du XX^{ème} siècle, les températures ont déjà augmenté en moyenne de plus de 1°C sous l'effet du changement climatique, et la tendance s'est visiblement accélérée depuis les années 1970. Le même constat s'impose dans les territoires méditerranéens d'Afrique du Nord. Dans certaines régions du Sud et de l'Est du bassin méditerranéen, on a aussi observé un recul des précipitations qui peut aller jusqu'à 20%. Les changements climatiques en cours devraient se poursuivre et s'intensifier durant les prochaines décennies dans toute la région avec, à l'horizon 2100, des températures qui devraient augmenter en moyenne de 2°C à 4°C et des

précipitations qui pourraient diminuer de 4% à 30%, tandis que le niveau de la mer s'élèvera probablement de 18 à 59 cm. Les pays méditerranéens sont particulièrement vulnérables aux effets du changement climatique, en raison notamment de la dégradation continue de leurs ressources en eau (surexploitation, pollution, salinisation, baisse des précipitations) et de l'augmentation de la demande en eau des secteurs agricole, urbain et énergétique.

Selon les scénarios climatiques envisagés, les disponibilités en eau de certains pays du Sud et de l'Est de la méditerranée pourraient être divisées par quatre sous l'effet du recul des précipitations moyennes. L'accroissement de la variabilité spatiale et temporelle de la distribution des précipitations conduira à une augmentation des phénomènes climatiques extrêmes (inondations, canicules, sécheresses, etc.) et des risques qui leur sont associés en matière de pertes humaines et économiques. Les effets du changement climatique, observés et prévus, en particulier l'augmentation du nombre de ces phénomènes climatiques et météorologiques extrêmes, sont porteurs de menaces et de risques nouveaux qui vont accentuer les pressions existantes, la dégradation de l'environnement et la vulnérabilité des écosystèmes et des populations méditerranéennes. En conséquence, l'environnement méditerranéen va subir des modifications profondes, parfois irréversibles, particulièrement dans les écosystèmes forestiers situés à la limite de l'aire de répartition écologique de leurs espèces dominantes (FAO, 2013).

La forêt joue un rôle extrêmement important dans le cycle du carbone (Nabuurs et *al.*, 2007). Elles assurent près de 80 pour cent de l'échange annuel de carbone entre la terre et l'atmosphère; environ 17 pour cent de la totalité des émissions de gaz à effet de serre résultent de la déforestation et de la dégradation des forêts. Les plantations ou l'extension des forêts permettent de créer des réserves de carbone (IUCN, 2007). Outre le stockage de carbone, les forêts contribuent à l'atténuation des effets du changement climatique en fournissant une source d'énergie renouvelable et des produits forestiers durables. Les forêts des zones arides de l'Afrique ne contribuent pas seulement au bien-être des populations africaines, mais également à l'atténuation des retombées du changement climatique à l'échelle mondiale. Elles sont toutefois vulnérables à la variabilité et aux changements climatiques. Selon le quatrième rapport d'évaluation (AR4) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), les émissions mondiales de gaz à effet de serre continueront d'augmenter au cours des prochaines décennies et les incidences éventuelles du changement climatique risquent d'être plus prononcées en Afrique que sur d'autres continents, ce qui pourrait accentuer, par exemple, des conditions climatiques extrêmes (sécheresse, crues soudaines et inondations côtières, feux de brousse). L'Afrique du Nord et du Sud pourraient être

confrontées au stress hydrique. D'après le rapport AR4, le changement climatique pourrait induire une contraction des superficies forestières tropicales en Afrique. D'autres études concluent que la productivité forestière et la biomasse totale pourraient diminuer dans de nombreuses régions d'Afrique, telles que la ceinture de gomme au Soudan (Seppälä et al., 2009). Il est indispensable de procéder à des évaluations approfondies et de surveiller les écosystèmes forestiers des terres arides de l'Afrique subsaharienne et leur vulnérabilité au changement climatique. Il est également nécessaire de développer et de promouvoir des options d'adaptation pour les forêts, ainsi que de formuler des lignes directrices pour la région afin de renforcer les capacités d'adaptation des populations humaines. De récentes études conduites à l'échelle nationale, régionale et mondiale ont estimé le potentiel d'atténuation (superficies, avantages en terme de carbone et coûts) lié à la diminution de la déforestation tropicale. Selon Jung (2005), à court terme (de 2008 à 2012), la diminution de la déforestation représentera 93 pour cent du potentiel total d'atténuation dans les régions tropicales. La réduction de la déforestation pourrait donc être une option d'atténuation viable dans les régions tropicales et outre d'importants gains en termes de carbone, procurerait plusieurs avantages environnementaux et d'autre nature. D'après Chomitz et al., (2006), la mise en œuvre réussie des activités d'atténuation et le renversement de la tendance à la perte des forêts seront conditionnés par une bonne compréhension des causes fondamentales de la déforestation, qui sont multiples et ancrées au niveau local. Murdiyarso et al., (2005) considèrent que la meilleure option d'atténuation possible pour les régions tropicales est de réduire la déforestation, ce qui permettra de diminuer la pression exercée sur les ressources naturelles. Les mécanismes REDD (Réduction des Émissions dues à la Déforestation et à la Dégradation des Forêts), en cours de négociation, pourraient fournir des incitations à réduire les émissions de carbone issues des forêts. Certains pays d'Afrique subsaharienne commencent déjà à mettre en œuvre des activités de préparation au programme REDD et élaborent des stratégies nationales pour un cadre REDD.

Aujourd'hui, Selon une définition bioclimatique des forêts méditerranéennes, la région Méditerranée comprend plus de 25 millions d'ha de forêts et environ 50 millions d'ha d'autres terres boisées. Ces surfaces contribuent fortement au développement rural, à la réduction de la pauvreté, à la sécurité alimentaire ainsi qu'aux secteurs de l'agriculture, de l'eau, du tourisme et de l'énergie mais aussi au bien-être humain de manière générale (FAO, 2018). Les changements climatiques, sociétaux et de style de vie en région méditerranéenne pourraient avoir des conséquences graves sur les forêts, pouvant provoquer la perte ou la réduction de leurs contributions et causer de nombreux problèmes économiques, sociaux et

environnementaux. Il est donc primordial de faire évoluer les politiques et les pratiques de gestion pour que non seulement elles fournissent des bénéfices socioéconomiques, mais aussi qu'elles contribuent à une meilleure résilience des écosystèmes et des sociétés.

I.2.5. Structure et organisation des forêts méditerranéennes

Les forêts méditerranéennes couvrent environ 81million d'hectares (9.4% de la superficie forestière mondiale) et sont constituées d'une mosaïque d'essences forestières, principalement des feuillus (environ 60%) (Mugnossa et *al.*, 2000). Certaines ont une importance écologique fondamentale, c'est le cas des subéraies qui occupent 2.7 million d'hectare : 33% au Portugal, 23% en Espagne, 15% en Maroc, 10% en Italie, 3% en Tunisie, 1% France, en Algérie on compte 21% de ce patrimoine. Ces forêts produisent une grande quantité de liège (environ 300 million de Kg par an) dont 87% vient d'Europe (55% Portugal, 28% Espagne, 1% France, et 3% en Italie) et le reste d'Afrique de nord (4% du Maroc, 6% d'Algérie, 3% Tunisie) (Lopes, 1996).

Le caractère particulier des forêts méditerranéennes est en rapport, d'une part avec leur grande hétérogénéité biogéographique, historique, climatique et physionomique et, d'autre part avec leur instabilité et leur vulnérabilité liées à la fois à l'environnement méditerranéen et à l'activité humaine. Les écosystèmes forestiers sont répartis en différents groupes de végétation (Quézel, 1976) comme suit:

- la brousse thermophile à oléastre et pistachier;
- les forêts de conifères méditerranéens de pin d'Alep, pin Brutia, pin maritime, pin pignon, thuya de Berbérie et genévrier de Phénicie;
- la forêt sclérophylle de chênes à feuilles persistantes: chêne vert, chêne-liège, chêne Kermès, etc.;
- les forêts caducifoliées de chêne zeen, de chêne afarès, de chêne du Liban, de chêne tauzin, de charme, de frêne et rarement de hêtre;
- les forêts de montagne ou de haute altitude, de cèdres, de pins noirs et de sapins;
- les peuplements arborés de l'étage oroméditerranéen de genévriers arborescents et de xérophytes épineux.

Dans les écosystèmes arides de steppe et de désert, la végétation naturelle est en général basse et clairsemée en raison de l'insuffisance ou de l'irrégularité des précipitations et de la faiblesse de l'humidité relative. Les steppes arides correspondent à des pluviosités comprises entre 100 mm et 400 mm, produisant parfois des peuplements, des forêts ou de la brousse, ou le plus souvent de la steppe stricto sensu. Les paysages caractéristiques de ces bioclimats arides sont:

i) forêt ou brousse à arganier; ii) brousse à pistachier atlantique et jujubier; iii) brousse à acacia; et iv) steppes à graminée (alfa), à suffrutex (armoïse et salsolacées). Ces steppes sont essentiellement utilisées pour le pâturage ovin. Le désert occupe dans la région les plus grandes étendues de terres et les écosystèmes les plus caractéristiques de ces milieux sont en rapport avec le substrat sableux. Ils s'organisent aussi en plusieurs communautés végétales susceptibles de jouer un rôle fondamental dans la lutte contre le processus d'ensablement.

I.2.6. Situation actuelle et l'avenir des forêts méditerranéennes

Les forêts ont toujours jouées un rôle important dans le développement des populations méditerranéennes. Depuis toujours les forêts méditerranéennes ont été exploitées pour leurs différents usages et appréciées pour les multiples biens et services qu'elles procurent à ces populations. Cependant, la surexploitation se traduit par des impacts négatifs sur l'environnement et est responsable aujourd'hui de dégradations des forêts dans de nombreux espaces méditerranéens. Des situations différentes caractérisent la région méditerranéenne: au Nord, les écosystèmes forestiers sont souvent inexploités, alors qu'au Sud et à l'Est, les pressions anthropiques contribuent à la dégradation des espaces boisés. Ces situations contrastées accroissent les menaces sur les bénéfices que les forêts procurent aux populations et elles requièrent de nouvelles stratégies pour gérer durablement ces écosystèmes fragiles (FAO, 2013).

Dans la région méditerranéenne, l'utilisation séculaire des terres a donné lieu à des conflits divers entre agriculture et foresterie: défrichement des terres boisées, surpâturage, désertification des zones sèches et érosion des bassins versants dans les zones montagneuses. Et, à présent, le tourisme affecte aussi le paysage. Les facteurs humains à l'origine des dégradations et du déboisement sont nombreux et peuvent paraître contradictoires: expansion des superficies cultivées et pressions grandissantes sur les forêts pour le bois de feu et les pâturages à l'est et au sud de la méditerranée; abandon du pâturage en forêt; abandon de l'agriculture; augmentation du tourisme; spéculation foncière par les promoteurs du tourisme et les constructeurs dans le nord. Les forêts méditerranéennes se sont réduites en superficie et se sont appauvries en biomasse et en biodiversité. Il y a une trentaine d'années, les terres forestières de la région étaient estimées à 85 millions d'hectares, avec 20 millions d'hectares couverts effectivement de forêts. L'évaluation FAO de 1980 sur les ressources forestières fixe à 81 millions d'hectares les superficies forestières. Le taux annuel de déforestation entre 1981 et 1990 en Afrique du Nord et au Proche-Orient a été de l'ordre de 114 000 ha (FAO, 1994), soit 1,1%, alors qu'il ne dépasse guère 0,8 % dans les pays tropicaux. La disparition dans la

région de nombreux écosystèmes et espèces est devenue une préoccupation majeure. La désertification dans le sud et l'est et la dégradation des peuplements existants ont appauvri le patrimoine génétique. On estime à 3 738 les espèces endémiques rares, vulnérables ou menacées sur les 5 551 recensées. Ramade (1991) consacre tout un chapitre aux écosystèmes et au patrimoine génétique menacés de la région. Cette situation a été si largement décrite et analysée (Tomaselli, 1976; Nahal, 1984; Benabid, 1985; Le Houérou, 1988; Marchand, 1990; FAO, 1993; M'Hirit et Maghnouj, 1994; Skouri, 1994) qu'il n'est point nécessaire d'y revenir. Il sera plus utile d'identifier les contraintes sur les forêts méditerranéennes, en expliquant pour quelle raison leur gestion est loin d'être optimale. Les principales contraintes concernent les difficultés de régénération, la valeur économique des forêts, les incendies et les dépérissements. Les difficultés de régénération naturelle des forêts et leur disparition progressive ne peuvent être ignorées. La pression anthropique dans les pays à forte dynamique démographique constitue malheureusement un véritable obstacle à la pratique d'une sylviculture rationnelle. Les facteurs en cause sont le surpâturage, la sur exploitation du bois (surtout bois de feu) et l'utilisation des forêts comme réserve de terres de culture. Ces phénomènes reflètent des politiques agricoles et forestières incorrectes: en effet, la forêt n'est pas suffisamment intégrée dans le développement rural et les modes de faire valoir des terres ainsi que les méthodes de gestion n'incitent point les populations locales à contribuer à une gestion plus durable de leurs forêts. Lorsqu'elle est évaluée sur la seule base de la production ligneuse (y compris la production de liège), la valeur économique des forêts méditerranéennes est généralement faible, vu la productivité assez basse de ces écosystèmes. Les transactions concernant d'autres produits forestiers commercialisables (chasse, plantes aromatiques ou médicinales, gomme, ressources fourragères, miel, etc.), ne font pas toujours l'objet d'un contrôle officiel. Les rôles non commercialisables des forêts - réservoir de biodiversité, protection des ressources en eaux douces, conservation des sols, valeur récréative (y compris l'importance du paysage), écotourisme, etc. - sont d'une importance majeure dans la région, mais comment peuvent-ils être quantifiés pour justifier et dégager les moyens financiers permettant d'assurer une gestion forestière orientée vers le maintien de cet héritage ? (M'Hirit, 1999).

En 2010, la surface forestière des pays méditerranéens s'élevait à 85 millions d'hectares, représentant environ deux pour cent de la surface forestière mondiale (4 033 millions d'hectares). Les surfaces forestières sont inégalement distribuées autour du bassin méditerranéen avec des différences significatives entre les pays. Les autres terres boisées représentent seulement 4 pour cent de la surface totale des terres dans les pays du pourtour de

la Méditerranée. Comme les conditions climatiques et édaphiques du Sud de la Méditerranée favorisent la végétation buissonnante, les autres terres boisées représentent respectivement 20 pour cent, Au cours des vingt dernières années, les surfaces forestières dans les pays du pourtour de la Méditerranée ont augmenté de près de 12 millions d'hectares. En moyenne elles se sont accrues de 0.68 pour cent par an. A l'exception de l'Albanie, de l'Algérie, de la Bosnie-Herzégovine qui présente des épisodes de diminutions du couvert forestier les pays du pourtour de la Méditerranée ont continuellement accru leurs surfaces forestières. Ces changements sont principalement liés à l'accroissement naturel des forêts, aux boisements et aux reboisements (FAO, 2010).

I.3. Les forêts en Algérie

La forêt algérienne présente un élément essentiel de l'équilibre écologique, climatique et socio-économique (Berchiche, 1986). Le couvert végétal global en Algérie est de 4,1 millions d'hectares soit un taux de boisement de 16,4 % du Nord de l'Algérie. Néanmoins seuls 1,3 millions d'hectares qui représentent véritablement la forêt. A l'instar des pays du pourtour méditerranéen, l'Algérie assiste à une dégradation intense de son patrimoine forestier. Sa situation actuelle se présente comme l'une des plus critiques dans la région méditerranéenne (Ikermoud, 2000). En effet, la persistance des facteurs destructifs tels que les incendies, le surpâturage, les défrichements et les attaques parasitaires, ne fait qu'accentuer le processus de dégradation du système forestier en place. Cette situation a poussé un nombre de chercheurs nationaux et internationaux de conduire des travaux portant sur la répartition, l'écologie des formations forestières, le climat, les sols, la biodiversité, les caractéristiques phytosociologiques, la sylviculture, les reboisements et les aménagements. Tous ces aspects ont été pleinement explorés et ont donné naissance à des centaines de travaux et de publications. Nous citerons à titre d'exemple les travaux de Boudy (1955); Killian (1961); Quezel et Santa (1962); Ozenda (1977); Abdessemed (1981, 1985) ; Gaouar (1980) ; Benabdeli (1983,1996, 1998) ; Kadik (1987) ; Quezel et Barbero (1989) ; Letreuch Belarouci. (1991, 1995) ; Dahmani (1997) ; Mezali (2003).

I.3.1. Aperçue historique

La forêt algérienne a subi, depuis longtemps, d'importantes dégradations aboutissant parfois à la disparition de l'état boisé sur de vastes régions et provoquant des déséquilibres souvent graves du milieu naturel. La forêt algérienne a été le théâtre de luttes continues à travers les différentes occupations successives qu'a connus le pays ; les invasions ont ravagé la zone côtière et les superficies boisées riche et dense deviennent désormais clairsemé et

dégradé. Au moyen-âge, aux dires des historiens, on pouvait traverser le pays de part en part, à l'ombre des arbres (Ouelmouhoub, 2005).

De 1830 à 1930 la déforestation liée à la conquête coloniale, a été suivie d'une extension des terres agricoles au détriment exclusif des formations forestières en équilibres. Les besoins en bois ont été satisfaits par le biais de défrichements alarmants permettant en même temps l'installation massive des colons (Benabdli, 1996). De plus, de grands incendies ravageurs provoqués par la révolte d'Ahmed Bey en 1863, ont affecté les massifs constantinois où furent détruits près de 170 000 ha de chêne liège (Ouelmouhoub, 2005).

De 1939 à 1946, les besoins en bois de chauffage dans le continent s'accroissaient durant la deuxième guerre mondiale et toutes les forêts vont subir la plus intense exploitation de leur histoire. Les conséquences de cette surexploitation se font sentir encore de nos jours car toute la structure de la végétation et la physionomie des formations et des peuplements ont été perturbées en plus du défrichement (Benabdli, 1996). La demande accrue en produits ligneux, particulièrement durant cette période, par les colons était telle qu'elle dépassait largement la capacité productive des forêts. Ceci a provoqué la disparition de plus d'un million d'hectare de forêts (Boudy, 1955).

A l'indépendance, l'Algérie a hérité d'une forêt dégradée, délaissée et désorganisée. Son rôle économique et social était négligé. Cette grave situation exigeait un redressement urgent du secteur forestier sur un long terme. En effet, l'Algérie mène une politique forestière en prenant compte les multiples rôles que peut jouer la forêt : protection, production et promotion sociale pour l'intégrer dans un plan global de développement économique et social. De 1984 à 1988, période de réorganisation et de restructuration du secteur forestier dont la résultante s'est limitée à une redynamisation de l'exploitation forestière pour répondre aux besoins en bois de l'industrie. Les études sur lesquelles se basaient les interventions étaient en somme toutes dépassées, certaines n'étaient appliquées que partiellement. Jamais la dégradation officielle des forêts n'a été aussi importante, c'est l'ère d'entrée de la forêt algérienne dans l'économie du pays en livrant à l'industrie du bois plus de 100.000 tonnes. (Benabdli, 1996).

De 1988 à 2002, l'extension de la céréaliculture au dépend des espaces boisés et le surpâturage ont souvent contribué à la disparition de la forêt sur pente en favorisant l'érosion et entravant ainsi toute possibilité de reconstitution forestière. Les incendies répétés, pratiqués dans le but d'utilisation agricole et pastorale (Madoui, 2002), suivis le plus souvent par le pâturage ont anéanti toute la forêt algérienne en empêchant sa régénération et par conséquent la dénudation des superficies considérables qui autrefois étaient verdoyantes. Ces facteurs ont

provoqué une réduction certaine de la superficie boisée et une inquiétude pour celles qui n'arrivent plus à se régénérer et sont voués à la disparition.

Actuellement des forêts denses et riches ont progressivement disparu ou laissé place à des peuplements clairsemés, des maquis ou des garrigues. Aujourd'hui, notre patrimoine forestier est constitué, dans le meilleur des cas, de 65% de massifs dégradés. Le cycle d'évolution régressive en cours est dû essentiellement aux incendies et au pacage anarchique, parfois les deux. Ce cycle est généralisé mais s'exerce cependant avec plus d'effets, vu leur abandon et leur fragilité, sur les forêts déjà ruinées avec pour corollaire leur disparition pure et simple à terme et ce que cela signifie comme perte irrémédiable de sol utile et d'ambiance forestière de reconstitution difficile sinon impossible. Les incendies et surtout le pacage incontrôlé qui tasse le sol, asphyxie les racines et annule toute régénération réduisant jour après jour leurs chances de maintien. Malgré le risque d'extinction qui pèse sur eux, ces massifs dégradés ne suscitent pas l'intérêt et l'attention qui devraient leur être portés. Depuis l'indépendance, d'énormes efforts financiers ont été consentis en direction du secteur. Plus d'un million deux cent mille hectares ont été reboisés. Pourtant, le recul et la dépréciation de la couverture forestière continuent inexorablement. Nous sommes dans la situation où les efforts consacrés d'un côté sont annulés de l'autre, mais à plus large échelle, à la mesure de l'importance des étendues forestières concernées et du niveau de pression qui s'y exerce (Abdelmoumène, 2009)

La forêt algérienne apparaît comme une formation végétale dont les arbres sont en état de lutte continuelle contre la sécheresse (plusieurs mois secs consécutifs durant l'été). Compte tenu de tous les éléments historiques qui la marquèrent et des pressions qu'exercent sans cesse sur elle, l'homme et son bétail, la forêt semble glisser rapidement sur la voie d'une dégradation progressive des essences principales et de son remplacement par le maquis et les broussailles dont le rôle reste néanmoins extrêmement important pour le contrôle et la fixation des sols en terrain à forte déclivité.

I.3.2. Profil forestier de l'Algérie

La superficie du patrimoine forestier national Algérien a augmenté à 4,1 millions d'hectares (ha) actuellement contre 3 millions ha en 1962, grâce aux efforts de reboisement et de régénération, a indiqué mardi la Direction générale des forêts (DGF). Les 4,1 millions ha de patrimoine forestier se compose de 1,42 million ha de forêts, de 2,41 million ha de maquis et de 280.000 ha de jeunes reboisements. Les principales espèces d'arbres qui le composent sont le pin d'Alep (69,2%) et le chêne liège (20,8%). Sur des superficies moins importantes,

l'on retrouve essentiellement le cèdre, le pin maritime, les chênes (vert, Zeen et Afares), le thuya et l'eucalyptus, néanmoins chaque année environ 36 000 ha sont parcourus par les incendies. La forêt algérienne est directement liée au climat méditerranéen qui caractérise tout le nord de l'Algérie. Ces forêts sont hétérogènes et inégalement réparties en fonction de la distribution des méso-climats, de l'orographie et de l'action anthropique. Les caractères du milieu confèrent à la forêt une vulnérabilité et une fragilité accentuées par une exploitation qui dure depuis quelques millénaires (DGF, 2018).

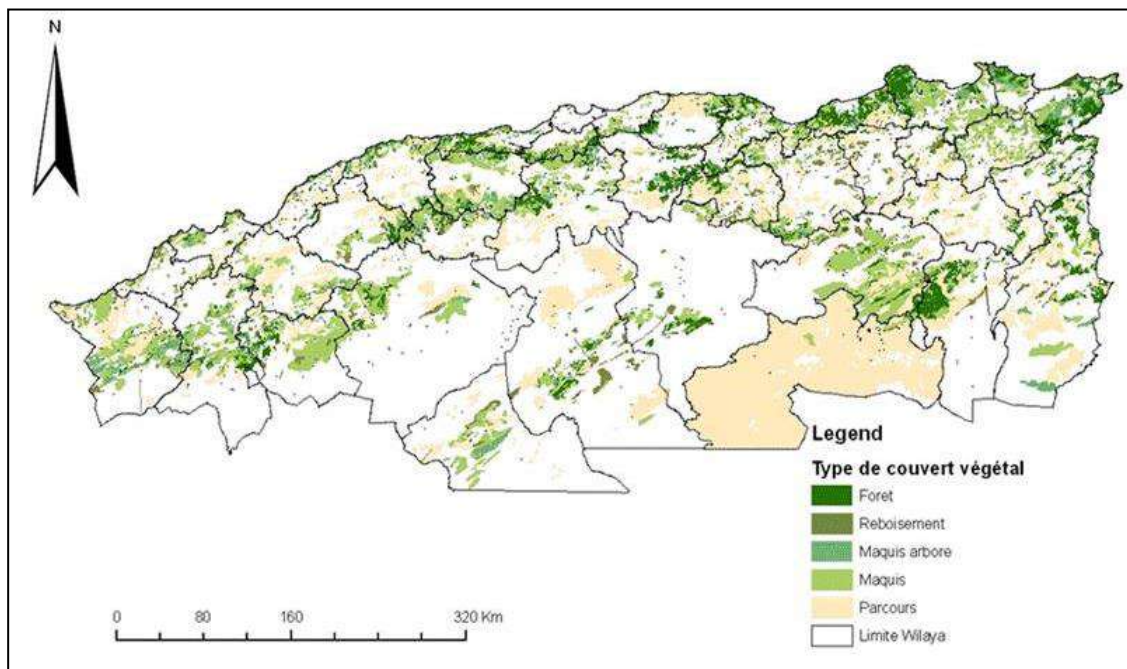


Figure 03 : Répartition des forêts en Algérie du Nord (DGF, 2018).

Les forêts climatiques sont assez réduites, de grandes superficies sont remplacées par des formations de dégradation telles que les maquis, les garrigues, les broussailles et les pelouses (Figure 03). La dégradation ancienne de la forêt a entraîné un déséquilibre important entre les superficies existantes et les superficies potentielles (Arfa et *al.*, 2009).

Sur les 48 wilayas que compte l'Algérie, 40 disposent d'une couverture forestière, les huit wilayas du Sud sont dépourvues de forêts. La wilaya d'El Tarf dispose du taux de couverture forestière le plus élevé (57,51%), alors que pour la wilaya de Naâma le taux de couverture n'est que de 0,36%. En ce qui concerne la superficie forestière c'est la wilaya de Batna qui dispose de la plus grande superficie avec 314 565 ha, la plus petite superficie revient à la wilaya d'Alger (5000 ha) (Arfa et *al.*, 2007). Cette répartition s'explique en grande partie par le climat, en effet les massifs littoraux du nord-est, les plus humides, sont aussi les régions les plus forestières. Les 4.1 millions d'hectares de couverture forestière ne représentent qu'un taux

de boisement de 10.89% en ne considérant que le nord du pays, et seulement 1.72% si l'on prend en ligne de compte tout le territoire national. Dans les deux cas, cette couverture forestière est nettement insuffisante en comparaison au taux de 25%, mondialement admis (Merzag et Ziane, 2013). Le tableau 02, nous donne un aperçu sur les superficies qu'occupent les principales essences des forêts algériennes.

Tableau 02: Principales essences des forêts algériennes (DGF, 2017)

Essences	Superficie (ha)
Pin d'Alep	1 145 464
Chêne liège	345 285
Chêne vert	102 547
Chêne Zeen et Chêne Afares	43 922
Eucalyptus	30 318
Pin maritime	19 476
Cèdre	33 522
Autres (Thuya + Genévrier + Frêne)	39 243
Maquis et broussailles	2 413 000

I.3.3. Situation actuelle des forêts en Algérie

La forêt algérienne apparaît comme une formation végétale dont les arbres sont en état de lutte continuelle contre les facteurs de dégradation. Compte tenu de tous les éléments historiques qui la marquèrent et des pressions anthropiques exercées sans cesse sur elle, la forêt semble glisser rapidement sur la voie d'une dégradation progressive des essences principales et son remplacement par le maquis et les broussailles. C'est pourquoi elle est clairsemée en formation ouverte, entrecoupée par de nombreux vides et les forêts méritant leur appellation sont plutôt rares (FAO, 2000).

Des forêts jadis denses et riches ont progressivement disparu ou laissé place à des peuplements clairsemés, des maquis ou des garrigues. Aujourd'hui, notre patrimoine forestier est constitué, dans le meilleur des cas, de 65% de massifs dégradés. Le cycle d'évolution régressive en cours est dû essentiellement aux incendies et au pacage anarchique, parfois les deux. Ce cycle est généralisé mais s'exerce cependant avec plus d'effets, vu leur abandon et leur fragilité, sur les forêts déjà ruinées avec pour corollaire leur disparition pure et simple à terme et ce que cela signifie comme perte irrémédiable de sol utile et d'ambiance forestière de

reconstitution difficile sinon impossible. Des massifs de thuya, de chênes verts, de genévriers ont ainsi disparu ou tendent à l'être. De vastes étendues de maquis à base de lentisques, de filaires, de chênes kermès, d'arbousiers s'éclaircissent et jouent de moins en moins leur rôle de protection des sols et de régulation du régime hydrique. Les incendies et surtout le pacage incontrôlé qui tasse le sol, asphyxie les racines et annule toute régénération réduisant jour après jour leurs chances de maintien (Yanis, 2009).

Malgré le risque d'extinction qui pèse sur eux, ces massifs dégradés ne suscitent pas l'intérêt et l'attention qui devraient leur être portés. Ils ont trop longtemps été et continuent à être considérés comme de simples zones de parcours non réglementées, des *no man's land* ne pouvant postuler à aucune fonction et n'exigeant aucune intervention mis à part leur reboisement dans la limite des moyens. Il est pourtant évident que ces forêts ruinées sont le flanc vulnérable par lequel notre patrimoine perd du terrain et ouvre la voie à la désertification du nord du pays. Les superficies concernées sont immenses, se chiffrant en millions d'hectares, et les actions classiques de reboisement, coûteuses s'il en est, n'arriveront jamais à remplacer la couverture forestière progressivement ruinée ou perdue par ailleurs. En effet, depuis l'indépendance, d'énormes efforts financiers ont été consentis en direction du secteur. Plus d'un million deux cent mille hectares ont été reboisés, entre autres. Pourtant, le recul et la dépréciation de la couverture forestière continuent inexorablement. Nous sommes dans la situation où les efforts consacrés d'un côté sont annulés de l'autre, mais à plus large échelle, à la mesure de l'importance des étendues forestières concernées et du niveau de pression qui s'y exerce. La proportion qu'occupe en Algérie la couverture forestière est à l'heure actuelle déjà bien insuffisante pour que nous acceptions le risque de la voir encore se réduire dans les décades à venir (Yanis, 2009).

I.3.4. Facteur de dégradation de la forêt en Algérie

La destruction progressive des couverts forestiers est liée à des facteurs anthropiques, quelquefois naturels (pathogènes) et ce, malgré la réalisation d'importants programmes forestiers. L'état des forêts est très variable mais, de manière générale, les espèces nobles régressent par rapport aux espèces rustiques. En 1997, la surface boisée globale était de 3.970.000 hectares. La surface détruite entre 1955 et 1997 est de 1.030.000 hectares (soit 24.000 ha/an). Le taux de déforestation est de 21% en 42 ans, et c'est surtout la forêt en bon état qui disparaît (58% en 42 ans).

La forêt est remplacée par des broussailles et des reboisements qui présentent des signes de dégradation plus ou moins récents (PNAE-DD, 2002). Malgré un effort important de

reboisement au cours des deux dernières décennies, l'occurrence des feux de forêts, la pression forte des populations limitrophes des forêts, l'apparition de chenilles processionnaires, particulièrement résistantes aux traitements chimiques, font que la surface forestière n'a pas changé en étendue. Ce qui constitue en soi un grand handicap pour la conservation des sols, la lutte contre l'érosion et la désertification, la protection des barrages et le développement des ressources en matière de sylviculture. La superficie forestière est aujourd'hui estimée à 2.300.000 ha (Benderradji et *al.*, 2006). Ce qui représente le tiers de l'aire géoclimatique évaluée à 7.000.000 ha. Les facteurs contribuant à la déforestation sont les suivants :

- **Les incendies**

L'incendie représente sans aucun doute le facteur de dégradation le plus ravageur de la forêt en Algérie (Meddour et *al.*, 2008) puisqu'en moyenne, annuellement plus de 30.000 hectares au moins sont saccagés. Face à cette situation, il est impossible de rester indifférent à cette éradication de la couverture végétale qui risque de menacer l'équilibre écologique du pays (Missoumi et *al.*, 2002 ; Borsali, 2013).

De 1985 à 1994, 920.000 ha de couverts forestiers ont brûlé, en 2017 environ 53975 ha était brûlé (Figure.4), dont 477.629 ha en dix ans (301.780 ha de forêts, 91.566 ha de maquis et 82.746 ha de broussailles). Malgré les capacités de régénération de la forêt, les incendies représentent un véritable fléau auquel très peu d'espèces peuvent résister.

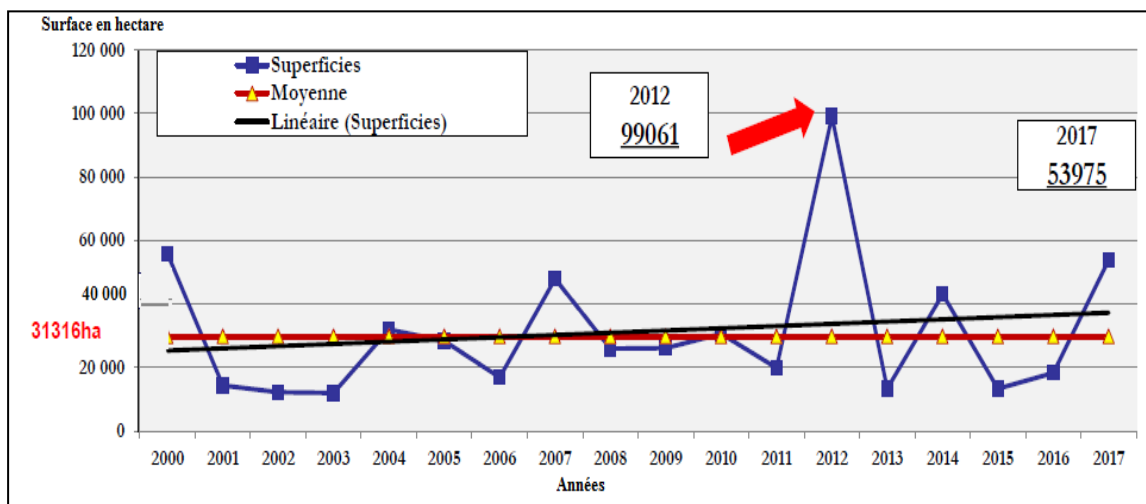


Figure 04 : Bilan des feux de forêts 2000 - 2017 (DGF, 2018).

- ***Le pâturage et le surpâturage***

Le pâturage est une activité souhaitée en forêt, car le bétail participe au contrôle de l'évolution de la strate arbustive et herbacée, hautement inflammable (Le Houérou, 1980). Le surpâturage est un broutage excessif de la végétation qui épuise les ressources disponibles, dégrade les parcours et les soumet à l'érosion et la désertification. Le surpâturage est dû à l'accroissement du cheptel lié à une réduction de l'offre fourragère. L'impact du surpâturage sur la végétation est important aussi bien sur le plan qualitatif que quantitatif (Belhacini, 2011). Le surpâturage La forêt sert de parcours permanent pendant la saison des neiges pour les éleveurs du Nord. Elle est aussi terre de transhumance pour les troupeaux steppiques. On dénombre en forêt 960.000 bovins, 600.000 caprins et 4,2 millions d'ovins. Des études montrent que la charge pastorale est au moins quatre fois supérieure aux capacités d'équilibre.

L'élevage bovin reste le plus pratiqué dans les zones montagneuses. En 1997, Ghazi et Lahouati, signalent que sur 12 000 000 têtes de moutons, 80% se retrouvent dans les zones forestières montagneuses. Rappelons que le pâturage dans le domaine forestier national est interdit dans les jeunes reboisements, les zones incendiées, les régénérations naturelles et les aires protégées.

- ***Les défrichements et Coupe de bois***

Les défrichements existé depuis la période romaine, ils ont augmenté pendant la colonisation française et continuent de se pratiquer à se jour. De 1893 à 1941, le domaine forestier a perdu 116 000 ha de forêts au profit des cultures coloniales. L'extension de l'agriculture coloniale sur les plaines et les bas versants a entraîné le refoulement des paysans pauvres sur les piémonts aux abords des forêts. Présentement, les populations montagnardes, privées de surface agricole, continuent à procéder au labour dans les différents niveaux de la forêt : lisières, clairières, sommet de montagnes (Ferka Zazou, 2006). La coupe est considérée comme un facteur de dégradation, avec des prélèvements de plus en plus importants qui touche toutes les catégories de bois dans leurs diamètres.

Les coupes de bois Suite à la hausse du prix du bois, les coupes illicites de bois de chauffage, de bois d'œuvre pour la construction et de bois d'ébénisterie (cèdre, chêne, orme, frêne, etc.) sont en augmentation. Ces coupes touchent les arbres ayant les meilleures caractéristiques phénotypiques et génétiques et éliminent les meilleurs porteurs de graines.

- **Les insectes ravageurs**

Certaines espèces d'insectes causent des dégâts permanents ou occasionnels sur les essences naturelles ou introduites, affectant le développement naturel des arbres et diminuant leur valeur commerciale. D'importantes infestations ont été signalées pour les plantations d'Eucalyptus par le *Phoracanta semi punctata*, le Pin maritime par la chenille processionnaire *Thaumetopoea pityocampa* et le Chêne liège par *Lymantria dispar* (Tableau 03). Ces ravageurs s'attaquent principalement aux arbres déjà affaiblis par la sécheresse.

Tableau 03 : Principaux insectes ravageurs dans la forêt Algérienne (Benyacoub *et al.*, 1998)

Essence	Ravageur	Effet
Pins	<i>Thaumetopoea pityocampa</i> <i>Scolytidés</i>	Défoliateur Xylophage
Chênes	<i>Lymantria dispar</i> <i>Cerambyx cerdo</i> <i>Cynips frolii</i>	Défoliateur Attaque les glands Gale du chêne zeen
Eucalyptus	<i>Phoracanta semi punctata</i>	Xylophage

- **Erosion et dégradation des sols**

L'érosion des sols est un phénomène complexe qui combine la dégradation de leurs couches superficielles et le déplacement des matériaux les constituant. C'est une préoccupation constante des forestiers, notamment dans la gestion de forêts créées ou reconstituées pour la limiter (Vennetier *et al.*, 2014).

On considère que plus de 12 millions d'ha sont soumis à l'action de l'érosion hydrique ; le climat, la pente, la nature lithologique et le manque de couverture végétale expliquent que près de 2000 à 4000 t/km² /an de sédiments sont arrachés des bassins versants de l'Atlas tellien (Roose *et al.*, 1993), un taux d'érosion spécifique des bassins versant parmi les plus élevée du monde (Demmak, 1982), l'envasement des barrages on est la conséquence direct où le taux d'envasement des barrages en Algérie est supérieur à 50% en zones arides et de 30 à 40% en zones telliennes avec une durée de vie de nos barrages qui ne dépassant guère trente à cinquante ans (Roose *et al.*, 1993).

En Algérie, le taux d'érosion dépasse 2000 t/km²/an sur la plupart des bassins versants de l'Atlas Telien (Rhiau, Sly, Fodda, Mazafran, Isser). Il atteint 4000 t/km² /an sur la chaîne côtière de Dahra, et 5000 t/km² /an sur le bassin très dégradé de l'Oued Agrioum (Demmak

,1982). Tous ce matériel érodé est transporté plus ou moins rapidement jusqu'aux cours d'eau. Il comprend des particules fines en suspension, des sédiments grossiers charriés, et de la matière dissoute. Ce sont les crues d'automne qui causent le plus d'érosion. L'Algérie est classée parmi les pays aux sols les plus érodibles du monde. On compte en moyenne annuellement entre 1 et 2 millions de m³ le volume de sédiments arraché au bassin et déposé en mer pour les seuls bassins tributaires de la Méditerranée (Demmak ,1982).

Chapitre II

Le sol, élément majeur pour les forêts.

Le sol, élément majeur pour les forêts

II.1. Généralités

Le sol est un composant important de l'environnement car il constitue le support direct de nombreuses activités humaines et de la plupart des écosystèmes continentaux. Il est un corps naturel dans lequel se rencontrent la lithosphère, la biosphère, l'atmosphère et de l'hydrosphère. Ses nombreux services et fonctions écologiques subissent de nombreuses pressions et se trouvent menacés principalement par les activités humaines. Les caractéristiques et les propriétés des sols évoluent sous l'effet des processus naturels et anthropiques (Jolivet et *al.*, 2006). L'étude du sol et ses propriétés s'intéresse à la science qu'on appelle la pédologie ; elle est définie autant comme la science qui quantifie la répartition, la morphologie, la genèse et la classification des sols en tant que corps naturel du paysage (Simonson, 1991). Un grand nombre de problèmes se posent quand on envisage l'utilisation rationnelle des terres. Il est bien évident que pour les résoudre, une connaissance aussi complète que possible des propriétés des sols est indispensable. Chaque type de sols doit donc faire l'objet d'une caractérisation précise et détaillée, tant en ce qui concerne ces caractères morphologique que ces propriétés physiques et chimiques et son comportement (Duchaufour, 1979).

Le sol constitue le support de la majorité des activités humaines et de la vie biologique terrestre. A l'interface avec les autres compartiments de l'environnement que sont l'eau, l'air et la biosphère, c'est un milieu mal connu, au fonctionnement complexe. Terre nourricière, le rôle alimentaire des sols est le plus anciennement dévolu, avec celui de production de matériaux. Ils assurent aussi un ensemble de fonctions environnementales dont les services d'épuration vis-à-vis des pollutions et de régulation hydrique. Pour comprendre quels sont les services offerts par les sols à nos sociétés, il est indispensable de comprendre comment fonctionne l'écosystème sol. C'est probablement un des milieux de l'environnement le plus difficile à connaître, et qui nécessite des connaissances. C'est un milieu vivant, complexe et sensible aux contraintes. Cette ressource peut être altérée et dégradée. Avec le changement climatique et nos consommations d'énergies fossiles, la prise de conscience que de nombreuses ressources ne sont pas renouvelables est apparue. Le sol en fait partie, nous avons pris conscience que l'urbanisation consommait de façon irréversible l'équivalent de plusieurs hectares par ans, et majoritairement sur des terres agricoles et forestières. Les enjeux du sol diffèrent sans être totalement indépendants les uns des autres. Tout comme les actions de

préservation différent aussi selon ces échelles. Pouvoir bénéficier des services rendus par les sols, c'est d'abord mieux comprendre comment ils fonctionnent.

II.2. Formation des sols

Le sol provient de l'altération, du remaniement et de l'organisation des couches superficielles de la croûte terrestre sous l'effet de la vie, de l'atmosphère et des échanges d'énergies qui s'y manifestent. Ce processus de création du sol est appelé la pédogénèse. Ainsi, un sol se forme à partir d'un matériau parent (roche « mère ») et il est ensuite en constante évolution : en permanence il se modifie et de nouveaux matériaux se constituent par l'action de plusieurs sources d'énergies (gravité, soleil, champ magnétique, action des organismes vivants qui colonisent peu à peu le sol, ...).

Le sol est essentiellement composé de minéraux, grossiers ou fins : sables, argiles, limons, éléments grossiers issus de l'altération de la roche mère. Il contient aussi des éléments organiques, issus de la décomposition de végétaux et animaux morts, la matière organique. On a tendance à oublier que le sol comporte aussi de l'eau et des gaz (Figure 05). C'est grâce à l'eau qui circule dans le sol que des éléments simples (azote, carbone, phosphore, potasse...) sont rendus disponibles pour alimenter les plantes (Bourgogne, 2012).

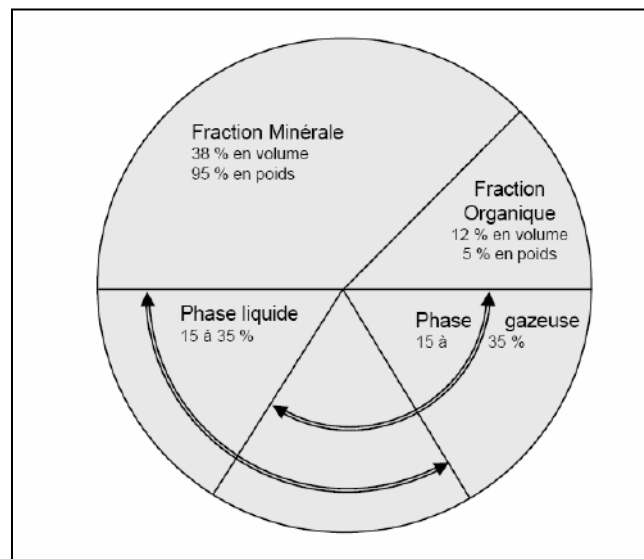


Figure 05 : Composition moyenne du sol : les trois phases, solide, liquide et gazeuse (Robert, 1996).

Les différences de sols et de leurs propriétés observées de par le monde et par région, s'expliquent en grande partie par leur histoire. La première histoire est celle de la géologie, les roches sur lesquelles reposent les sols. Apparemment immuables, les sols sont en fait le

résultat d'une lente évolution, ou plus exactement de l'altération des roches. Cette altération physique et chimique de la roche-mère s'est faite à l'échelle géologique et se poursuit toujours. L'ensemble des processus qui concourent à la formation des sols à partir de roches et de leur évolution au cours du temps est appelé pédogenèse. Le climat et la circulation de l'eau interviennent dans ces processus d'altération continue : éclatement des roches par le gel, pluies dissolvant les calcaires, érosion éolienne ou hydrologique transportant les éléments fins, dissolution chimique de minéraux de la roche (oxydes de fer ou autres)... Les processus de la pédogenèse sont aussi étroitement dépendants de l'action des organismes vivants et de leur combinaison avec l'environnement minéral : action des racines dans la chimie du sol, dépôt puis décomposition de matière organique, combinaison des éléments organiques avec les éléments minéraux (complexe organominéral) (Bourgogne, 2012).

II.3. Origine et diversité des sols

Le sol est défini comme étant la couche superficielle qui recouvre la roche-mère et résulte de son altération sous l'effet des agents atmosphériques et biologiques (Duchaufour, 1988). C'est un complexe dynamique, complexe car tous les sols présentent des caractéristiques nombreuses et une atmosphère interne, dynamique car ces caractères ne sont pas figés une fois pour toute, mais sont des résultats d'une évolution progressive, la pédogenèse sous l'action des différents facteurs du milieu, le climat, la nature de la roche mère.

Les sols de la région méditerranéenne, tels qu'ils se présentent aujourd'hui, sont les fruits d'interactions qui durent depuis des millénaires entre les processus naturels de la pédogenèse, et les activités des sociétés humaines qui se sont développées dans cette région. Rares sont les sols qui ont pu évoluer sans être marqués plus ou moins profondément par l'action directe ou indirecte de l'homme. Au contraire, beaucoup d'entre eux ont été défrichés à un moment ou à un autre de leur histoire, et mis en culture, ou plantés, ou pâturés, ou même construits. Au cours des siècles, depuis l'époque néolithique, divers modes d'occupation et divers usages ont souvent alterné, en un même lieu, avec des périodes d'abandon et d'évolution purement naturelle. Certains sols ont été profondément remaniés : construction de terrasses, de murets, de banquettes ; réseaux d'irrigation, de drainage (Plan bleu, 2003).

Les sols méditerranéens sont des sols qui se sont formés sous un climat méditerranéen (Verhey et *al.*, 2010), ils sont très anciens, très complexe et extrêmement variés du fait de la grande diversité des roches-mères et de la variété des pentes; sont généralement placés sur les roches sédimentaires reposant sous un sol métamorphosé. On observe des terrains

volcaniques anciens ou des affleurements cristallins très localisés. Fondamentalement, ces sols sont fragiles à l'exception de ceux situés dans les grandes plaines alluviales (M'hirit, 1999).

Dans la région méditerranéenne les sols sont extrêmement variés du fait de la grande diversité des roches-mères et de la variété des pentes. Ils sont généralement placés sur un substrat géologique sédimentaire reposant sous un sol métamorphosé. On observe par endroits des terrains volcaniques souvent anciens ou des affleurements cristallins très localisés. Fondamentalement, ces sols sont fragiles à l'exception de ceux situés dans les grandes plaines alluviales (M'Hirit, 1999). En considérant les critères bioclimatiques, l'Algérie présente tout les bioclimats méditerranéen, selon (Duchaufour, 1977 ; Djebaili, 1984 ; Halitim, 1988 ; Kadi Hanifi, 1998), on distingue plusieurs types de sols :

II.3.1. Les sols rouges et bruns fersiallitiques

La majorité des sols fersiallitiques sont considérés comme caractéristique de la région méditerranéenne au sens strict, tout au moins d'un climat marqué par la forte opposition entre une saison humide relativement froid et un été chaud et sec. Selon Emberger (1939) seul les étages méditerranéens les plus humides, c'est à dire à climax franchement forestier (généralement Chêne à feuilles persistantes ou caduques) sont caractérisés par les sols fersiallitiques.

Le climat favorable à la fersiallisation, se caractérise en fait par une gamme assez large d'une température (température moyenne oscillant entre 13 à 20°) et de précipitation (pluviométrie de 500 mm à plus un 1 mètre). Les sols fersiallitiques caractérisés par la dominance des argiles riches en silices de types illite ou montmorillonite, l'évolution de l'argile et du fer, confère à ces sols une teinte rouge spécifique (Duchaufour, 1977). Les sols fersiallitiques caractérisés par un taux de saturation élevé (plus de 60% en principe), la silice est faiblement lessivée, les oxydes de fer restent étroitement liés à l'argile et sont distribués de façon similaire dans le profil (CPCS, 1967). Selon la classification de Duchaufour en 1977, les sols rouges et les sols bruns sont considérés parmi les principaux types des sols fersiallitiques. Les sols rouges sont résultent d'une association forte et stable entre des colloïdes argileux (anciennement montmorillonite) et des oxydes de fer (Duchaufour, 1968) ; les terra rossa méditerranéennes (appellations anciennes des sols rouges méditerranéennes) sont des sols rouges riches en oxydes d'aluminium qui se sont formés lorsque ces régions connaissaient un climat tropical. Ces sols sont généralement riches et fertiles, avec des humus stables, sont des sols fragiles, particulièrement sensibles à l'érosion éolienne ou hydrique.

II.3.2. Les sols calcimagnésiques

L'évolution des rendzines s'intervient quand le carbonate de calcium est particulièrement abondant dans une roche, et libéré sous une forme active. Ces sols ont été, dès l'origine, différenciés des autres sols et sont classés par l'Ecole russe parmi les sols typiquement intra zonaux. La nature et la composition du matériau calcaire, lié à la topographie, constituent évidemment le facteur écologique fondamental qui conditionne la formation et l'évolution des sols calcimagnésiques ; suivant les conditions locale, il assure une efficacité très variable, au sein du profil, d'une quantité suffisante de calcaire actif en contact intime avec la matière organique incorporée ; c'est donc des conditions locales de station ,matériau et topographie, que dépendant la formation ou, le cas échéant, la transformation, des sols calcimagnésiques. Les facteurs bioclimatiques, climat, végétation, ne jouent à cet égard qu'un rôle secondaire (Duchaufour, 1977).

II.3.3. Les vertisols

Ces sols constituent une classe de sols typiquement intrazonaux selon les premières classifications russes ; ils sont localisés dans des zones climatiques à climat très contrasté comportant en particuliers une saison sèche accentuée (Dudal, 1967). Ces types de sols nécessitent, pour atteindre leur plein développement, la présence des conditions particulière de station, notamment l'existence d'une saison sèche, la topographie et des conditions de matériaux comme l'enrichissement de ces profils en calcium et en magnésium. Les vertisols au sens strict, sont des sols de couleur très foncée riche en argile gonflante (montmorillonite), sont liés aux conditions de station qui accentuent au maximum les contrastes pédoclimatiques (drainage pratiquement nul). Les sols vertiques dites colorés ou chromiques, contiennent à coté des montmorillonites, d'autre types d'argiles, et présentent dans des stations qui autorisent un drainage modéré et atténuent quelque peu les contrastes pédoclimatiques. Les conditions pédoclimatique et les conditions de drainage (externe ou interne) sont prises en considération pour la classification des vertisols.

Les vertisols sont en général des sols fertiles mais qui présentent des difficultés quant à leur travail et à leur mise en valeur à cause des teneurs élevées en argile, ils comptent parmi les plus fertiles des régions tropicales, ils sont fréquemment voués à la culture du coton qui ont été désignés par l'expression «black cotton soils».

II.3.4. Les sols salsodiques ou sols halomorphes

Les sols salés ou sols halomorphes sont caractérisés par leur teneur élevée en sels solubles dans l'ensemble ou dans une partie du profil ou par la dégradation de la structure de l'un de leurs horizons ou de tout leur ensemble sous l'influence de l'un des ions provenant de ces sels

en particulier du sodium (Aubert, 1976). Sur le plan écologique, deux conditions sont nécessaire pour la formation des sols salsodiques :

- Une condition climatique, les sols salsodiques ne peuvent se rencontrer que dans les régions steppiques, semi-désertiques ou tropicales sèche ;
- Une condition de station, concernant la présence obligatoire d'une source de sodium (présence de sels ou matériau riche en sodium) (Duchaufour, 1977).

II.4. Les Fonctions du sol

Le sol nourrit le monde, il produit, contient, accumule, tous les éléments nécessaires à la vie (azote, phosphore, calcium, potassium, fer, oligoéléments...), y compris l'air et l'eau. Il joue un rôle de garde-manger, plus ou moins grand et plus ou moins rempli. Les sociétés humaines, qui se nourrissent des plantes et des animaux, sont totalement dépendantes des sols qui représentent un composant fondamental du cycle des eaux continentales.

Après une pluie, les sols poreux évitent le ruissellement ; ils contribuent donc à l'alimentation des nappes phréatiques. La porosité des sols détermine la proportion de l'eau qui ruisselle et de l'eau qui s'infiltre dans les sols et permet le remplissage des nappes souterraines (Figure 06). Le sol influence la composition de l'atmosphère. En particulier, il stocke et relâche des gaz à effet de serre, c'est est un puits pour le carbone : certains modes de gestion des sols accumulent le carbone dans les sols. Or, accumuler du carbone dans les sols (principalement dans la matière organique) est généralement bénéfique pour la fertilité agricole des sols et pour diminuer la richesse en CO₂ de l'atmosphère : le sol est l'un des acteurs majeurs des évolutions climatiques. Le sol est lieu de vie. C'est un passage obligé pour de nombreuses espèces animales et végétales; de nombreux cycles biologiques passent par le sol, qui est donc partie prenante de nombreux écosystèmes. Beaucoup d'antibiotiques sont produits par des champignons du sol. Le sol est une vaste réserve génétique. Il abrite et influence une grande partie de la biodiversité terrestre. Mais, à l'inverse, les activités biologiques sont essentielles à la construction des sols, à leur fonctionnement et à leur fertilité. La vie fait le sol... et le sol fait la vie. Le sol fournit les matériaux que l'homme utilise pour construire routes et bâtiments et pour ses activités industrielles, artisanales, culturelles ... Il contient des ressources minérales (or, aluminium, fer...) (Figure 06) (Ducommun et Vidal-Beaudet, 2016).

Il conserve les traces de l'histoire, souvent très longues (jusqu'à plusieurs millions d'années), de sa formation : en étudiant les sols on peut y découvrir quelles furent certaines des conditions climatiques et biologiques du passé. Mais aussi, le sol conserve les témoins de l'histoire de l'humanité : c'est lui que l'on creuse en archéologie. Le sol, objet culturel et

religieux, est un lien puissant entre les Hommes et les milieux. À titre d'exemples, on peut citer : la religion shintoïste (au Japon) qui déifie le sol ; dans les Andes, le peuple Quechua qui respecte la «Pachamama» la terre-mère (Ducommun et Vidal-Beaudet, 2016).

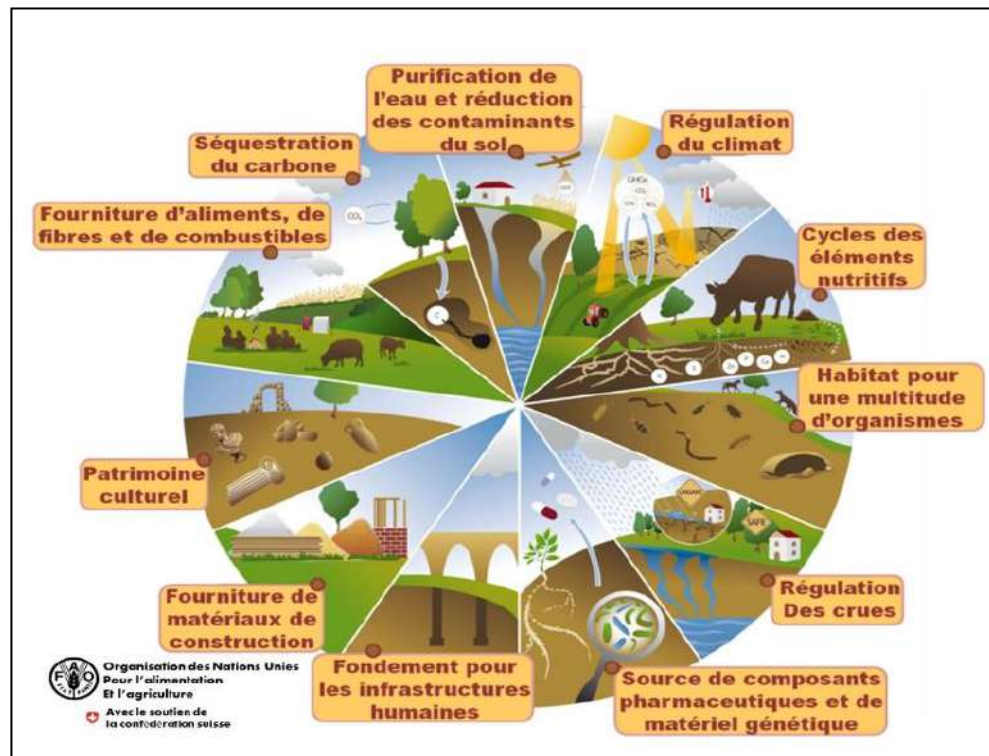


Figure 06 : Les fonctions du sol (FAO, 2015)

II.5. Qualité des sols

La qualité d'un sol a d'abord été définie comme étant son aptitude à fournir à l'ensemble de la biomasse, et en particulier aux plantes, un milieu propice à leur développement. Aujourd'hui, le concept de qualité dépasse le strict cadre de la production agricole pour s'étendre au sol dans notre cadre de vie. Il fait alors référence à la valeur esthétique des paysages, aux contraintes liées à l'aménagement du territoire, mais aussi il prend en compte la protection de la qualité des eaux. Cette qualité dépend de multiples facteurs. Il faut distinguer ceux intrinsèques aux sols et ceux d'origine externe, avec plus spécialement ceux liés à l'environnement (climat en particulier) (Tessier et *al.*, 1996).

Les indicateurs de qualité sont classés en indicateurs chimiques, physiques et biologiques et ont fait l'objet d'une synthèse dans un numéro spécial d'étude et gestion des sols (1996). Une mise à jour des normes AFNOR en matière de méthodes d'analyse est également parue (AFNOR, 1999). Il apparaît clairement que les indicateurs chimiques sont beaucoup plus élaborés et utilisés (existence de normes de mesures et de références d'interprétation) que les

indicateurs physiques ou biologiques. Cet état de fait s'explique par l'utilisation déjà ancienne de tests pour améliorer la fertilité chimique des sols par amendement ou fertilisation (Walter et *al.*, 2002).

Les indicateurs physiques et biologiques ne sont pas standardisés et les références pour l'interprétation des résultats restent lacunaires. De plus, la biologie des sols étant un domaine très complexe où les processus sont partiellement compris, il est difficile de prévoir et de quantifier les comportements biologiques. Cependant, les caractéristiques biologiques et surtout microbiologiques semblent plus sensibles que les caractéristiques physiques et chimiques aux variations des conditions climatiques, aux pratiques, aux aménagements, et aux perturbations (Chaussod, 1996). Le choix de caractéristiques statiques (qui ne varient pas ou peu dans le temps) ou dynamiques (qui changent rapidement) dépend de ce que l'on cherche à évaluer (Walter et *al.*, 2002).

Le sol sont fortement exposés aux agressions anthropiques et climatiques. Certaines de ces activités sont parfois non raisonnées et provoquent des détériorations pouvant être irréversibles. Les perturbations de ce milieu fragile peuvent alors affecter le fonctionnement des écosystèmes terrestres dans leur totalité. La constatation d'une dégradation permanente des sols a motivé une réflexion internationale sur la définition du concept de qualité des sols et sur les actions scientifiques concourant à la gestion durable de ce système écologique (Gros, 2002). Ce concept a été développé pour caractériser la valeur et le bon fonctionnement des sols. Les notions de fertilité, de productivité, de durabilité des ressources, et de qualité environnementale sont les principales bases des définitions actuelles de la qualité des sols. Le concept de qualité des sols est une notion subjective et très dynamique. Sa définition donne lieu à de nombreuses interprétations qui répondent toujours aux préoccupations sociales et scientifiques actuelles. En ce sens, les critères de qualité des sols peuvent évoluer selon les sociétés, de même que le niveau de qualité d'un sol défini peut évoluer dans le temps, sous l'influence de pratiques humaines ou de changements environnementaux. Les notions de fertilité, de productivité, de durabilité des ressources, et de qualité environnementale sont les principales bases des définitions actuelles de la qualité des sols (Gros, 2002).

Le terme *y* est défini comme "La capacité d'un sol à fonctionner, dans les conditions naturelles ou sous culture de façon à maintenir la productivité des plantes et des animaux à préserver et à développer la qualité de l'eau et de l'air et à assurer les conditions sanitaires les plus favorables aux hommes et à leurs habitats (Armand, 2009).

Les sols de la région méditerranéenne sont extrêmement variés du fait de la grande diversité des roches-mères et de la variété des pentes. Ils sont généralement placés sur un substrat

géologique sédimentaire reposant sous un sol métamorphosé. On observe par endroits des terrains volcaniques souvent anciens ou des affleurements cristallins très localisés. Fondamentalement, ces sols sont fragiles à l'exception de ceux situés dans les grandes plaines alluviales. Au cours des siècles, depuis l'époque néolithique, divers modes d'occupation et divers usages ont souvent alterné, en un même lieu, avec des périodes d'abandon et d'évolution purement naturelle. Certains sols ont été profondément remaniés : construction de terrasses, de murets, de banquettes ; réseaux d'irrigation, de drainage (Plan bleu, 2003).

II.5.1. La qualité physique

Au plan physique, le sol est non seulement un support pour le passage des animaux et des engins mais aussi un réservoir et un lieu de transit pour l'eau et les gaz. Son aptitude à permettre le transport de l'eau et des gaz d'un endroit à un autre conditionne le développement de l'ensemble de la biomasse et en particulier des végétaux. La qualité physique des sols est étroitement liée à la structure des sols, c'est-à-dire à la façon dont les constituants minéraux et organiques sont assemblés les uns par rapport aux autres. C'est en effet dans ces différents vides que l'eau et les gaz circulent ou sont stockés et que les êtres vivants peuvent se développer (Tessier et *al.*, 1996).

On peut penser à la structure du sol en termes "d'architecture" et de "stabilité". Sa qualité dépend en grande partie de la taille, de la forme et de la disposition des pores (vides) et des particules solides (mottes de sable, de limon et d'argile). Dans le sol, la matière organique et certains ciments minéraux sont les principaux liants dans la formation de mottes ou d'agrégats par les particules de sable, de limon et d'argile (Henin, 1958 ; Tisdall et Oades, 1982). Dans un sol bien structuré, l'air, l'eau et les éléments nutritifs peuvent traverser les vides contenus dans les agrégats et entre ceux-ci. En outre, l'assemblage des particules solides et des pores résiste bien aux diverses agressions (travail cultural, moisson, impact des gouttes de pluie, etc.). C'est en effet dans les différentes catégories de vides ménagés par cet assemblage que l'eau, les solutés et les gaz circulent ou sont stockés et que les êtres vivants peuvent se développer. Selon Bengough et *al.*, (1997), l'augmentation de contrainte mécanique, que l'on peut observer lorsque l'on passe d'un sol poreux à un sol plus compact, induit une augmentation de la longueur racinaire.

II.5.2. Qualité chimique

Au plan chimique, le sol est avant tout la source d'ions indispensables pour les plantes. La présence d'ions en excès, utiles ou non pour les plantes, peut alors être à l'origine de phénomènes de toxicité. Le sol est avant tout le réservoir qui stocke et redistribue les nutriments sous forme d'ions indispensables à la vie des plantes. Un sol fonctionne comme un système chimique ouvert en recevant mais aussi en fournissant ces ions. Les sources d'apport de ces ions sont multiples (atmosphériques, hydriques, pratiques agricoles).

La qualité chimique d'un sol est donc contrôlée par des facteurs externes (la situation géographique, le climat, les connections avec des écosystèmes voisins) mais également par facteurs internes (l'activité microbienne, relation entre les organismes) qui régulent la disponibilité de la ressource chimique (Tessier et *al.*, 1996). Le premier critère de qualité chimique d'un sol est donné par son niveau d'acidité. Il conditionne l'installation et le développement de certaines plantes ou de certaines cultures. L'acidification des sols est un phénomène naturel lié à la nature du substrat (granitique ou calcaire), à l'activité racinaire et aux pluies. Les propriétés chimiques d'un sol conditionnent les processus biologiques qui s'y déroulent. L'altération de cette qualité chimique peut donc perturber le fonctionnement biologique d'un sol. Sous un pH trop acide, la vie du sol est ralentie : les bactéries du sol se développent mal et disparaissent, la matière organique se décompose mal, le taux de matière organique augmente par défaut de minéralisation, l'assimilation des éléments nutritifs par les plantes, autres que celles spécifiquement adaptées, se fait mal. Une forte acidité favorise la toxicité de certains éléments chimiques (Bourgogne, 2012).

II.5.3. Qualité biologique

Les organismes du sol sont responsables, directement ou indirectement, de nombreuses fonctions clés du fonctionnement du sol. Celles-ci incluent la décomposition des résidus animaux et végétaux, la transformation et le stockage des nutriments, les échanges gazeux et hydriques, la formation et la stabilisation de la structure du sol, la synthèse des composés humiques et la dégradation des molécules xénobiotiques (Dick et De Paepe, 1997 ; Gros, 2002 ; Guénon, 2010 ; Paul, 2014).

La qualité biologique des sols fait référence à l'abondance, la diversité et l'activité des organismes vivants qui participe au fonctionnement du sol. La gestion des ressources biologiques des sols doit être considérée comme un élément essentiel de la subsistance de ce système écologique (Andren et Balandreau, 1998; USDA, 1998). Elle ne pourra être parfaitement maîtrisée que dans la mesure où l'on disposera à la fois d'indices biologiques pertinents et de référentiels d'interprétations garantissant une bonne sécurité de diagnostic.

Les indicateurs biologiques peuvent être définis comme des organismes qui répondent à un stress par leur présence ou leur absence, par les modifications de certaines caractéristiques ou activités particulières, ou par une bioaccumulation de certains contaminants (Eijsackers, 1982). Les micro-organismes bactériens sont fréquemment utilisés comme indicateurs de la qualité biologique des sols. Ce sont également ceux que nous utiliserons dans ces travaux pour évaluer le fonctionnement biologique des sols dégradés (Gros, 2002). La figure 07 représente les différents critères de la qualité des sols.

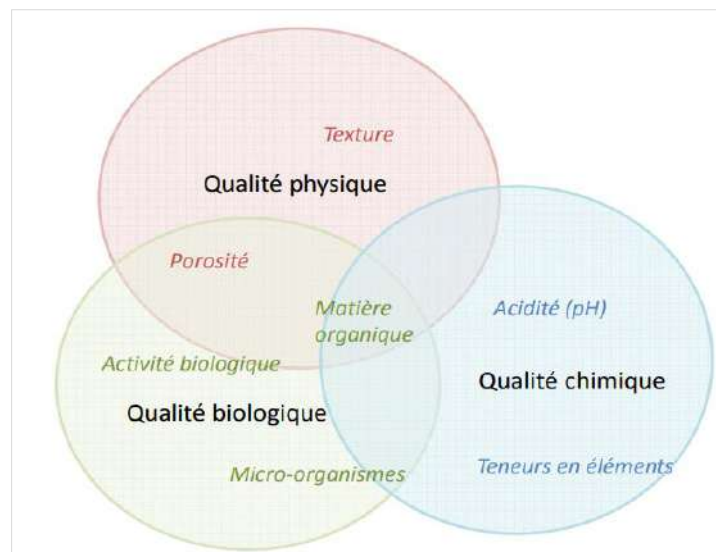


Figure 07 : Schéma des critères de qualité des sols (Bourgogne, 2012).

II.6. Les facteurs de dégradation des sols

La dégradation des terres fait intervenir deux systèmes solidaires et complexes: l'écosystème naturel et le système social humain. Les forces naturelles, par l'intermédiaire des contraintes périodiques induites par des phénomènes climatiques extrêmes et persistants, ainsi que l'exploitation normale et abusive par l'homme des écosystèmes fragiles et vulnérables des sols, agissent souvent de concert pour engendrer des processus de rétroaction que l'on ne comprend pas encore très bien. Les interactions entre les deux systèmes déterminent le succès ou l'échec des programmes de gestion des ressources. Les causes de la dégradation des terres ne sont pas uniquement de nature biophysique; elles ont aussi une origine socioéconomique (par exemple, le régime foncier, la commercialisation, l'appui institutionnel, les revenus, la santé de l'homme) et politique (par exemple, les programmes d'incitation, la stabilité politique) (OMM, 2005).

Sous la pression démographique, mais aussi pour des raisons socio-économiques (amélioration du niveau de vie des populations), les Etats souhaitent le développement de la production agricole. Or, celui-ci entraîne souvent l'augmentation des risques de dégradation des sols soit qu'on augmente les surfaces cultivées, soit qu'on intensifie l'exploitation des cultures. En effet, l'intensification des cultures existantes exige une augmentation des intrants (engrais, mécanisation, irrigation, lutttes chimiques contre les parasites et les adventices) ce qui peut entraîner la diminution des activités biologiques du sol en particulier des vers de terre), l'acidification et la dégradation de la structure des sols (croûte de battance, semelle de labour et tassement en profondeur) (Roose, 1984).

Une forte densité de population ne s'accompagne pas nécessairement d'une dégradation des sols. C'est plutôt ce que la population fait de la terre qui dicte l'ampleur de la dégradation. Les hommes peuvent jouer un rôle décisif et renverser la tendance. En fait, l'atténuation de la dégradation ne peut être un succès que si les utilisateurs des terres ont la possibilité et la volonté de préserver la qualité des ressources. Mais il faut qu'ils soient en bonne santé et motivés tant politiquement qu'économiquement pour se soucier de la terre, l'agriculture de subsistance, la pauvreté et l'analphabétisme pouvant être des causes majeures de la dégradation des sols et de l'environnement (OMM, 2005).

Le dépérissement de la végétation peut aggraver la dégradation des terres par un phénomène de rétroaction entre la surface du sol et l'atmosphère. Cela se produit lorsqu'une diminution de la végétation réduit l'évaporation et augmente le rayonnement renvoyé vers l'atmosphère (albédo), réduisant par conséquent la formation nuageuse. Des expériences à grande échelle, au cours desquelles des modèles numériques de la circulation générale ont été appliqués à un albédo artificiellement élevé au-dessus de terres arides, semblent indiquer qu'une importante augmentation de l'albédo dans les zones subtropicales pourrait réduire les précipitations (Benbrahim et *al.*, 2004 ; OMM, 2005).

Le surpâturage est la seconde cause de dégradation des sols. Son effet a été spectaculaire sur le pourtour méditerranéen car les terres sont devenues quasiment désertiques, depuis le XVI^e siècle, suite au surpâturage ovin ayant. Ce sont surtout les ovins et les caprins qui dégradent la couverture végétale puisque ces animaux tondent à ras les herbes, voire même les arrachent, et que les chèvres détruisent également les végétaux ligneux. La charge en herbivores d'un pâturage est la masse de bétail que peut supporter un terrain sans risquer de voir son sol détruit. Il s'agit en fait de trouver un équilibre entre la productivité primaire et sa consommation par les herbivores (Pautrot, 2012).

Le passage d'un incendie de forêt perturbe le milieu naturel à plusieurs échelles : - Le sol peut être touché plus ou moins profondément avec apparition de risques d'érosion et destruction de la faune qu'il abrite puisque Le feu ne fait pas que brûler le couvert végétal, il détruit aussi la litière et les organismes décomposeurs devant alimenter le sol en matière organique stable (hors charbon) en nutriments essentiels à la régénération de la végétation. L'élimination, dans l'horizon superficiel, de ces composés organiques fragilise voir détruit également les agrégats. Les dépôts de cendres et de composés organiques aromatiques hydrophobes se surajoutent à la destruction de la structure dans l'accroissement de la vulnérabilité des sols incendiés aux phénomènes d'hydromorphie. Sous ces conditions et en absence de couverture végétale, la diminution de la perméabilité des sols favorisent le ruissellement superficiel et les processus d'érosion s'intensifient. L'érosion détruit l'horizon superficiel et transporte les graines perturbant la régénération naturelle des espèces végétales (Vennetier et *al.*, 2008 ; Guénon, 2010 ; Borsali, 2013).

Chapitre III

*La relation entre le couvert végétale et
les conditions édaphiques*

La relation entre le couvert végétale et les conditions édaphiques

III.1. Généralité

Une végétation est un ensemble de populations de plantes de physionomie déterminée (Delpech, 1996). Cette physionomie est due à la dominance d'un ou plusieurs types biologiques (exemple : forêt, savane, pelouse, prairie, toundra, steppe, désert, etc.). C'est l'unité végétale de physionomie homogène essentielle pour la description du paysage (Géhu, 2000). Elle est la réponse des communautés de plantes à l'action conjuguée du climat, du sol et des facteurs biotiques. Elle est aussi communément appelée formation végétale.

Pour assurer sa croissance et son développement, la plante sélectionne et prélève les éléments dont elle a besoin dans le milieu environnant. Le sol fournit l'essentiel de l'eau et des éléments nutritifs sous forme d'ions minéraux. Les racines absorbent ces éléments de façon sélective et généralement les concentrent à partir de l'eau du sol qui constitue une solution très diluée en ions (N, P, K, Ca, Mg, S et les oligoéléments). Le couvert végétal joue un rôle très important vis-à-vis de la protection du sol et par conséquent l'environnement. Le végétal fournit au sol la matière organique et le protège surtout contre l'érosion et de la battance. La végétation stabilise le sol en le protégeant notamment de l'énergie cinétique des pluies. Elle exerce aussi une action sur la perméabilité du sol, sur l'écoulement des eaux de ruissellement (Schmid, 1970).

III.2. Action du sol sur la végétation

Des sols sains sont essentiels pour assurer une croissance régulière de la végétation (naturelle ou gérée) qui fournit des denrées, des fibres, des combustibles et des produits médicinaux et qui assure des services écosystémiques tels que la régulation du climat et la production d'oxygène. Les sols et la végétation sont interdépendants. Un sol fertile favorise la croissance des plantes car il fournit aux plantes des nutriments, fait office de réservoir d'eau, et sert de support aux plantes qui s'y enracinent. En retour, la végétation, le couvert forestier et les forêts empêchent la dégradation des sols et la désertification en stabilisant le sol, en assurant la rétention de l'eau et le cycle des éléments nutritifs et en atténuant l'érosion provoquée par l'eau et le vent. La croissance économique mondiale et l'évolution démographique de la planète accroissent la demande de végétaux, d'aliments pour animaux et de sous-produits végétaux tels que le bois, les sols sont ainsi soumis à une énorme pression et les risques de dégradation augmentent par là même considérablement. Une gestion durable de la végétation – que ce soit dans les forêts, les pâturages ou les prairies – permet d'augmenter ses avantages, y compris le bois, le fourrage et la nourriture, de façon à répondre aux besoins

de la société tout en conservant et en entretenant le sol au profit des générations présentes et futures (FAO, 2015). L'action du sol sur la le végétale ne peut être étudiée sans tenir compte de l'influence de l'environnement pétrographique, topographique ou climatologique: la prise en considération de l'ensemble des phénomènes conditionnant au niveau du sol la vie de la plante conduit à la notion de milieu édaphique. Dans ce complexe, le sol joue un rôle essentiel, intervenant à la fois comme support et comme pourvoyeur.

III.2.1. Le sol en tant que support de vie

Le sol est le support naturel de la vie animale et végétale sur Terre. C'est dans le sol que les plantes plongent leurs racines, qu'elles tirent l'eau et les éléments nutritifs qui leur permettent de se développer. Pour constituer un bon support, un sol doit être relativement meuble et profond: une pierrosité excessive, une forte compacité à faible distance de la surface ne permettent pas à une végétation continue et puissante de s'implanter solidement. Il faut encore qu'il présente une bonne stabilité mécanique et structurale. Il faut enfin que par rapport aux horizons sous-jacents, l'horizon supérieur ne soit pas trop riche, ce qui amènerait les racines à s'y développer de manière exclusive (Schmid, 1970). L'instabilité des sols lessivés sur fortes pentes, instabilité liée à la différenciation d'un horizon argileux jouant le rôle de plan de glissement, entraîne la destruction périodique de la forêt. Au cours de pluies particulièrement abondantes, ces glissements peuvent être nombreux et spectaculaires. Les phénomènes de gonflement et de retrait consécutifs aux alternances d'humidité et de sécheresse, dans le cas des vertisols. L'absence de structure ou la fragilité des agrégats, qu'il s'agisse de sables ou d'éluvions sodiques, rendent le milieu impropre à l'implantation de beaucoup d'espèces. Lorsque les substances utiles tendent à se concentrer à un certain niveau du profil, il est clair que les conditions les plus favorables se trouvent réalisées lorsque ce niveau se situe assez en profondeur tout en restant accessible à des systèmes racinaires normalement développés. La végétation est alors sensible à certains éléments tels que la sécheresse, les feux les vents. Une fois la forêt défrichée, l'épuisement de cet horizon superficiel, par l'action conjuguée des cultures et de l'érosion, peut être très rapide (Schmid, 1970 ; Tremblay, 2015).

III.2.2. Le sol fournisseur en nutriments

Le sol pourvoit aux besoins de la végétation en mettant à sa disposition l'eau et diverses substances minérales. Dans l'examen de ce rôle de pourvoyeur, deux ensembles de propriétés sont à prendre en considération: les propriétés concernant l'existence ou la constitution des réserves et celles concernant la mobilisation des réserves. L'importance des réserves en eau dépend du volume et de la périodicité des apports, directement ou indirectement d'origine atmosphérique, et de la capacité d'absorption et de rétention du sol. Sa richesse en constituants

minéraux utiles varie avec la composition des matériaux dont il est issu et avec les processus pédogénétiques, la liaison entre l'importance des réserves et la composition de la roche-mère présentant un caractère plus général dans le cas du phosphore et du potassium, que dans celui du calcium, du magnésium ou des oligo-éléments. Quant aux teneurs en azote, elles dépendent dans une large mesure de la composition de la couverture végétale (Schmid, 1970).

III.3. Action de la végétation sur le sol

Les systèmes racinaires et, surtout la matière organique issue des litières interviennent très activement dans les phénomènes de décomposition et de transport qui sont à la base de la formation des sols; en outre, la couverture végétale en réduisant l'érosion superficielle rend possible l'accumulation sur place des produits d'altération et, par voie de conséquence, la différenciation des horizons. Le rôle de la végétation dans la pédogénèse apparaît donc au début essentiellement constructif; mais sur une longue période de temps, il ne présente pas des aspects positifs. En effet, l'approfondissement continu du profil, s'accompagnant généralement, en milieu équatorial ou tropical humide, d'un appauvrissement chimique, et la différenciation de plus en plus accentuée des horizons entraînant l'isolement des couches supérieures du sol, les seules qui soient accessibles aux racines, par rapport à la roche-mère, source première des substances minérales indispensables. Au terme de l'évolution, on trouve en surface une couche de terre riche en matière organique et en éléments assimilables mais dépourvue de réserves, constituant avec la couverture végétale une sorte de complexe symbiotique et reposant sur des horizons morts ou très peu de racines pénètrent (Schmid, 1970). L'influence de la végétation sur la pédogénèse est telle que, à supposer qu'un changement de climat ait entraîné une modification de la couverture climacique, le profil porte la marque de chacune des formations qui se sont succédé au même emplacement. L'étude du sol permet alors de reconstituer l'histoire de la végétation. Ainsi, en Côte-d'Ivoire, l'existence dans la zone forestière de sols peu ferrallitisés, au Sud du pays Baoulé, confirme l'hypothèse d'une extension de la savane jusqu'à la zone littorale au cours de la dernière période sèche du Quaternaire (Leneuf et Mangenot, 1959).

La végétation protège les sols de l'érosion de manière « active » par protection contre les agents érosifs (Martinez-Mena et *al.*, 1999) et fixation des sols (Bonnet, 1983). Elle peut permettre de lutter contre l'érosion par ruissellement grâce à son action de régulation hydrologique des bassins versants (Humbert et Najjar, 1992 ; Fleuriel, 1998 ; Fort, 1999 ; Lavabre et *al.*, 2000). Cette régulation hydrologique s'effectue par interception des gouttes de pluie, augmentation de l'infiltration de l'eau dans le sol, pompage d'une partie de l'eau

contenue dans les sols et restitution dans l'atmosphère sous forme d'évapotranspiration. La régulation hydrologique jouée par la végétation a pour effet de diminuer la quantité, l'intensité et la vitesse du ruissellement. La végétation a également un effet d'écrêtage et d'étalement du ruissellement (Combes et *al.*, 1995 ; Rey et Berger, 2003 ; Rey et *al.*, 2004).

III.4. Le Sol et la Forêt

Les forêts et les sols forestiers assurent des fonctions essentielles, complexes et interactives au sein de l'environnement depuis des millions d'années, les sols servent de support aux arbres et aux forêts. Les sols constituent un élément majeur des forêts et des écosystèmes boisés car ils contribuent à réguler d'importants processus écosystémiques, tels que l'absorption des nutriments, la décomposition de la matière organique et la disponibilité de l'eau. Les sols fournissent aux arbres un ancrage, de l'eau et des nutriments. Les arbres quant à eux, comme les autres plantes et végétaux, contribuent de manière essentielle à la formation du sol, sous l'effet du pourrissement et de la décomposition des feuilles et autres végétaux. Cependant, la relation entre les sols et les forêts est beaucoup plus vaste et plus complexe. Les sols et les forêts sont intrinsèquement liés, ils s'influencent mutuellement et influent également sur l'environnement dans son ensemble. Les interactions entre les forêts et les sols forestiers contribuent à maintenir des conditions environnementales nécessaires à la production agricole. Ces effets positifs sont profonds et contribuent à garantir un système alimentaire productif, à préserver la santé de l'environnement sain et à améliorer les moyens de subsistance en milieu rural face au changement climatique (FAO, 2015).

Les forêts, aux côtés des sols, jouent un rôle clé dans la fourniture de services écosystémiques essentiels à la vie sur terre. L'un de ces services les plus importants est la régulation du climat, qui s'exerce à travers l'émission et l'absorption des gaz à effet de serre. Cependant, la déforestation causée par l'utilisation du bois pour les industries et comme combustible, et par l'expansion des terres agricoles compromet la capacité des sols forestiers de servir à l'avenir de puits de carbone. En effet, on estime que cette capacité pourrait diminuer de 20 à 40 pour cent suite à la conversion de forêts et de pâturages naturels en terres cultivées. Sans l'adoption de mesures de conservation appropriées, la déforestation entraîne une dégradation sévère des sols car elle laisse le sol à nu et exposé aux agents d'érosion des sols. La préservation et l'amélioration de la santé des sols dans les forêts reposent sur une gestion durable des forêts, qui doit coexister avec les secteurs agricole, industriel et urbain (FAO, 2015).

III.4.1. Spécificités liées aux sols forestiers

Une des difficultés rencontrées pour caractériser les sols forestiers est leur forte hétérogénéité spatiale, supérieure à celle rencontrée dans les sols sous cultures. Cette plus grande variabilité, tant latérale que verticale, s'explique à la fois par l'impact exercé par les arbres sur le sol, notamment à travers les apports en matière organique, et par la faible anthropisation de nombreux sols forestiers. Cette hétérogénéité renforce la difficulté de déterminer la fertilité des sols forestiers et d'en suivre l'évolution. Si, à l'exception des sols podzolisés et des sols hydromorphes, plus présents en forêt, la fréquence des divers types de sols diffère peu entre milieux forestiers et agricoles, des différences sensibles sont relevées pour certaines caractéristiques physicochimiques : globalement, les sols forestiers sont caractérisés par une acidité plus marquée (pH faible), de même que par des teneurs en carbone et des valeurs du rapport C/N supérieures (Badeau et *al.*, 1999). En définitive, la différence de richesse chimique entre sols forestiers et agricoles s'explique par le choix des meilleurs sols au cours des âges pour y exercer l'agriculture et par les pratiques qui ont eu tendance historiquement à appauvrir les sols forestiers et à enrichir les sols agricoles (Koerner et *al.*, 1999).

III.4.2. Intérêt à faire un diagnostic des sols forestiers ?

Le sol forestier est une ressource non renouvelable qu'il convient de gérer en relation avec les fonctions de la forêt à privilégier, dans un contexte général d'aménagement durable. L'écosystème forestier a des fonctions de production (production du bois), des fonctions écologiques (maintien de la biodiversité et de la qualité des paysages) et des fonctions environnementales (protection de la qualité intrinsèque des sols, des eaux de surface, de l'atmosphère).

La fertilité d'un sol fait classiquement référence à une aptitude à produire de la biomasse végétale, dans des conditions climatiques et topographiques données, et contribue donc au service écosystémique d'approvisionnement (MEA, 2005). On la subdivise généralement en trois composantes – chimique, physique et biologique – étroitement imbriquées (Genot et *al.*, 2009). La composante chimique décrit l'aptitude du sol à fournir les éléments nutritifs indispensables à la plante, sous les formes, en quantités, et dans les proportions appropriées ; elle se décline elle-même en trois composantes qui ciblent la fertilité à court, moyen et long termes. Elle intègre par ailleurs les risques de toxicité liés à certains éléments tels que l'aluminium. La composante physique rend compte des propriétés qui influencent l'économie en eau (capacité de stockage de l'eau et infiltration), de même que la

prospection racinaire et l'activité biologique (porosité, compacité, pierrosité, aération). La composante biologique, enfin, correspond à l'influence exercée par les êtres vivants sur la disponibilité des éléments minéraux (par altération, recyclage ou symbioses) et l'état physique du sol. Le diagnostic de la fertilité peut poursuivre des objectifs très diversifiés, impliquant des échelles spatio-temporelles et des utilisateurs variés. Dans le contexte des sols forestiers, il peut s'agir de sélectionner des objectifs de gestion dans le cadre d'un aménagement (par exemple objectifs déterminants de protection, conservation, production...), d'établir des itinéraires sylvicoles durables (longueur du cycle sylvicole/terme d'exploitabilité, travaux, éclaircies, coupes de régénération), de préciser des scénarios ou des objectifs d'exploitation (niveau des exportations, découpes, méthodes d'exploitation) ou encore de déterminer des mesures complémentaires de prévention/restauration (par exemple par des apports d'amendements). Le diagnostic peut aussi contribuer au choix des espèces principales, servir à l'évaluation de la productivité du site, à l'estimation de l'évolution de la fertilité dans le temps, à la détermination de la sensibilité des sols à des perturbations de différentes natures ou encore à l'évaluation de la gestion passée (Ponette et *al.*, 2014).

III.5. Les sols des zones arides et semi arides

Selon Guettouche et *al.*, (2006), le milieu aride et semi-aride est fortement représenté en Algérie du nord, il constitue plus de 70 % des régions tello-atlasiques, depuis le littoral méditerranéen jusqu'à la marge nord du Sahara autour de la grande flexure sud atlasique au sud. Ce milieu se caractérise en général par la rareté et l'inégalité de la répartition des pluies, il se singularise aussi par la dégradation du couvert végétal en allant d'un maquis et d'un matorral fortement anthropisé à une steppe en continuel recul. A noter aussi que l'une des plus grandes coïncidences dans ce milieu, est l'existence d'un parfait parallélisme entre les conditions bioclimatiques et développement des phénomènes d'encroûtement à la fois gypseux et carbonatés, et c'est dans ces inter-relations que se situe les origines et les fondements de l'évolution des phénomènes encroûtants en Algérie aride et semi-aride. Ceci en plus du rôle des conditions morphopédologiques dans cette évolution et dans ce parallélisme à travers la lithologie des faciès carbonatés et des sols calciques (Halitim, 1988; Djilli et *al.*, 1999).

Dans les régions arides et semi aride, les sols, d'une manière générale, posent d'énormes problèmes de mise en valeur. Ils présentent souvent des croûtes calcaires ou gypseuses et sont la plupart du temps salés et sujets à l'érosion et à une salinisation secondaire (Aubert, 1960).

Les sols dénommés, sols arides ou aridisols dans la classification américaine sont en général peu développés sur le plan morphologique et ont une structure très instable du fait des variations brutales de température et d'humidité (Robert, 1996). Les zones semi-arides renferment des sols plus développés que les régions arides; le couvert végétal se compose d'herbe et, lorsque l'humidité est plus grande, de savane. Les sols sont beaucoup mieux lessivés, surtout dans les horizons A et B, et l'horizon calcaire, s'il y en a un, se trouve à des profondeurs plus grandes. On remarque fréquemment des fissures dans les sols asséchés à texture fine. À mesure que l'aridité diminue, la structure des sols s'améliore, et dans les lits d'inondation et les dépressions, ceux-ci sont relativement bien développés; de plus, les dépressions mal drainées sont souvent caractérisées par des sols alcalins.

Les phénomènes encroûtant gypso-calcaires à ravers les régions semi-arides et arides maghrébines ont attiré, depuis le début du siècle dernier, l'attention d'un grand nombre de chercheurs, dont certains ont confondu les encroûtements calcaires avec les calcaires lacustres, particulièrement ceux des hautes plaines algériennes centrales et occidentales. (Halitim, 1988 ; Djilli et *al.*, 1999 ; Guettouche et *al.*, 2006).

Les caractères essentiels que l'en retrouve dans la plupart des sols de ces régions sont leur absence de lessivage, sauf en ce qui concerne les éléments solubles, et leur richesse en matière organique répartie non pas seulement ont un horizon superficiel s'arrêtant brusquement on profondeur, mais dans tout son profil. Celle-ci, ou bien n'est pas évoluée, par suite du climat trop sec ou est fortement humidifiée. Il ne se forme pas d'humus grossier dans ces régions. L'horizon même le plus riche on humus est ou neutre – quelquefois faiblement acide – ou alcalin ces sols se forment sous une température moyenne peu élevée – 10 à 15°, par exemple : les réactions d'hydrolyse sont assez limitées, et assez peu d'hydrate de fer est individualisé ; le sol reste assez foncé. Suivant la valeur de la pluviométrie et la densité de la végétation, il se formera un sol gris, un sol brun, un sol châtain de plus en plus riche en matière organique et en humus. Si au contraire, la température moyenne est plus élevée (20 à 25°) par exemple – les phénomènes d'hydrolyse revêtent une plus grande intensité, la masse d'hydrate de fer individualisée au cours de la pédogénèse devient plus importante, et la couleur foncée fait place à la teinte plus rouge, des sols brun-rouge, ou des sols châtain-rouge qui se développent (Aubert, 1950).

D'un point de vue chimique, un autre élément dont l'évolution est fondamentale dans la pédogénèse de ces régions semi-aride est le calcaire. Dans certains sols comme dans ceux que nous venons d'indiquer plus haut, cet élément tend à être entraîné en profondeur où il peut parfois se concrétionner. Dans d'autres, au contraire, il reste réparti dans tout l'ensemble du

profil, et sa teneur dans les horizons superficiels n'est guère plus faible que dans les horizons profonds ; le sol peut alors être une rendzine. Sur calcaire, c'est ce second type de pédogénèse qui se développe, lorsque la pluviométrie est suffisante pour que la végétation de graminées reste dense, mais assez faible cependant pour que l'entraînement du calcaire en profondeur soit très ralenti. Le même résultat peut prévenir simplement d'une accentuation des phénomènes de remonter pendant la période sèche ; ou de conditions climatiques – variations très fréquentes et fortes de l'humidité du sol et du sous-sol, gels importants, etc... - telles que la désagrégation de la roche-mère soit assez intense et son altération faible. La cause de cette évolution peut également être recherchée dans le caractère pétrographique du calcaire, facilement et finement brisable, mais assez largement cristallisé pour ne se dissoudre que lentement (Aubert, 1950). Enfin, c'est souvent à sa position on pente qu'est due l'apparition d'une rendzine dans ces régions, comme cela a été aussi mis en évidence dans les contrées plus humides (Demolon, 1948). Si l'évolution du calcaire est si importante dans la genèse des sols de ces régions, c'est essentiellement par suite des alternatives très brutales d'humidité forte en temps de pluie et de sécheresse intense pendant la plus grande partie de l'année, auxquelles ils sont soumis. Aussi l'évolution de sols encore plus solubles, tels que chlorures et sulfates de sodium, magnésium et calcium, devient-elle l'élément essentiel de la dynamique de ces sols (Aubert, 1950). La plus part des sols des régions aride sont caractérisés par la présence d'accumulation calcaire réduisant la profondeur de sol utile ; ils sont généralement pauvres en matière organique et sensibles à la dégradation. Les bons sols dont la superficie est limitée, se situent au niveau des dépressions (sols d'apport alluvial) soit linéaire et constituées par les lits d'oueds soit fermées et appelées Dayas (Nedjimi et Homida, 2006). Les sols arides sont caractérisés par la présence d'accumulation calcaire, la faible teneur en matière organique et une forte sensibilité à l'érosion et à la dégradation. Les ressources hydriques sont faibles, peu renouvelables, inégalement réparties et anarchiquement exploitées. Les points d'eau sont au nombre de 6500 dont plus de 50% ne sont plus fonctionnels (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

III.5.1. Les différents types de sols des zones arides

Les sols se forment avec le temps à mesure que le climat et la végétation agissent sur le matériau de la roche mère. Les aspects importants de la formation des sols dans un climat aride sont les suivants:

- des changements journaliers importants de température, qui provoquent la désintégration mécanique ou physique des roches;
- les sables transportés par le vent qui abrasent les surfaces exposées des roches.

La désintégration physique des roches donne des fragments relativement gros; seule l'érosion chimique peut les décomposer en fragments plus petits. Le processus d'érosion chimique est lent dans les zones arides en raison du déficit hydrique caractéristique. D'autre part, les périodes prolongées d'insuffisance hydrique sont importantes dans l'élimination ou le lessivage des sels solubles dont l'accumulation est renforcée par la forte évaporation. Les brèves périodes de ruissellement de l'eau ne permettent pas une pénétration profonde des sels (qui ne sont transportés qu'à courte distance), d'où une accumulation de ceux-ci dans les dépressions fermées (FAO, 1992).

Dans les régions arides, les sols, d'une manière générale, posent d'énormes problèmes de mise en valeur. Ils présentent souvent des croûtes calcaires ou gypseuses et sont la plupart du temps salés et sujets à l'érosion et à une salinisation secondaire (Aubert, 1960). Les sols seront classés en fonction du niveau des sels, selon Halitim (1988) on distingue plusieurs types de sols de sol dans ces zones : sols salés, sols gypseux et sols calcaires.

III.5.1.1. Les sols salés

Les sols salés ou sols halomorphes appelés actuellement sols salsodiques représentent un pourcentage important de la surface totale des sols dans le monde (Cherbuy, 1991). Ils se différencient naturellement sous les climats plus ou moins aride, maritimes ou continentaux, là où l'évaporation excède, les précipitations pluviales de façon permanente ou temporaire (Bouteyre et loyer, 1992). Par ailleurs le développement mondial de la culture irriguée entraîne et toujours une extension secondaire des terres salées liée à la dégradation chimique et physique des sols et à une mauvaise conduite de l'irrigation (Ghassemi et *al.*, 1995 ; Cheverry et Bourrie, 2003 ; Claud et *al.*, 2005).

On parlera en général de sol salé lorsque la concentration en sels des solutions dépasse 0.5 g/l cette concentration est le plus souvent mesurée par la conductivité électrique (CE) de la solution du sol saturée (Robert, 1996).

- **Effet de la salinité sur le sol**

Une grande quantité de sels solubles peut affecter les propriétés pédologiques, notamment la dispersion des colloïdes, la stabilité structurale et la chute de la perméabilité hydraulique (Servant, 1970).

III.5.1.2. Les sols gypseux

Les sols gypseux (au sens large) sont largement répandus et apparaissent typiques des régions arides et semi- arides, Ils sont répandus dans les régions à régime hydrique xeric, ustic et aridic: Tunisie, Syrie, Irak, sud de l'URSS et de l'Espagne, Mexique, Algérie, etc. (Khademi et Mermut, 2003). L'origine du gypse en qualité importante dans le sol est en relation avec la

présence de roches sédimentaires gypseuses, la topographie et l'aridité du milieu (Bellanca et Neri, 1993). Le gypse constitue la forme la plus répandue du sulfate de calcium dans le sol (Eswaran et *al.*, 1981).

Les sols gypseux d'Algérie occupent 12,2% de la surface totale des sols gypseux du monde, ils sont estimés à 7966,3 Km² (représentant 3,3% de la surface du pays) (FAO, 1990). Ils s'expriment mieux entre les isohyètes 300 mm à 200 mm, cette tranche pluviométrique coïncide en partie avec le domaine des sols calcaires et sodiques (Djili, 2000). La présence du gypse dans les sols du Nord de l'Algérie sont peu abondants et se localisent seulement dans les dépressions (Bernou, 1996).

- **Effet du gypse sur le sol**

La présence de gypse en grande quantité, dans le sol affecte les qualités physicochimiques de ce dernier, baisse la fertilité et par conséquent la biomasse et la production végétale.

Comparé aux autres formations salines (sels solubles, calcaires), le gypse n'a pourtant pas fait l'objet d'analyses pédologique aussi approfondies (Halitim, 1988).

III.5.1.3. Les sols calcaires

Le calcaire peut provenir de l'altération de la roche mère (Ruellan, 1976) ou de précipitation de carbonate de calcium secondaire (Ruellan, 1971 ; Duchaufour et Souchier, 1977). Il peut se trouver sous trois formes principales : diffuses, en concentrations ou discontinues.

En Algérie, les sols calcaires, se distribuent sur l'ensemble du Nord de l'Algérie, particulièrement dans les étages bioclimatiques arides et semi- arides.

Un sol calcaire c'est un sol contenant du CaCO₃ libre en quantité suffisante pour présenter une effervescence visible sous l'action d'HCl dilué à froid, le CaCO₃ est souvent accompagné de MgCO₃.

Selon Djili (2000), le profil calcaire en Algérie est fonction de la pluviométrie :

- Les zones arides (P> 300 mm) : l'accumulation de calcaire semble être homogène dans tout le profil, mais avec un pourcentage de calcaire légèrement plus élevé dans les horizons de Sub- surface.
- Les zones semi- arides (350< P< 450 mm), le profil devient de plus en plus calcaire en profondeur.

Les sols calcaires en Algérie sont localisés dans le Nord du pays, ou ils sont dans leur majorité faiblement à fortement calcaires, ils s'expriment mieux entre les isohyètes 270 et 500 mm. Les taux en calcaire se localisent préférentiellement dans les zones inférieures du pays (régions steppiques et hauts plateaux) (Djili, 2000). Selon FAO (2005) les types de sols

calcaires en Algérie sont : - Sols bruns calcaires dans les bioclimats humides et sub- humides (calcisols). - Sols à accumulations calcaires en profondeur (chatins et bruns iso humiques) dans les bioclimats semi- arides et arides (calcisols).

- **Effet du calcaire sur le sol et les végétaux :**

Le calcaire fournit le calcium qui provoque la floculation des colloïdes minéraux et organique du sol, action nécessaire à l'établissement d'un état structural, et permet au sol de créer les réserves, en éléments nutritif (Eliard, 1979). On sait que l'humus calcique est le meilleur ciment des agrégats, le calcium est nécessaire aussi à l'édification de tissus de végétaux (Mathieu et Pieltain, 2003).

Mais quand le calcaire se trouve dans le sol à la fois en quantité trop forte, les conséquences pour les plantes peuvent être fondamentales, ce qui explique que l'on distingue classiquement des plantes, cultivées ou spontanées, résistant au calcaire « calcaro- tolérantes » et des plantes souffrant, « plantes calcifuges ». Ces effets néfastes pour la plante peuvent être compensés par d'autres facteurs pédologiques : texture argileuse, bilan hydrique, etc (Baize et Girard, 1995).

En outre, le calcaire fin bloque certains éléments indispensables aux plantes comme le fer, B, Cu, Mn, Zn, en solubilisation de la calcite au niveau des racines dont le fonctionnement se trouve perturbé, obstacle à la minéralisation de la matière organique par effet d'enrobage (Morel, 1996).

III.5.2. Dégradation et vulnérabilité des sols dans les zones arides et semi arides

La dégradation de l'état des sols partout dans le monde est un phénomène méconnu et non médiatisé, alors qu'elle peut avoir de graves répercussions sur le changement climatique, la biodiversité, l'eau et par voie de conséquence sur la vie humaine (Lazzeri et Chiappero, 2013). Le sol est exposé à une dégradation physique, chimique et biologique, affectant ses capacités à assurer une ou plusieurs de ses fonctions (Figure 08). Il peut s'agir d'une perte quantitative de sol (en surface ou en profondeur), d'une diminution de sa fertilité ou de différents types de pollution : salinisation, acidification, excès d'engrais ou de pesticides, métaux lourds (Plan Bleu, 2003).

La dégradation des terres réduit ou détruit la capacité des terres à produire (agriculture, foresterie, pastoralisme). Elle résulte d'activités humaines excessives ou inadaptées (surpâturage, mauvaise gestion des terres, prélèvement excessif de bois de feu) entraînant l'érosion, la perte de fertilité et la salinisation des sols. Le stade ultime de la dégradation est irréversible : les sols deviennent alors stériles.

La dégradation des sols en Méditerranée notamment en zones aride est un phénomène ancien qui s'est aggravé dans les dernières décennies, sous l'effet de facteurs naturels (précipitations,

vent, ruissellement....) et d'actions anthropiques néfastes (surpâturage, surexploitation des ressources forestières, irrigation mal conduite, urbanisation...). Selon leur caractéristique (topographie, composition, couverture végétale...), les sols offrent des capacités de résistance plus ou moins forte. L'érosion des sols et la salinisation augmentent le risque de désertification des régions les plus vulnérables.

Suite à la période de sécheresse prolongée qui a sévi en Afrique sahélienne, on constate que cette pluviosité moindre et sa variabilité plus grande. Cependant, l'impact de ces sécheresses est faible ou négligeable là où l'impact humain et animal est faible ou nul. Pour l'ensemble des auteurs, l'accentuation des phénomènes de **sécheresse** n'est pas à l'origine de la désertification mais elle constitue un facteur important d'aggravation de l'effet anthropique sur la dégradation des terres en zones sèches (Cornet, 2002). L'érosion éolienne se manifeste surtout dans les zones arides et semi-arides, due à l'arrachement par le vent des particules fines de la surface du sol. La menace pour les sols est soit d'être recouverts par des sables ou des dunes apportées par le vent, soit d'être réduits à l'état de squelette après la disparition des éléments fins emportés par le vent (Montanarella, 1999).

L'érosion hydrique est due à l'excès ou à la violence des pluies. Un ruissellement intense entraîne la disparition de quantités de terres considérables et principalement de la couche la plus fertile des sols fragiles (Montanarella, 1999). **L'érosion hydrique** a pour effet la diminution de la fertilité du sol par l'entraînement de l'humus ce qui rend la nutrition en éléments minéraux déficiente, les éléments fins disparaissent et le sol perd sa fertilité initiale. Du point de vue physique la perméabilité du sol décroît et l'eau ruisseler au lieu de pénétrer en profondeur et aucune réserve en eau dans ce cas ne se constitue pendant la saison sèche (Melalih, 2011).

La déforestation, la surexploitation ou de mauvaises pratiques agricoles constituent les facteurs aggravants. Un sol nu, dénué de tout couvert végétal, forêt, pâturages ou cultures agricoles, devient extrêmement sensible à l'érosion par la pluie ou le vent.

La désertification est aujourd'hui définie par la CCD comme un «état de dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et même en subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines.

Les conditions climatiques, en particulier la température et la pluviométrie, jouent un rôle prépondérant sur le renouvellement des matières organiques des sols, l'humidité du sol favorise également la biodégradation des matières organiques, ainsi la propriété physico-chimique des sols telles que la texture et la minéralogie influencent également la dynamique des matières organique.

L'évaluation globale de la dégradation des terres n'est pas chose aisée: on utilise en effet un large éventail de méthodes, notamment les avis d'experts, la télédétection et la modélisation. En raison des différences de définition et de terminologie, on constate de grands écarts dans les statistiques disponibles sur l'étendue et le taux de dégradation. Qui plus est, la plupart des statistiques indiquent les risques de dégradation ou de désertification (en se fondant sur les facteurs climatiques et l'utilisation des terres) et non l'état actuel des sols (OMM, 2005)

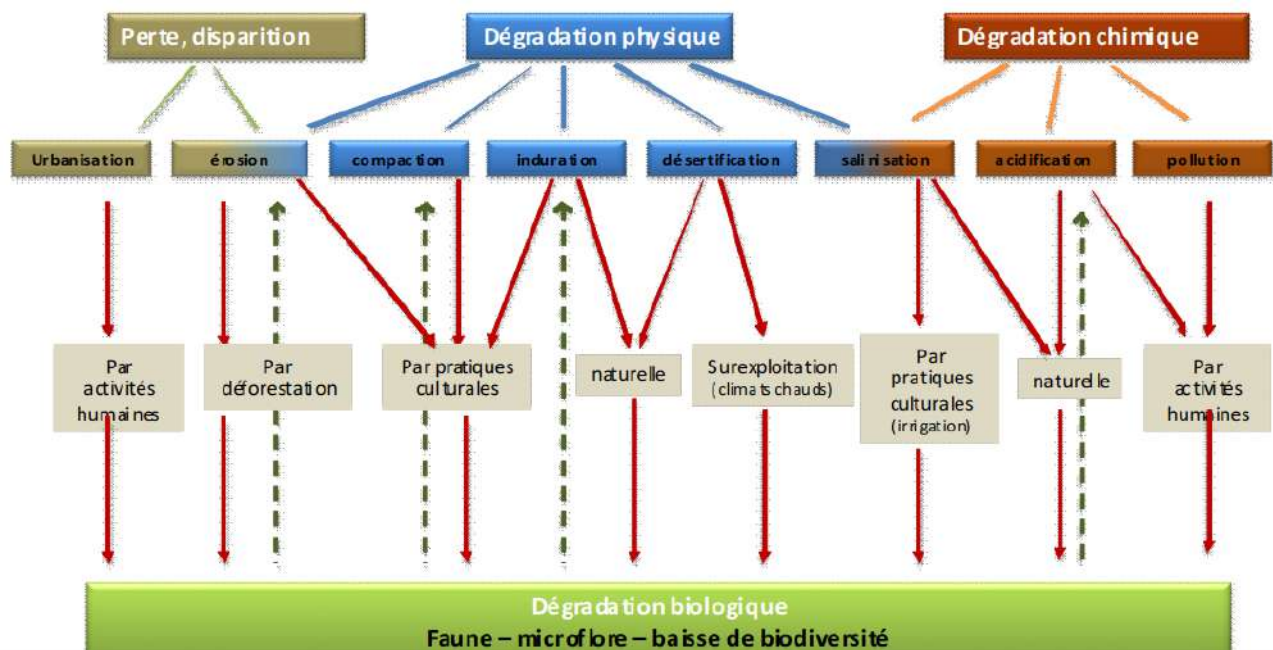


Figure 08 : Schéma de la dégradation des sols (Jabiol, 2004)

Partie II

Matériels et Méthodes

Chapitre I

Présentation des zones d'études

I. Présentation des zones d'études

Mise à part la présentation détaillée de la zone d'études et de l'ensemble des parcelles de terrain sélectionnées pour la réalisation de ce travail, ce chapitre a pour but de décrire précisément les principes et les protocoles de toutes les méthodes analytiques utilisées.

Dans ce travail nous avons sélectionné deux zones dans l'ouest Algérien, wilaya de Saïda représentée par la zone semi-aride et la wilaya de Naâma représentée par la zone aride (Figure 09).

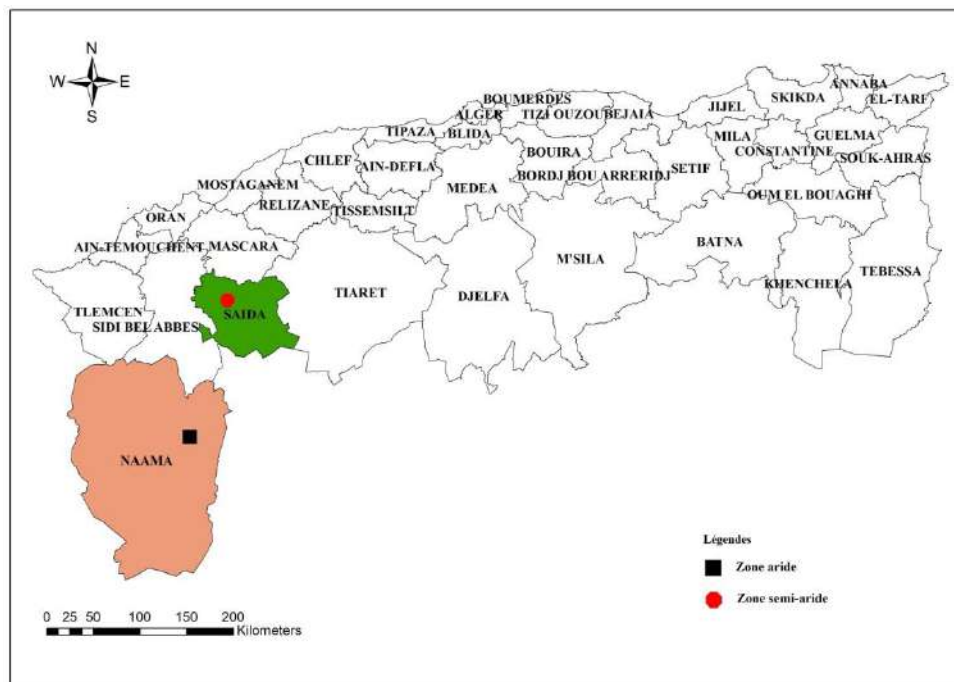


Figure 09 : Localisation des zones d'études (Zouidi et *al.*, 2019).

I.1. La zone semi aride (Saïda)

I.1.1. Aperçu sur la région d'études

La wilaya de Saïda couvre une superficie totale de 6765 km², localisée au Nord-ouest de l'Algérie, elle est limitée au Nord par la wilaya de Mascara, au Sud par celle d'El Bayadh, à l'Est par la wilaya de Tiaret et à l'Ouest par la wilaya de Sidi Bel Abbès. La wilaya de Saïda est constituée de six daïras et de seize communes, qualifiée de territoire hybride, ni franchement steppique, ni franchement tellien (ANAT, 2008).

Le territoire de la wilaya se distingue par une palette d'entités géologique, géomorphologique, hydrogéologique, bioclimatique, pédologique et sociale en plus des richesses naturelles importantes et variées (Labani, 2005). Dans les temps historiques, cette position de contact a

fait vivre la région d'échanges avec la steppe et les régions pré-sahariennes, cette économie d'échange très largement ouverte sur le Sud, convenait parfaitement au type de ressources qu'offre le territoire de la wilaya (Labani, 2005).

I.1.2.Présentation de la zone d'étude

La forêt Sid Ahmed Zeggai (Figure 10) est située à 4,5 km à l'Ouest de la ville de Saida, elle fait partie des monts de Saida qui sont le prolongement oriental des monts de Dhaya qui appartiennent à l'Atlas Tellien. C'est une forêt domaniale depuis 1962 avec une superficie de 2232 hectare sur un sol bruns et bruns calcaire dominée par le pin d'Alep à 90%. Les espèces accompagnante sont le lentisque, le genévrier, le chêne vert et l'alfa, cette forêt est très dense (2000 plant/hectare) et présente une régénération importante.

La forêt est gérée par la conservation des forêts de Saida et elle a bénéficié de plusieurs projets importants principalement le pré-aménagement de Grim en 1989 et d'autres projets de sylvicultures et repeuplement des parcelles incendié par l'ONTF entre 1974 et 1977, et l'installation des tranchées pare-feux (ATPF). Entre 2001 et 2016 la direction des forêts à lancé aussi un nouveau projet d'aménagement des pistes et les points d'eau dans le but de la lutte contre les incendies qui touche la zone.



Figure 10 : La forêt de djebel Sid Ahmed Zeggai.

I.1.3. Caractérisation de la zone d'étude

I.1.3.1. Cadre Géologique

La zone d'étude d'un point de vue géologique repose sur une formation du jurassique (Dolomie, argiles gréseuses, marnes, calcaires essentiellement) avec quelques roches éruptives et des formations d'âge primaire; les dépressions sont formées des alluvions du quaternaire. A ce sujet Lucas (1952) précise que le territoire de la wilaya de Saida est constitué essentiellement de terrains secondaires ; généralement de grés jurassiques et crétacés à dureté variable suivant le degré de consolidation de même que des couches calcaires marneuses ou dolomitiques.

D'un point de vue tectonique, l'atlas Tellien a été formé par la dernière phase du plissement Alpin. Le djebel Sid Ahmed Zeggai est d'âge Jurassique supérieur. De bas en haut nous distinguons : L'alternance argilo-gréseuse du Callovo-oxfordien. Les argiles dominent et les bancs de grés ont une épaisseur de quelques centimètres à 1 mètre voir 2 m. L'alternance du Callovo-oxfordien constitue l'essentiel de la lithologie du djebel Sid Ahmed Zeggai. Au sommet du djebel gisent les grés du Lusitanien (les grés de Sidi Amar, ex Franchetti) de forme tabulaire de quelques mètres d'épaisseur (DPAT, 2010).

I.1.3.2. Cadre pédologique

Dans les deux principales études en relation avec les sols, la SATEC (1976) et le BNEDER (1992) six types de sols sont identifiés :

- *les sols alluviaux* : ils comprennent les sols alluviaux de plaine ou de terrasse alluviale, les sols remaniés de dayate Zreguet, les sols alluviaux de bordure de chott et les sols alluviaux de lits d'oueds.
- *les sols bruns* : parmi ces sols, on distingue les sols bruns calcaires largement étendu au nord de la wilaya et les sols bruns.
- *les sols bruns rouges* : parmi ces sols on distingue les sols brun rouges à horizon humifère, les sols bruns rouges méditerranéens à texture légère, les sols bruns rouges méditerranéens sous formations steppique.
- *les lithosols* : sont assez étendus et se retrouvent sur presque tous les versants dénudés. Ils sont peu épais (moins de 20 cm généralement) et très morcelés.
- *les sols halomorphes* : on les trouve dans la zone du Chott Chergui, peu épais, à texture limoneuse, et portent une végétation halophile. Ils sont aussi de peu d'intérêt pour la mise en valeur agricole.

- *les sols hydromorphes* : Ils sont exclusivement localisés dans la zone steppique. Leur texture est lourde et ils sont peu profonds (entre 20- 50 cm). Ces sols sont mis à profit par les éleveurs pour y faire des emblavures de céréales.

Selon la figure 11, notre zone d'étude présente des sols de type lithosols, calcaires plus léger surtout en surface. L'épaisseur est variable par la présence d'une croûte calcaire sous-jacente généralement dure.

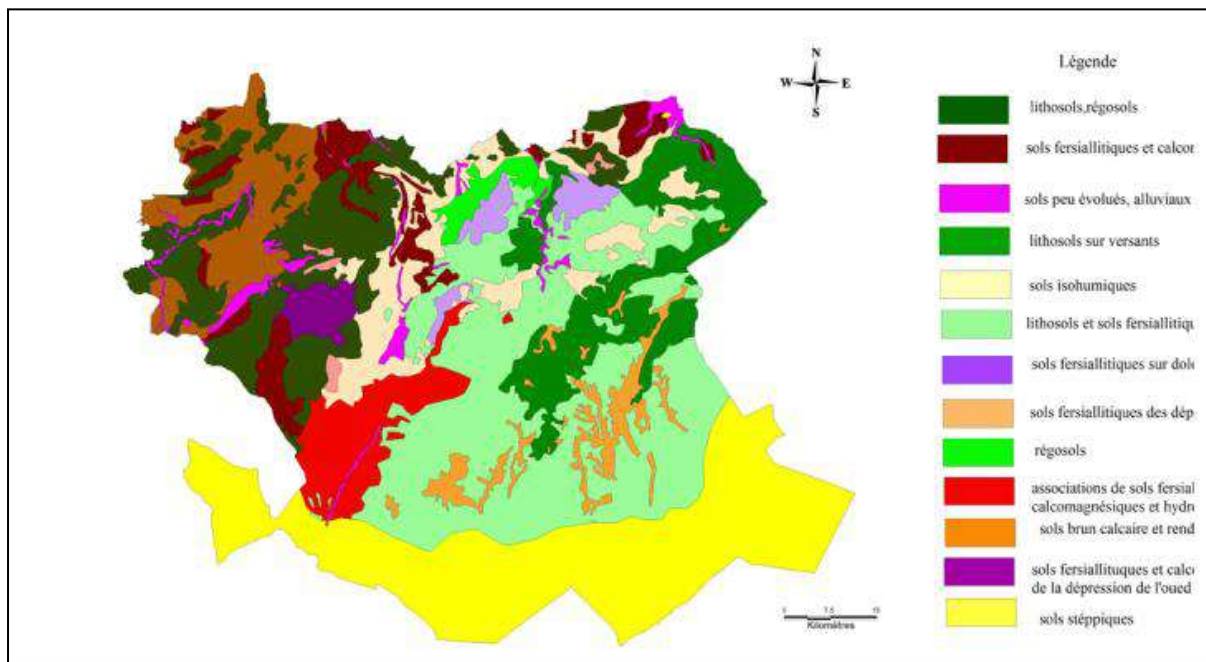


Figure 11 : Carte des sols de la wilaya de Saida (SATEC ,1976).

I.1.3.3. Cadre hydrogéologique

L'hydrographie du territoire de la Wilaya est constituée de plusieurs bassins superficiels où l'écoulement se fait en général du Sud vers le Nord à l'exception du bassin du Chott Chergui qui draine les eaux vers le Sud (ANAT, 2008). Le Callovo-oxfordien est pratiquement stérile à l'exception de quelques bancs de grès émergents pouvant contenir des nappes minéralisées de faible débit, drainées par des sources existantes.

Le Lusitanien à l'Ouest du djebel, constitue une formation aquifère très importante : forages de "Ayata1" (débit de 7 l/s) et "Ayata2" (débit de 35 l/s). Leurs eaux sont froides et de très bonne qualité ; leur minéralisation en général est de 900 mg/l, atteignant rarement le 1 g/l. Actuellement, le forage "Ayata2" alimente une partie de la ville de Saida (DPAT, 2010).

I.1.3.4. Aspect floristiques

Saida est caractérisé par deux espaces, un espace forestier qui couvre plus de 26% de la surface totale, un taux supérieur à la moyenne nationale imposant une vocation sylvicole à la zone. Les forêts domaniales elles sont composées de pin d'Alep auquel est souvent associé le chêne vert (*Quercus rotundifolia*) sous forme de taillis. Les formations forestières sont dominées par les groupements suivants : Pin d'Alep (*Pinetum halepensis*), Thuya (*Tetraclinum articulata*) et le Chêne vert (*Quecetum illicis*) et un espace steppique (Terras, 2011).

Le Pin d'Alep est la principale espèce présente sur le Djebel de Sid Ahmed Zeggai, nous trouvons également l'Alfa de montagne, le lentisque, le romarin, le sparte, les genêts, le *Phillyrea angustifolia* ou Filaria. Ainsi les essences pin d'Alep notamment sont associées soit au chêne vert (*Quercus rotundifolia*) soit au thuya de Berbérie (*Tetraclinis articulata*) avec un cortège floristique caractéristique de l'étage bioclimatique et des groupements et associations végétales ligneuses dominantes que sont le *Pinetum halepensis* et le *Quecetum illicis*. Le cortège floristique est diversifié en espèces de la strate arbustive et sous arbustive adaptées aux conditions du milieu et résistantes de par leur faculté de rejeter des souches. Le lentisque (*Pistacia lentiscus*), la filaire (*Phillyrea angustifolia*), les genêts (*Genista tricuspidata* et *ericoides*), le romarin (*Rosmarinus tournefortii*), le Genévrier de Phénicie et le Genévrier oxycèdre et d'autres espèces dominant en sous-bois. Toute la couverture végétale est soumise presque en permanence à des agressions d'origine humaine, animale et naturelle face auxquelles la végétation, malgré ses facultés de résistance, n'arrive plus à riposter et se maintenir.

I.2. La zone aride (Naâma)

I.2.1. Aperçus sur la région d'étude

La wilaya de Naâma est une wilaya algérienne située à l'ouest de l'Algérie sur une superficie de 2.951.414 ha, à la frontière avec le Maroc. Elle est voisine au nord avec les wilayas de Tlemcen et Sidi-Bel-Abbès, à l'Est celle d'El-Bayadh et au Sud celle de Béchar. Elle constitue en même temps un atout pour le développement en matière d'espace, et une contrainte en matière de maîtrise des aménagements proposés notamment en matière de lutte contre la désertification.

La wilaya de Naâma est caractérisée par un écosystème steppique fragile, elle se trouve confrontée au phénomène de la désertification qui doit être la préoccupation primordiale pour les décideurs. En effet, les conditions climatiques et édaphiques conjuguées aux conditions

socioéconomiques accentuent le processus de dégradation du milieu naturel dans cette région, d'où la mise en œuvre d'un programme de lutte efficace qui s'impose.

I.2.2. Présentation de la zone d'étude

La forêt du djebel Antar (Figure 12) est située dans la commune de Mecheria et fait partie des Hautes Plaines steppiques du Sud-Oranais. à l'Est de la wilaya de Naâma. Cette forêt est une zone piedmont de Djebel qui joue un rôle protecteur contre la désertification de la zone. C'est un boisement de masse de pin d'Alep âgés de 40 à 45 ans sur une superficie plus de 1000 hectare, sur un sol calcimagnésiques dont la profondeur est généralement comprise entre 10 et 30 cm, ce reboisement été réalisé par l'entreprise ONTF dans les années 1975 et suivie par d'autres repeuplement dans les années quatre-vingt sur des terres domaniales par système de rootage. Le pin d'Alep est utilisé comme essence principale à raison de 95% avec une densité de 1600 plant/hectare. Aujourd'hui les arbres de pin d'Alep présente une hauteur moyenne entre 3 à 5 m.

La zone rencontre dernièrement plusieurs facteurs de dégradation due à la désertification et l'urbanisation avec comme conséquences une transformation radicale des formations végétale touchée. En plus du risque que posent les déchets sur les boisements en tant que source de déclenchement des incendies, leur effet sur l'état sanitaire des peuplements est évident. La pression exercée par la pollution sur les plantations périurbaines commence à prendre de l'ampleur avec la croissance démographique.



Figure 12 : La forêt de djebel Antar.

I.2.3. Caractérisation de la zone d'étude

I.2.3.1. Cadre Géologique

Les données géologiques fournissent des indications précieuses sur la nature du substrat où se développe la végétation. Cette dernière répond d'une manière assez fidèle à la nature lithologique et aux formes géomorphologiques. La wilaya de Naâma s'organise autour de deux grandes unités structurales qui se succèdent du nord au sud : les hautes plaines sud oranaises et l'Atlas Saharien constitué par les monts des Ksours (Bensaid, 2006).

Selon Haddouche et *al.*, 2004., La région de Mecheria est constituée par trois types de formation :

- Djebel Antar correspond à un anticlinal constitué par des formations essentiellement d'âge Jurassique. Au cœur de cet anticlinal, les dépôts sont représentés par des faciès essentiellement dolomites et des doggers appartenant à des dépôts continentaux (jurassique).
- Les plaines sont représentées par des formations continentales (carapaces calcaires et formations continentales d'âge Quaternaire).
- Les dépôts récents (des alluviers et cordon dunaire).

I.2.3.2. Cadre édaphique

D'après Ozenda (1985), le sol est plus ou moins développé suivant la nature de la roche mère, la topographie du lieu et les caractères du climat et d'après Demolon (1966) Le sol est la formation naturelle de surface à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de transformation de la roche mère sous-jacente sous l'influence de divers processus physiques, chimiques et biologiques la nature des sols et leur répartition sont en étroite relation avec les unités géomorphologiques. Une plus grande superficie est occupée par les sols calcimagnésiques (Figure 13)

- *Sols calcimagnésiques*

La classe de sols calcimagnésiques occupe la majeure partie de la zone d'étude. Elle est représentée par plusieurs types de sols : les rendzines, sols bruns calcaires et sols bruns calciques, sols à encroûtement gypseux. Ces sols occupent les glacis du Quaternaire ancien et moyen.

- *Sols minéraux bruts*

Les sols minéraux bruts sont représentés par les sols minéraux bruts d'érosion, les sols minéraux bruts d'apport alluvial et les sols minéraux bruts d'apport éolien.

- Sols minéraux bruts d'érosion : sont situés sur de fortes pentes où les couches superficielles sont constamment entraînées empêchant ainsi la formation du sol. Le couvert végétal est très

peu significatif avec toutefois quelques reliques de chêne vert (*Quercus ilex*) et le genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*).

- Sols minéraux bruts d'apport alluvial : Se rencontrent au niveau des oueds importants. Ils présentent une texture sableuse, une forte charge caillouteuse et leur profondeur est variable.
- Sols minéraux bruts d'apport éolien : Ils sont constitués de sable et de dunes plus au moins mobiles. Ces sols sont occupés par une végétation psammophile à *Aristida pungens* et *Arthrophytum scoparium*.

- *Sols peu évolués*

La classe de sols peu évolués est composée par :

- Les sols peu évolués d'érosion sur roche mère dure (calcaire et gré) ou tendre (marnes), présentant une proportion élevée d'éléments grossiers, une forte charge caillouteuse et un faible taux de matière organique (<2%).
- Les sols peu évolués d'apport alluvial occupent particulièrement les zones basses (zone d'épandage, daïa, chenaux d'oued). Ces sols représentent la majeure partie des terres mises en culture

- *Sols halomorphes*

Ils se localisent au niveau des zones de dépressions (Chott et sebkha) et des zones d'épandage des principaux oueds. Ces sols se développent sur des matériaux alluviaux à texture sablo-limoneuse, et ils se repartissent en auréoles autour des chotts et des sebkhas et en bas des glacis. Leur couvert végétal bien qu'homogène dans l'ensemble varie selon leur degré de salinité et leur taux d'humidité. Quand la salure est trop importante la végétation se compose d'espèces hyper-halophytes (*Halcnemum strobilaceum*). Toutefois, lorsque cette salure diminue on rencontre un couvert végétal halophyte qui se compose de (*Salsola Vermiculata*, *Attriplex halimus* et *Suaeda fruticosa*).

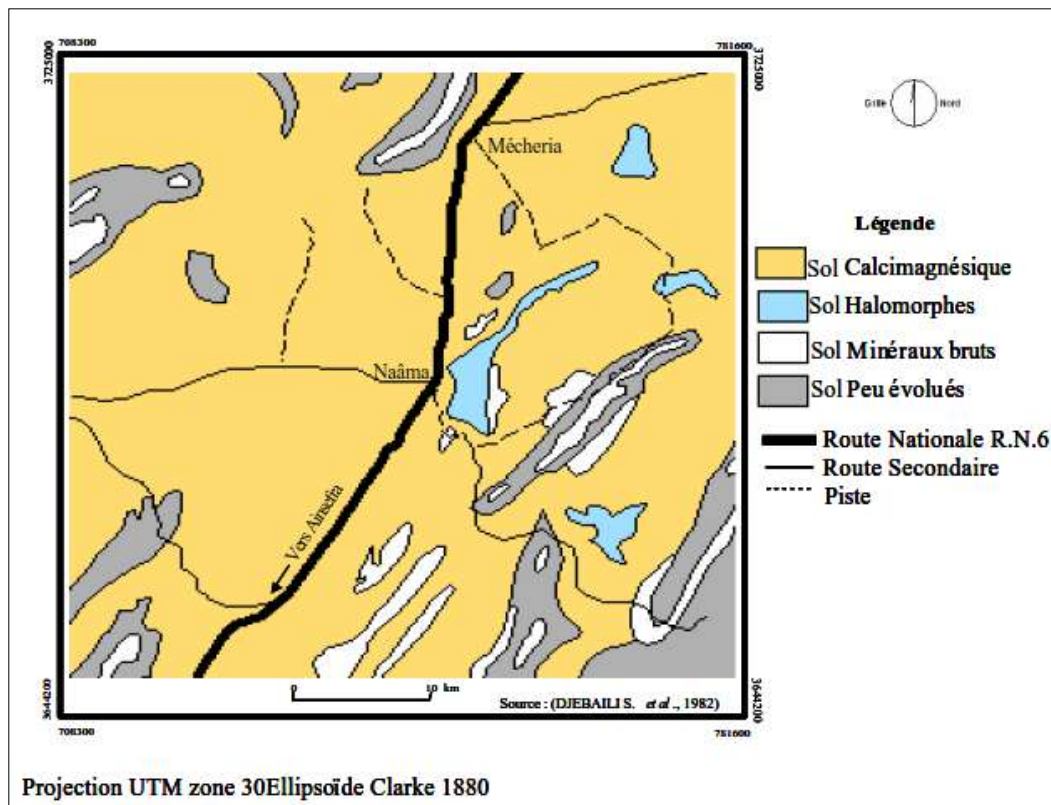


Figure 13 : Carte pédologique de la région centre de la wilaya de Naâma (Bensaid, 2006).

I.2.3.3. Cadre Hydrogéologique

Dans notre zone les potentialités en eaux souterraines sont mal connues par manque d'études hydrogéologiques détaillées et récentes, mais elles peuvent être considérées appréciables au vu du nombre d'ouvrages hydrauliques en exploitation et des débits obtenus.

Selon la DHW, les ressources en eau souterraine de la wilaya de Naâma proviennent de plusieurs systèmes aquifères dont la formation est favorisée par le contexte géologique. Cependant, en absence d'études hydrogéologiques sur la wilaya, on considère que le potentiel en eaux souterraines relève de deux domaines :

- Les nappes profondes, exploitées principalement par les forages,
- Les nappes phréatiques, exploitées principalement par les sources.

Le réseau hydrographique et les écoulements de la wilaya sont conditionnés par la structure du relief de cette dernière. Cette zone des hautes plaines steppiques s'inscrit dans l'aire géographique du grand bassin versant de Chott Chergui, présente un réseau hydrographique peu développé ; Elle se caractérise par une topographie relativement plane et parsemée de dépressions (Chott Gharbi, dépression de Naâma,

Sebkhet El Biodh), ce qui est à l'origine du caractère endoréique de ces oueds. Ces derniers sont à écoulement diffus et intermittents, ils prennent naissance en général sur les reliefs isolés et terminent leur course dans la plaine au niveau des dépressions.

Selon la DHW, les eaux souterraines sont mal connues à cause de l'insuffisance d'études hydrogéologiques détaillées et récentes, mais elles peuvent être considérées appréciables au vu du nombre d'ouvrages hydrauliques en exploitation et des débits obtenus (Bensaid, 2006).

I.2.3.4. La flore

La végétation naturelle est dominée par des formations basses et claires avec des espèces pérennes ligneuses et herbacées (Le Houérou, 1995). Les formations végétales sont marquées par une steppe graminéenne pérenne représentée par : • une steppe à *Stipa tenacissima* et *Lygeum spartum*, • une formation chaméphytique : steppe à *Artemisia herba-alba* parfois liée aux conditions climatiques et édaphiques (steppe aride ou saharienne, steppe psammophile colonisant les substrats sableux, ou steppe halophile à *Salsolaceae* colonisant les sols à forte teneur en sels. • un matorral composé de genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea* et *Stipa tenacissima*) ou une végétation steppique à structure simplifiée, monostrate et très ouverte, dominée par le remth (*Arthrophytum scoparium*) sur les reliefs.

Le Barrage vert Selon Nedjraoui et Bédrani (2008), de 1962 à 1969 il y a eu la mise en place les chantiers populaires de reboisement (CPR). 99.000 ha de plantations forestières ont été réalisés dans le cadre de l'amélioration et l'aménagement des parcours et la lutte contre l'érosion éolienne.

Notre forêt est un massif de reboisement réalisé au nord de la ville de Mecheria zone située entre Djebel Antar et la ville de Mecheria - zone piedmont de Djebel Antar. Ce type de boisement est réalisé à base de Pin d'Alep en association quelque fois à l'Eucalyptus, il a pour objectif d'accroître la superficie forestière qui joue un rôle protecteur. Le boisement a été effectué sur de vastes étendues de terrains de parcours très dégradés. La dégradation est très visible, cependant au niveau des projets de plantations forestières où une protection est assurée, la régénération d'alfa par semis est constatée, ce qui peut mettre en évidence l'effet de la protection dans le rétablissement de l'équilibre.

Chapitre II

Etude climatique

Étude climatique

II.1. Introduction

La connaissance du climat est un élément fondamental de l'approche du milieu. Il est basé sur l'étude des températures et des précipitations du fait qu'elles constituent les facteurs limitant, mais cela n'exclue pas l'influence d'autres composants comme la neige, les vents et les gelées. Le climat joue un rôle important dans la formation et les caractéristiques des sols. Il a un impact sur la végétation. La température intervient dans la vitesse d'altération des roches et dans la vitesse de décomposition des matières organiques.

De nombreux auteurs (Seltzer, 1946; Stewart, 1968 ; Daget, 1977 ; Bouazza, 1995) s'accordent sur l'intégration du climat de l'Algérie au climat méditerranéen. La synthèse des données climatiques présentée ci-dessous nous permet de mieux caractériser le climat de notre région.

II.2. Choix des stations de référence

Dans le cadre de notre travail, l'étude de la bioclimatologie est nécessaire car cette discipline atteste de l'influence des facteurs climatiques sur la formation des sols et la dégradation de la matière organique et la croissance des végétaux.

Pour cela nous avons choisi deux stations météorologiques ; la station de Rebahia (Wilaya de Saida) qui représente la zone semi-aride et la station de Mecheria (Wilaya de Naâma) représente la zone aride. On a choisie ces stations météorologiques car elles se trouvent à proximité des stations étudiées, La station de Rebahia est à 4.5 km de djebel Sid Ahmed Zeggai et la station de Mecheria est à 3 km de djebel Antar (Tableau 04).

Tableau 04 : Données géographiques des stations météorologiques.

Station	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Wilaya
Rebahia (zone semi-aride)	34°52' N	00°10' E	750	Saida
Mecheria (zone aride)	33°31' N	00°17' W	1149	Naâma

Le but de cette analyse bioclimatique est de comparée les données climatiques entre les deux zones (semi-aride et aride), et aussi de comparée l'ancienne et la nouvelle période climatique dans ces deux régions d'études. Pour l'ancienne période (AP) nous avons pris les résultats dans le document de Seltzer (1913-1938) et pour la nouvelle période (NP), nous avons utilisé les résultats fournis par l'Office National de Météorologie (1985-2015) (Tableaux 05 et 06)

II.3. Paramètres climatiques

II.3.1. Précipitations

Les précipitations représentent la source principale d'eau nécessaire pour une production de la biomasse, caractérisées par trois principaux paramètres : leur volume, leur intensité et leur fréquence qui varient selon le jour, les mois et aussi selon les années (Guyot, 1997).

Djebaili (1978), définit la pluviosité comme étant primordiale, elle permet de déterminer le type de climat. En effet, elle conditionne le maintien de la réparation du tapis végétal d'une part, et de la dégradation du milieu naturel par le phénomène d'érosion d'autre part.

L'étude des tableaux : (05) et (06) met en évidence l'irrégularité de la répartition des précipitations entre les deux périodes (ancienne et nouvelle) quel soit en zone aride ou semi-aride. Ce qu'on peut dire d'abord, c'est la relative abondance des précipitations durant l'ancienne période (1913-1938), la quantité des pluies reçue oscille durant cette période entre 430 mm (à Rebahia) et 278.1 mm (à Mecheria), puis cette quantité a diminué durant la nouvelle période (1985-2015), et elle oscille entre 361.77 mm (Rebahia) et 222.06 mm (Mecheria).

II.3.2. Les régimes pluviométriques

Ce n'est pas le total des pluies qui intéresse l'agropasteur, l'agriculteur et l'éleveur, mais surtout, leurs répartitions dans l'année. Selon (Despois, 1955) l'étude du régime des pluies est plus instructive que de comparer des moyennes ou des totaux annuels. A cet effet, nous avons calculé pour la station de Rebahia et de Mecheria le pourcentage des pluies pour les quatre saisons dans les deux périodes. Les résultats sont dans les tableaux (05 et 06), nous remarquons que la station de Rebahia présente un régime saisonnier de type HPAE pendant l'ancienne période puis un régime de type HAPE pour la nouvelle période avec une tranche pluviométrique saisonnière essentiellement hivernale puis Automnale, par contre dans la station de Mecheria, nous remarquons un régime saisonnier de type APHE durant la nouvelle période accompagnée d'une tranche pluviométrique saisonnière particulièrement en Automne ensuite au printemps; et de type HAPE pendant l'ancienne période.

II.3.3. Température

La température est un facteur écologique fondamental et un élément vital pour la végétation. Elle représente un facteur limitant de toute première importance car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espaces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère (Ramade, 2003).

La détermination de la température en un lieu donné se fait généralement à partir de la connaissance des variables suivantes:

- ❖ Température moyenne mensuelle «T».
- ❖ Température maximale «M».
- ❖ Température minimale «m »

Emberger (1955), a employé la moyenne des maxima du mois le plus chaud « M », la moyenne des minima du mois le plus froid « m » et l'amplitude thermique « M-m », ces derniers ayant une signification biologique. Les données thermométriques caractérisant la région d'étude durant la période (1985-2015) assemblés dans la station météorologique de Rebahia, et de Mecheria, sont représentées dans le tableau (06).

Les températures moyennes annuelles ont une influence considérable sur l'aridité du climat. Dans les hautes plaines sud oranaises, les températures varient normalement dans l'année, élevées en saison estivale et basses en saison hivernale. Le mois de janvier reste le mois le plus froid de l'année et le mois de juillet est le mois le plus chaud pour les deux zones. La température moyenne minimale (m) est de 2.9 °C à notre zone semi aride et à 2.5 C° dans notre zone aride.

Pour La température moyenne maximale (M), le mois d'Août est considéré comme le mois le plus chaud avec un température de 35.5 C° enregistrer en zone semi-aride et de 37.6 C° en zone aride.

Tableau 05. Données climatiques des stations situées dans la zone d'étude (ancienne période 1913-1938).

	Moyennes mensuelles des précipitations et des températures													
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Saida	P(mm)	53	48	51	39	42	20	2	8	24	35	55	53	430
	T (°C)	7.75	9.1	11.0	14	17.8	22.1	27.2	27.3	23.0	17.5	11.8	8.45	16.41
Naâma	P(mm)	26.2	34.9	32.5	25.7	23.4	14.5	7.1	5.6	24.4	31.6	28.0	24.2	278.1
	T (°C)	11	12.6	16.4	20.7	24.1	30.2	35.1	34.5	22.6	16.4	10.1	6.64	20.02
Station	Régime saisonniers des précipitations													
	Hiver	Printemps			Eté		Automne		Types		M (°C)	m (°C)	Q2	climat
Saida	154	132			30		114		HPAE		36.2	2.6	43.28	Semi aride sup
Naâma	85.3	81.6			27.2		84		HAPE		35.1	1.5	28.09	Aride sup

Tableau 06. Données climatiques des stations situées dans la zone d'étude (nouvelle période 1985-2015)

Stations	Moyennes mensuelles des précipitations et des températures													
		J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	
Saida (Rebahia)	P (mm)	40.94	38.22	41.18	36.62	29.87	12.79	5.83	10.94	24.84	42.46	43.54	34.54	361.77
	T (°C)	5.6	8.03	11.46	13.22	18.11	23.48	27.26	27.62	22.69	18.79	12.55	9.54	16.95
Naâma (Mecheria)	P (mm)	19.32	15.88	21.32	25.02	18.49	14.93	5.45	13.08	25.05	23.06	25.11	15.35	222.06
	T (°C)	5.99	7.76	11.4	14.0	19.6	24.3	28.7	28.2	22.9	18.9	10.6	7.03	16.65
Stations	Régime saisonniers des précipitations										M (°C)	m (°C)	Q2	
	Hiver		Printemps		Eté		Automne		Types					
Saida	113.7		107.67		29.56		110.84		HAPE		35.5	2.9	38.05	Semi- aride inf
Naâma	50.55		64.83		33.46		73.22		APHE		37,6	2,50	21.29	Aride Inf

II.3.4. Amplitude thermique

Djebaili, (1984) a signalé que l'amplitude thermique est déterminée par la dissimilitude entre les moyennes des maximums extrêmes et les minimums extrêmes. Sa valeur est écologiquement importante à connaître, car elle représente la limite thermique extrême à laquelle chaque année en moyenne les végétaux doivent résister.

D'après Alcaraz, (1982) quatre types de climats peuvent être calculés à partir de M et m :

- ❖ Climat insulaire: $M-m < 15^{\circ}\text{C}$
- ❖ Climat littoral: $15^{\circ}\text{C} < M-m < 25^{\circ}\text{C}$
- ❖ Climat semi-continental: $25^{\circ}\text{C} < M-m < 35^{\circ}\text{C}$
- ❖ Climat continental: $M-m > 35^{\circ}\text{C}$

Le tableau 07 ; nous a permet d'observer que dans la station du Rebahia en zone semi-aride ont des écarts thermiques raisonnablement faible par rapport à Mecheria (zone aride) qui sont influencées par un climat semi-continental ($25^{\circ}\text{C} < M-m < 35^{\circ}\text{C}$). Les écarts thermiques « M-m » ont une influence directe sur le déroulement du cycle biologique des végétaux.

Tableau 07 : Types de climats en fonction des amplitudes thermique

Station	Période	Amplitude thermique M-m	Type de climat
Rebahia (Saida)	1913-1938	33.6	semi-continental
	1985-2015	32.6	semi-continental
Mecheria (Naâma)	1913-1938	35.1	Continental
	1985-2015	35,1	Continental

II.3.5. Vent

Selon Guyot (1999), le vent peut être considéré comme un déplacement d'air pratiquement horizontal, à l'exception des régions montagneuses où la topographie joue un rôle important. En effet, le vent est l'un des éléments les plus caractéristiques du climat, il agit par son action sur le couvert végétal et sur la formation du microrelief.

Le vent violent et fréquent même avec un déficit thermique provoque une évaporation intense qu'un vent modéré avec une température relativement plus élevée. Le vent agit directement sur le sol et sur les plantes, particulièrement en été ce sont des vents chauds et secs (Sirocco), lorsqu'il souffle au moment où la végétation est en pleine activité, il cause des dégâts plus ou moins importants notamment sur les plantes jeunes (échaudage).

Les vents dominants dans notre région semi-aride sont ceux du Nord de caractère sec et froid en hiver, provoquant une diminution de la température et de l'humidité avec une fréquence de 14,7 % et ceux venant du Sud (Sirocco) avec une fréquence de 10,6 % avec vitesse moyenne, annuelle des vents sur le massif, varie entre les valeurs 2,8 et 3 m/s. le sirocco souffle du sud vers le nord généralement en été où il cause plus de dégâts aux sols déjà déshydratés par l'effet de la chaleur estivale. Les maximums sont observés aux mois de Juin, Juillet et Août avec 3 jours en moyenne.

Dans notre zone aride la fréquence des vents est importante sur favorisant l'érosion éolienne et contribuant au processus de l'ensablement et la formation des dunes avec une vitesse moyenne de la vitesse du vent est inférieure à 4 m/s. La fréquence des vents est importante sur l'année avec une moyenne de 18 jours par mois. Les vents dominants sont de direction Nord, ils représentent 18 % de la fréquence totale ; Les vents de direction Ouest et Est représentent respectivement 16 et 4,6% ; Les vents de direction Sud (sud, sud-est, sud-ouest) représentent 31,4% (Tableau 08).

Les vents de secteur Sud accentuer considérablement la sécheresse et l'évaporation, il provenant des régions sahariennes et qui ne peuvent apporter ni fraîcheur ni humidité. A l'intérieur des ces espaces arides où le couvert végétal fût dégradé, le vent est considéré comme agent dynamique principal de l'érosion éolienne traduite par la formation des aires sableuses et la stérilisation des terres steppiques.

Tableau 08 : Fréquence des vents en zone aride et semi aride

Fréquence (%)	Direction	N	NE	NW	SE	S	SW	W	E
	Rebahia Saida (SA)	14,7	2,2	8.9	2.9	10.6	3.2	7.2	1.4
	Mecheria Naâma (A)	18	13	17	4.4	11	16	16	4.6

II.3.6. Synthèse bioclimatique

Pour rendre les données climatiques plus significatives plusieurs auteurs ont proposé des indices climatiques qui sont des combinaisons des moyennes des différentes composantes du climat notamment la température et les précipitations (Emberger, 1955). La synthèse des données climatiques permet ainsi de classer ce climat afin de mieux se rendre compte sur la répartition et le comportement des différentes associations végétales et animales.

Les différents facteurs climatiques n'agissent pas indépendamment les uns des autres. Pour tenir compte de cela divers indices ont été calculés, principalement dans le but de rendre compte de la répartition des types de végétation. Les indices les plus employés utilisent la température et la pluviosité, qui sont les facteurs les plus importants et les mieux connus.

Les trois principaux indices souvent utilisés sont les suivants:

II.3.6.1. Diagramme ombrothermique de Bagnoul et Gaussen

D'après Bagnouls et Gaussen (1953), un mois est sec lorsque les précipitations en millimètres sont inférieures ou égales au double de la température moyenne mensuelle en degrés Celsius ($P \leq 2T$). Cette synthèse combiné les différents paramètres climatiques afin de déterminer l'impact du climat sur la végétation.

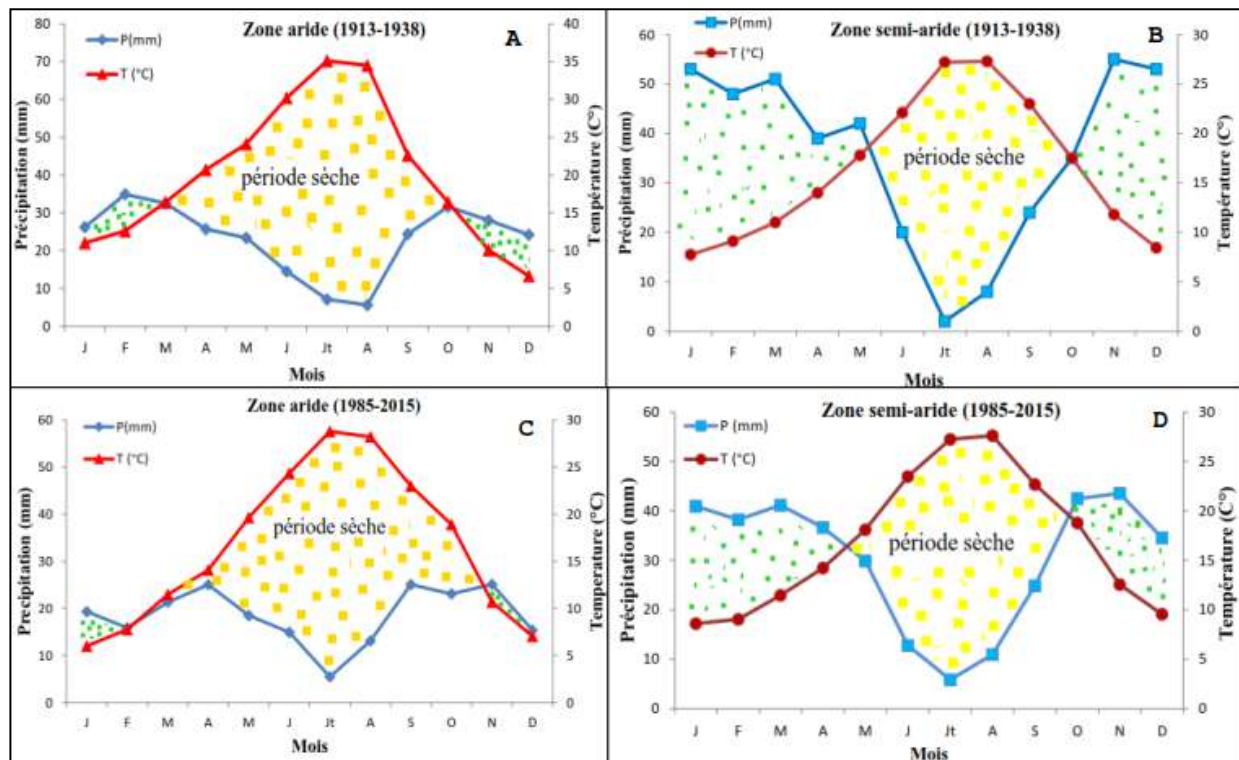


Figure 14 : Diagrammes ombrothermiques de Bagnoul et Gaussen.

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (Figure 14) forme un bon indice permettant de comparer facilement l'évolution des températures et des précipitations et de comparer facilement le climat d'endroits différents.

La représentation sur un même graphique des températures et des précipitations moyennes mensuelles avec en abscisse les mois permet d'obtenir le diagramme ombrothermique qui met immédiatement en évidence la période sèche et la période pluvieuse (Guyot, 1997).

Durant l'ancienne période, sur ce diagramme (A) apparaît une nette période de sécheresse qui s'étale sur 7 mois de avril à Octobre et une période humide entre Novembre et Mars (5 mois) dans notre zone aride, par contre en zone semi aride (diagramme B) durant (1913-1938) la période sèche s'étale sur 5 mois entre juin et Octobre tandis que les période humide s'étale sur 7 mois entre Novembre et Mai.

En comparaison des diagrammes ombrothermique de l'ancienne période (1913-1938) avec la période actuelle (1985-2015) dans les deux zones on remarque un changement climatique marqué principalement par diminution de la période humide et allongement de la période sèche. La période sèche en zone semi aride s'étend sur toute la saison estivale, une partie de celle printanière et automnale ; soit une période de six mois presque qui s'étale de la

fin Mai au début du mois d'Octobre ; et une période humide ou arrosée de presque sept mois qui s'étale de la fin Octobre au début Mai.

Actuellement dans notre zone aride, la saison sèche s'étale entre le mois de Mars jusqu'au mois d'Octobre en comptabilisant 8 mois sur les 12 mois de l'année concernée sont secs et chauds, ceci se traduit par un écart important entre les températures et les précipitations enregistrées.

Les échelles prises en ordonnées sont telles que 1°C correspond à 2 mm de précipitations. Donc nous avons une période sèche chaque fois que la courbe des températures passe au-dessus de la courbe des précipitations (Le Houerou, 1995 ; Guyot, 1997). Avec ce diagramme, la période sèche ou humide peut être facilement calculée (Hufty, 2001). La saison sèche est par définition celle où se manifeste, pour la plupart des plantes, des conditions de stress hydrique plus ou moins intense et plus ou moins continue (Le Houerou, 1995).

II.3.6.2. Indice d'aridité de De Martonne

De Martonne (1923) a défini un indice d'aridité I correspondant au rapport entre la moyenne mensuelle des précipitations P (mm) et la moyenne annuelle des températures T (°C), tel que :

$$I = P/(T+10)$$

L'utilisation de cette formule permet de classer nos stations comme suit en se basant sur la répartition suivante :

- De 0 à 5 : climat « Hyper aride ou désertique »
- 5 à 10 : climat « Aride »
- 10 à 20 : climat « Semi-aride »
- 20 à 30 : climat « Subhumide »
- Plus de 30 : climat « Humide »

Tableau 09 : Indice d'aridité de De Martonne

Station	Période	P (mm)	T (C°)	I	Type de climat
Saida	1913-1938	430	16.41	16.28	Semi-aride
	1985-2015	361.77	16.95	13.42	Semi-aride
Naâma	1913-1938	278.1	20.02	9.26	Aride
	1985-2015	222.06	16.65	8.33	Aride

D'après le tableau 09, on remarque une diminution d'indice d'aridité entre l'ancienne période et la nouvelle période. La zone de Saida présente un climat semi aride avec un indice d'aridité ($I=13.42$) et la région de Naâma est caractérisé par un climat aride avec un indice d'aridité de ($I=8.33$)

II.3.6.3. Quotient pluviométrique d'Emberger « Q2 »

Le quotient pluviothermique (Q2) d'Emberger, (1952) a été établi pour la région méditerranéenne et il est défini par la formule suivante:

P: pluviosité moyenne annuelle.

M: moyenne des maximas du mois le plus chaud ($T+273^{\circ}\text{K}$).

m: moyenne des minimas du mois le plus froid ($T+273^{\circ}\text{K}$).

Ce quotient permet de localiser les stations d'étude parmi les étages de la végétation tracés sur un climagramme pluviothermique (Tableaux 05 et 06).

Le quotient d'Emberger calculé montre que la station de Rebahia (Saida) qui se situe au niveau de l'étage semi-aride supérieur à hiver frais durant l'ancienne période, et semi aride inférieure à hiver frais pour la nouvelle période (Figure 15). La station de Mecheria (Naâma) qui est une station continentale appartient à l'étage bioclimatique aride supérieur pour l'ancienne période et à l'étage aride inférieur pour la nouvelle période (Figure 15).

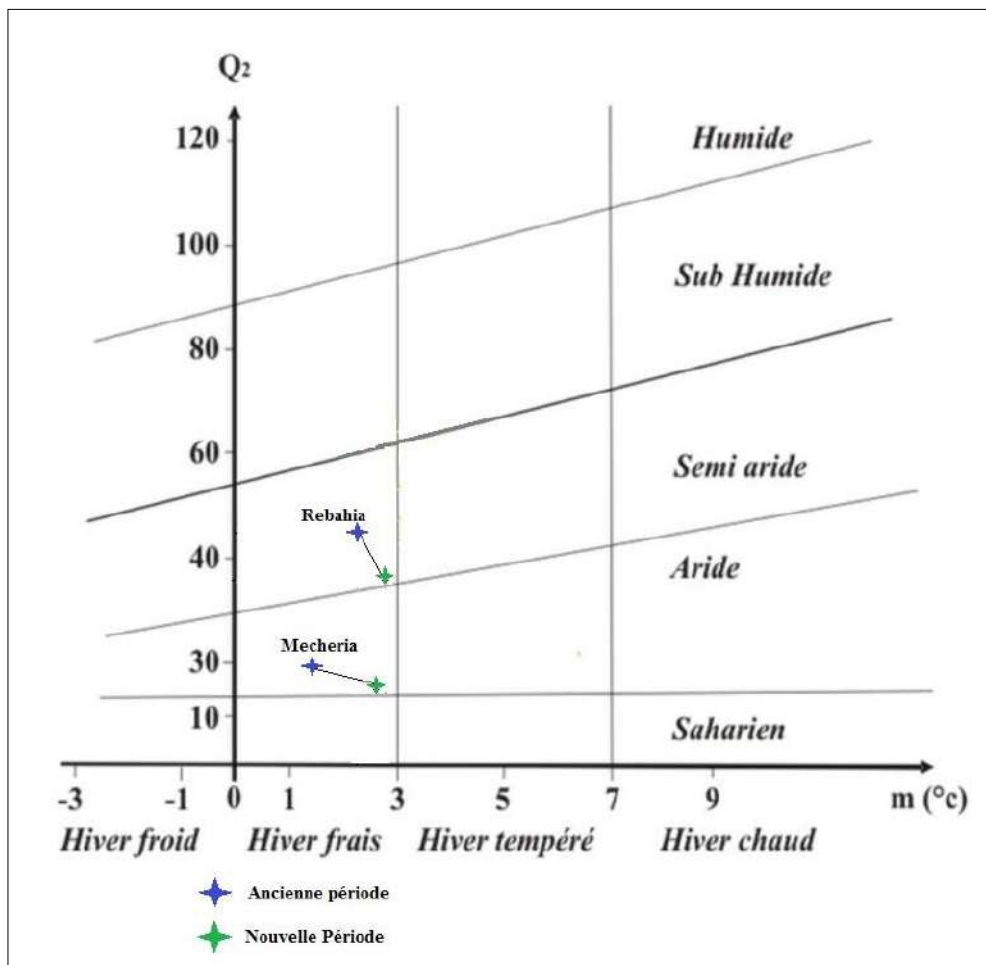


Figure 15 : Détermination du type de climat dans les zones d'études d'après le climagramme d'Emberger.

II.4. Conclusion

La synthèse bioclimatique met en évidence les différentes caractéristiques du climat qui permettent de délimiter les étages de végétation (Rivas-Martinez, 1991, Dahmani-Megrerouche, 1997). Tous les facteurs climatiques étudiés précédemment sont liés les uns aux autres et constituent pour les plantes un milieu bioclimatique car dans la nature les facteurs agissent de façon conjuguée et non séparée original (Huetz De Lempis, 1970).

L'étude climatique nous a montré que la zone d'étude représentée par la wilaya de Saida présente un climat méditerranéen semi-continental et continental pour la zone de Mecheria wilaya de Naâma, les deux zones sont caractérisées essentiellement par des précipitations faibles et une grande irrégularité inter mensuelle et interannuelle et des régimes thermiques relativement homogènes. L'appartenance de ces deux zones aux étages

bioclimatique semi aride (Saida) et aride (Naâma) accentue cette irrégularité interannuelle des précipitations appelée aussi infidélité du climat méditerranéen (Seigue, 1985).

On y distingue deux périodes contrastées, une période humide et froide, l'autre sèche et chaude. Les précipitations estivales sont souvent des pluies torrentielles et les températures présentent des amplitudes importantes. Les mois de Janvier et Février sont les mois les plus froids durant toute l'année et le mois de Juillet et Août sont les mois les plus chauds.

Le vent chaud (sirocco) dans les deux zones pendant la période estivale qui peut accélérer le phénomène de l'érosion éolienne remarquable sur le terrain.

La répartition des précipitations au cours de l'année et les variations de la température constituent deux éléments indissociables dans la vie des plantes et de nombreux spécialistes ont cherché à caractériser par des indices et des diagrammes les relations entre les divers facteurs climatiques (Huetz de Lemp, 1970). Ces indices ont été utilisés afin d'établir des critères de comparaison et de classification entre les climats (Guyot, 1997).

Chapitre III

Etude de sol

Etude de sol

III.1. Introduction

La région méditerranéenne est l'un des 34 points chauds (hot-spots) de biodiversité identifiés au plan mondial. Cette richesse s'explique par la diversité des contextes géologiques et édaphiques, par une forte hétérogénéité des conditions climatologiques à méso- et micro-échelle, et par l'ancienneté et l'importance des pratiques agro-pastorales. Cette région est soumise à des pressions environnementales fortes et de différentes natures : des contraintes climatiques (sécheresses intenses et prolongées), pédologiques (sols superficiels, sableux, pauvres et xériques). L'ensemble des pressions typiques des régions méditerranéennes sont exacerbées dans les milieux semi arides et arides nord africain. Ainsi en Algérie, la dégradation des ressources naturelles reste un problème d'actualité associé aux changements climatiques, aux déboisements et au pastoralisme intensifs, à l'érosion des sols et à la récurrence des incendies. La forêt algérienne appartient à cet ensemble; il présente un élément écologique équilibre économique, climatique et socio-économique (FAO, 2013). La situation actuelle des forêts algériennes est l'un des principaux les plus critiques de la région méditerranéenne et leur durabilité. La direction doit être informée par une évaluation de la qualité physico-chimique et biologique des sols.

En contexte méditerranéen et en réponse aux perturbations, aux stress climatiques et aux usages anthropiques, les forêts algériennes représentent des systèmes non équilibrés, en général bien adaptés dans l'espace et dans le temps à diverses contraintes pédologiques, et donc aux modifications de dynamique ou de structure et d'architecture des peuplements qu'ils peuvent engendrer (Barbero et Quézel, 1989). Un accroissement de la fréquence des incendies peuvent dégrader fortement la qualité des sols (Guénon, 2010 ; Borsali, 2013). La dégradation d'un sol correspond à la perte ou à la réduction de ses fonctions (Blum, 1997) et se traduit principalement par une diminution de ses capacités productives et de ses capacités de régulation environnementale (Lal et *al.*, 1997), contribuant ainsi au dérèglement des cycles biologiques (PNUE, 2007 ; Soubeyroux et *al.*, 2012). Ainsi, l'accélération de l'érosion par les eaux de ruissellement est une conséquence directe de la perte du couvert végétal suite à un incendie ou un défrichage, entraînant de graves conséquences sur la fertilité et la qualité des sols. Cela génère une dégradation rapide de l'écosystème forestier avec des conséquences parfois durables sur la biodiversité animales et végétales (UNCCD, 2011).

Les conditions climatiques stressantes des régions semi arides et arides algériennes, et en particulier la sécheresse intense et durable, affecte directement les caractéristiques physico-chimiques des sols et la microflore en diversité et en fonctionnalités. Si certains seuils de

tolérance sont dépassés alors ces événements trop récurrents peuvent perturber les équilibres préexistants et altérer la stabilité écologique des sols (Bouchet, 2008; Guenon 2010). Les capacités de résistance et de résilience fonctionnelle des communautés microbiennes des sols arides et semi arides face aux stress du changement climatique restent cependant méconnues, et aucun travail ne décrit, en Algérie, les effets du climat et l'action anthropique sur la vulnérabilité des ces sols et en particulier l'état de la flore microbiennes face aux stress du changement climatique. Les études de végétation ont été abordées à différentes échelles bioclimatiques. Ils ont montré une transformation de la végétation d'origine et la disparition de certaines espèces, en particulier dans les zones semi-arides et arides ; Néanmoins, aucune étude ne montre l'état actuel de la qualité des sols de ces zones et leurs effets sur la végétation.

Notre hypothèse est que ces changements de paysage et la régression de certaines espèces de plantes ne sont pas seulement le résultat du changement climatique, ils sont également dus à de profonds changements dans le sol. De plus, nous voulions voir si le gradient d'aridité avait un effet sur certaines propriétés du sol, telles que la teneur en éléments nutritifs et les activités microbiennes, qui sont normalement plus faibles dans les zones arides que dans les zones semi-arides. Pour comprendre et voir si ces transformations sont les résultats d'un gradient d'arpentage latitudinal, nous avons sélectionné deux zones situées respectivement dans les stades bioclimatiques semi-arides et arides. Notre choix est axé sur ces deux domaines car c'est à ce niveau que nous assistons à la plus grande dégradation des plantes et des sols et qu'il s'agit également des derniers obstacles à la désertification.

III.2. Choix des stations et échantillonnage des sols

Dans chaque zone (aride et semi aride) 25 échantillons de sol ont été prélevés dans cinq stations d'échantillonnage de 400 m² (Annexes 01 et 02), chacune et distante de cinq kilomètres au moins (Figures 16 et 17). Les cinquante (50) échantillons de sol ont été prélevés aléatoirement au cours du mois de Mars 2016 après avoir éliminé la litière, à une profondeur comprise entre 0 et 20 cm. Toutes les stations sont situées à une altitude comprise entre 970 et 1280 m. Les échantillons ont été tamisés à 2 mm, séchés à l'air pendant une semaine avant d'effectuer certaines analyses physico-chimiques, ou conservés 15 jours à 4°C dans l'attente des analyses microbiologiques

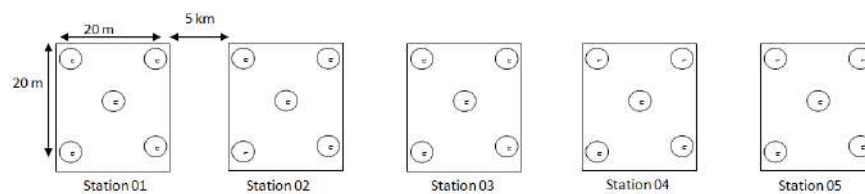


Figure 16 : Schéma d'échantillonnage des sols dans chaque zone.

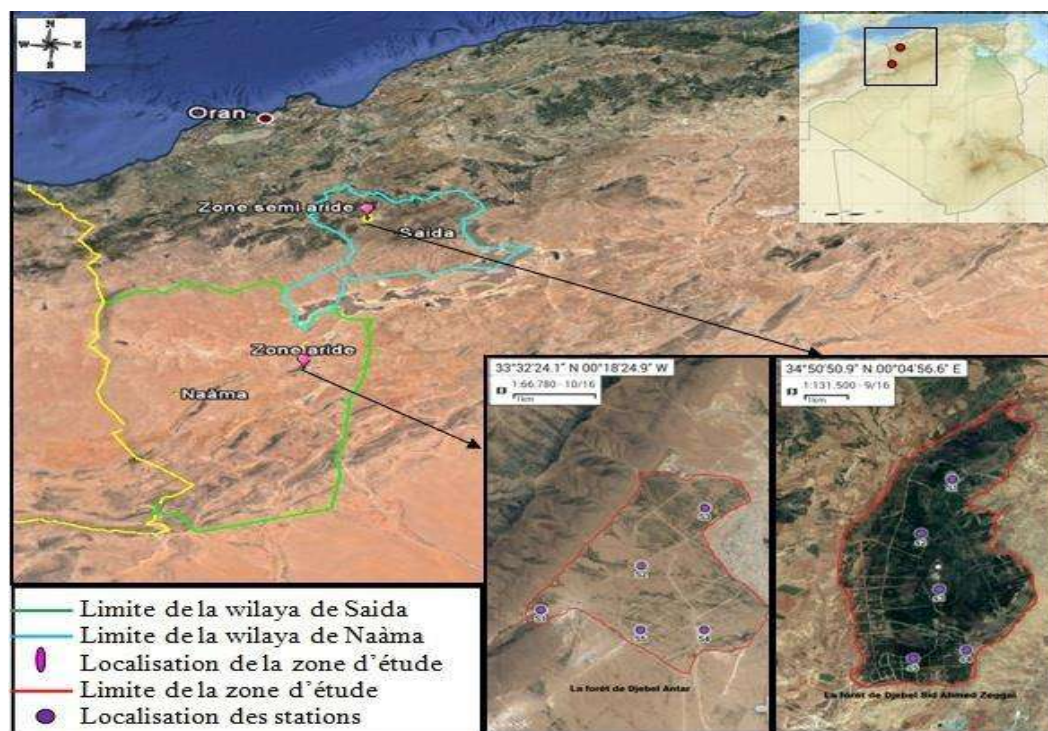


Figure 17 : Situations géographiques des zones d'études.

III.3. Analyse Physiques des sols

Une fois les échantillons de sol séchés à l'air pendant 3 jours, une aliquote a été broyée et tamisée à 2 mm pour mesurer ce paramètre physico-chimique du sol. Les analyses physico-chimiques ont été effectuées aux laboratoires de pédologie à l'université de Saïda. Pour les éléments minéraux du sol, l'analyse a été effectuée au niveau du laboratoire de chimie de la cimenterie d'El Hassasna. Les analyses biologiques et quelques analyse chimiques ont été réalisées dans l'équipe « vulnérabilité des écosystèmes microbiens » de l'Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie d'Aix-Marseille Université durant les années 2016, 2017 et 2018 sous la direction du Dr Raphaël Gros, Dr Anne-marie Farnet et Dr Catherine Rébufa.

III.3.1. Analyse granulométrique

La texture ou l'analyse granulométrique est utilisée pour déterminer la proportion des particules des différents diamètres constituant le sol (Gras, 1988). La texture du sol se rapporte au pourcentage relatif du sable, du limon et de l'argile. La distribution granulométrique (%) de 3 fractions (sables de 2000 μm à 50 μm , limons grossiers de 50 μm à 2 μm , argiles < 2 μm) de la terre fine a été déterminée par sédimentation selon la méthode de la pipette de Robinson (Aubert, 1978).

III.3.2. Couleur du sol

Les couleurs sont déterminées par référence à un code, l'appréciation directe est à déconseiller. Le "*Munsell soil color chart*" comprend normalement 175 cartons colorés ou chips. Ces cartons sont groupés systématiquement d'après la notation "*Munsell*" sur des planches assemblées dans un carnet à feuilles mobiles.

La détermination à l'aide du code Munsell, suggère de ne pas juger des couleurs au soleil couchant ni à la lumière artificielle. Opérer de préférence à la lumière du jour, mais pas en plein soleil pour éviter l'éblouissement (Delaunois, 2006).

III.3.3. Humidité gravimétrique

La teneur en eau gravimétrique (% masse sèche) a été estimée par dessiccation d'une aliquote d'échantillon à 105 °C pendant 24 heures. Elle a été obtenue en soustrayant la masse d'un échantillon de sol séché à celle de cet échantillon avant séchage.

III.3.4. Capacité de rétention

La capacité de rétention en eau a été déterminée par la méthode Bouyoucos. La teneur en eau à la capacité au champ a été obtenue en utilisant le protocole décrit par Saetre (1998). Trente grammes de sol frais ont été pesés dans un cylindre en PVC (4 cm de diamètre, 8 cm de hauteur). De l'eau distillée a ensuite été ajoutée jusqu'à saturation du sol. Le cylindre et son contenu ont été placés à 4°C (12h) pour permettre le drainage de l'eau gravitaire, puis ils ont été pesés. La teneur en eau de cet échantillon saturé, dit à la capacité au champ, a finalement été déterminée par séchage du cylindre au four (105°C, 48h) et soustraction des masses de sol sec et de sol saturé.

III.3.5. Porosité

D'après Calvet (2003), la porosité est une grandeur physique qui exprime le rapport entre deux volumes, le volume occupé par des pores dans un milieu donné et le volume totale de ce milieu. La porosité peut être déterminée à partir de la densité réelle (D_r) et la densité apparente (D_a) d'un sol. Porosité (P) = $(1 - d_a / d_r) \times 100$.

III.3.6. Densité apparente (masse volumique)

La densité apparente est l'un des paramètres les plus importants dans les études portant sur la structure du sol. Elle est en effet liée à la nature et à l'organisation des constituants du sol (Chauvel, 1977). Il existe plusieurs méthodes de mesure de la densité sèche in situ ou en laboratoire, on a choisie la méthode de cylindre. Les principes de la méthode au cylindre (C), de la méthode au sable (S) et de la méthode au densitomètre à membrane (M) sont fondés sur la détermination du poids spécifique apparent d'un volume de sol prélevé. Le volume est estimé immédiatement sur le terrain alors que le poids est évalué au laboratoire après séchage et pesée. La connaissance de ces deux variables permet de calculer la densité apparente selon la relation : $D_a = P/V$ (Gballou et Gnahoua, 1989).

III.3.7. La densité réelle (densité de la phase solide)

La densité réelle (D) correspond à la densité d'une terre sèche désagrégée. Le principe consiste à déterminer le volume d'eau déplacé par la phase solide d'un échantillon de masse connue dans un volume connu (pycnomètre) (Duchaufour, 1977). Elle est mesurée à l'aide d'un échantillon sec de sol (10 g) dans le pycnomètre puis imbiber le sol avec de l'eau et la recouvrir d'environ 1 cm d'eau et mettre le pycnomètre dans une cloche à vide environ 1 heure, pour chasser les bulles d'air en agitant 1 ou 2 fois pour faciliter le départ de ces bulles. On termine le remplissage à l'eau distillée dégazée (bouillie) en prenant soin à ne pas perdre les particules de débris végétaux à la surface de l'eau. Bien ajuster au trait. Le pycnomètre, bien sec, doit toujours être tenu entre deux doigts, par le col. Peser et en suite vider et rincer le pycnomètre, le remplir d'eau distillée dégazée. Ajuster au trait et peser (Paycheng, 1980).

III.3.8. Perméabilité

La perméabilité des sols joue également un rôle important dans la vitesse d'infiltration des eaux de pluie. La perméabilité d'un sol est la hauteur d'eau évaluée par centimètre qui s'infiltre par unité de temps, dans le sol (Mathieu, 1998). Elle est mesurée à l'aide d'une éprouvette graduée remplie de sol jusqu'au niveau de 100 ml puis compléter par de l'eau distillée jusqu'à 200 ml puis mesurer la hauteur h (eau) de chaque éprouvette, après l'avoir laissé reposer 12 Heures. La perméabilité (K) est déterminée par la formule suivante : $K \text{ (cm/h)} = 0,857 \times h \text{ (eau)}$.

III.4. Analyses Chimiques des sols

III.4.1. Dosage du carbone

Le carbone se trouve, dans les sols, sous forme minérale (carbonates p. ex.) et sous forme organique (débris végétaux, colloïdes humiques). Le dosage du carbone organique du sol sert à apprécier une partie du taux de matière organique totale de ce sol. Le carbone organique est dosé par la méthode de Anne, dont le carbone organique est oxydé par du bichromate de potassium en milieu sulfurique. Le bichromate doit être en excès, la quantité réduite est en principe proportionnelle à la teneur en carbone organique. L'excès de bichromates de potassium est titré par une solution de sel de Mohr en présence de diphénylamine dont la couleur passe du bleu foncé au bleu vert (Aubert, 1978).

III.4.2. Dosage de l'azote total (méthode Kjeldahl)

L'azote total d'un sol constitue, le réservoir global d'azote contenu dans l'humus, réserve dont la rapidité de mobilisation (par minéralisation) est très variable suivant le type d'humus (mull, mor, moder). La teneur en azote total est bon indice de fertilité, à condition d'être interprétée en fonction du rapport C/N (Mathieu et Pielain, 2003).

La Méthode Kjeldahl : Où on transforme l'azote des composés organiques en azote ammoniacal par l'acide sulfurique concentrés, à l'ébullition, qui agit comme oxydant et détruit la matière organique. Le carbone et l'hydrogène se dégagent à l'état de gaz carbonique et l'eau. L'azote transformé en ammoniacque est fixé par l'acide sulfurique à l'état de sulfate d'ammonium. Puis l'ammoniacque est distillée dans une solution d'acide borique. On titre avec une solution d'acide sulfurique à 0.02 N (Aubert, 1978).

III.4.3. Rapport C/N

C'est le rapport entre le carbone et l'azote d'un horizon, Le rapport C/N est un indicateur qui permet de juger du degré d'évolution de la matière organique, c'est-à-dire de son aptitude à se décomposer plus ou moins rapidement dans le sol, l'activité biologique, le potentiel de fourniture d'azote par le sol (minéralisation).

III.4.4. La matière organique (MO)

Elle regroupe l'ensemble des constituants organiques morts ou vivants, d'origine végétale, animale ou microbienne, transformés ou non, présents dans le sol. La teneur en matière organique a été mesurée par perte de masse d'un échantillon sec lors d'une calcination à 550 °C pendant 16 heures.

III.4.5. Mesure du pH (pH eau et pH KCl) et de la conductivité

Le pH et la conductivité ont été mesurés sur une suspension de sol dans de l'eau distillée (1: 2.5). La mesure a été effectuée après agitation pendant 2h et stabilisation à température ambiante à l'aide d'un pH mètre Métrom (Hérisau, Suisse) et d'un conductimètre. La même opération est réalisée pour le pH (KCl) mais en remplaçant l'eau distillée par la solution de KCl.

III.4.6. Mesure des teneurs en carbonates de calcium

Les teneurs en carbonates de calcium ont été déterminées par le calcimètre de Bernard (Aubert, 1978). Dans une fiole pour calcimètre de Bernard on a introduit dans le doigt 5ml de HCL au ½ avec une pipette droite, puis on a pesé 5 g de terre finement broyée qu'on a introduit dans la fiole, ensuite on a humidifié la terre avec de l'eau déminéralisé sans excès. Après fermeture de la fiole en la raccordant au calcimètre, on s'assure que le niveau du liquide arrive à la hauteur du repère zéro.

Tableau 10 : L'échelle de taux de carbonate de calcium (CaCO₃) total.

Taux de CaCO ₃ total à l'analyse	Qualification du sol
CaCO ₃ T ≤ 5%	Sol Non Calcaire
5 < CaCO ₃ T ≤ 12,5%	Sol Faiblement Calcaire
12,5 < CaCO ₃ T ≤ 25%	Sol Modérément Calcaire
25 < CaCO ₃ T ≤ 50%	Sol Fortement Calcaire
CaCO ₃ T > 50%	Sol Très Fortement Calcaire

III.4.7. Dosage des éléments minéraux

Ce mode opératoire est relatif à la méthode pratique instrumentale d'analyse élémentaire du sol par spectrophotométrie de fluorescence, son domaine d'application est relatif à l'analyse chimique des matières solide.

Les éléments : Si, Al, Fe, Ca, Mg et K exprimés sous les formes oxydées : SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO et K₂O sont déterminés sur échantillon en solution solides appelés pastille, leur confection se fait comme suit :

Une quantité du sol broyer et tamiser à travers un tamis de 50µm puis peser 15 g du sol tamisé introduire la matière broyée dans une pastilleuse pendant 30 s sous une force de 20 tonnes.

Séché la pastille obtenue dans une étuve pendant 15mn et récupérer la pastille ainsi séchée pour analyse par fluorescence X.

III.4.8. Analyse spectrométrique des sols dans le proche infrarouge (SPIR)

La spectroscopie du proche infrarouge (SPIR) est une technique analytique non destructive basée sur l'interaction entre un rayonnement lumineux dans le domaine proche infrarouge ($10\,000\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ ou $800\text{--}2500\text{ nm}$) et les molécules de l'échantillon. Les liaisons C–H, N–H, O–H, S–H, C=O et O–H, constitutives de la plupart des molécules biologiques (Bellon-Maurel et *al.*, 2003), présentent une forte polarisation et un grand déséquilibre massique et sont donc les plus susceptibles d'être mises en vibration. La SPIR mesure ainsi des intensités d'absorption de radiations électromagnétiques par la matière organique des sols. Cependant, dans la zone du proche infrarouge, les absorptions ne sont pas dues aux vibrations fondamentales des molécules, mais aux vibrations harmoniques et aux vibrations de combinaisons. Ainsi, et parce que les bandes d'absorption des diverses liaisons chimiques d'un sol peuvent se chevaucher, le spectre d'absorption recueilli est complexe et son interprétation très difficile. La SPIR apparaît comme un outil précieux pour prédire les teneurs en C et N des sols (Cozzolino et Moron, 2006 ; Brunet et *al.*, 2007) et estimer les processus de décomposition de la matière organique dans les sols et les litières (Joffre et *al.*, 1992 ; Gillon et *al.*, 1993 ; Coûteaux et *al.*, 2005). Elle est également de plus en plus appliquée pour la prédiction des activités microbiennes du sol (Cécillon et *al.*, 2008).

L'acquisition des spectres des échantillons de sol séchés à l'air et tamisés a été réalisée à l'Institut des Sciences Moléculaires de Marseille avec un spectromètre Nicolet Antaris muni d'une sphère d'intégration. Les données enregistrées en réflectance (R) sont automatiquement converties en absorbance (A) par la relation $A = \log(1/R)$. Les spectres ont été acquis avec le logiciel Omnic 2.1 entre 4500 et $10\,000\text{ cm}^{-1}$ et une résolution nominale de 4 cm^{-1} . Chaque spectre est obtenu en accumulant 100 interférogrammes.

La capacité prédictive des activités microbiennes et des paramètres d'incendie par la SPIR a été analysée par régression des moindres carrés partiels (RMCP) (Tenenhaus, 1998). La RMCP consiste à ajuster un modèle statistique linéaire reliant une matrice de variables explicatives X (les descripteurs, ici la matrice des valeurs d'absorbance PIR) à une matrice de variables réponses Y (i.e. propriétés du sol mesurées par des méthodes conventionnelles de référence). Durant le processus de modélisation, la RMCP résume les descripteurs (matrice X) en une série de composantes th (aussi appelées facteurs) deux à deux orthogonaux. A la différence de l'analyse en composantes principales et des autres méthodes de régression linéaire multivariée, ces composantes sont construites de manière à expliquer au mieux la matrice Y, et l'information contenue dans cette matrice réponse est prise en compte pour le calcul des B-coefficients (matrice B). De la même manière, les variables réponses sont

résumées dans une série de composantes uh (scores Y, pas de contrainte d'orthogonalité). Les séries de facteurs (uh, th) sont construites par la RMCP de manière à ce que leur covariance soit maximale. Le nombre de composantes ne peut pas excéder le nombre de variables explicatives. La procédure RMCP étant une modélisation empirique, il est essentiel de déterminer un nombre optimal de composantes (h) garantissant une complexité correcte tout en évitant un sur-ajustement du modèle et donc une puissance prédictive très faible ou nulle (Roger, 2005). Par ailleurs, les modèles de régression étant construits dans un but prédictif, il est important de pouvoir tester de manière fiable leur robustesse. Différentes méthodes permettent d'évaluer la robustesse et donc de valider les modèles en précisant leur puissance prédictive. Certaines méthodes utilisent le jeu de données initial pour réaliser une validation croisée du modèle (cas de jeux de données avec peu d'individus), d'autres valident le modèle sur un jeu de données spécialement acquises pour une validation indépendante (cas de jeux de données avec de nombreux individus).

Dans ce travail de thèse, les échantillons ont été subdivisés en deux jeux distincts : le premier, composé des $\frac{3}{4}$ des échantillons (choisis aléatoirement), sert à la construction d'un modèle de calibration tandis que le deuxième, constitué du quart des échantillons restant, sert à la validation du modèle de calibration par prédiction. Le nombre de composantes sélectionnées a été déterminé par l'examen de la courbe PRESS (Predicted Residual Error Sum of Squares). La valeur PRESS est un indicateur de l'erreur de prédiction dans une RMCP. Chaque fois que l'on rajoute une composante représentant une information utile au modèle d'étalonnage multivarié, les valeurs de l'erreur du modèle et du PRESS sont réduites. La valeur du PRESS atteint un minimum pour un nombre donné de composantes. Ce nombre est alors utilisé pour la construction du modèle définitif. Le R² du modèle de calibration et l'erreur standard de calibration (ESC) ont été calculés et testés par validation croisée complète (« full cross validation »). Le modèle de calibration a par ailleurs été construit en sélectionnant les longueurs d'onde les plus appropriées obtenues par la méthode de projection des variables importantes (Cécillon et al., 2008). L'évaluation de la performance de la prédiction a été estimée par la valeur du R² du modèle de prédiction, l'erreur standard de prédiction (ESP) et l'écart prédictif des résidus (RPD pour résiduel prédictive déviation). Le RPD est le ratio de l'écart type des données mesurées sur l'erreur type de la prédiction. L'ESC et l'ESP ont été analysées au regard de l'erreur standard de la mesure (ESM). Pour améliorer les modèles, des pré-traitements mathématiques tels que la « multiplicative scatter correction » (MSC), la « standard normal variate » (SNV) ou la dérivée première, ont été appliqués aux spectres. Chaque modèle RMCP a été construit avec le logiciel Unscrambler 9.2 (Camo Process

AS,Norvège) afin de réduire au minimum l'ESC et de maximiser le R^2 de la calibration et le RPD.

III.4.9. Analyse spectrométrique des sols dans le moyen infrarouge (SMIR)

La spectroscopie du moyen infrarouge (SMIR) est une technique analytique également basée sur le principe d'absorption de rayonnements infrarouges par la matière entre 450 et 4000 cm^{-1} . Les liaisons qui absorbent à ces longueurs d'onde sont des liaisons chimiques fondamentales (Smith, 1999) et correspondent à des fonctions chimiques spécifiques de la matière organique des sols. Dans le MIR, tout composé organique possède une signature qui lui est propre. C'est pourquoi cette technique est utilisée pour caractériser la matière organique d'un sol (Tinoco et *al.*, 2006). L'étude des spectres permet de tirer deux types d'informations :

- *Informations qualitatives* : les liaisons chimiques absorbent à une longueur d'onde caractéristique. Des tables IR permettent d'attribuer les absorptions aux différents groupes chimiques en présence et donc d'identifier la ou les molécules présentes.
- *Informations quantitatives* : l'intensité de la bande d'absorption rend compte de la concentration du groupe chimique caractéristique de cette absorption (loi de Beer-Lambert).

Les spectres infrarouges « à transformée de Fourier » (IRTF) ont été réalisés sur les sols traités par les acides au moyen d'un spectromètre Thermo Nicolet Avatar 370 équipé d'un détecteur DTGS, d'une source Ever-Glo et d'un séparateur de faisceaux Kbr/germanium. La technique d'analyse utilisée est celle de la réflexion totale atténuée (ATR) au moyen de l'accessoire Smart Orbit avec cristal en diamant dans les conditions suivantes : résolution 4 cm^{-1} , 64 accumulations, domaine spectral : 4000-700 cm^{-1} . Cinq spectres ont ainsi été enregistrés par échantillon. Le spectre de l'air a été pris comme référence avant chaque échantillon. Entre chaque spectre, la cellule ATR était nettoyée avec de l'éthanol permettant un séchage très rapide de la cellule ATR. Pour vérifier que la cellule était propre, un spectre était enregistré et comparé au premier.

Les spectres obtenus sont corrigés (correction ATR du logiciel OmnicTM) pour tenir compte de la variation de profondeur de pénétration dans l'échantillon du faisceau infrarouge incident. Des techniques de déconvolution spectrale ont été utilisées pour améliorer la résolution de certaines régions spectrales (« self-Fourier déconvolution » du logiciel OmnicTM).

La région du spectre MIR où le diamant interfère (2200-1900 cm^{-1}) a été exclue des intégrations (Artz et *al.*, 2008). Les groupes fonctionnels de la matière organique du sol ont

été définies en accord avec Nardi et *al.* (2005) et Tinoco et *al.* (2006) et les pics d'absorption ont été intégrés avec le logiciel Thermo Omnic 7.1 (Thermo Electron. Corp., Waltham, MA, USA). Dix pics ont été enregistrés à 2920, 2850, 1690, 1633, 1556, 1538, 1521, 1453, 1420 et 1373 cm^{-1} (Figure 18). Les pics à 2920 et 2850 cm^{-1} correspondent respectivement aux vibrations des liaisons C–H asymétriques et symétriques des groupes fonctionnels -CH₂ des structures aliphatiques (e.g. cires, les graisses et les lipides). Le pic à 1690 cm^{-1} est en fait un épaulement qui correspond aux vibrations des liaisons carboxylates C=O. Le large pic à 1633 cm^{-1} peut être attribué à la fois aux vibrations des carboxylates (C=O) et des double liaisons entre carbone (C=C) de molécules aromatiques. Les pics à 1556 et 1538 cm^{-1} peuvent à la fois être attribués aux vibrations des liaisons N–H (amide II) et C=C des molécules aromatiques quant au pic à 1521 cm^{-1} seulement aux vibrations des liaisons N–H. Les pics enregistrés à 1453 et 1371 cm^{-1} correspondent aux vibrations des liaisons N–H (amide II) et à la déformation des liaisons C–H des structures aliphatiques. Enfin le pic à 1420 cm^{-1} est dû à l'élongation des liaisons symétriques C–O des structures carboxyliques et carboxylates. Certains pics dont le signal consiste en la superposition de composés organiques et minéraux ont été supprimés des analyses (i.e. les pics à 3690, 3620, 1161, 1010, 825 et 740 cm^{-1}) (Rumpel et *al.*, 2006). La large bande correspondante aux liaisons O–H entre 3600–3000 cm^{-1} n'a pas été intégrée à cause de l'influence de l'eau qui peut être très forte dans cette région du spectre malgré une dessiccation des sols par lyophilisation mais également parce qu'elle donne peu d'informations sur la composition de la matière organique (Kaiser et Ellerbrock, 2005). Les changements relatifs des groupes fonctionnels de la matière organique ont été déterminés par le calcul des absorbances relatives (A_r) de chaque pic en divisant la hauteur d'un pic par la somme des hauteurs de tous les pics (e.g. $A_r 2920 = A 2920 / \sum A (2920-1373 \text{ cm}^{-1}) \times 100$).

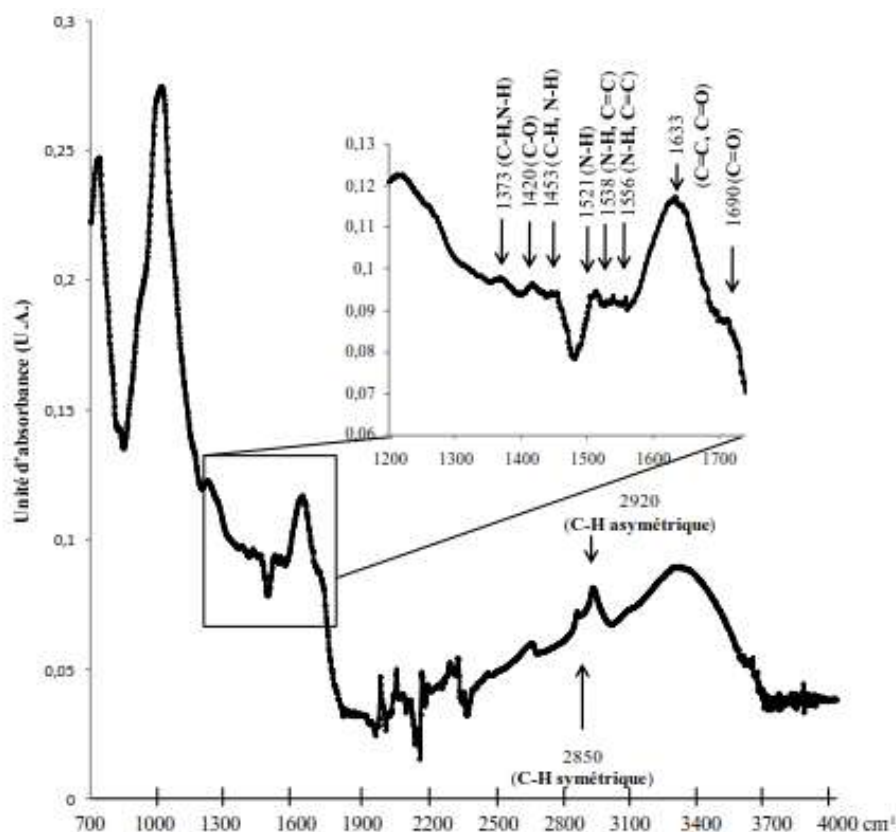


Figure 18 : Exemple d'un spectre MIR et attribution des principaux pics (Guénon, 2010).

III.5. Analyse biologiques des sols

III.5.1. Respiration basale

La respiration basale ($\mu\text{g C-CO}_2/\text{g}$ de sol sec) a été mesurée selon le protocole décrit par Anderson et Domsch (1978), pour évaluer l'état physiologique des communautés microbiennes des sols. Dix grammes (équivalent sec) de sol frais conservé à 4 °C ont été pesés dans un flacon en verre (117 ml). Les flacons ont été fermés avec un bouchon hermétique immédiatement après le remplacement (4 minutes) de leur atmosphère interne par une atmosphère de concentration en CO_2 stable, puis incubés 4 heures à 25 °C. Après incubation, une aliquote d'atmosphère du flacon (1 ml) a été injectée à l'aide d'une seringue dans un chromatographe en phase gazeuse (Chrompack CHROM 3 – CP 9001).

Le chromatographe était équipé d'un détecteur TCD et d'une colonne remplie (Porapack) dans la quelle circule de l'hélium à un flux de 60 mL.h^{-1} . Les valeurs obtenues ont été ajustées à 22°C en accord avec la loi des gaz parfaits à $Q_{10} = 2$. Les concentrations ambiantes en CO_2 ont été soustraites aux concentrations en CO_2 mesurées après incubation pour obtenir la quantité de CO_2 produite par les microorganismes hétérotrophes contenus dans l'échantillon.

III.5.2. Biomasse microbienne

La biomasse microbienne a été estimée par la méthode de respiration induite par ajout de glucose (Anderson et Domsch 1978). Un mélange de talc et de glucose ($1\ 000\ \mu\text{g C g}^{-1}\text{sol}$) a été ajouté aux dix grammes (équivalent sec) de sol. Une incubation de 100 minutes a été réalisée pour atteindre un taux maximal de respiration induite. Les flacons ont été fermés avec un bouchon hermétique immédiatement après le remplacement (4 minutes) de leur atmosphère interne par une atmosphère de concentration stable en CO_2 , puis incubés 90 minutes à $22\ ^\circ\text{C}$. La concentration en CO_2 des flacons a été analysée par chromatographie en phase gazeuse et corrigée de la même manière que décrite précédemment pour la respiration basale. Les taux de respiration induite ont été convertis en valeur de biomasse microbienne en utilisant l'équation donnée par Beare et *al.* (1990).

III.5.3. Le quotient métabolique ($q\text{CO}_2$)

Le quotient métabolique ($q\text{CO}_2$) est un paramètre sensible mais controversé pour tester quantitativement l'activité métabolique de la biomasse microbienne (Wardle et Ghani, 1995 ; Grego et *al.*, 1998). Certains auteurs (Insam et Domsch, 1988) considèrent que le $q\text{CO}_2$ est un paramètre approprié pour évaluer les changements d'état des communautés microbiennes dans les écosystèmes. Le quotient métabolique ($q\text{CO}_2$) pour chaque échantillon a été calculé par le rapport respiration basale / biomasse microbienne donnant ainsi la quantité de carbone libérée par unité de biomasse et donc une estimation de l'efficacité métabolique de la communauté.

III.5.4. Dénombrement de la microflore

L'état du sol peut être dressé par l'analyse de l'état des divers groupes des microorganismes : bactéries, actinomycètes, champignons, algues, rhizobium. La microflore du sol est caractérisée par le nombre des groupes séparés de la population microbienne du sol ; cependant, l'analyse de l'état des différents microorganismes dans le sol a une grande importance.

Parmi les méthodes de dénombrement indirectes, les méthodes les plus utilisées sont la méthode standard de culture sur boîte de pétri et la technique de dénombrement (Cannavo et *al.*, 2002). La mesure des densités microbiennes par la technique des suspensions-dilutions de sol est un bon indicateur général. Cette mesure est facile à réaliser, économique, et elle donne des résultats fiables et reproductibles (Janvier, 2007). Elle comprend plusieurs étapes allant de la préparation des suspension- dilutions jusqu'à l'interprétation des résultats.

III.5.4.1 Préparation des suspensions de dilutions

Les préparations des suspensions de dilutions consistent à disposer sur un portoir une série de 9 tubes stérilisés, numérotés de 1 à 9, et contenant chacun (9ml) d'eau distillée. Peser 1g du sol préalablement tamisé et homogénéisé, le verser dans le tube 1, agiter vigoureusement, c'est la suspension dilution 10^{-1} , le transférer dans le tube 2 contenant déjà de l'eau distillée (9ml), il s'agit de la suspension dilution 10^{-2} agiter vigoureusement et recommencer l'opération pour le restant des tubes en transférant 1ml de solution d'un tube à l'autre, afin de préparer les suspensions dilutions 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} , 10^{-8} , 10^{-9} les suspensions dilutions doivent être utilisées aussitôt après leur préparation.

III.5.4.2. La microflore bactérienne

Pour obtenir des bactéries du sol, il suffit de mettre quelques grammes de terre en suspension dans de l'eau. Après agitation puis décantation, nous étalons quelques gouttes du surnageant à la surface d'un milieu de culture gélosé approprié. La quantité de bactéries étant considérable, c'est toujours des dilutions de la suspension initiale que l'on met en culture. On obtient alors des colonies séparées les unes des autres, chacune provenant en principe d'une seule bactérie (Davet, 1996).

Le milieu de culture utilisé pour le dénombrement de la microflore bactérienne du sol est un milieu de gélose nutritive à l'extrait de terre (Annexe 03). Il présente l'avantage d'être pas trop riche en éléments nutritifs.

La lecture des résultats par le dénombrement des colonies apparues se fait après incubation pendant 24 heures à 28°C par utilisation de compteur des colonies.

III.5.4.3. Les champignons

La méthode des suspensions dilutions, mise au point pour l'isolement des bactéries, est également utilisable pour les champignons. On s'efforce généralement d'éviter le développement concurrentiel des bactéries en acidifiant le milieu ou en y ajoutant de l'acide citrique à pH 4 (Davet, 1996).

Les champignons sont cultivés sur un milieu de culture (OGA) etensemencés avec des suspensions dilutions du sol à raison de 3 gouttes de chaque dilution (10^{-1} à 10^{-6}) soit 0,2 ml sont déposées sur chaque boîte et aussi étalées avec soin sur toute la surface. La lecture des résultats se fait à partir du septième jour d'incubation (28°C).

II.5.4.4. Les rhizobiums

Ensemencement avec des suspensions dilutions du sol d'un milieu YEM (Yeast, Extract, Mannitol) favorisant particulièrement la culture des rhizobiums en inhibant la partie des autres micro-organismes, numération des colonies développées. L'ensemencement avec

des suspensions dilutions de terre préparées selon la technique habituelle; on inoculera 3 boîtes de dilutions entre 10^{-2} et 10^{-6} . Incubation pendant 72 heures à 28°C en position retournée.

Le Milieu YEM (Vincent., 1970) : est le milieu utilisé pour cette première étape de la partie expérimentale, dont la composition est exprimée en gramme par litre d'eau distillée (Annexe 03). Le milieu de culture doit contenir les sources d'énergie nécessaire à la croissance des bactéries. L'autoclavage de milieu se fait à 120°C pendant 20 minutes.

Chapitre VI

*Etude de la litière forestière des
pinèdes*

Etude de la litière forestière des pinèdes

IV.1. Introduction

Au niveau des zones semi-arides et arides, la végétation est en lutte continuelle contre les rudes facteurs climatiques et le sol pauvre en nutriment et en matière organique (Borsali, 2013 ; Borsali et *al.*, 2018). Les relations forêt/sol sont abordées par le biais de l'impact de la litière sur la fertilité (Dupuy, 1998), la litière joue un rôle important dans la protection du sol et le stockage des éléments minéraux et leur restitution au sol. La disparition ou la destruction s'accompagne d'une chute brutale du stock d'éléments minéraux disponibles qui peut être un facteur limitant de la croissance des végétaux (Dupuy, 1998). Sa suppression ou sa diminution des couches protectrices que représentent la litière et la végétation soumet le sol au rayonnement solaire direct et entraîne une élévation générale de sa température après le feu (Raison et *al.*, 1986). Le climat influence directement la décomposition des débris végétaux par la température et l'humidité; cependant, le climat peut également avoir un effet sur les propriétés physico-chimiques et biologiques de la litière par l'influence sur la composition de la communauté végétale et la qualité de la litière, déterminer la décomposition du potentiel de litière (Lavelle et *al.*, 1993 ; Aerts, 1997 et 2006 ; Pérez et *al.*, 2007).

Notre objectif était d'étudier les propriétés physico-chimiques et biologiques de la litière forestière des résineux et leur évolution dans deux zones différentes, la zone semi aride et la zone aride localisé dans l'ouest Algérien.

IV.2. Sites et plan d'échantillonnages

Pour tester nos hypothèses, nous avons suivie le même protocole précédent d'échantillonnage du sol, cinq stations ont été sélectionnée dans chaque zone avec un ensemble de 50 échantillons en totales pour définir un gradient d'exposition croissante à une combinaison de stress osmotique et pédoclimatique (Tableau 11).

Un échantillon d'environ 1Kg de litière (horizon OL) a était échantillonnée au hasard sous la canopée de plusieurs individus par parcelle (Qasemian et *al.*, 2014). Chaque échantillon a été trié manuellement pour éliminer les nombreuses coquilles de mollusques, les cailloux et les brindilles.

Tableau 11: Localisation et caractéristique des stations d'échantillonnage de litières forestières.

Zones	Station	Altitude (m)	Longitude X	Latitude Y	Profondeur de sol (horizon A) (cm)	Profondeur de litière (cm)	Production de litière (g/m ²)
Stations Semi-aride	S 01	975	34° 52' 13.7" N	00° 05' 09.5" E	35	8	1512
	S 02	1067	34° 51' 22.3" N	00° 04' 40.9" E	30	8.5	1441
	S 03	1146	34° 50' 29.5" N	00° 04' 57.6" E	30	8	1606
	S 04	1160	34° 49' 31.8" N	00° 05' 22.6" E	38	7.5	1545
	S 05	1081	34° 49' 23.7" N	00° 04' 33.8" E	39	7.9	1363
Stations Aride	S 01	1080	33° 32' 02.3" N	00° 19' 13.1" W	21	1.4	906
	S 02	1140	33° 32' 23.7" N	00° 18' 25.1" W	17	1.4	796
	S 03	1119	33° 32' 51.6" N	00° 17' 55.0" W	15	1.2	950
	S 04	1085	33° 31' 52.7" N	00° 17' 55.3" W	10	1	1012
	S 05	1108	33° 31' 52.7" N	00° 18' 25.6" W	17	1.1	868

IV.3. Analyses physico-chimiques de la litière

IV.3.1. Teneur en eau

La teneur en eau des litières a été déterminée par une mesure des poids frais puis des poids secs après le séchage des échantillons à 90°C jusqu'à un poids constant.

IV.3.2. Teneur en carbone et en azote

Les échantillons de litière ont été séchés (50°C, 76h), puis broyés à 1400 tours/mn pendant 2 mn au laboratoire. Les teneurs en carbone et en azote ont été dosées par combustion sèche à l'aide d'un analyseur élémentaire CHN (FlashEA 1112, Thermofisher).

IV.3.3. pH et conductivité

Le pH et la conductivité sont mesurés après la préparation des extraits de litière provenant des échantillons composites de chaque zone, 1:10 w / v (litière / H₂O), a été obtenu après 30 min d'agitation par secousses à 80 tr / min et par un temps d'équilibre de 30 min. On a mesuré le pH-mètre 744, ainsi que les concentrations en EC et en Cl⁻ en utilisant une électrode de multiparamètres HI 9835 EC / SDT / C / NaCl (HANNA Instruments, Limena, Italie).

IV.3.4. Analyse par la spectroscopie

Pour tenter d'établir des relations de corrélation entre les facteurs environnementaux (climat et sol) et la composition chimique des litières de *Pinus halepensis*, leurs empreintes chimiques globales obtenues à partir de la spectroscopie infrarouge (moyen (MIR) et proche (PIR)) vont

être considérées. En effet, aucune étude n'a à notre connaissance été publiée sur l'influence des facteurs environnementaux sur le profil spectral des litières.

Les litières sont un assemblage complexe de composés organiques. La spectroscopie a souvent été utilisée pour obtenir une empreinte globale du matériel végétal (frais ou déshydraté) car c'est une méthode simple et non destructive à partir de laquelle vont surtout être caractérisés les composés présents en grande proportion dans ce matériel tels que les carbohydrates (cellulose, hémicellulose, pectine), les protéines, les lipides (polyesters aliphatiques, cutine, subérine, cires (Ribeiro da Luz et *al.*, 2006 ; Johnson et *al.*, 2007 ; Wilson et *al.*, 2000 ; Kačuráková et Wilson, 2001). Certaines macromolécules phénoliques telles que la lignine seront aussi détectées. En fonction de la forme sous laquelle l'échantillon est analysé (poudre de litière ou feuilles entière), l'empreinte spectrale pourra varier. Si l'on analyse la face abaxiale ou adaxiale, on observera des différences dues à l'épaisseur et l'organisation des cires. Plus cette surface est fine, plus le spectre va être caractéristique des composés situés à l'intérieur des tissus tels que la cellulose et la cutine. Les conditions environnementales auxquelles sont soumises les feuilles (saison de collecte, ombrage ou ensoleillement, température) ainsi que leur stade de maturité peuvent entraîner des variations d'intensité et de position des bandes spectrales.

IV.3.4.1. Conditions d'enregistrement des spectres en proche infrarouge (PIR)

L'appareil utilisé est un spectromètre à transformée de Fourier Antaris II (Thermo Nicolet), piloté par le logiciel Thermo ScientificTM RESULT (version 3.6) et équipé d'un détecteur pyroélectrique constitué d'un cristal de phosphate de triglycine dopé avec de la L-alanine. Chaque spectre est enregistré entre 10000 et 4000 cm^{-1} (bandes des harmoniques et des bandes des combinaisons des vibrations fondamentales) avec une résolution spectrale de 4 cm^{-1} et 100 accumulations. Les échantillons de poudre ont été analysés par réflexion diffuse non destructive en utilisant une sphère d'intégration et une cellule de mesure en quartz (Thermo Scientific) d'un centimètre de diamètre, munie d'un couvercle. L'acquisition du background est faite en utilisant une référence interne en or.

IV.3.4.2. Conditions d'enregistrement des spectres en moyen infrarouge (MIR)

Les poudres de litière de pin d'Alep ont été analysées à l'aide d'un spectromètre Nicolet (IS10) non purgé, équipé d'une source Globar, de fenêtres en ZnSe/KBr, d'un détecteur à semi-conducteur constitué d'un alliage de mercure cadmium tellure (HgCdTe) déposé sur un support inerte refroidi à l'azote liquide et d'un « Golden Gate », accessoire à réflexion totale atténuée (ATR, Specac). L'échantillon est déposé sans préparation sur le cristal diamant

(indice de réfraction de 2,43) de l'accessoire de réflexion (Figure 19) et est mis en contact avec le cristal par pression de l'enclume. La vitesse du miroir mobile est choisie à 1,89 ; les spectres sont enregistrés à l'aide du logiciel Omnic (version 8.1) entre 650 et 4000 cm^{-1} en mode absorbance avec une résolution de 4 cm^{-1} en accumulant 100 scans. La référence est réalisée sur l'air avant l'enregistrement du spectre de chaque échantillon. Le cristal est nettoyé à l'éthanol entre chaque dépôt. On choisit d'effectuer 10 prélèvements de poudres et de faire 10 spectres par échantillon pour s'affranchir de l'hétérogénéité de la granulométrie.

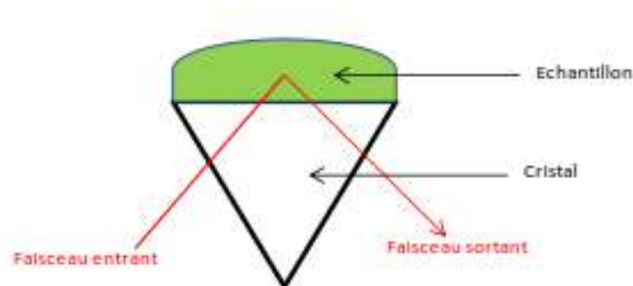


Figure 19 : Schéma de l'accessoire de réflexion totale atténuée simple réflexion (Pany, 2019)

En effet, l'onde évanescente pénètre l'échantillon à une profondeur (dp) fonction des indices de réfraction du cristal (n_1) et de l'échantillon (n_2), l'angle d'incidence θ du faisceau et de la longueur d'onde (λ) (Equation).

$$dp = \frac{\lambda}{2\pi n_1 \sqrt{\sin^2 \theta \times \frac{n_2^2}{n_1^2}}}$$

D'après la formule précédente, on peut constater que la profondeur de pénétration est proportionnelle à la longueur d'onde. L'absorption sera par conséquent plus intense pour les nombres d'onde plus faibles.

IV.4. Analyses biologiques de la litière

La respiration basale (RB) est une mesure de l'activité physiologique microbienne totale basée sur la quantité de CO_2 dégagée par les microorganismes hétérotrophes. 2 grammes de feuilles de litière (équivalent poids sec) ont été placés dans des flacons en verre de 117 mL avec une humidité normalisée à 60 %. L'air du flacon est purgé pendant 4 min par de l'air ambiant de concentration en CO_2 exactement connue. Les flacons sont ensuite fermés hermétiquement puis incubés pendant 2h à température ambiante (22 $^\circ\text{C}$). La quantité de CO_2

dégagée durant l'incubation est finalement mesurée sur un aliquote d'1mL d'atmosphère du flacon par chromatographie en phase gazeuse (Chrompack CHROM 3 – CP 9001). La respiration basale est exprimée en $\mu\text{g de C-CO}_2/\text{h/g}$ de matière sèche.

La respiration microbienne induite est un indicateur de la biomasse microbienne hétérotrophe, avec le glucose comme substrat facilement assimilable pour la plupart des microorganismes. Dans les mêmes flacons que précédemment on insère du glucose via un mélange de talc-glucose de 500 mg, 60 min avant une incubation. Les flacons sont ensuite incubés pendant 90 min à température ambiante. L'air du flacon est purgé pendant 4 min par de l'air ambiant dont la concentration en CO_2 est connue. La quantité de CO_2 dégagée durant l'incubation est finalement mesurée comme décrit précédemment. Finalement, les valeurs de respiration induite sont converties en biomasse microbienne BM ($\mu\text{g de C microbien/g de litière poids sec}$) en utilisant l'équation établie par Beare et *al.*, (1990). Le rapport RB/BM permet de définir un troisième paramètre : le quotient métabolique ($q\text{CO}_2$) qui détermine l'efficacité énergétique des communautés bactériennes.

Chapitre V

*Etude du comportement adaptatif des
graines et des aiguilles de pin d'Alep*

Etude du comportement adaptatif des graines et des aiguilles de pin d'Alep

V.1. Comportement des aiguilles de pin d'Alep face aux facteurs de milieu

V.1.1. Introduction

En région méditerranéenne, actuellement la principale contrainte climatique sur les écosystèmes est la sécheresse estivale caractérisée par des températures élevées associée à de faibles précipitations en été (Le Houérou, 2005). Une sécheresse de forte intensité peut causer du stress hydrique aux arbres. Ceci se traduit par des diminutions de productivité et de capacité de survie des arbres, et peut ainsi avoir des conséquences délétères importantes sur les services écosystémiques. Un stress hydrique peut modifier le fonctionnement des arbres sur le long terme (Breda et al., 2006) en diminuant la production et la surface foliaire, entraînant alors une diminution de la photosynthèse et par conséquent de la croissance de l'arbre. Les arbres, ayant des cycles de vie très longs, apparaissent comme particulièrement vulnérables, que ce soit pour leur survie ou bien pour les services qu'ils fournissent, aux effets du changement climatique qui peuvent être rapides. Cette vulnérabilité risque notamment d'affecter les biens et les services que l'homme en retire (Lindner et al., 2010 ; Didierjean, 2014). Le pin d'Alep est l'essence résineuse la plus répandue dans le bassin méditerranéen et surtout en Algérie, comme elle est la plus rustique et capable s'adapter sur plusieurs types de sol et des climats les plus variés.

Selon Nahal (1962) le pin d'Alep caractérisé par des feuilles sous forme des aiguilles très fines (moins de 1 mm), molles, très finement serrulées sur les bords, de 5 à 10 cm de longueur. Elles sont réunies par 2, rarement par 3 dans une même gaine, groupées en général en pinceau à l'extrémité des rameaux, de couleur vert-jaunâtre. Ces feuilles donnent à la couronne de l'arbre un aspect clairsemé de couleur vert jaunâtre

Ce travail a pour objectif d'étudier quelques caractéristiques physico-chimiques des aiguilles de l'espèce de *Pinus halepensis* entre l'étage bioclimatique semi-aride et l'aride représenté par la forêt de Djebel Sid Ahmed Zeggai (Saïda) et la forêt de Djebel Antar (Naâma) afin de faire sortir l'impact des principales conditions climatiques régionales sur l'adaptation des aiguilles du pin d'Alep face aux conditions extrêmes.

V.1. 2. Sites et plan d'échantillonnage

Dans chacune de ces deux zones, 25 échantillons (chaque échantillon est aliquote récolté de cinq arbres) pour l'analyse physico-chimique prélevés sur cinq sites d'échantillonnage de 400 m² ont été sélectionnés avec une exposition similaire, une pente

moyenne, un faciès géologique similaire et une présence commune du pin d'Alep (Figure 20). Les aiguilles étaient prélevées à l'automne (Arbez et Millier, 1971 ; Aouidi, 2012)

Pour les observations morphologiques, cinq arbres ont été sélectionnés sur chaque site, 20 aiguilles ont été sélectionnées à partir des pousses bien développées de chaque arbre (Tiwari *et al.*, 2013). Les échantillons recueillis sont conservés à 4 C° (Borsali *et al.*, 2017).

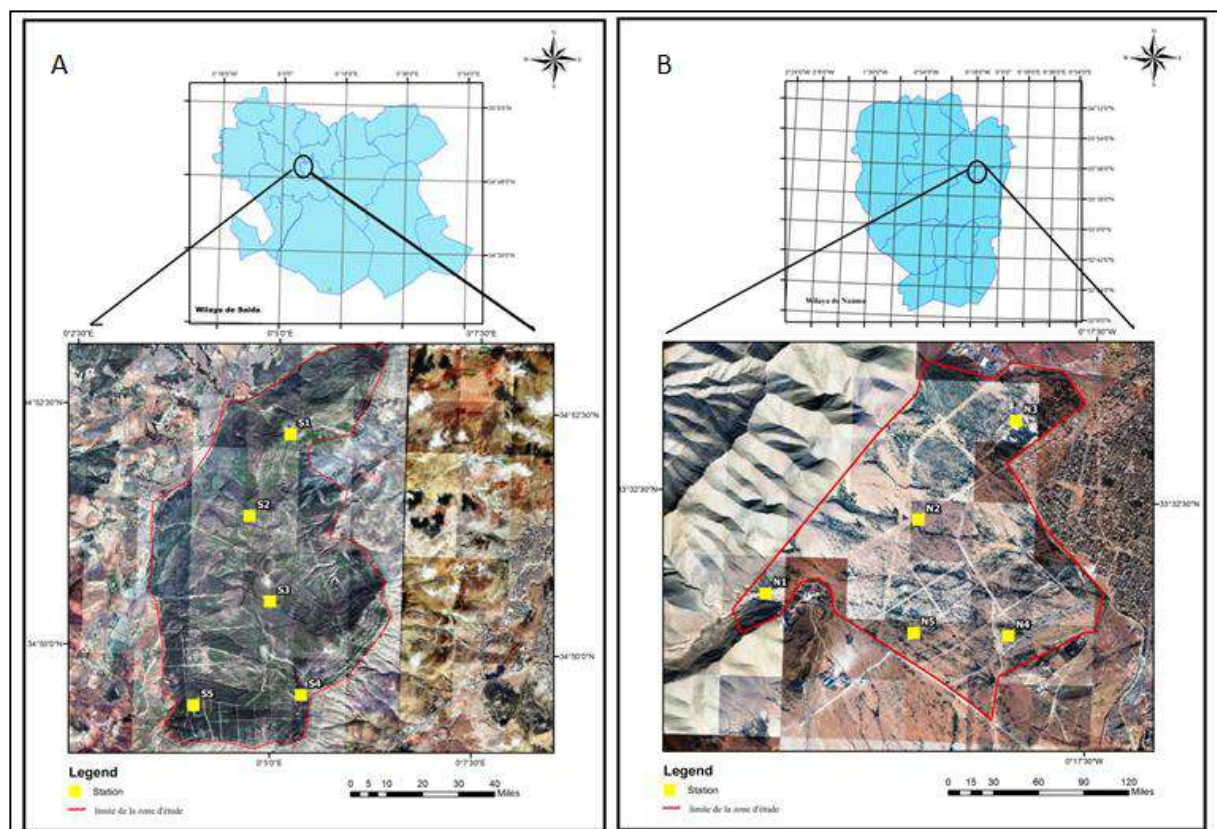


Figure 20: Stations d'échantillonnages des aiguilles dans les zones d'études (A : Zone semi aride. B : Zone aride).

V.1.3. Caractéristiques morphologiques et chimiques des matériaux des aiguilles

V.1.3.1. Morphologie des aiguilles

Les feuilles sont les centres métaboliques chez les plantes vasculaires. Par conséquent, leur structure anatomique et morphologique est très adaptée aux conditions environnementales. Le protocole standard utilisé par Garnier *et al.*, (2001) et Vile *et al.*, (2005) a été suivi pour caractériser la morphologie des aiguilles. 20 aiguilles de chaque échantillon ont été scannées, la longueur est déterminée par le logiciel Mesurim et la largeur (épaisseur) est mesurée par microscopie Motic après une section transversale dans l'aiguille.

V.1.3.2. Détermination de la teneur en eau

La teneur en eau est donnée par la méthode gravimétrique (détermination de la perte de poids par dessiccation). Une quantité de la plante fraîche est placée dans une capsule tarée puis mis dans une étuve, préalablement chauffée, à 90°C jusqu'à poids constant.

La teneur en eau, en pour cent de l'échantillon frais, est donnée par la formule suivante:

$$H\% = (E - M) / E \times 100$$

E: masse initiale, en gramme, de la prise d'essai ;

M: masse, en gramme, de la prise d'essai sèche ;

Soit H% : teneur en eau ou humidité.

V.1.3.3. Traitement de la plante

Le matériel végétal a été laissé sécher à l'ombre à une température ambiante dans une pièce aérée pendant une période de 10 à 15 jours. Après le séchage est broyés en poudre à l'aide d'un moulin électrique.

V.1.3.4. Détermination de la teneur en cendres :

La plante sèche et pulvérisée (5g) est placée dans un creuset préalablement calciné et taré (M₁). On incinère au four à moufle pendant 4 heures à 550°C. Après refroidissement dans le dessiccateur, le résidu a été pesé (M₂). La mesure de la teneur en cendres commence par la peser 5g de matière sèche dans une capsule préalablement tarée, puis calcinée à 550 °C pendant 4 heures. Après refroidissement dans le dessiccateur, retirer la capsule et prendre leur poids.

$$\% \text{ de matières minérales} = (M_2 - M_1 / P) \times 100$$

M₁: masse du creuset vide.

M₂: masse du creuset et des cendres brutes (après calcination).

P: prise d'essai en grammes.

V.1.3.5. Détermination de la teneur en Matière organique :

La teneur en matière organique a été calculée après la détermination de la teneur en cendre (matière minérale) par la formule suivante :

$$\text{Taux de M.O}(\%) = 100 - \text{M.M}\%$$

M.O : matière sèche.

M.M : matière minérale.

V.1.3.6. Détermination du pH et salinité des aiguilles

La mesure du pH et la salinité d'un échantillon solide est effectuée sur une suspension de l'échantillon (10 g) dans l'eau distillée (100 mL) (Aouidi, 2012).

V.1.3.7. Calcule des rendements en extrais secs

Selon Hadri, (2015), nous pouvons déterminer le rendement de différentes parties pour la plante en extrait sec préparé la macération de 1 g du matériels végétale dans 20 ml du méthanol pendant 24 h. l'extrait méthanolique récupéré et ensuite évaporé à sec par un rotavapeur type Buchi R-200 à 60 °C . Le pourcentage de rendement en extrait sec en calculant le rapport suivant :

$$\text{Rendements (\%)} = [P1-P2/P3]*100$$

P1 : poids du ballon après évaporation

P2 : poids avant évaporation de ballon

P3 : poids d e la matière de végétale de départ

V.1.3.8. Détermination du taux de chlorophylle

La détermination quantitative de la chlorophylle dans un ensemble extrait de tissu végétal vert par UVVIS La spectroscopie est compliquée par le choix de l'échantillon, du système de solvants et du spectrophotomètre utilisé. Les différents pigments végétaux absorbent la lumière dans des régions spectrales qui se chevauchent, selon le système sélectionné. Cette unité discute des méthodes utilisées pour tenir compte de se chevauchent en appliquant une équation pour une précision détermination quantitative de chlorophylle. La mesure commence par la préparation des extrais un gramme de feuilles fraîches finement coupées a été pris et broyé avec 20 à 40 ml d'acétone à 80%. Après la préparation des extraits acétoniques, il a ensuite été centrifugé à 5000-10000 tr / min pendant 5 min. L'absorbance de la solution était à 645 nm et 663 nm contre le solvant (acétone) à blanc, puis la teneur en chlorophylle a été déterminée en utilisant la formule suivante: équations d'Arnon (1949) :

$$\text{Total Chlorophylle (g l}^{-1}\text{)} = 0.0202 A_{663} + 0.00802 A_{645}$$

Dont A, représente l'absorbance à la longueur d'onde respective.

V.1.3.9. Apport de la spectroscopie Infrarouge sur les aiguilles de pin d'Alep

Les échantillons des aiguilles récoltés fraîches, ont été séchés à l'air libre à l'ombre, mis sous vide, broyés au laboratoire avec un blender (Moulinex, type 843). Après leur broyage, les poudres ont été conservées dans des pots fermés et placés à l'abri de la lumière. Avant chaque analyse, les échantillons de poudres de feuille ont été lyophilisés pendant 48 heures pour éliminer l'eau disponible dont la présence peut modifier l'allure de l'empreinte spectrale en moyen infrarouge et masquer la présence de bandes. Cette analyse spectroscopique suit le même principe de scanne utilisé pour l'analyse spectroscopique proche et moyen infrarouges des litières (Chapitre IV).

V.2. Comportement des graines face aux facteurs du milieu.

V.2.1. Introduction

Les zones à déficit hydrique occupent une position charnière bien particulière en Algérie. Elles reçoivent de 100 à 300 mm de pluie moyenne annuelle (Nedjraoui, 2003) et couvrent de très grandes surfaces, Elles sont caractérisées par des conditions édapho-climatiques très contraignantes à la survie spontanée des êtres vivants. Dans ces régions, la disponibilité des eaux, leur salinité et celle des sols sont parmi les principaux facteurs limitant la productivité végétale (Zid et Grignon, 1991). En Algérie la sécheresse, observée depuis longtemps a conduit manifestement au processus de salinisation des sols sur 3,2 millions d'hectares affectés (Benmahiou et *al.*, 2009). Cette contrainte naturelle a modifié la stabilité des écosystèmes et la cause en grande partie de la désertification et la salinisation des sols (Sadio, 1989; Szabolcs, 1992).

Comme toute forêt du bassin méditerranéen, celle du pin d'Alep est une essence forestière majeure dans le bassin méditerranéen puisqu'elle couvre plus de 250.000 km² (Quezel, 2000). Elle occupe 850.000 hectares en Algérie (Mezali, 2003). Elle subit depuis des siècles d'intense pression humaine (défrichement, coupe illicites, incendies, pâturage) causant ainsi la déforestation et la régression des couverts végétaux. Les peuplements âgés de pin d'Alep ne se régénèrent pas toujours facilement dans le cadre de la gestion traditionnelle (hors incendie). Les gestionnaires sont alors désireux de connaître les techniques à mettre en œuvre pour faciliter la régénération naturelle de ces pinèdes (Prévosto et *al.*, 2009).

La dormance des graines constitue un des mécanismes de tolérance développés par les plantes se trouvant dans des conditions d'aridité, de température et de salinité élevées (Fenner, 1985). Le maintien des plantes dans des conditions environnementales limitantes dépend en premier lieu de la réussite de la germination (Ungar, 1982 ; 1991). Plusieurs facteurs interagissent dans la régulation de la germination (eau, température, lumière et salinité), la germination est régulée par des caractéristiques génotypiques mais aussi par les conditions environnementales et en particulier par la disponibilité de l'eau dans le sol et la présence de sel (Guterman, 1993). Ainsi, la germination des graines est le stade le plus sensible aux stress salin et hydrique (Boulghalagh et *al.*, 2006). On peut considérer que la plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée (Maillard, 2001). Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence du sel, la variation de l'équilibre hormonal a été évoquée (Kabar, 1987). Plusieurs auteurs ont montré un retard de la germination causé par la salinité chez plusieurs espèces (Ndour et Danthu, 2000; Boulghalagh

et al., 2006, Benata et al., 2006). Des travaux effectués sur des halophytes ont montré que l'effet inhibiteur du NaCl sur la germination serait essentiellement de nature osmotique, le sel empêchant l'imbibition de la graine (Katembe et al., 1998).

Ce travail a pour objectif d'étudier l'effet des principales contraintes environnementales affectant la germination des semences, notamment la sécheresse et la salinité qui empêche la régénération des espèces forestières menacées d'un stress osmotique créé par le polyéthylène glycol (PEG 6000) et d'un stress salin créé par le Chlorure de sodium (NaCl) sur le pouvoir germinatif des graines de pin d'Alep voir quels sont les concentrations inhibant de la germination. Dans cette étude on a choisi les graines de pin d'Alep puisque il forme une espèce dominante dans les forêts algériennes surtout dans les zones arides et semi arides qui forme une barrière contre la désertification en plus c'est l'espèce la plus utilisée dans les pépinières pour les projets de reboisement.

V.2.2. Récolte des graines de pin d'Alep

La récolte des cônes s'est faite avant la dissémination des graines au début du mois d'Aout 2016 avant l'écèlement des cônes. Elle c'est faite dans un peuplement mûr lorsque les cônes sont de couleur brun foncé dans leur troisième année pour qu'ils soient mûres et peuvent donner des graines qui ont un pouvoir germinatif (technique pépinière forestière) puis les cônes sont mis dans un sachet en plastique et déposé au soleil pendant un ou deux mois pour permettre l'écèlement des cônes et la libération des graines.

V.2.3. Effet du stress osmotique sur la germination.

Le protocole suivie pour la levée d'inhibition tégumentaire et de désinfection pendant 10 minutes dans une solution d'hypochlorite de sodium à 8% le rinçage des graines par l'eau plusieurs fois suivie par un trempage des graines dans l'eau distillée pendant 24 heures.

Les essais de germination ont été réalisés sous différents niveaux de potentiels hydriques par l'utilisation de PEG (polyéthylène glycol) qui forme un polymère non ionique hydrosoluble non perméable pour les cellules. Il est utilisé pour induire un déficit hydrique car il réduit la disponibilité en eau sans causer de dommage physique aux plantes (Romo et al., 2001), ayant une masse molaire de 6000. Les tests de germination ont été réalisés avec 20 graines par boîte de Pétri (diamètre 9 cm), chacun recouvert de deux couches de papier filtre à une température optimum de germination (20 °C).

Les solutions de PEG 6000 de concentrations croissantes et induisant des potentiels hydriques également croissants par l'équation établie par (Michel et Kaufman, 1973), ont été utilisées

pour induire les différents niveaux de stress osmotique testés. Les valeurs du potentiel hydrique testées sont 0, -0,05, -0,25, -0,5, -1 et -2 bars. La durée du test a été fixée à la période de germination qui s'est étalée sur 30 jours, le comptage des graines germées est fait quotidiennement.

D'après Michel and Kaufman (1973), l'équation reliant les différents paramètres est la suivante, avec Ψ_h : potentiel hydrique (en bar) ; T : température d'incubation en °C ; C : concentration de PEG6000 (g/l) :

$$\Psi_h = - (1,18 \cdot 10^{-2}) C - (1,118 \cdot 10^{-4}) C^2 + (2,67 \cdot 10^{-4}) CT + (8,39 \cdot 10^{-7}) C^2T.$$

V.2.4. Effet de la salinité sur la germination.

Nous avons procédé aux essais de germination sous contraintes salines en utilisant les conditions optimales de germination déterminées à de l'expérience précédent. Les graines sont mises à germer dans des boîtes de Pétri sur un papier filtre et arrosées quotidiennement avec de l'eau distillée contenant différentes concentrations de NaCl (0, 1, 2, 3, 4, et 5g/l) et disposées la température optimale de germination (20 °C) (Thanos et Skordilis., 1987 ;).

La durée du test a été fixées à la période de germination qui s'est étalée sur 30 jours, La germination a été contrôlée toutes les 24 heures et les graines germées ont été comptées et retirées de la vaisselle. Le temps pris pour que les pourcentages de germination de tous les réplicas atteignent 50% a été enregistré comme TG50. Le comptage des graines germées a été réalisé quotidiennement.

V.2.5. Paramètres mesurés

V.2.5.1. Le taux de germination pour chaque lot (TG)

Le taux de germination pour chaque lot (TG) constitue le meilleur moyen d'identification de la concentration des PEG et NaCl qui présentent la limite physiologique de germination des graines. Il est exprimé par le rapport nombre de graines germées sur nombre total de graines. Sur l'essai de germination ont été déterminé le pourcentage définitif de germination (Agrobio, 2013).

$$TG = (\text{nombre de graines germées} / \text{le nombre total de graines}) \times 100$$

V.2.5.2. Vitesse de germination pour chaque lot

La vitesse de germination peut s'exprimer par la durée médiane de germination (Scott et *al.*, 1984) ou par le temps moyen de germination (le temps au bout duquel on atteint 50% des graines germées) (Côme, 1970 ; Lachiheb et *al.*, 2004). Elle est exprimée :

$V = T1 + [(0.5 - G1/G2 - G1)] * (T2 - T1)$, dans le quel :

(G1%) : représente le cumulé des graines germées dont la valeur est plus proche de 50% (inférieur)

(G2 %) : cumulé des graines germées dont la valeur est plus proche de 50% (supérieur).

VII. Analyses statistiques

L'analyse statistique principale utilisée dans notre travail est le test paramétriques test-t de student pour la comparaison des moyennes après avoir testé la normalité et les corrections des données, ce test est utilisé pour comparés les moyenne des résultats d'analyses effectuées (physico-chimiques et biologique) pour le sol, la litière et les aiguilles de *Pinus halepensis* selon la variabilité des zones (aride et semi-aride) puis une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée pour corrélation des échantillons et des paramètres étudier de chaque zone en paramètres de fonction.

Les spectres du proche et moyen infrarouge ont été étudiés par des analyses en composantes principales (ACP) calculées sur des matrices de covariance. L'ACP ordonne les échantillons de sol, de litières et aiguilles sur une carte factorielle à 2 dimensions. Ces dimensions, ou composantes principales, sont sélectionnées pour expliquer le maximum de variance. Un cercle des corrélations, correspondant à une projection sur la carte factorielle des variables explicatives (substrats carbonés des profils cataboliques et longueur d'ondes des spectres MIR) sous la forme de vecteurs, permet d'interpréter l'ordination des échantillons.

Pour l'étude de l'effet de concentration de stress hydrique et stress salin sur le comportement germinatif des grains de *Pinus halepensis* nous avons suivie une analyse de variance (ANOVA) avec un seul facteur de variation au niveau de probabilité de 5% ($P \leq 0,05$) après contrôle de la distribution de la normalité afin de comparer les moyennes des taux de germination avec le stress. Les post-hoc Fisher (LSD) ont été utilisés pour des comparaisons de moyennes multiples et des groupes homogènes caractérisés. Les logiciels utilisés pour effectué cette analyse est logicielle R.6.

Partie III

Résultats et Discussion

Chapitre I

*Caractérisation physico-chimique et microbiologique
des sols forestiers à pin d'Alep (Pinus halepensis Mill)
des zones semi arides et arides de l'ouest Algérien.*

Caractérisation physico-chimique et microbiologique des sols forestiers à pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) des zones semi arides et arides de l'ouest Algérien.

I.1. Introduction

Le sol est la couche supérieure vivante de la croûte terrestre; son épaisseur est comprise entre la surface du sol et la roche mère. Les sols forestiers naissent de l'altération chimique et physique de cette roche-mère et de la transformation des composés organiques par les organismes vivants du sol. Les feuilles, aiguilles et branches qui tombent des arbres et d'autres plantes s'accumuleraient pour former au fil du temps d'immenses montagnes, si d'infimes organismes vivants du sol n'étaient pas là pour broyer et décomposer ce matériau en humus. Une partie de cet humus est complètement décomposée et convertie sous forme minérale. Des éléments nutritifs sont alors libérés, qui peuvent ensuite être réabsorbés par les racines des plantes. La vitesse de cette pédogenèse dépend de différents facteurs intrinsèques ou ayant un impact sur celle-ci – organismes vivants, climat prévalant ou nature géologique de la roche mère notamment. Sans organisme vivant du sol, il n'y aurait pas de sol forestier intact, riche en nutriments. Le sol forestier est de surcroît un habitat pour les plantes et les animaux. Il exerce également une fonction de filtre et de tampon pour de nombreuses substances (Walser et *al.*, 2018).

Les agressions du milieu climatique et humain ont appauvris et fragilisés. Les sols deviennent vulnérables à l'érosion éolienne, très importante dans ces régions et à l'érosion hydrique qui est due en grande partie aux pluies torrentielles qui sous forme d'orages violents, désagrègent les sols peu épais, diminuent leur perméabilité et leur fertilité (Nedjraoui, 2011).

Les perturbations de l'hétérogénéité physico-chimique et structurale des sols peuvent influencer certaines propriétés biotiques et abiotiques directement impliquées dans la survie de ces organismes notamment dans ces zone arides ces propriétés varient également avec le milieu et leur facteurs externe qui influe sa teneur en matière organique, leur couleur, leur texture, leur structure, leur pH, leur capacité de rétention de l'eau, et par beaucoup d'autres paramètres physico-chimiques. Ces différences résultent de l'influence du climat, de l'action des plantes et de la transformation de la roche mère dans diverses positions topographiques. Les propriétés qui serviront à caractériser la qualité des sols devront donc intégrer cette variabilité.

I.2. Résultats

I.2.1. Propriétés physiques des sols dans la zone aride et semi aride

Tableau 12 : Propriétés physiques des sols de la zone aride et la zone semi aride.

Variables Physiques	Valeur de t calculée et de Significativité	La zone semi aride	La zone aride
Texture	--	Limono- sableuse	Sablo-argileuse
Composition granulométrique	--	Sable 60,62%	Sable 68,23%
	--	Limon 24,20%	Limon 5,11%
	--	Argile 15,18%	Argile 26,66%
	--	Argile 15,18%	Argile 26,66%
Couleur	--	Brun rougeâtre, Marron rougeâtre, Marron et rouge	Orange
Humidité (%)	t=9,94***	18,56±6,57 ^b	5,23±1,25 ^a
Capacité de rétention (%)	t=11,14***	71,33±7,83 ^b	51,34±4,37 ^a
Perméabilité (cm/h)	t=23,96***	47,79±3,00 ^b	28,20±2,77 ^a
Porosité (%)	t=34,50***	77,56±5,92 ^b	28,17±4,01 ^a
Densité apparente (g/cm³)	t=0,83ns	1,09±0,173 ^a	1,06±0,134 ^a
Densité réelle (g/cm³)	t=16,74***	5,12±1,06 ^b	1,48±0,200 ^a

Moyennes ± écart-types. La valeur t du test de Student est présentée avec son seuil de significativité (* : P < 0,05 ; ** : P < 0,01 ; *** : P < 0,001 ; ns : non significatif).

Les zones arides et semi arides présentent des propriétés physiques toutes significativement différentes exceptées pour la densité apparente (Tableau 12). Sur la base de la composition granulométrique moyenne, les sols étudiés dans la zone semi aride possèdent une texture limono-sableuse tandis que les sols de la zone aride ont une texture sablo-argileuse. L'humidité du sol au moment du prélèvement, la capacité de rétention, la perméabilité ainsi que la porosité sont tous significativement plus élevés dans le sol du massif forestier semi aride comparés aux sols de massif forestier aride (P<0.001). Les sols de la zone semi aride possèdent une couleur qui varie du Brun rougeâtre, Marron rougeâtre à Marron et rouge par contre les sols de la zone aride possèdent une couleur généralement orange pour toutes les stations selon le code international des couleurs du sol "Munsell Color Chart". La densité apparente est presque homogène entre les deux sols et la comparaison des moyennes ne présente aucune différence significative (p>0.05).

I.2.2. Propriétés chimiques des sols dans la zone aride et semi aride

Les paramètres chimiques des sols sont consignés dans le tableau 13. Les tests statistiques révèlent que les propriétés chimiques des sols dans les zones arides et semi-arides, , exceptées les teneurs en oxyde de magnésium (MgO) et de l'oxyde d'aluminium (Al₂O₃), sont significativement différentes (tableau 13). Les niveaux totaux de calcaire et d'oxyde de calcium sont plus élevés dans les sols de la zone aride, tandis que les niveaux de carbone organique (CO) et d'azote totale (NT), la matière organique (MO), (K₂O), Oxyde de fer (Fe₂O₃) et Oxydes de silice (SiO₂) sont plus élevés dans les sols de la zone semi-aride. Le rapport C / N calculé pour les sols de la zone aride (31,60) est deux fois plus élevé que celui obtenu pour les sols de la zone semi-aride (19,25). Le pH de l'eau du sol est alcalin quelle que soit la zone, bien qu'il soit plus élevé dans la zone aride avec une légère salinité de ces sols de la zone aride.

Tableau 13 : Propriétés chimiques des sols forestiers de la zone aride et la zone semi aride

Variables Physiques	Valeur de t calculé et significativité	La zone semi aride	La zone aride
Carbone organique (g/kg)	t=4,15***	6,24±1,26 ^b	4,74±2,03 ^b
Azote total (g/kg)	t=3,03**	0,32±0,085 ^b	0,15±0,040 ^a
Rapport C/N	t=8,67***	19,25±3,64 ^a	31,60±11,41 ^b
Matière organique MO	t=5,90***	7,84±1,43 ^a	4,67±1,13 ^b
pH eau	t=4,54***	8,20±0,55 ^a	8,72±0,17 ^b
pH KCl	t=3,73***	7,28±0,44 ^a	7,62±0,095 ^b
Salinité	t=4,42***	0,47±0,078 ^a	0,73±0,27 ^b
Calcaire total (%)	t=8,33***	27,03±10,25 ^a	48,84±8,12 ^b
Oxyde de potassium K ₂ O	t=17,82***	1,84±0,033 ^b	1,70±0,020 ^a
Oxyde de fer Fe ₂ O ₃	t=2,11*	7,17±2,28 ^b	6,18±0,55 ^a
Oxydes de silice SiO ₂	t=11,88***	61,03±7,85 ^b	41,70±2,12 ^a
Oxyde de magnésium MgO	t=1,41ns	0,51±0,13	0,56±0,14
Oxyde d'aluminium Al ₂ O ₃	t=0,52ns	10,59±1,65	10,41±0,58
Oxyde de calcium CaO	t=28,86***	9,87±1,97 ^a	21,79±0,60 ^b
Moyennes ± écart-types. La valeur t du test de Student est présentée avec son seuil de significativité (* : P < 0,05 ; ** : P < 0,01 ; *** : P < 0,001 ; ns : non significatif).			

I.2.3. Propriétés microbiennes des sols dans la zone aride et semi aride

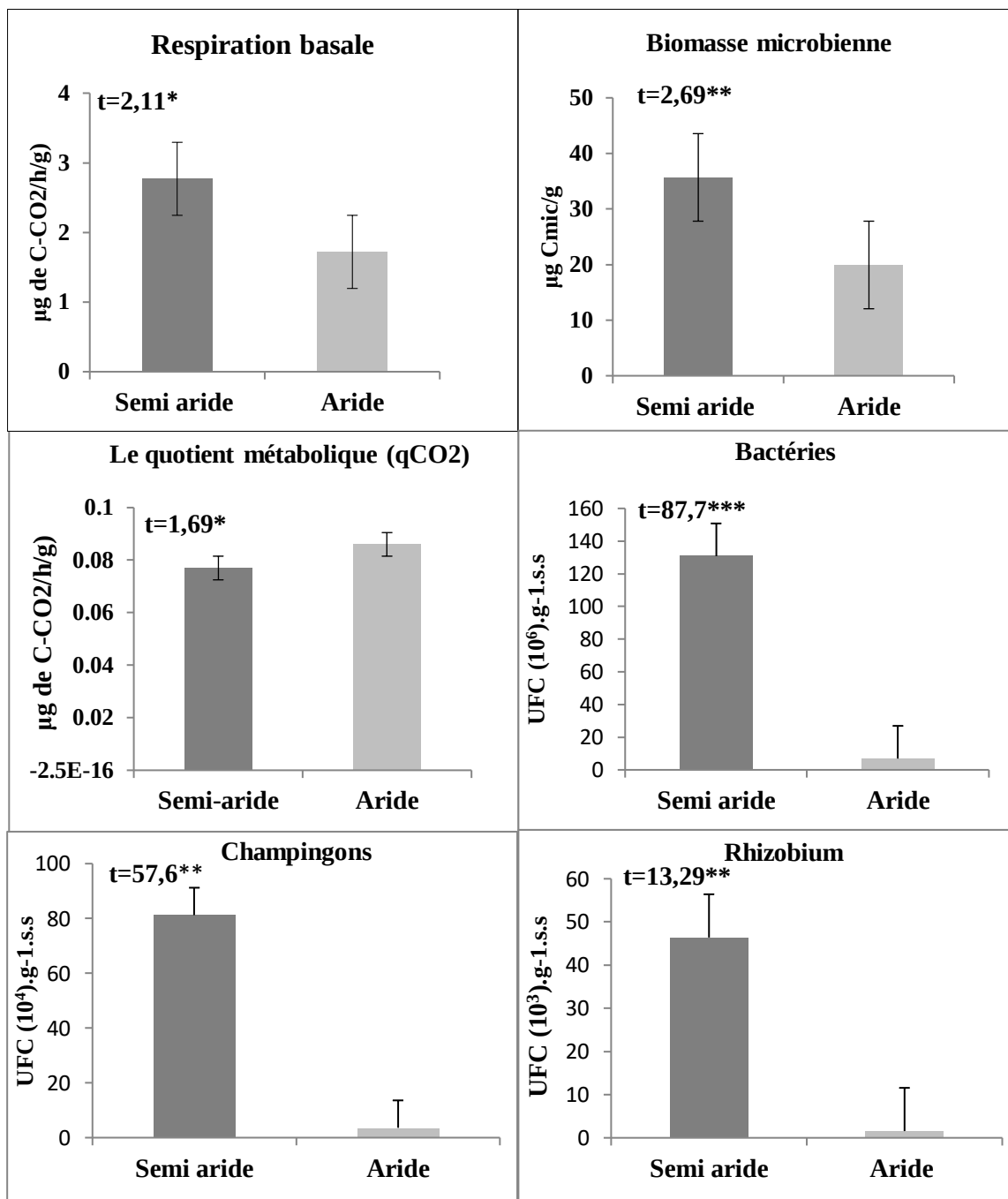


Figure 21 : Les propriétés microbiennes des sols en zone aride et semi aride

En ce qui concerne les propriétés microbiologiques, les analyses statistiques montrent une différence significative ($P < 0,01$) de biomasse microbienne, de respiration basale et du quotient métabolique entre les deux massifs forestiers (Figure 21), avec des valeurs plus basses dans la zone aride. La respiration basale et la biomasse microbienne sont plus faible

dans la zone aride que la zone semi aride avec un quotient métabolique qCO_2 qui représente une efficacité trop faible quel soit en zone aride ou semi-aride avec une valeur qui ne dépasse pas $0,08 \mu g$ de $C-CO_2/h/g$).

La biomasse bactérienne et la densité des rhizobiums dans les sols forestiers sont plus importante dans la zone semi aride ($130,8 \times 10^6 \text{ UFC.g}^{-1} \cdot \text{s.s}$; $46,4 \times 10^3 \text{ UFC.g}^{-1} \cdot \text{s.s}$) plus que la zone aride ($6,93 \times 10^6 \text{ UFC.g}^{-1} \cdot \text{s.s}$; $1,57 \times 10^4 \text{ UFC.g}^{-1} \cdot \text{s.s}$), l'étude statistique montre la différence significative entre les deux zones ($P < 0,05$). Le dénombrement de la microflore fongique montre que la densité des champignons dans les sols forestier de la zone semi aride présente une moyenne de l'ordre de $81,2 \times 10^4 \text{ UFC.g}^{-1} \cdot \text{s.s}$ par contre dans notre zone aride cela ne dépasse pas $3,6 \times 10^4 \text{ UFC.g}^{-1} \cdot \text{s.s}$ comme nous le montre la figure 21 . Cette densité fongique est faible en comparaison avec la densité bactérienne.

I.2.4. Synthèse ACP

L'analyse statistique en composantes principale (ACP) des 50 échantillons du sol échantillonnée des deux zones différentes semi-arides et arides en fonction de leur propriétés physico-chimiques et biologiques nous a donnée deux cercles de corrélation différents (Figure 22), le premier cercle des échantillons assemblés en bleu représente les échantillons du sol de la zone aride, cet assemblage représente l'homogénéité des échantillons dans notre zone aride et le deuxième cercle des échantillons dispersés en jaune représente les échantillons du sol de la zone semi-aride, on remarque que cette dispersion présente un signe de variation des échantillons du sol au sein de notre zone semi-aride. Cette analyse nous confirme l'empreinte de l'étage bioclimatique sur l'homogénéité des caractéristiques physico-chimiques et biologiques de chaque zone. Les échantillons du sol de notre zone semi-aride sont plus corrélés avec l'humidité, la porosité, la matière organique, le carbone et l'azote qui présentent des valeurs importantes dans cette zone beaucoup plus que dans les sols de la zone aride qui sont corrélés avec la présence importante de rapport C/N élevé, le calcaire, et l'Oxyde de calcium (CaO) qui peuvent augmenter leur pH.

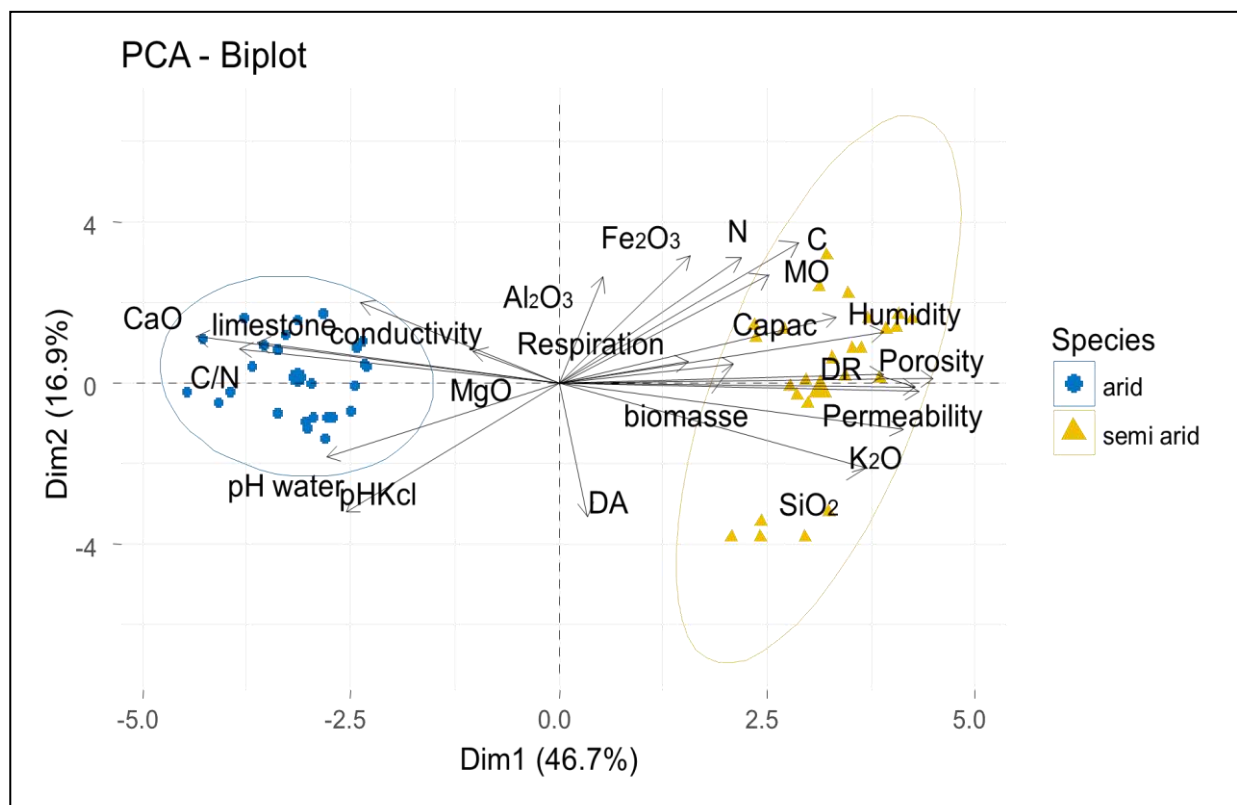


Figure 22 : Analyse en composants principale (ACP) des échantillons de sol en fonction des propriétés analysées.

I.2.5. Prédiction spectroscopique

Les résultats de l'analyse de spectroscopie (PIR et MIR) confirment les résultats précédents (Figure 23 a et b). L'ACP moyen infrarouge a été réalisée sur ces données centrées, réduites et divisées par la déviation standard à l'aide d'un modèle basé sur l'humidité, le pH et la conductivité des sols (Figure 23 c). Les sols arides se différencient en fonction de leur pH et conductivité dont les valeurs sont plus élevées. Sur la figure (23- d), sont présentés les profils des spectres de sol des deux zones. Ces deux signatures se différencient au niveau des intensités des bandes pointées à 995, 874 et 711 cm^{-1} caractéristiques de la présence de la CaCO_3 qui augmente le pH dans ses sols forestiers.

Le traitement des données dans le proche infrarouge conduit à peu près à la même séparation des échantillons (Figure 23 b). Les échantillons des 2 zones se séparent suivant la PC1. Les échantillons situés dans la partie positive de PC1 sont les sols de la zone aride dont la signature spectrale montre une présence plus importante de CaCO_3 .

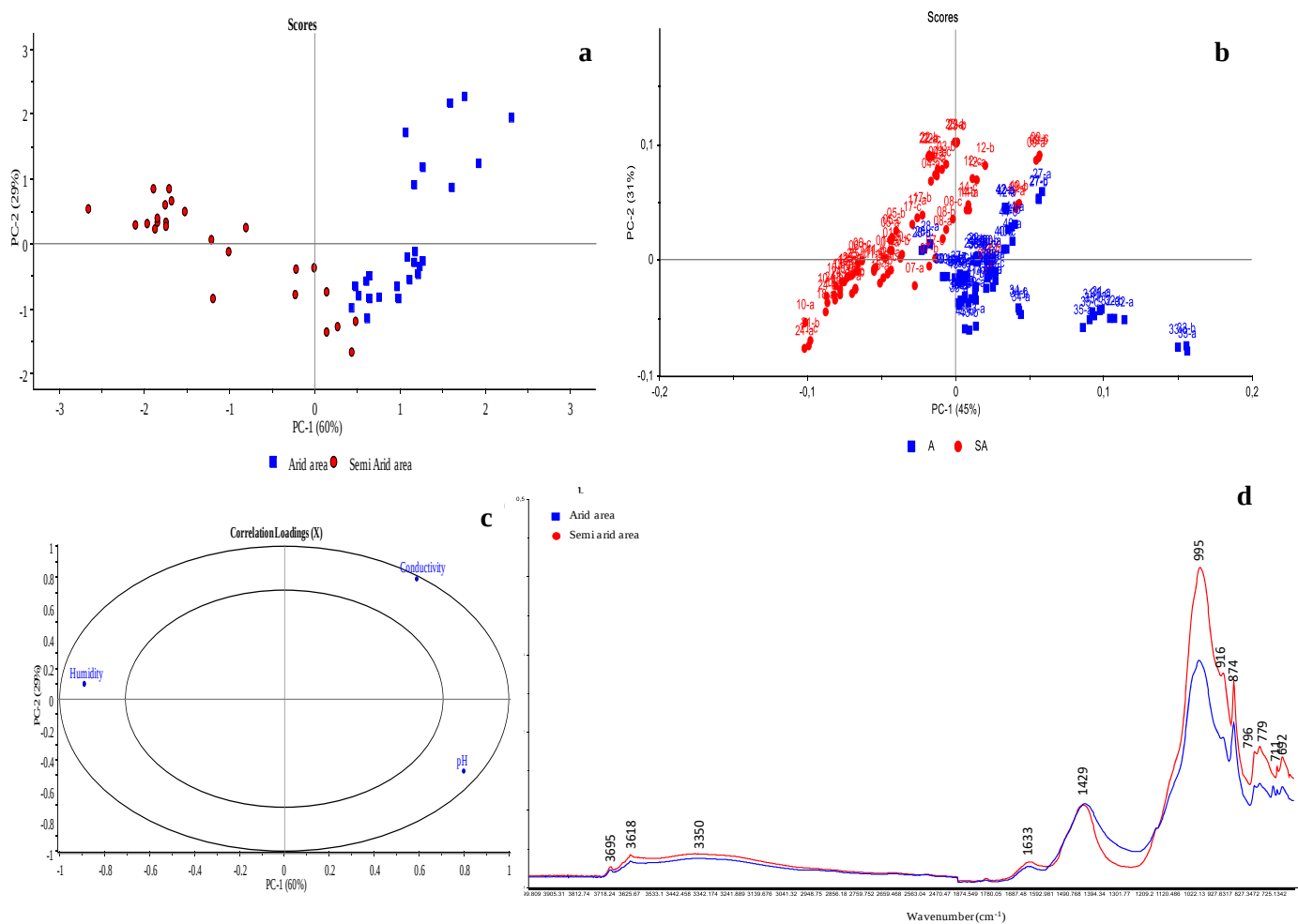


Figure 23: Résultats d'analyse spectrométrique des sols ; a- ACP Moyen infrarouge ; b - ACP Proche infrarouge ; C- cercle de model corrélation ; d - Profil MIR des sols dans les zones arides et semi-arides.

1.3. Discussion

La diversité et la distribution de la végétation des zones arides et semi arides algériennes dépendent, du régime des précipitations, de l'état des sols et leurs géomorphologies. L'Algérie est connue pour la diversité de ces sols et ses ressources végétales et faunistiques. En Algérie, les forêts des terres arides et semi aride jouent un rôle de premier plan dans la conservation de la biodiversité et des sols. Compte tenu des conditions climatiques de plus en plus incertaines et des effets qui y sont liés dans l'ensemble des zones arides, il est indispensable d'élaborer de nouvelles approches de gestions et sauvegardes des sols car s'ils sont bien gérés, ils contribueront à réduire les répercussions du changement climatique.

Dans le bassin méditerranéen, les modèles météorologiques prévoient une augmentation des sécheresses estivales et une augmentation des températures (Gibelin et Déqué, 2003). Cette tendance globale serait accompagnée par une plus grande fréquence d'événements extrêmes de type pluie torrentielle et sécheresse (GIEC, 2007 ; Soubeyroux et *al.*, 2012). Ces événements extrêmes, leur intensité (durée, fréquence...), et la soudaineté avec laquelle ils arrivent sont de nature à affecter directement les sols causant ainsi leur dégradation et par conséquent la désertification de ces zones.

I.3.1. Effets du gradient d'aridité sur la qualité physique des sols

La connaissance de la texture permet d'indiquer la qualité physique d'un sol surtout on ce qui concerne le régime hydrique. Selon le triangle des textures les résultats nous ont montré que notre zone semi aride est caractérisée par une texture limoneux-sableuse. Ce sont des sols moyennement riche en élément nutritifs, facile a travailler, Ils retiennent bien l'eau et les sels minéraux mais ils peuvent se compacter très vite après de fortes pluies créant des structures très fragiles sensible à l'érosion (ravines, coulées de boue, ...). Leur activité biologique est fortement dépendante des conditions d'aération du sol (Duchaufour, 1984). La zone aride présente une texture sableux-argileuse, les sols fortement sableux sont caractérisés par un horizon jaune clair bien drainé et très filtrant. Ils ne retiennent pas l'eau et les sels minéraux, les plantes ont donc peine à s'y développer. En pente, ils sont très sensibles à l'érosion hydrique et éolienne. Ils ont une faible capacité d'échange anionique et cationique (Duchaufour, 1984). D'après nos résultats la couleur des sols de la zone semi aride est un indicateur d'une roche mère calcimagnésique riche en calcaire avec une présence du fer dans les horizons superficielle (Bensaid, 2006). Les couleurs brunes et marron sont typiques de la zone semi aride. Maignien, (1948) a pu montrer que cette différenciation entre sols foncés et sols rouges au moins dans le cas des sols bruns et des sols brun-rouge peut provenir des différents composants minéraux dans les roches-mères. La couleur du sol du massif forestier de la zone aride résulte de la présence importante de calcaire et du fer. Antonio, (2014) a montré que la couleur orange fait partie des couleurs secondaire et qui peuvent être dus à la présence de goethite, FeO (OH) , et lié à l'argile et à la matière organique. Lorsque la nappe phréatique descend vers le bas pendant la saison sèche, l'oxygène rentre, le fer soluble s'oxyde moules de couleur orange caractéristique de lepidocrocite (Lynn et Pearson, 2000).

Dans les sols de la région aride nous avons mesuré des teneurs en eau gravimétrique très faibles avec une moyenne de (5,23%) en comparaison avec les sols de la région semi aride (18,56%), cela dépend des conditions climatiques en premier lieu (précipitations et températures) mais aussi de la densité du couvert végétale qui diffère entre les deux zones.

Notre zone semi aride représenté par la forêt de djebel Sid Ahmed Zeggai présente une couverture végétale importante parfois la densité dépasse les 50% (DGF, 2015). En plus la quantité et la qualité de la litière et l'humus très présent dans cette forêt jouent le rôle d'une éponge, ils gardent l'eau et protègent le sol contre l'évaporation (Dupuy, 1998).

Borsali, (2013) montre dans ces travaux sur les forêts du semi aride que la teneur en eau gravimétrique des sols dépend en premier lieu des conditions climatiques (températures et précipitations). Le faible taux d'humidité dans notre zone aride peut s'expliquer en premier lieu par les conditions climatiques extrêmes et la texture sableuse des sols mais aussi par la faible densité de la forêt qui ne dépasse pas (20%) (DGF, 2015) ainsi que l'absence du tapis herbacée qui accélère l'évaporation de l'eau gravimétrique située à une profondeur limitée dans les sols de cette zone (FAO, 1992). La faible capacité de rétention (51,34%) dans la zone aride par rapport à la zone semi aride (71,33%) peut s'expliquée en premier par les faibles teneurs en argile et la forte teneur en sable (FAO, 1992) surtout dans la zone aride qui présente un pourcentage de sable important (68,23%), elle varie en fonction de la texture, de la structure et de la profondeur d'enracinement maximale des sols (Bourennane, 2008). Le régime des eaux est perturbé à la suite de la destruction de la végétation ceci a pour conséquence la diminution de la matière organique et des eaux de rétention, Cette capacité de rétention est moins importante dans les sols arides que dans les sols semi-arides en raison de l'effet de l'aridité du climat et de l'action de l'érosion (eau et vent) des particules fines dans très importante dans cette région qui peut augmenter et contribuer à une diminution de la capacité de rétention des sols en eau (Boix Fayos, 1997 ; Salamani et *al.*, 2013).

D'après Duchaufour (2001), La porosité (P) est en relation étroite avec deux valeurs caractéristique : la densité réelle (D_r) et de la densité apparente (D_a). La porosité et la perméabilité dans la zone aride sont faible (28,14% ; 28,20 cm/h) par rapport à la zone semi aride (77,56% ; 47,79 cm/h) et cela dépend en premier lieu de la texture (présence de l'argile) et aux effets de la compaction des sols qui réduit la circulation de l'air et de l'eau en fonction de la densité réelle (D_r) et de la densité apparente (D_a). Les sols arides sont généralement des sols compactés (Aubert, 1960), cette compaction affecte la qualité physique du sol, elle réduit la porosité, ce qui entraîne une mauvaise aération du sol. La perméabilité d'un sol est toujours corrélée avec la porosité. C'est selon la nature des infiltrations: à la fois via une composante lente liée à la porosité très fine et une composante rapide via le réseau de fractures bien organisé (Pinault, 2006).

I.3. 2. Effets de la zone sur les propriétés chimiques

Nos résultats montrent une faible teneur en carbone organique ($4,74 \text{ g.kg}^{-1}$) et en matière organique (4,67%) dans la zone aride par rapport à la zone semi-aride (carbone: $6,24 \text{ g.kg}^{-1}$; matière organique: 7,84%). ceci est certainement dû à la faible densité de végétation et de litière dégradée dans la zone aride. En effet, Bensaid (2006), dans un travail sur la désertification dans cette zone, montre que la dégradation de la principale source de carbone dans le sol est liée aux facteurs climatiques et édaphiques (humidité, pH, texture et biomasse microbienne). De plus, la présence de vents fréquents dans les zones arides peut transporter la litière d'un endroit à un autre. Dans les sols de la zone aride, la matière organique reste faible et la durée de résidence du carbone organique dans ces sols est très variable en fonction de l'origine du sol, du climat et de l'utilisation des terres (Girard et *al.*, 2005).

Le stock organique dans le sol varie considérablement en fonction de la vitesse de son renouvellement: il est faible si le renouvellement est rapide (forte activité biologique), la vitesse de ce processus dépend de facteurs tels que la température et les précipitations, l'équilibre hydrographique du sol et de la composition de la matière organique (UE, 2011).

La différence significative (test *t* de Student) d'azote entre notre zone aride ($0,15 \text{ g.kg}^{-1}$) et la zone semi-aride ($0,32 \text{ g.kg}^{-1}$) est probablement liée au taux de minéralisation et à la nature des espèces végétales différents qui accompagnent le pin d'Alep entre les deux masses forestières (Zouidi et Borsali, 2017 ; Zouidi et *al.*, 2019a). Selon (Soudi et *al.*, 2003), les cycles de l'azote et de la matière organique revêtent une importance considérable dans le contexte méditerranéen aride et semi-aride et la disponibilité de l'azote pour les plantes est étroitement liée à la quantité et à la qualité de la matière organique du sol.

Le rapport C / N élevé dans notre zone aride (31.60) témoigne d'un humus libérant peu d'azote (Bonneau, 1995). Cette faible quantité d'azote dans notre zone aride ne permet pas une bonne décomposition du carbone: il y a concurrence entre l'absorption par les plantes et la réorganisation de la matière organique par les microorganismes du sol, c'est le phénomène de "faim d'azote", l'azote est alors prélevé dans les réserves du sol, la minéralisation est lente et ne restitue au sol qu'une faible quantité d'azote minéral ($C/N > 30$) (Baize, 2000 ; Gundersen et *al.*, 1998).

Alors que dans la zone semi aride il y a une production d'azote, la vitesse de décomposition s'accroît pour permettre une bonne décomposition de la matière carbonée ($C/N < 25$) (la libération d'ammonium et de nitrate l'emporte sur la réorganisation et l'alimentation azotée des arbres devient possible) (Baize 2000). Certains auteurs montrent que le rapport C / N est plus

élevé dans les peuplements de conifères que dans les peuplements de feuillus (Gundersen et *al.*, 2009), tandis que d'autres ont confirmé que le rapport C / N concernait les sols des zones sèches (Righi et Wilbert, 1984).

Le pH des sols étudiés est généralement alcalin, la dégradation des sols par alcalinisation apparaît comme toile de fond à tous les aménagements forestiers en zone aride ou semi-aride. Ce sont là les types de dégradation les plus fréquentes surtout dans notre zone aride et souvent liées à la désertification. Un pH compris entre 8 et 9 est retenue, généralement comme limite de la dégradation de la structure (Aubert, 1983 ; Bridges, 1978). Selon l'échelle de salinité d'Aubert (1978) les sols de notre zone semi aride sont considéré comme des sols non salé et les sols de la zone aride sont peu salé, la sécheresse et la densité faible de la végétations augmentent la salinisation des sols, certains sels présent à l'état naturel dans le sol sont absorbés comme éléments nutritifs par les végétaux (Wiebe et *al.*, 2007).

La teneur élevée en calcaire et en calcium dans la zone aride est due à la présence de croûte calcaire dans ces sols. Ils dépendent de la profondeur de la roche mère; dans notre zone aride, la profondeur du sol est limitée (Bensaid 2006). Selon le GIEC (2007), les types de sols calcaires en Algérie sont des sols avec une accumulation de calcaire profond dans des bioclimats semi-arides et arides. L'évolution du calcaire est importante dans la genèse des sols de ces régions. Selon la FAO (2005) les types de sols calcaires en Algérie sont des sols à accumulations calcaires en profondeur dans les bioclimats semi- arides et arides. L'évolution du calcaire est importante dans la genèse des sols dans ces régions. Drouet (2010) a montré que les niveaux de carbonate de calcium (CaCO_3) dans les sols carbonatés étaient très variables: de quelques pour cent à plus de 70%. La présence de carbonates influe fortement sur la réaction du sol, les sols carbonatés se distinguant par un pH toujours supérieur à 7 (Drouet 2010), ce qui explique un pH plus élevé dans les sols arides que dans les sols semi-arides.

Le silicium représente l'élément minérale le plus important dans les deux zones (41% ; 61%) puisque il forme l'élément le plus abondant de la croûte terrestre avec l'oxygène. Ils ont une très forte attraction l'un pour l'autre et forment la silice SiO_2 . La forme cristallisée de la silice est le quartz, minéral très fréquent dans la croûte terrestre (Deferne et Engel, 2007). Il peut fréquemment y représenter plus de 50 % de la fraction minérale et jusqu'à 90 % ou plus des fractions limoneuses et sableuses dans certains sols (Halilat et *al.*, 2000). La libération de K minéral est déterminée par les vitesses d'altération des minéraux qui peuvent être très lentes sous des climats froids et secs (Abail, 2013).

Les principaux constituants du sol sont la matière minérale (entre 44 et 50 %), l'eau (entre 20 et 34 %), l'air (entre 10 et 30 %) et la matière organique (de 5 à 10 %). Dans le sol, les matières minérales et organiques sont transformées, avant d'être transférées et accumulées au sein des plantes. Les 5 à 30 premiers centimètres du sol constituent le principal site d'absorption de l'eau et des éléments minéraux par les racines ; il s'agit de la couche la plus fertile. Les caractéristiques d'un sol dépendent de la roche dont il est issu (la roche-mère), du climat (température, importance et régularité des précipitations), de l'altitude et de la vie qui le caractérise (végétation, bactéries, champignons...). Concernant la matière minérale, les sols contiennent des minéraux primaires formés à partir de l'altération de la roche-mère ; il s'agit par exemple de quartz (SiO_2), de feldspath ou encore de mica (formé principalement de silicate d'aluminium (Al_2SiO_5) et de potassium (K)). Ils contiennent également des minéraux secondaires formés à partir de l'altération de ces minéraux primaires ; il peut s'agir de minéraux argileux (tels que la kaolinite ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)); d'oxydes de fer (tels que l'hématite (Fe_2O_3)), d'oxydes d'aluminium (Al_2O_3); d'oxyhydroxydes de fer (tels que la goethite ($\alpha\text{-FeO}(\text{OH})$)). Pour ce qui est de la matière organique, les sols sont généralement constitués de mélanges complexes de débris de plantes, de substances humiques et de matériaux inertes. Tous ces composants ont une influence nette sur la couleur du sol observée (Pany, 2019).

De nombreux travaux se sont intéressés à la relation entre la couleur des sols et leur composition chimique. Ils montrent que la présence d'oxydes de fer sous différentes formes est responsable des couleurs jaune, orangé et rouge des sols. Segalen (1969) a notamment montré que la couleur jaune des sols serait due à la présence de goethite seule ($\alpha\text{-FeO}(\text{OH})$) et que les sols de couleur rouge contiennent des produits cristallisés colorés (goethite, hématite, magnétite (Fe_3O_4)).

Pour l'hématite (Fe_2O_3) et la goethite ($\alpha\text{-FeO}(\text{OH})$), elles sont liées à des transitions électroniques et apparaissent principalement dans le domaine du visible. Pour l'hématite aux environs de 650, 529, 444 et 404 nm ; et pour la goethite vers 650, 480 et 434 nm.

Le quartz (SiO_2) présente des bandes d'absorption entre 1100 et 1000 cm^{-1} liées à la vibration d'élongation de la liaison Si-O ($\delta\text{Si-O}$), ; et dans la région située entre 654 et 642 cm^{-1} du fait de la vibration de déformation de la liaison Si-O-Si ($\delta\text{Si-O-Si}$). La kaolinite ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) présente dans la région du PIR des doublets d'absorption caractéristiques aux environs de 7142 et de 4545 cm^{-1} . Vers 7168 et 7067 cm^{-1} les absorptions sont dues aux premières harmoniques de la vibration d'élongation de la liaison O-H. (Pany, 2019).

Le carbonates de calcium (CaCO_3) présente dans le domaine du MIR des bandes d'absorption dans les régions situées à 1450-1420 cm^{-1} (liée à la vibration d'élongation asymétrique de

CO₃ (ν_s CO₃), 890- 870 cm⁻¹ et 720-700 cm⁻¹ (respectivement liées aux vibrations de déformation asymétrique et symétrique de CO₃ (δ_a CO₃) et (δ_s CO₃)) et 1000-1100 cm⁻¹ (liée à la vibration d'élongation symétrique de CO₃ (ν_s CO₃)). Dans le domaine du PIR ; la bande la plus intense est située aux alentours de 4282 cm⁻¹(liée à 3 ν_s aCO₃), mais des absorptions plus faibles se produisent vers 5347, 5025 et 4629 et 4040 cm⁻¹. La matière organique du sol apparaît dans la région du PIR vers 4273-4167 cm⁻¹ (cela peut être lié à la présence de pectine, de lignine, d'acide humique). Dans le domaine du MIR, entre 1600 et 1500 cm⁻¹, on retrouve les composés aromatiques. Les polysaccharides possèdent des bandes situées aux alentours de 1170 cm⁻¹ (ν C-O) et les carbohydrates vers 1050 cm⁻¹. Les amines se caractérisent par une bande vers 3330 cm⁻¹ liée à la vibration d'élongation de la liaison N-H et vers 1610 cm⁻¹ liée à la vibration de déformation de la liaison N-H (Guénon, 2010 ; Pany, 2019).

Le climat joue un rôle important dans la formation et les caractéristiques des sols. Il a un impact sur la végétation. La température intervient dans la vitesse d'altération des roches constituée d'un assemblage de plusieurs minéraux identiques ou différents. Selon la FAO, (1992) les propriétés chimiques du sol commandent la disponibilité de nutriments. Les sols arides sont caractérisés par un lessivage significatif des nutriments et une érosion intensive des minéraux, encore que ces deux phénomènes sont ralentis lorsque les précipitations diminuent. La fertilité naturelle (qui dépend beaucoup de la teneur en matières organiques de la couche arable) est souvent faible.

I.3.3. Caractères microbiologique des sols en fonction d'un gradient latitudinal

D'après les résultats statistiques on remarque que la respiration basale est en corrélation avec la biomasse microbienne, elle varie en fonction de leurs activités dans le sol, Les facteurs de variation de la biomasse microbienne sont la température, l'humidité, l'état énergétique du sol (les réserves en MO, particulièrement les MO facilement dégradables), l'environnement physique (structure et porosité) et chimique (CEC, pH, calcium). La teneur en biomasse microbienne est liée au type de sol. L'inactivité des micro-organismes, entraînerait un arrêt de l'approvisionnement naturel des sols en azote et un blocage du turnover de carbone et de l'azote se traduisant par l'accumulation de ces éléments sous forme organique inutilisable par les végétaux. (Dommergues *et al.*, 1999). Nos résultats ont montré que dans la zone aride, les taux de respiration basale et de biomasse microbienne sont inférieurs à ceux de la zone semi-

aride. Ceci est certainement dû à l'effet des températures élevées et des longues périodes de sécheresse avec un manque de précipitations qui dominent dans la zone aride. Cela peut entraîner la dormance de certains groupes bactériens pour résister à ces conditions extrêmes.

Karabi et *al.*, (2015) ont montré que dans les zones arides caractérisées par des conditions édapho-climatiques très restrictives, la survie des micro-organismes dans le sol est très difficile. La croissance microbienne peut être limitée par la disponibilité des nutriments nécessaires à son développement (Gallardo et Schlesinger, 1992; Fauci et Dick, 1994 ; Hart et Stark, 1997). Il est beaucoup plus difficile d'établir une relation simple entre le taux d'humidité des sols et l'activité des micro-organismes, sauf en ce qui concerne les écosystèmes très secs (Wardle, 1992) ou très humides (Waring et Schlesinger, 1985) où l'activité des micro-organismes est limitée par l'humidité du sol.

La différence de la biomasse microbienne dépend de plusieurs facteurs en premier lieux la texture limono-sableuse dans notre zone semi aride bien aéré, ils sont surtout abondantes autour des racines de certaines plantes au sein de la rhizosphère (Duchaufour, 2001), par contre la présence des particules fines dans le sol tel que l'argile dans notre zone aride empêche la circulation de l'air et de l'eau et en conséquences la respiration des bactéries. La matière organique importante dans notre sol semi aride aussi favorise le développement de la population bactérienne dans notre sol par la production de carbone organique (Bossuyt et *al.*, 2001). Selon (Karabi, 2016) les bactéries sont favorisées par le système racinaire du couvert végétal et la concentration du carbone dans l'horizon de surface. Le pH apparaît ainsi comme un paramètre qui influence de manière majeure la structure et la diversité des communautés bactériennes dans les sols et l'analyse des échantillons de sol a permis de montrer une corrélation entre la diversité bactériennes et le pH de ces sols (Lauber et *al.*, 2009).

Wardle (1992 ; 1998), Bergeron (2007) ont démontré que la variation saisonnière de la température et de l'humidité du sol affectent d'une manière directe le niveau de la biomasse microbienne, ce dernier est lié non seulement à la quantité de la phytomasse mais aussi à la diversité et la richesse floristique (Zak et *al.*, 2003, Zhanfeng et *al.*, 2007).

Les champignons sont des acteurs importants du monde microbien. Ils sont impliqués dans une multitude de processus biologiques de l'environnement. Ils présentent, en outre, un intérêt économique, en raison à la fois de leur utilité et de leurs activités néfastes multiples, Les résultats montrent que la densité fongique est faible en comparaison avec la densité bactérienne. Les champignons ne sont pas les plus nombreux des micro-organismes du sol, mais leur poids est très important, du fait de leur grande taille, comparativement aux bactéries (Huber et Schaub, 2011). L'étude statistique de ces résultats montre que la

différence de densité fongique des sols forestier entre notre zone semi aride et aride est moyennement significative ($p < 0,01$). On peut expliquer cette différence par l'effet des facteurs pédoclimatique selon Smith et *al.*, (2000). La température ambiante en zone semi aride joue un rôle important dans le développement des champignons, ils sont généralement mésophiles : la croissance des hyphes est optimale entre 20-25°C. En dehors de cet intervalle de température les hyphes se développent plus lentement. (Castegnaro et Pfohl-Leszkowicz, 2002) ; aussi les champignons sont des microorganismes aérobies ; ils ont besoin d'Oxygène pour une croissance normale. Toutefois, leur développement est peu affecté par des teneurs 10 fois plus faibles que 2,1 % que celle de l'atmosphère. Quant à la sensibilité à la salinité, on admet que les microorganismes les plus sensibles sont les champignons, ce qui est montré par certaines études notamment celles de Ali-Haimoud et *al.*, (1980) expliqué en premier lieux par la biodiversité des espèces en zone semi aride caractérisé par la présence de certaines espèces fabacées dans notre forêt semi aride tel que le genres *Anthyllis*, *Astragalus sp*, *Calycotome*, *Genista*, *Lotus* et *Medicago sp*. plus que dans les forêts de la zone aride. Ces espèces sont connues par leur capacité à fixer l'azote atmosphérique par une symbiose avec les rhizobiums. L'évaluation de la biomasse des microorganismes a montré que dans la plupart des sols, les mycètes sont le composant principale (Bååth et Söderström, 1980 ; Schnürer et *al.*, 1985) Certaines espèces fongiques se retrouvent sur la plupart des terrains, comme les *Aspergillus*, *Penicillium*, *Epicoccum*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Mucor*, *Absidia*, *Rhizopus*, *Mortierella*, , *Chaetomium*, , etc. On y retrouve aussi communément des *Oomycetes* et des *Chytridiomycetes* (Annexe 04-05) (Boiron, 1996).

Dart et Zou (1993), suggèrent que la présence ou l'absence des rhizobiums dans un sol naturel dépend de leur croissance, des propriétés physiques du sol et de la plante hôte. Plusieurs facteurs tels que : l'acidité, le stress osmotique et la température ont des effets majeurs sur les rhizobiums (Graham, 1992). L'acidité du sol affecte tous les aspects de la symbiose, depuis la survie des souches dans le sol jusqu'aux processus d'infection, de nodulation et de fixation d'azote (Dommergues, 1999). Les rhizobiums sont en général neutrophiles mais leur réponse face à une fluctuation du pH varie d'une souche à une autre (Jordan, 1984). L'alcalinité est moins néfaste pour la survie des rhizobiums. Jordan (1984) a montré que la majorité de ces rhizobiums peuvent tolérer des pH allant jusqu'à 9 (Chen et *al.*, 1993). La sécheresse peut aussi influencer sur la survie du rhizobium pendant leur vie saprophytique (Chao et Alexander, 1982).

L'aspect microscopique généralement des isolats est visualisé après la coloration de Gram dont il montrée que les différents isolats présentent une forme cocco bacillaire couleur rose

(Gram-) (Annexe 06-07). Les caractères morphologique observés correspondent à ceux décrits pour les Rhizobiums (Vincent, 1970; Dommergues et Mangenot, 1971 ; Jordan, 1984; De Lajudie et *al.*, 1994; Rome et *al.*, 1996). Néanmoins ces observations restent insuffisantes pour déterminer la position taxonomique exacte des rhizobiums.

La plupart des auteurs s'accordent à dire que la température et le taux d'humidité sont les facteurs qui contrôlent le plus efficacement les cinétiques de minéralisation de la matière organique par les microorganismes (Kimmins, 1996; Verburg et *al.*, 1999, Borsali et *al.*, 2017b). Certains travaux ont montrés que la stabilité microbienne (i.e. résistance et résilience) était facilitée par certains facteurs abiotiques tels que la disponibilité en nutriments (Moore et *al.* 1993), le pH (Wardle, 1998) ou la quantité de carbone et sa disponibilité.

I.4. Conclusion

Dans ce travail les résultats d'analyses des propriétés physico-chimiques et microbiologiques nous ont donnés un aperçu sur les sols forestiers des pinèdes de ces régions de l'ouest Algérien et nous montrent une différence significative importante entre la zone aride et semi aride. Cette différence a été observée aussi pour la croissance de pin d'Alep et le développement des espèces qui l'accompagne dans chaque zone et qui dépend en premier lieu du climat qui prévaut dans ces régions et de quelques propriétés physico-chimiques et biologiques spécifique à ces sols.

Les sols de notre zone semi aride sont généralement caractérisé par une texture limoneuse sableuse globalement favorable à la vie des racines et micro-organismes, car elle présente un équilibre d'un point de vue aération, drainage, rétention de l'eau et des éléments nutritifs. la teneur en humidité, capacité de rétention d'eau, perméabilité, porosité et teneur en carbone organique, azote total et matière organique sont plus élevés dans cette zone semi-aride par rapport à la zone aride, caractérisée par: une texture généralement sableuse avec une couleur orange. Ils se caractérisent par: un rapport C / N très élevé qui indique un lent développement de la matière organique et un déficit en azote nécessaire à la décomposition du carbone. La conductivité montre que le sol contient une certaine salinité, sa perméabilité est forte et son humidité relativement basse avec un pH alcalin (> 8) en raison de l'augmentation du niveau de calcaire dans la région. L'extension de l'ensablement rapide sur les zones arides et la réduction du couvert végétal qui augmente encore plus la vulnérabilité des sols dénudés.

La construction d'ACP à partir des spectres MIR et PIR des échantillons de sol pouvaient séparer entre les sols de la zone aride et de la zone semi-aride et faire ressortir l'influence des facteurs climatique sur leur composition chimique principalement marqué par

une signature spectrale importante de CaCO_3 . Les spectres NIR et MIR du sol peuvent être utilisés comme mesure intégrée de la qualité du sol, afin de classer les sites en fonction de l'aridité et leur état de dégradation global ou de suivre l'effet d'un facteur écologique sur la qualité du sol.

Les résultats des propriétés microbiennes des sols montrent une importante biomasse microbienne dans notre zone semi aride avec une respiration basale faible dans les deux zones indiquée par le dégagement de CO_2 , cette différence s'explique par la dormance de certaines bactéries, et sous l'effet de la variation de la température, humidité et l'état énergétique du sol. Cette différence de la biomasse est confirmée par le dénombrement des microorganismes qui varient considérablement entre les deux zones.

Aujourd'hui la dégradation des sols est une préoccupation majeure, principalement dans les zones arides et semi-arides. Cette dégradation réduira la fertilité par: i) l'érosion du sol causée par le vent et / ou l'eau, ii) la détérioration des propriétés physiques, chimiques, biologiques ou économiques des sols, et iii) la durabilité disparition de la végétation naturelle.

Chapitre II

*Impact du gradient d'aridité sur la litière forestière des
résineux du « Pinus halepensis Mill » de l'Ouest
Algérien*

Impact du gradient d'aridité sur la litière forestière des résineux du « *Pinus halepensis* Mill » de l'Ouest Algérien

II.1. Introduction

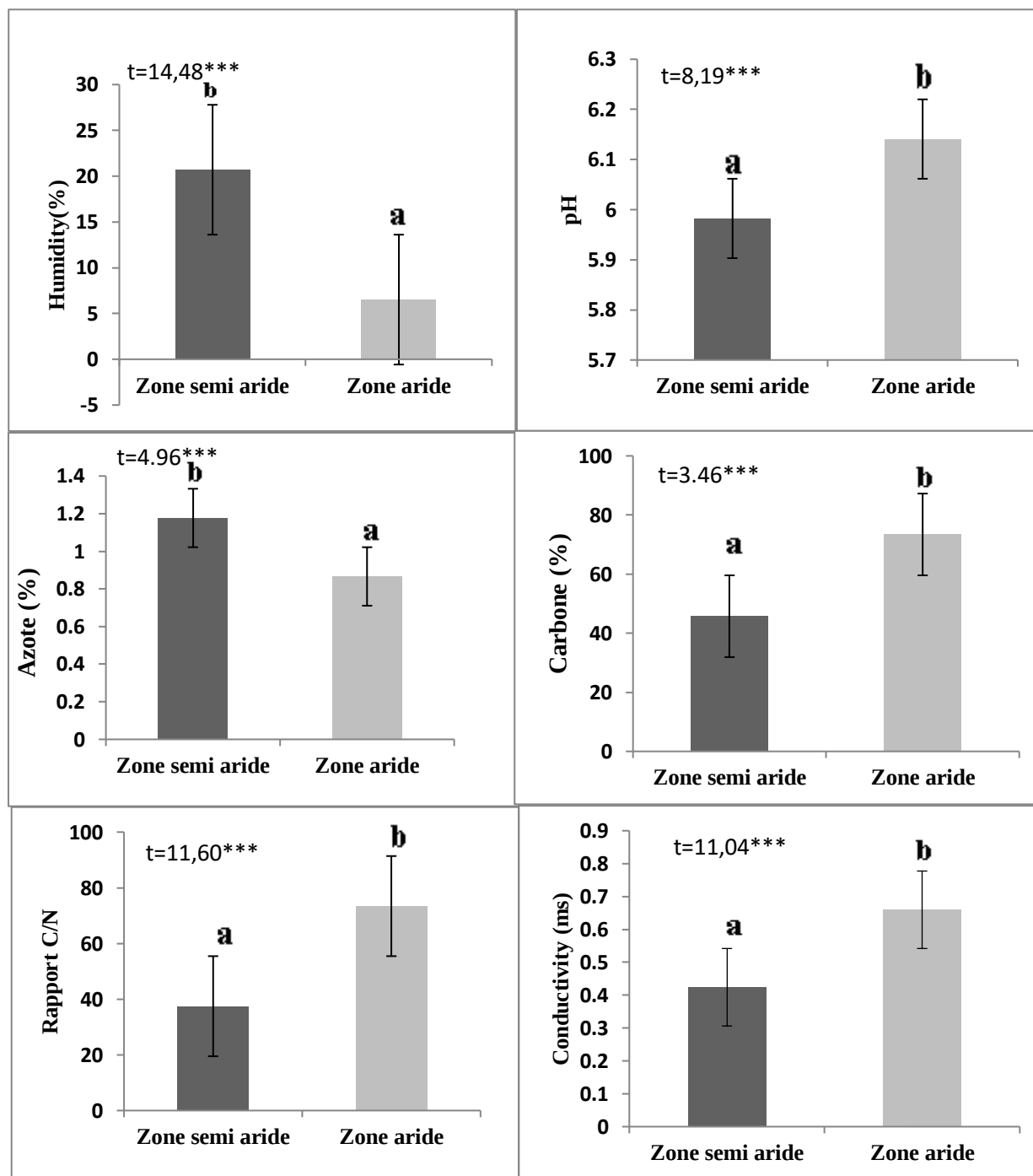
La végétation, le sol et le milieu extérieur, constituent les trois éléments de l'écosystème forestier. Sous cette stabilité apparente se dissimulent des échanges permanents d'énergies et de substance organique et minérale ; qui constituent le métabolisme de l'ensemble (Rapp, 1969). La retombée de litière qui se compose essentiellement par les feuilles, les branches et les graines représentant la source énergétique essentielle des micro-organismes et d'une partie de la faune du sol par le biais de ses constituants organiques, qu'elles libèrent, elle est aussi un facteur important de la pédogenèse.

Dans les forêts, l'alternance d'une période sèche et d'une période humide se traduit par un rythme marqué des apports foliaires et du microclimat au sol où la litière subit une période de dessèchement plus ou moins prononcé selon les types forestiers. Cette alternance, plus ou moins sensible selon l'intensité de la saison sèche, conditionne la dynamique des litières forestières. De nombreux travaux ont en effet montré que le climat a une action importante sur la nature et sur la vitesse de la décomposition des débris végétaux à la surface du sol (Thiutsa et Granger, 1979 ; Mangenot, 1980 ; Criquet et *al.*, 1999 ; Criquet et *al.*, 2004 ; Qasemian et *al.*, 2014).

II.2. Résultats

II.2.1. Propriétés physico-chimiques des litières des pinèdes

Les mesures de l'humidité montrent que la litière de pin d'Alep dans notre zone semi aride contient plus d'eau en comparaison avec la litière dans la zone aride et l'étude statistique montre que cette différence est significativement élevée ($P < 0,001$). Le pH et la conductivité sont peu élevés dans la zone aride, le pH est peu acide (pH supérieur à 5) et présente une différence significative entre les deux zones ($p < 0,001$). La comparaison des moyennes de la conductivité entre les deux zones a montré une significativité moyennement faible ($p < 0,01$). Sur la base des résultats, on a enregistré des concentrations en carbone et un rapport C/N élevé dans la zone aride contrairement aux concentrations d'azote qui sont plus élevées en zone semi aride que la zone aride, l'étude statistique montre une différence hautement significative ($P < 0,001$) de ces paramètres (Figure 24).



Figures 24 : Propriétés physico-chimiques des litières de pin d'Alep en zone aride et semi aride.

II.2.1.1. Prédiction par la spectroscopie

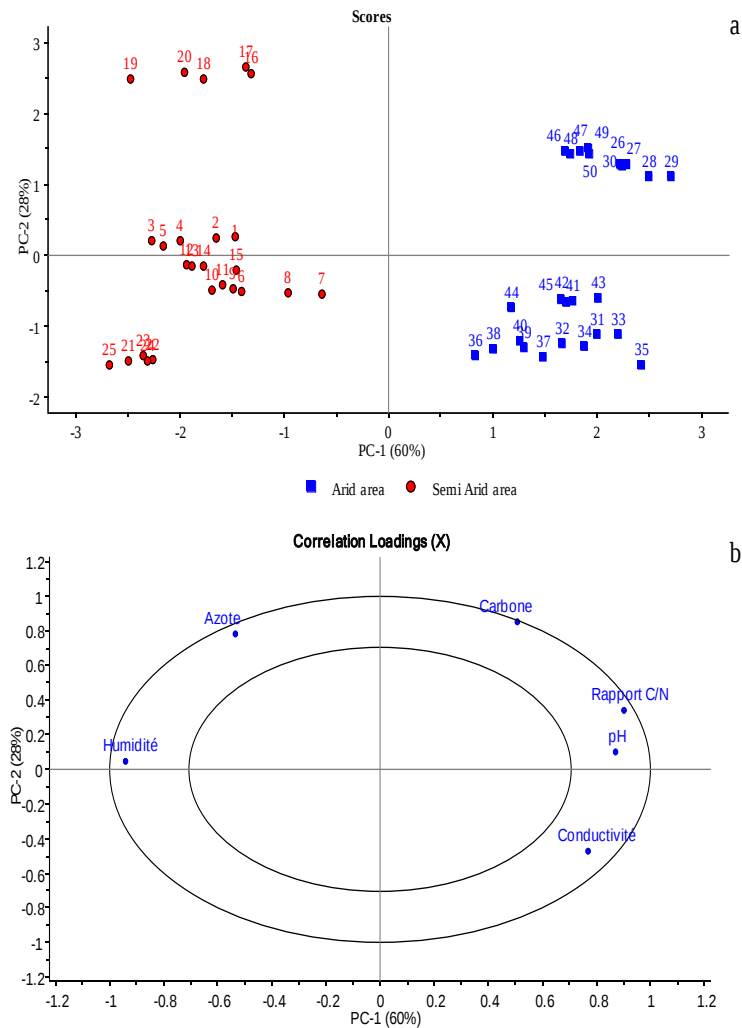


Figure 25 : ACP des propriétés physico-chimiques des litières collectées dans la zone aride et semi-aride : (a) graphique des échantillons dans le plan (PC1, PC2) ; (b) chargements de corrélation.

Le traitement des données physico-chimiques disponibles a été réalisé par une ACP qui a donné deux groupes différents (Figure 25). Les échantillons de la zone aride (25-50) situés du côté positif de la première composante se différencient par une présence plus élevée de leur taux de carbone, leur rapport C/N, leur pH et leur conductivité. Alors que les échantillons issus de la zone semi aride (1-25) placés dans la partie négative de PC1 ont quant à eux un taux d'azote et une humidité relative supérieurs. Dans la figure 26, sont présentés les profil spectrale d'un échantillon de litière issu de la zone aride et d'un échantillon prélevé dans la zone semi-aride.

II.2.1.1.1. Spectres MIR (Moyen infrarouge)

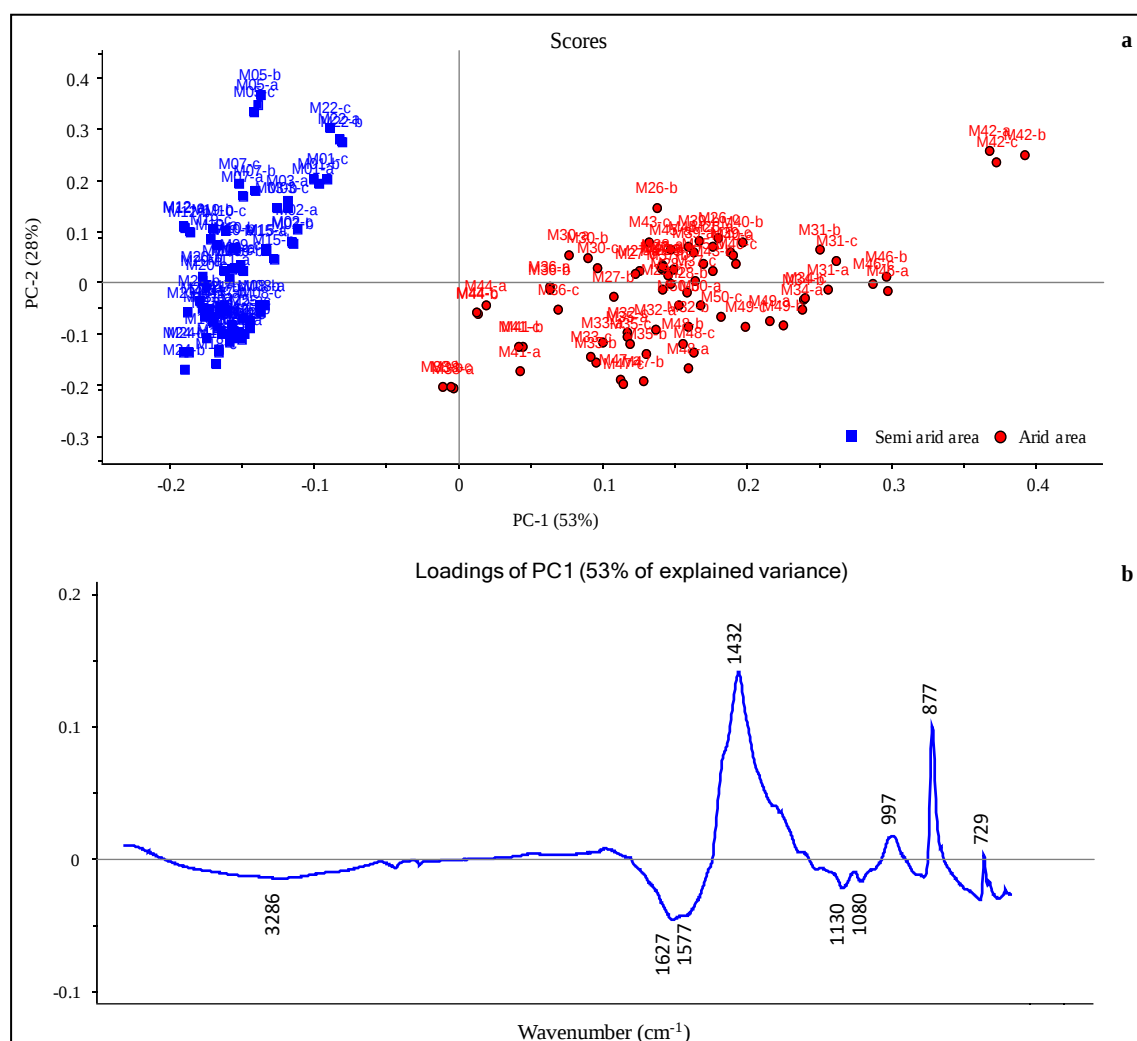


Figure 26 : ACP des données spectrales MIR: (a) graphique des échantillons dans le plan (PC1, PC2) : (b) graphique des variables sur PC1 (profile spectrale).

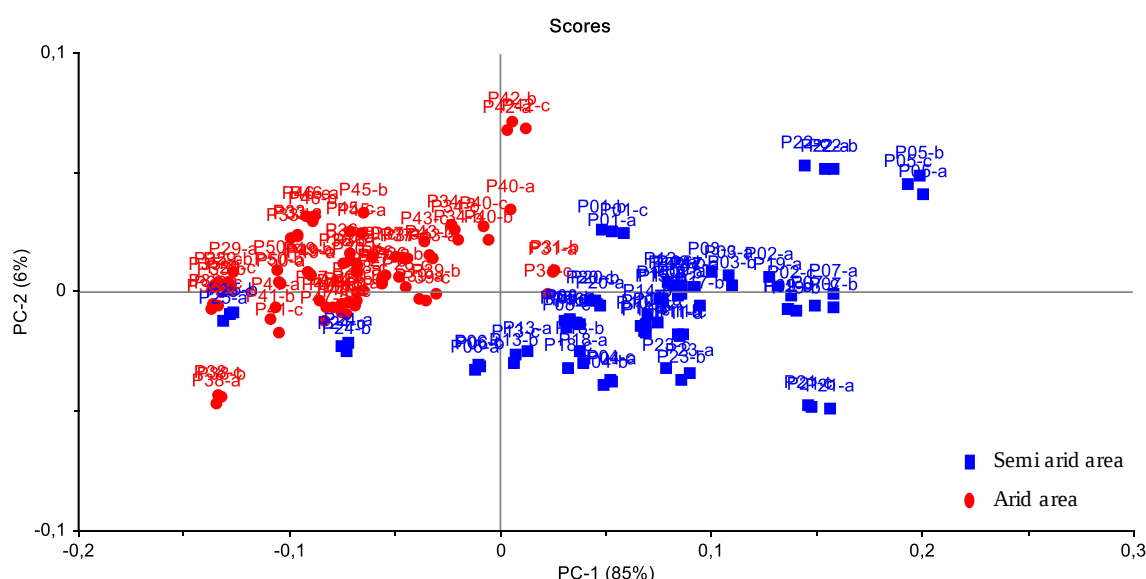
Avant le traitement chimiométrique, les données spectrales ont été corrigées en retirant la zone spectrale entre 2400 et 1900 cm^{-1} (zone d'absorption du CO_2 et du diamant de l'ATR), et la zone entre 4000 et 3600 cm^{-1} qui ne présentaient aucune information. Ensuite une correction MSC (Multiplicative Scatter Correction) a été appliquée pour compenser les effets additifs et multiplicatifs des données spectrales.

L'analyse en composantes principales des données spectrales a permis de séparer les échantillons selon les deux zones climatiques (Figure 26 a).

La première composante (avec 53% de la variance totale expliquée) qui traduit le contraste climatique alors que la deuxième composante (28% de variance expliquée) représente la variabilité intrinsèque des échantillons de litières dans une zone donnée. Le loading (Figure 26 b) de la première composante montre que les échantillons de la zone aride (placés du côté positif de PC1) sont riches en polysaccharides caractérisés par des bandes spectrales plus intenses à 1432 cm^{-1} (δCH_2), 997 cm^{-1} ($\nu\text{C-O}$, $\nu\text{C-C}$), 877 cm^{-1} (δCH et δOH dans COOH et COO^-) et 729 cm^{-1} (δCH). Par ailleurs, les bandes situées dans la partie négative du loading de PC1 sont plus intenses dans les profils spectraux des échantillons récoltés dans la zone semi-aride et correspondent aux bandes de vibrations des composés aromatiques (lignine et composés phénoliques). Ainsi les litières de la zone aride sont caractérisées par des teneurs en fraction labile de la matière organique (polysaccharides) plus importante mettant en évidence un degré de décomposition moins avancé par rapport à la zone semi-aride, les conditions climatiques plus drastiques de la zone aride peuvent expliquer ce résultat. Inversement, en zone semi-aride, une aromatisation de la matière organique liée à une transformation plus active de la fraction labile est observable.

II.2.1.1.2. Spectres PIR (Proche infrarouge)

Le traitement des données montre aussi une séparation des échantillons selon la zone de collecte des échantillons (Figure 27)



II.2.2. Propriétés biologique des litières des pinèdes

Les moyennes des paramètres microbiens des litières sont consignées dans le tableau 14. Sur la base de comparaison des moyennes des paramètres biologique de la litière on remarque que la moyenne de la biomasse microbienne et de la respiration basale avec le quotient métabolique sont un peu élevé dans notre zone semi aride, l'analyse statistique les résultats montre qu'il ya une différence significativement faible ($p < 0,05$) de respiration basale microbienne (RB), par contre la biomasse bactérienne et le quotient métabolique ne présentent aucune différence significative entre les deux zones ($p > 0,05$).

Tableau 14 : Propriétés microbiologiques des litières forestière en zone aride semi aride.

Analyse microbiennes	Teste indépendant	Zone semi aride	Zone aride
respiration à 22°C (μg de C-CO ₂ /h/g)	2,14*	97,78 $\pm$ 17,39	85,42 $\pm$ 22,98
Biomasse (μg de C microbien/g)	1,73ns	4,31 $\pm$ 0,90	3,94 $\pm$ 0,54
qCO ₂	0,753ns	23,67 $\pm$ 6,51	22,17 $\pm$ 7,57
Ce tableau consigne les valeurs moyennes $\pm$ ecartype ; Propriétés microbiennes des sols ; la valeur P de Teste indépendant est présentée avec son seuil de significativité (* : $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; *** : $P < 0,001$; ns : non significatif).			

II.3. Discussion

Dans un écosystème terrestre, la matière organique des sols est nécessaire au fonctionnement de l'écosystème entier parce qu'elle fournit les nutriments indispensables à la croissance des plantes, en particulier le carbone, l'azote, le soufre et le phosphore, et favorise le maintien de la structure des sols et leur capacité à retenir l'eau et les nutriments. Les nutriments peuvent provenir de différentes sources de matière organique telles que les débris végétaux qui sont représentés par la litière, une couche superficielle qui couvre le sol, constitue la masse végétale provenant des feuilles (70 à 94 %), branches et tiges encore peu transformées et elle forme l'ensemble de la matière organique (Rapp, 1969 ; Mangenot, 1980 ; Duchaufour, 1991). De nombreux facteurs qui peuvent intervenir dans la décomposition des litières notamment leurs propriétés physico-chimiques jouent un rôle important (Lossaint, 1959). Après une prospection sur terrain de nos zones d'étude nous avons enregistré une profondeur de litière légèrement élevé en zone semi-aride par rapport à la zone aride. Selon Baar et Ter Braak (1996); Sayer (2005), les litières profondes représentent plus de carbone stocké et un tampon plus efficace contre l'érosion des sols et la perte d'éléments nutritifs. Pourtant, nous ne connaissons aucune étude géographique sur la

manière et la raison pour lesquelles la profondeur de la litière varie selon les forêts (Kaspari et Yanoviak, 2008). La profondeur de la litière reflète l'équilibre de la litière et de la décomposition. Elle augmente avec la disponibilité simultanée d'eau et d'énergie solaire (Gholz et *al.*, 2000; Allen et *al.*, 2005). Dans les biomes de précipitations et de température similaires, la limitation en éléments nutritifs de la chute et de la décomposition peuvent correspondre aux gradients de la biogéochimie (Vitousek, 1984; Sterner et Elser, 2002)

II.3.1. Effet d'aridité sur les propriétés de la litière des pinèdes dans l'ouest Algérien.

Les mesures d'humidité soulignent l'empreinte de l'étage climatique sur chaque zone, la litière a une proportion considérable d'humidité dans la zone semi aride, et qui indique sans doute que les feuilles flétries du *Pinus halepensis* Mill. retiennent une proportion considérable d'eau et cela est lié probablement à la présence d'humidité du sol, d'humidité de l'air et les précipitations dans cette zone qui diminue l'évaporation d'eau des feuilles et aussi il conserve également l'humidité et l'empêche de se dessécher complètement. La teneur en eau de la litière et des végétaux morts dépend uniquement de phénomènes physiques : échange par capillarité avec le sol et équilibre avec la teneur en eau (sous forme vapeur) de l'atmosphère située au contact immédiat avec la litière (Trabaud, 1976). Les températures élevées réduisent aussi l'humidité du sol par augmentation de l'évaporation et de la transpiration et cela aussi dépend à la couverture végétale dense qui joue un rôle de protecteur contre l'évaporation du sol et empêche les rayons solaire de sécher la litière (Tardif, 2013). Par contre l'humidité de la litière très faible dans la zone aride montre que les aiguilles du *Pinus halepensis* Mill perdent une grande quantité d'eau par effet de diminution d'humidité de l'air et la sécheresse exercée dans cette zone sous l'effet des températures élevées, augmente l'évaporation au niveau du sol et l'évapotranspiration des végétaux et aussi elle dessèche la litière complètement comme à montré Bensaid (2006).

Les espèces résineuses ayant une litière plus acide que les espèces caducifoliées (Lagacé, 2009). Le pH de la litière dans la zone semi aride et la zone aride est peut acide, et probablement cette acidité est liée à l'humidité du sol, elle est riche en cation de (H^+), et contribuent également à la forme de l'acide humique, ce qui nous renseigne que les litières sont de type mull ou humus doux ($pH > 5$), Duchaufour (1970) souligne que mull ou humus doux ont un pH neutre ou peu acide et que les acides humiques bruns se forment en saison humide et froide, et sont partiellement biodégradés en été. Les résineux et particulièrement le Pin sont considérés comme des espèces acidifiantes (Gobat et *al.*, 2003), elle s'acidifie avec la décomposition en effet pendant la décomposition, le pH de la litière s'élève progressivement

pour atteindre 6 après 3 mois (Lossaint, 1959). La litière dans la zone aride reste peut saline en comparaison avec la litière en zone semi aride. Ce résultat est probablement lié à la nature du sol et leur profondeur et la présence des minéraux dans les sols dans cette zone aride (Zouidi et *al.*, 2018), les sols des zones arides et semi aride sont présente généralement une proportion de salinité (Grünberger, 2015). On peut expliquer la différence du taux de carbone entre les deux zones avec un pourcentage élevé dans la zone aride par la variation pédoclimatique entre les deux zone d'étude (Borsali et *al.*, 2017b) qui influe sur l'activité photosynthétique importante des résineux surtout dans les zone aride en présence des rayonnements solaire qui durent toute l'année et cela a été montré par Puig et Delobelle (1988) qui ont signalés que le taux de carbone dépend effectivement de l'activité photosynthétique et indirectement des conditions édaphiques, des variations assez nettes apparaissant ainsi dans les taux élevés de carbone qui reflètent donc des variations climatiques ou édaphiques d'un cycle annuel avec un décalage de quelques mois. Les retombées de litière forestiers et leur décomposition est un processus clé dans la formation du carbone (C) et le cycle des éléments nutritifs dans les écosystèmes terrestres de cette litière fait partie des processus qui déterminent les quantités de carbone stockées dans l'humus (Berg et *al.*, 2001 ; Sabine et *al.*, 2014). Les stocks de carbone augmenteront si la production de litière (entrée de carbone) augmente et en ce qui concerne la production de litière, elle est étroitement liée au régime des pluies. L'interruption des pluies dans les zone aride (8 mois sec) s'accompagne d'une chute des feuilles que traduit l'augmentation de production de la litière (Paul et Clark, 1996 ; Dupuy, 1998) donc cela nous explique aussi la quantité importante de carbone dans la zone aride qui présente un régime saisonnier de pluie moins important que la zone semi aride ce qui augmente la chute des aiguilles de pin et la production de la litière. L'accumulation de carbone organique dans l'humus de formation de conifère fermé peut être expliquée par la qualité de la litière composée de matériaux récalcitrants à la décomposition microbienne comme les tannins et polyphénols (Berg, 2000). (Prescott et *al.*, 2000). Le taux d'azote reste faible surtout en zone aride cela peut s'expliquer par la décomposition très lente de la litière de pin d'Alep, plusieurs études ont confirmé que la décomposition est influencée par les concentrations initiales en azote (Berg et Staaf 1980; Aerts, 1997 ; Tian et *al.*, 1992 ; Cleveland et *al.*, 2006; Kaspari et *al.*, 2008). Et ce contenu en azote total des litières diminue avec la décomposition (Gloaguen et Ouffet, 1980 et 1982). D'après (Salleles, 2014) dans les écosystèmes à faibles intrants (non fertilisés) tel qu'en zone aride, la source d'azote pour les végétaux provient majoritairement de la décomposition des litières et de la minéralisation des matières organiques du sol, Les litières jouent un rôle

essentiel dans le recyclage de l'azote dans l'écosystème forestier (Salleles, 2014). Lorsqu'une litière est soumise à des conditions climatiques favorables (température et humidité) et qu'elle possède une forte teneur initiale en azote, (Kurz-Besson, 2000). C'est l'un des facteurs essentiels qui règle la vitesse de décomposition des débris végétaux, comme à souligné encore récemment Duchaufour (1957). Les résineux sont des espèces caractérisées par une litière acidifiante qui grâce à leur composition provoquent un ralentissement de la biodégradation donc de l'humification avec un rapport C/N généralement supérieur à 50 (Duchaffour, 1980). Le rapport C/N dans la zone semi aride traduit la capacité d'une litière à être décomposée plus ou moins rapidement par contre dans la zone aride cela signifie une décomposition très lente. Ce rapport n'est qu'une indication générale des potentialités de la litière à se décomposer (Taylor et al., 1989). Un fort rapport C/N de la litière initiale est corrélé à un faible taux de décomposition (Post et al., 1996) et il augmente avec l'âge des aiguilles en place, ce qui correspond à l'appauvrissement en azote et à l'enrichissement en lignine (Gloaguen et Touffet, 1982 ; Lagacé, 2009).

II.3.2. Prédiction spectroscopique des propriétés de la litière

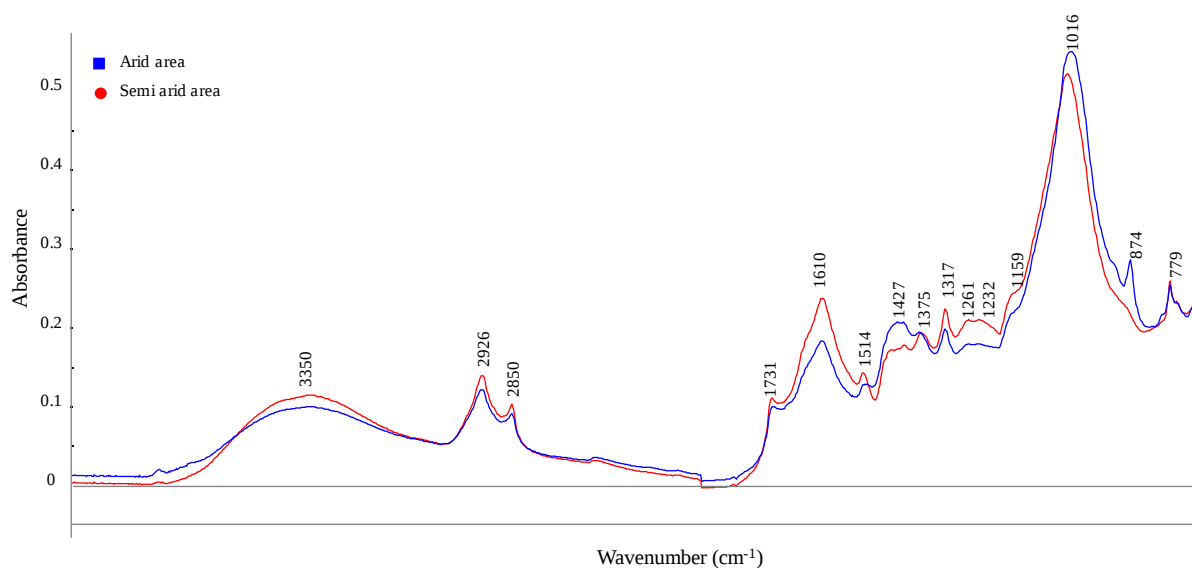


Figure 28 : Profil spectroscopique des litières dans les zones arides et semi-arides.

Les litières sont constituées de nombreux composés organiques dont la caractérisation en moyen infrarouge donne un profil spectral avec des bandes caractéristiques des composés majoritaires (Figure 28) tels que les polysaccharides pariétaux (cellulose, hémicellulose, composés pectiques), les composés aromatiques (lignine, composés phénoliques et tannins), en moindre proportion, les lipides (cires et cutine) et les composés azotés (protéines). La cellulose (polymère constitué d'un enchainement de β -D-glucose) et l'hémicellulose

(polymère majoritairement composé de D-pentose), sont principalement caractérisés par une bande à forte intensité centrée autour de 1016 cm^{-1} due aux liaisons glycosidiques, des bandes entre 874 et 779 cm^{-1} due à la zone anomérique (conformation α ou β des groupements hydroxylés) ainsi qu'un large signal autour de 3350 cm^{-1} en raison des nombreuses liaisons hydrogènes dans ces structures. La bande à 875 cm^{-1} serait caractéristique des elongations asymétriques des cycles pyranosiques avec 4 groupements hydroxyles (tetrahydropyranose compounds). L'hémicellulose est aussi un composé de monomère glucidique telle que le xylose (le plus représenté), le mannose, le galactose, le rhamnose, ou de l'arabinose. Les acides mannuronique et galacturonique sont aussi souvent présents. Les hémicelluloses incluent les polyosides suivant : xylane, glucuronoxylane, arabinoxylane, glucomannane, et xyloglucane. Les pectines composées principalement d'acides D-galacturoniques (parfois estérifiés) liés en α -1-4, greffés à certains endroits par des résidus de rhamnose et galacturonates. Les larges bandes centrées autour de 1427 cm^{-1} et 1375 cm^{-1} peuvent être dues aux déformations des groupements CH_2 (polysaccharides, lipides, protéines) et celles des groupements CH_3 (lignine, lipides), ainsi que les bandes de déformations N-H (protéines). Entre 1340 et 1187 cm^{-1} un petit massif est caractéristique des bandes de vibration d'élongation des liaisons C-O et de déformation des liaisons O-H des polysaccharides, composés phénoliques, des protéines et des lipides. Les bandes centrées à 1610 et 1514 cm^{-1} sont attribuées aux bandes des liaisons C=O, N-H et C-N des amides (protéines), des liaisons C=C des composés aromatiques alors que la bande pointée à 1731 cm^{-1} est représentative des elongations des liaisons C=O (lipides).

II.3.3. Comportement biologique de la litière des pinèdes face à l'aridité du climat.

L'activité microbienne lors de la décomposition était limitée par les propriétés physico-chimiques des litières qui peuvent également influencer de manière divergente sur les processus de décomposition biotique et abiotique. Les résultats ont montré que la biomasse microbienne et leur efficacité reste homogène quel soit dans la zone aride ou semi aride par effets d'un manque de disponibilité en eau et les températures élevées en été sont considérés comme des facteurs importants affectant la biomasse microbienne des milieux comme à montré certains auteurs dans leurs travaux (Papa *et al.*, 2008 ; Sabaté *et al.*, 2002).

Parmi les différents facteurs climatiques intervenant dans les processus de décomposition, les précipitations et la température jouent un rôle fondamental dans l'activité biologique. Les variations de température journalières et saisonnières sont plus importantes en surface qu'en profondeur. Bien que les variations de température comprises entre 2 et 22°C

n'entraînent pas de diminution importante de la densité bactérienne, elles ont un impact considérable sur l'activité respiratoire des microorganismes (Dommergues et Manganot 1970). Par ailleurs, des études réalisées sur les écosystèmes forestiers ont montré d'importantes diminutions de la biomasse fongique et bactérienne durant les périodes de sécheresses (Krivtsov et *al*, 2006 ; Zouidi et *al.*, 2017b). L'humidité d'un côté comme facteur climatique joue un rôle prépondérant. De Santo et *al.*, (1991 ; 2002) ont ainsi montré que les vitesses de décomposition des litières de trois espèces de pins étaient significativement liées à la teneur en eau des litières, ainsi qu'au gradient d'aridité existant entre les différents sites d'incubation. Dans une étude canadienne menée sur 18 sites, Moore et *al.*, (1999) ont mis en évidence une relation linéaire multiple entre la perte en poids des litières après trois ans de décomposition, la température moyenne annuelle des sites et les précipitations moyennes annuelles, expliquant plus de 86% de la variabilité observée entre les pertes en poids des litières des différents sites

Les conditions physico-chimiques du sol ont une grande influence sur l'activité physiologique des micro-organismes décomposeurs. Chaque activité enzymatique est caractérisée par un optimum de pH. Ainsi les variations de pH agissent sur le micro-organisme en modifiant sa capacité à assimiler les différents composés nutritifs minéraux et organiques, mais aussi sur l'ensemble des micro-organismes en intervenant sur la compétition entre les différentes espèces (Dommergues et Manganot, 1970). La salinité est un facteur influençant les activités des microorganismes particulièrement dans les zones arides et semi-arides (Toberman et *al.*, 2008). La respiration basal reste faiblement variable entre les deux zones et elle influe directement sur la décomposition qui dépend de la disponibilité en eau, la température ; de la composition biochimique des litières tels que les taux de lignine, de cellulose, d'hémicellulose, et du C/N (Arunachalam et *al.*, 1998). La structure compact des sols dans notre zone aride peut affecter les populations vivantes à l'échelle du micro-site et à l'échelle de l'écosystème ainsi que leur production puisqu'elle détermine de nombreuses propriétés du sol telles que le mouvement de l'eau, le transfert de chaleur, l'aération par diffusion des gaz et la porosité (Tate, 1987).

II.4. Conclusion

Cette étude a montré que la nature des caractéristiques physico chimiques et biologiques de la litière de *pinus halepensis* en zone aride et semi-arides est fortement dépendante des conditions pédo-climatiques elle-même dépendante de la géographie.

Dans la forêt de notre zone semi-aride la profondeur et la production de la litière sont plus importante que celle de la forêt de la zone aride, cela est dû à la densité importante de la végétation au niveau de l'étage bioclimatique semi-aride. Les résultats obtenus montrent que l'exposition au contexte de l'étage bioclimatique aride affecte les propriétés de la litière de pin d'Alep on diminuant leur taux d'humidité avec une faim d'azote qui empêche la décomposition de cette dernière et inhibe la vie des organismes décomposeur. Le pH des litières acidifiantes est de type Mull ou humus doux ($\text{pH} > 5$), cette acidité est un caractère des résineux et en particulier le pin d'Alep.

En pédologie, l'utilisation de la spectroscopie augmente avec la prédiction réussie des teneurs en C et en N, lignine et cellulose contenus dans une litière en décomposition (McLellan et *al.*, 1991 ; Gillon et *al.*, 1999), respiration totale et basale et azote potentiellement minéralisable (Chang et *al.*, 2001). Récemment, Terhoeven-Urselmans et *al.* (2006) ont indiqué que la SPIR était utile pour prédire les caractéristiques générales, biologiques et de résonance magnétique nucléaire d'une population diversifiée d'échantillons de litière.

La dégradation de la litière dans la zone aride est plus lente en comparaison avec la zone semi aride et ceux-ci est due aux facteurs pédoclimatiques de la zone (nature de roche mère, érosion précipitation, sécheresse, salinité...) en premier lieux comme il à montré (Huttel et *al.*, 1975). La dominance de ces forêts par le pin d'Alep qui produise une mauvaise qualité de litière difficilement dégradable diminue la biomasse microbienne et leurs activités.

Chapitre III

Impact de l'aridité sur les paramètres physico-chimiques et morphologique des aiguilles de « pinus halepensis Mill. » dans l'ouest Algérien

Impact de l'aridité sur les paramètres physico-chimiques et morphologiques des aiguilles de « *pinus halepensis* Mill. » dans la zone aride et semi-aride

III.1. Introduction

En région méditerranéenne, actuellement la principale contrainte climatique sur les écosystèmes est la sécheresse estivale caractérisée par des températures élevées associée à de faibles précipitations en été (Le Houérou, 2005). Une sécheresse de forte intensité peut causer du stress hydrique aux arbres notamment dans les zones arides et semi aride. Ceci se traduit par des diminutions de productivité et de capacité de survie des arbres, et peut ainsi avoir des conséquences délétères importantes sur les services écosystémiques. Un stress hydrique peut modifier le fonctionnement des arbres sur le long terme (Bréda et *al.*, 2006) en diminuant la production et la surface foliaire, entraînant alors une diminution de la photosynthèse et par conséquent de la croissance de l'arbre.

En Algérie, les pinèdes se concentrent principalement dans les zones arides et semi arides là où les conditions climatiques limitent sérieusement le potentiel de production, le mécanisme de tolérance s'avère la stratégie la plus efficace dans les situations critiques. Dans un contexte de changement climatique nous nous sommes intéressés aux mécanismes et les stratégies adaptatives du pin d'Alep dans les zones arides et semi aride, mises en place pour faire face à des épisodes de sécheresse plus intenses et plus long et à une diminution des précipitations. Pour cela, nous avons étudié quelques paramètres physico-chimiques et morphologique des aiguilles du pin d'Alep récoltée dans deux zones bioclimatiques différentes (Saida et Naâma) et voir son système d'adaptation selon les facteurs pédoclimatique du milieu.

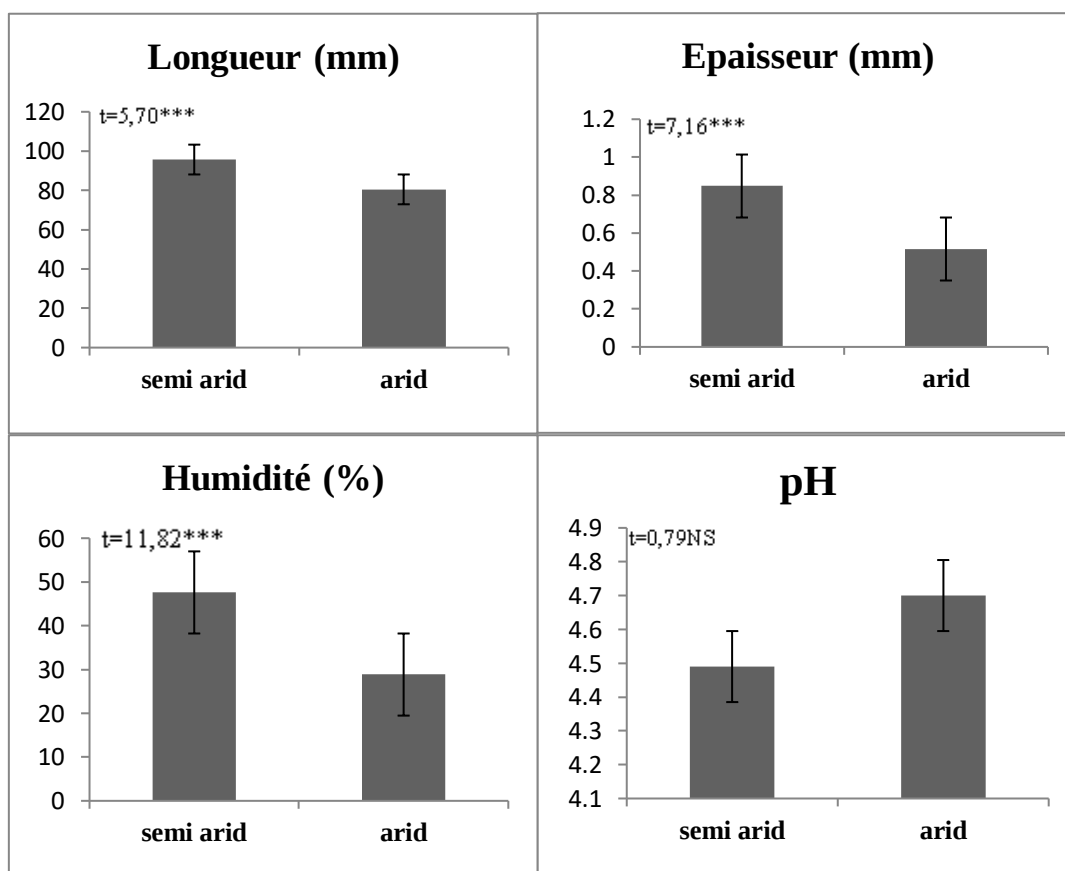
III.2. Résultats

L'étude de la morphologie des aiguilles de pin d'Alep montre que la longueur (95,7 mm) et la largeur (0,848 mm) se situent davantage dans la zone semi-aride) que dans la zone aride (80,5 et 0,516 mm en longueur et en largeur). Il y'a une différence significative entre les deux zones pour la longueur ou la largeur des aiguilles ($p < 0,001$). Les mesures d'humidité soulignent l'empreinte de l'étage climatique sur chaque zone et montre une différence très hautement significative ($p < 0,001$), où la proportion la plus élevée est enregistrée dans la zone semi-aride (47,61%) par rapport aux aiguilles de la zone aride (28,85%). Les aiguilles de pin d'Alep sont acide et ne présente aucune salinité, pour les deux zones aucune différence significative n'a était enregistré ($p > 0,05$). La matière organique varie entre 97,34% et 98,34%

pour les aiguilles de la station semi-aride et entre 96% et 96,67% pour les aiguilles de la station aride. La matière minérale présente un pourcentage entre 1,66% et 2,% pour la zone semi-aride et entre 3,33% et 4% pour la station aride. Les résultats de l'analyse statistiques (Figure 29) montrent une différence non significative ($p > 0,05$) pour le taux de matière organique et minérale entre la zone aride et semi-aride.

La mesure de taux de chlorophylle par spectrophotométrie nous a montré que la teneur la plus élevée en pigment chlorophyllienne des aiguilles du Pin d'Alep est celle de la zone semi-aride (36,91 μ g/ml et 47,01 μ g/ml) par rapport à la zone aride (24,03 μ g/ml et 31,81 μ g/ml).

Les résultats de l'analyse de la variance ont montré une différence moyennement significative ($P < 0,01$) entre les deux zones. Nous remarquerons que l'extrait présent dans le rendement des aiguilles de la zone semi-aride est élevé (entre 15,4% et 16,9%) par rapport à l'extrait des aiguilles du Pin d'Alep de la zone aride (13,4% et 14,2%). La comparaison des deux moyennes montre une différence hautement significative entre les extraits des aiguilles des deux zones.



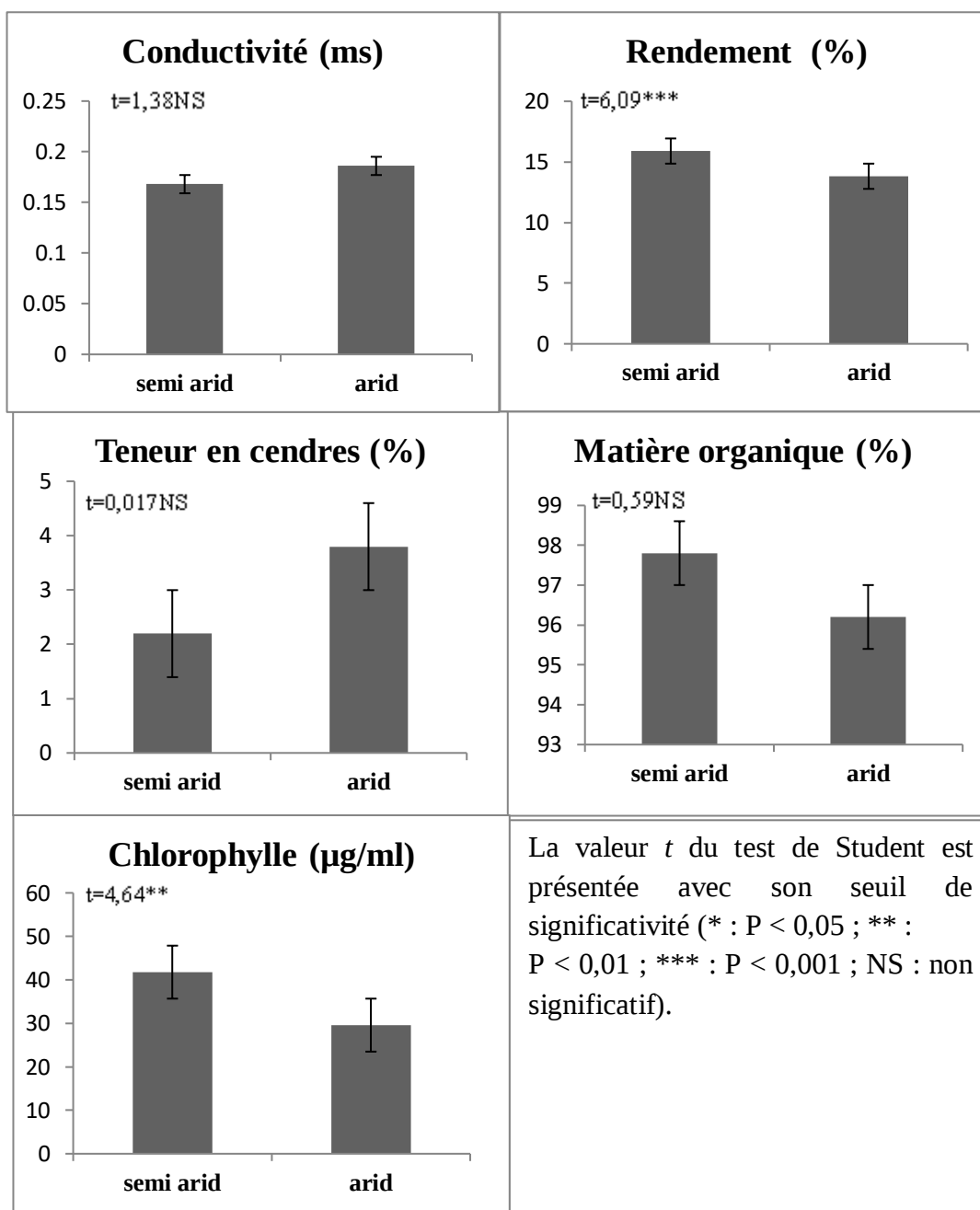


Figure 29 : Paramètres physico-chimiques des aiguilles de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) entre la zone semi aride et aride.

L'analyse statistique en composantes principale (ACP) de 50 échantillons analysés oppose deux groupes d'échantillons homogènes, le premier groupe (1-25) représente les échantillons de notre zone semi aride et le douzième groupe (26-50) représente les échantillons de la zone aride. D'après le cercle des corrélations, le premier groupe qui représente les échantillons de la zone semi aride sont caractérisé par des aiguilles longues et un peut large avec une humidité et rendement en chlorophylle plus que dans les échantillons de la zone aride qui sont corrélé surtout avec le pH, la teneur en cendre et la conductivité plus élever, cette analyse nous confirme l'empreinte de l'étage bioclimatique sur l'homogénéité des caractéristiques de la végétation dans chaque zones (Figure 30).

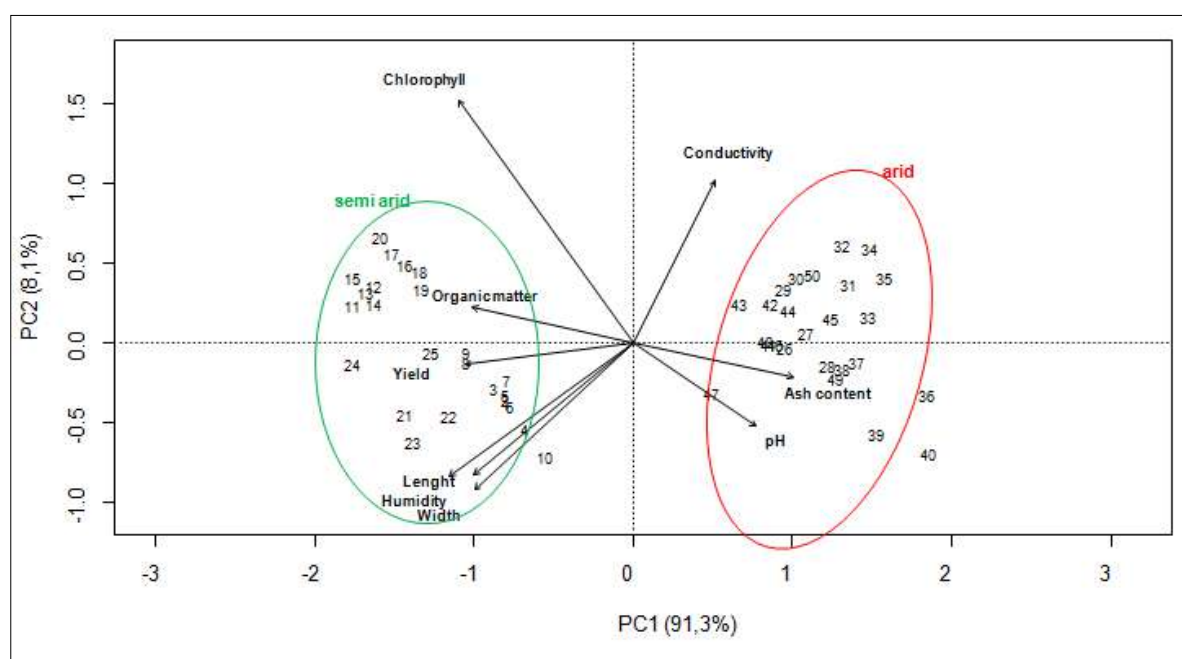


Figure 30 : Analyse en composantes principale (ACP) des échantillons des aiguilles en fonction des résultats d'analyse.

III.3. Discussion

III.3.1. Impact du gradient d'aridité sur la morphologie des aiguilles de « *pinus halepensis* Mill. »

La morphologie des aiguilles est un paramètre important pour la taxonomie des Pin (Gaussen, 1960) La structure anatomique des aiguilles peut être utilisée pour étudier la variabilité d'une espèce dans son milieu naturel mais aussi une forte corrélation a été trouvées entre tous les caractères des aiguilles et quelques caractéristiques (latitude, longitude, et altitude) des régions dont proviennent les semences (Calamassi, 1986). Les caractères

morphologiques et anatomiques des feuilles des arbres, et particulièrement des résineux, ont été étudié par un certain nombre d'auteurs (Daguillon, 1890), mais peu d'entre eux (Mer, 1883 ; Dufour, 1887) se sont attachés à l'étude de l'influence des facteurs écologiques sur les feuilles. Ainsi, la morphologie et l'anatomie comparée des aiguilles de conifères croissant en conditions microclimatiques différentes sont mal connues. D'après les résultats obtenus on peut dire que de la longueur et la largeur des aiguilles du Pin d'Alep changent en fonction de l'étage bioclimatique. Ce qui confirme les travaux Vennetier et *al.*, (2011) qui a démontré que la sécheresse et l'exclusion des pluies diminue d'une façon significative la vitesse de croissance des aiguilles. Calamassi (1986) a montré aussi que les dimensions des aiguilles des plantes du milieu moyennement humide sont plus grandes que celles du milieu xérique, aussi Mergen et *al.* (1965) remarquent que la longueur de l'aiguille des résineux varie au sein de la même espèce en impliquant la forte influence du milieu. Toute fois Mergen (1963), Lee (1968) et Colaone (1971), ont trouvé que des différences significatives existent entre la longueur des aiguilles des plantes cultivées dans leur propre milieu d'origine et celle des plantes qui proviennent d'autres régions avec des aiguilles plus réduites, qui sont en fait originaires d'un milieu plus xérique que les autres (Walter et Lieth, 1967) et ça c'était le cas des pinède en zone aride qui sont produite dans des pépinière de la zone semi aride . En générale les caractéristiques morphologiques et anatomiques des aiguille de genre *Pinus* dépendent aussi de facteurs abiotiques (Fahn et Bemayoun, 1976; Schoettle et Rochelle, 2000). Des facteurs physiques comme la croissance, l'altitude, la diminution de la température de l'air, et la pression atmosphérique, aussi l'augmentation des précipitations et la vitesse du vent affectent la croissance des plantes (Friend et Woodward, 1990; Körner, 2007). La nature de sol et leur profondeur rend les racines des arbres plus susceptibles d'être exposées, ce qui peut entraîner le stress des arbres et leur feuilles et même leur renversement par des rafales de vent. Les arbres montrent des signes de stress ; parmi les signes possibles d'une terre non-adapté, citons la décoloration des feuilles, des branches qui cassent et même un retard de croissance des arbres.

III.3.2. Impact d'aridité sur les caractéristiques physico-chimiques des aiguilles de « *Pinus halepensis* Mill. »

La teneur en eau dans les aiguilles de pin d'Alep est liée probablement à l'humidité de l'air et les précipitations dans chaque zone ce qui influe sur la variabilité de l'évapotranspiration et la conservation de l'eau dans les aiguilles au niveau de chaque région. La perte de la quantité d'eau dans la zone aride est expliquée d'après Bensaid (2006), par la diminution de l'humidité de l'air et la sécheresse exercée dans cette zone aride, et cela sous

l'effet des températures élevé, qui augmente l'évaporation au niveau du sol et l'évapotranspiration (Zouidi et *al.*, 2018 ; Zouidi et *al.*, 2019). L'origine de l'acidité des aiguilles, selon Van Aufsess (1976), est due à la quantité de résine produite par cet arbre sous forme de gomme qui est composée d'un mélange de différents acides résiniers constituant la colophane, des terpènes distillables formant l'essence de térébenthine. La légère augmentation d'acidité dans la zone semi-aride par rapport à la zone aride est sous l'effet des précipitations et la fertilité des sols entre les deux zones. D'après Audin (1938), il semblerait que la quantité de résine produite est liée à la vigueur de l'arbre, ainsi les arbres vivant sur les sols fertiles produisent plus de résine que ceux qui vivent sur des stations pauvres en matière organique. En comparant les résultats obtenus avec l'échelle de salinité, on constate que les aiguilles de pin d'Alep ne représentent aucune salinité pour les deux zones d'étude. Cela est confirmé par l'analyse de la variance où il n'y a aucune différence significative ($p > 0,05$) marqué entre les deux pinèdes. On peut expliquer ça par la nature du sol dans la zone semi-aride de djebel Sid Ahmed Zeggai (Zouidi et *al.*, 2019c) et dans les pinèdes de notre zone aride (Bensaid, 2006 ; Zouidi et *al.*, 2018). Le taux de la matière organique est très élevé en comparaison avec le taux de la matière minérale. Selon Lehner (2014), la composition minérale des plantes déterminée sur résidu sec après incinération, mis à part les éléments considérés comme organiques et qui représente en masse plus de 90% du résidu sec. Cette variation en taux de la matière organique et matière minérale est due à l'état physiologique de l'espèce dans son milieu de vie donné qui présente des caractéristiques physiques et chimiques déterminées. Certains facteurs du milieu comme les conditions climatiques (température, précipitations, éclaircissement ...) ou les caractéristiques chimiques (composition des eaux, sols ...) exercent une influence directe sur les végétaux : ce sont des facteurs écologiques. D'autres, comme l'altitude ou la profondeur n'ont qu'une influence indirecte par des modifications de température, de pression ou de lumière qu'ils peuvent entraîner, Dans notre zone aride l'eau et le sol présente les facteurs stressant peuvent modifier le fonctionnement des arbres sur le long terme en diminuant la production de la matière organique (Bréda et *al.*, 2006). Les facteurs écologiques indépendants des êtres vivants sont les facteurs abiotiques : il peut s'agir des facteurs abiotiques, climatiques et édaphiques (composition chimique et structure du sol) qui ont affecté la teneur en pigment des feuilles (chlorophylle), qui est l'une des principales signatures de l'état physiologique des plantes principalement par leur rôle central dans la photosynthèse (Figure 31).

La teneur en pigments foliaires (Chlorophylle) constitue une des principales signatures de l'état physiologique des plantes en premier lieu par leur rôle central dans la photosynthèse,

Les pigments foliaires sont aussi importants dans le monde végétal : ils permettent l'assimilation de l'énergie lumineuse par la plante, interviennent lors de sa croissance et la protègent contre une multitude de facteurs tout au long de sa vie (Féret, 2009). La mesure du taux de chlorophylle par spectrophotométrie nous a montré une différence moyennement significative ($P < 0,01$) entre les deux zones. Cela peut être expliqué par les facteurs bioclimatiques en premier lieu (température et lumière)

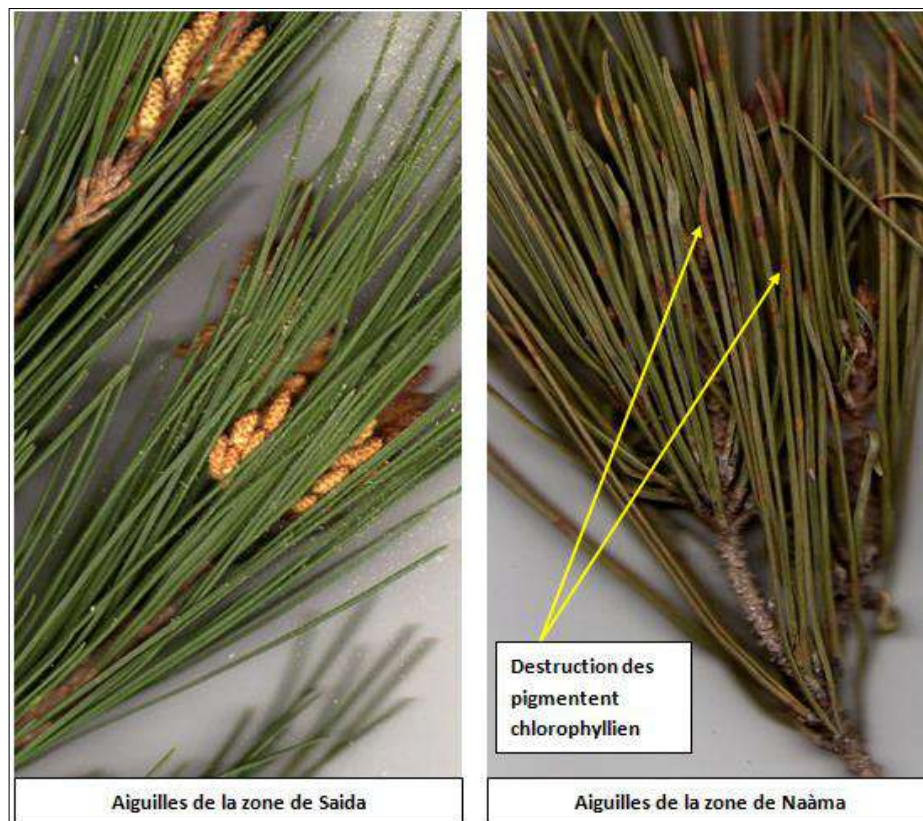


Figure 31 : L'effet de l'intensité de sécheresse sur la couleur des aiguilles.

La répartition des chloroplastes dans la feuille résulte elle aussi d'une adaptation des végétaux aux conditions lumineuses. Miller (1993) a démontré que les températures élevées peuvent provoquer la dénaturation de protéines, l'inactivation des enzymes et la réduction de l'activité photosynthétique du chloroplaste. Aussi Loggini et *al.*, (1999) ont montré que la réduction des pigments chlorophylliens qui est due au système photosynthétique peut être endommager par des températures stressantes, qui provoquent un abaissement du contenu en protéines thylacoïdal associé à la chlorophylle et qui peut être dénaturer sous l'effet des températures élevée Miller (1993) et cet état de fait a été remarqué dans les aiguilles de la zone de Naâma par rapport à la zone de Saïda. Féret (2009) a montré aussi qu'une lumière trop intense provoque une photo-inhibition qui se traduit par une réduction importante de

l'activité photosynthétique et par fois la destruction de pigment photosynthétique (chlorophylle), aussi les éléments nutritifs peuvent être considérés comme facteur limitant de la photosynthèse (C, N). Le stress hydrique dans les zones arides réduit aussi la conductance stomatique pour limiter la perte d'eau. Cette régulation des échanges gazeux provoque une baisse de la disponibilité en CO₂ qui devient un élément limitant pour la photosynthèse. Le déséquilibre provoqué conduit au passage de la chlorophylle à un état excité et pouvant aboutir à la production de radicaux libres qui endommagent les pigments (Féret, 2009). En plus du déficit hydrique constaté dans la zone aride, on peut ajouter que la pollution atmosphérique, qui entraîne un brunissement, une décoloration et une nécrose des tissus foliaires, conduit à la destruction des pigments chlorophylliens. Cette pollution est causée par la carrière de calcaire au niveau de djebel Antar ce qui représente un impact négatif pour la végétation présente au niveau de cette zone comme il a été montré par les travaux de Norby et *al.*, (1985) ; Emberson et *al.*, (2003) et Karacan (2006).

La différence de rendement entre les deux zones peut être expliquée par plusieurs facteurs, à savoir : différence de provenance de l'espèce, le climat, la nature du sol et les conditions édaphiques. Rodríguez-Calcerrasa et *al.*, (2014) montre que dans les conditions xériques la plante ferme ses stomates ce qui induit une diminution de l'entrée du CO₂, une baisse de rendement de la photosynthèse et une baisse de la production primaire. Or la demande en carbohydrates, via la respiration, reste positive pour assurer le métabolisme de la plante même si le stress hydrique peut entraîner aussi une baisse de la respiration. La sécheresse peut également entraîner une baisse du rendement photosynthétique en agissant sur la mortalité des organes notamment les feuilles ou bien en agissant sur les mécanismes de turgescence. La pénurie de carbone peut également faciliter l'attaque des agents pathogènes car cela va affaiblir l'individu qui pourra moins résister aux différentes attaques qui commencent par les feuilles et le tronc de l'arbre (Didierjean, 2014 ; Hendrik, 2016).

III.3.3. Prédiction proche infra rouge sur la composition chimique des aiguilles

Une meilleure séparation des échantillons est obtenue en PIR car la surface analysée est plus grande. La poudre est entreposée dans une cellule de 1 cm de diamètre et l'analyse est effectuée en réflectance alors que l'ATR analyse uniquement l'échantillon sur la surface du cristal diamant de dimension 4x4 mm.

D'une manière générale les prédictions de la spectroscopie nous confirment par cette séparation entre les aiguilles récoltées d'une zone aride et zone semi-aride. Ces modèles pourraient prédire qu'un environnement stressé par ces facteurs pédoclimatiques peuvent influencer la composition chimique des aiguilles (Figure 32).

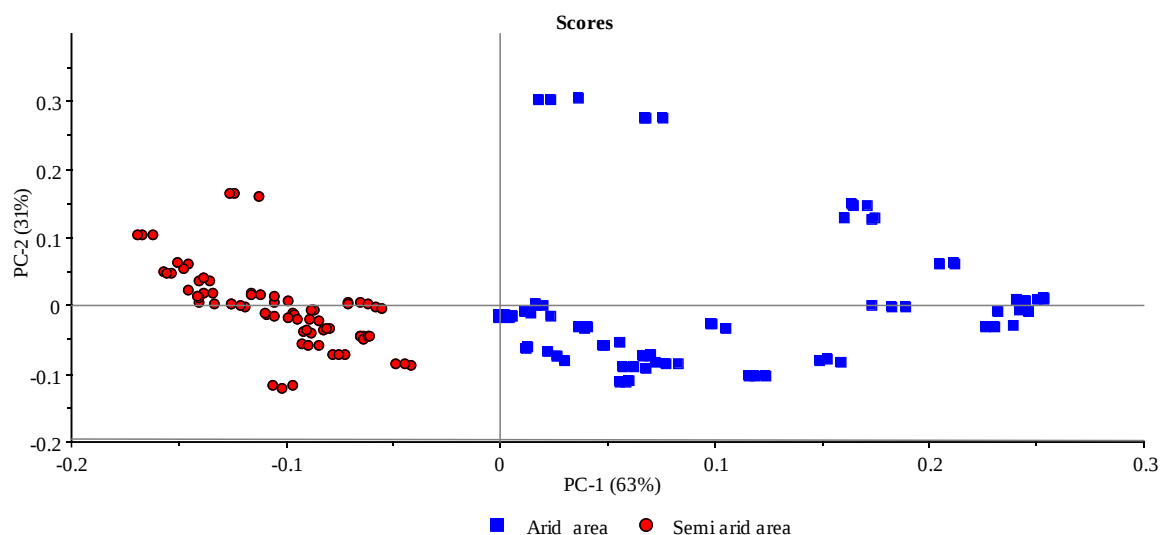


Figure 32 : ACP dans (PC1, PC2) plan des données proche infra rouge des aiguilles de pin d'Alep collectées dans les zones arides et semi-arides

Les bandes spectrales des chargements correspondants sont plus difficilement interprétables mais celui de PC1 montrent que les échantillons sont encore séparés selon leur teneur en cellulose qui est plus importante en milieu aride (Figure 33).

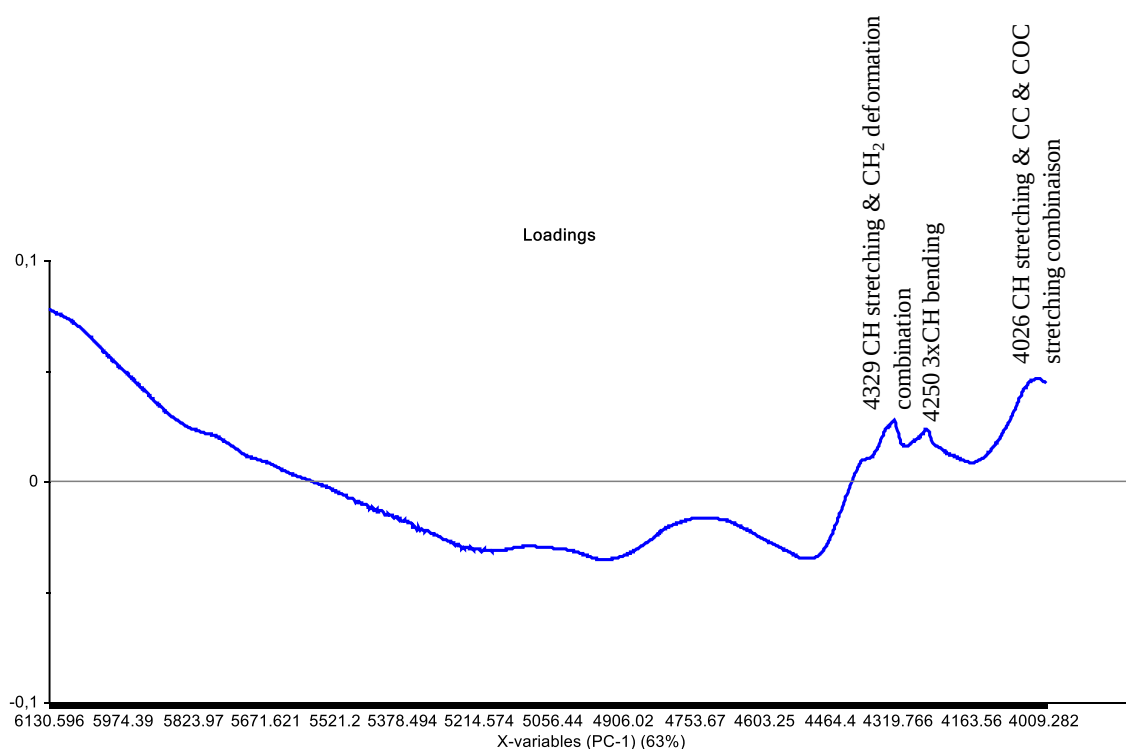


Figure 33 : PC1 chargement de spectre.

III.4. Conclusion

L'étude des paramètres physico-chimiques des aiguilles de l'espèce *Pinus halepensis* Mill., au niveau des deux étages bioclimatiques (semi aride et aride) à montré une différence significative entre ces deux zones et nous ont donnée une idée sur l'impact du climat sur cette espèce et comment elle s'adapte avec ces condition xérique en changeant la morphologie de l'aiguille en premier lieux et par conséquence l'influence sur les autres caractéristiques foliaires. La morphologie des aiguilles plus particulièrement la longueur et l'épaisseur des aiguilles montre une différence significative où la zone de semi aride enregistre les valeurs les plus élevé par rapport a la zone aride (95,7 mm et 0,848 mm pour le semi aride et 80,5 et 0,516 mm pour la zone aride) ce qui explique un grand signe d'adaptation avec la sécheresse pour diminuer l'évapotranspiration de la plante.

En ce qui concerne les autre paramètres étudier à savoir la teneur en eau, le taux de la matière organique, le taux de chlorophylle et la de rendement , les résultats montrent une différence significative entre les deux zone d'études et les valeurs les plus élevé sont toujours observé au niveau de la zone semi-aride ce qui explique aussi que le facteur climat joue un rôle primordiale et limitant dans les différents types d'adaptation morphologiques et physiologiques du pin d'Alep. Le taux de rendement est varié en fonction de taux de chlorophylle. Ces deux paramètres présentent l'état physiologique de la plante. Les valeurs les plus élevés sont enregistrées dans la zone semi aride par apport la zone aride. Cela explique l'effet stressant des températures élevé qui provoque l'abaissement de la chlorophylle et par conséquence la productivité végétale. Par l'opposé, le pH des aiguilles est acide (<5) cette acidité est un caractère de résine produite par le pin d'Alep.

La spectroscopie dans l'infrarouge moyen en mode de réflectance diffuse a été appliquée avec succès pour prédire les caractéristiques générales des constituants pour les différents échantillons des aiguilles de pin d'Alep. Cette technique été utilisée pour identifier et quantifier la présence de groupes fonctionnels organiques importants dans ces échantillons, c'est un outil alternatif efficace pour prédire rapidement et avec une bonne précision la teneur en cellulose qui caractérise les aiguilles de la zone arides sans sa destruction. Cette différenciation est confirmée par l'analyse en composantes principales (ACP) et explique l'existence d'une empreinte de stade bioclimatique sur les caractéristiques des aiguilles de pin d'Alep, principalement la sécheresse.

Chapitre VI

*Comportement germinatif des graines de pin d'Alep
face aux facteurs du milieu*

Comportement germinatif des graines de *Pinus halepensis*. Mill face aux facteurs du milieu (aride et semi-aride).

IV.1. Introduction

En Algérie, comme pour la plupart des pays méditerranéens, dans les zones arides et semi- arides, la sécheresse observée depuis longtemps a conduit manifestement à la salinisation des sols. La combinaison de ces deux contraintes naturelles, devient de plus en plus stressante pour la germination et la croissance des plantes, dans leur milieu naturel.

L'étude de la germination de cette espèce est très importante pour connaître son pouvoir germinatif afin de ne pas tomber dans l'échec si elle est choisie comme essence importante dans le reboisement, elle est ainsi introduite pour reconstituer les zones dégradées et occupé les terrains nus dans les zones steppiques et les zones arides et semi- arides.

IV.2. Résultats

IV.2.1. Début de la germination

Après la fin de la durée de la germination qui c'est étaler sur 30 jours, la première germination des graines à été observé dans les boites de pétri qui sont imbibées par l'eau distillée (témoin) après 7 jours de lancement de l'expérience comme le montre la figure ci-dessous.

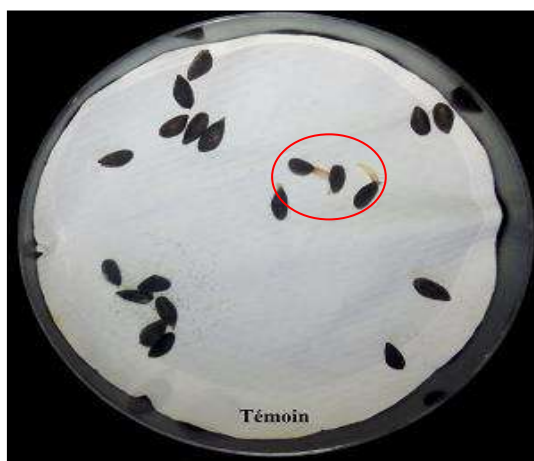


Figure 34 : Le début de la germination des graines imbibées par l'eau distillée.

IV.2.2. Effet du stress osmotique sur la germination du Pin d'Alep

Nos résultats ont montré l'effet de l'augmentation des concentrations de PEG sur les graines de pin d'Alep soumises à différents stress osmotiques, pour les semences non traitées (témoins) on a enregistré le taux de germination le plus élevé à 90% avec une phase de latence

courte et qui ne dure que 6 jours, puis une diminution est remarquer avec l'application du stress osmotique jusqu'à ce qu'elle atteigne (-1 bars), nous avons enregistré un faible taux de germination ne dépassant pas 21%. Tandis que pour le stress le plus élevé (-2 bars) aucune germination n'a été notée (Figure 35).

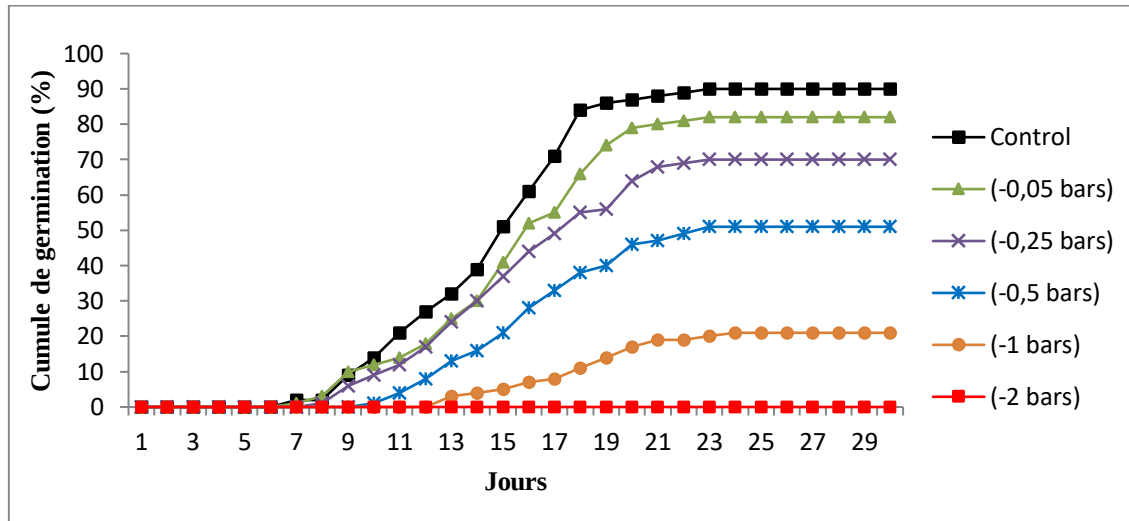


Figure 35 : Cumule du taux de germination du *Pinus halepensis* en fonction de l'intensité du stress hydrique

Statistiquement les résultats précédant sont confirmées par l'analyse de la variance (Anova 1 facteur) qui montrent qu'il existe un effet hautement significatif ($P < 0.001$) des différentes concentrations en glycol (PEG 6000) sur le taux et la vitesse de germination des graines de pin d'Alep qui présente un ralentissement avec l'augmentation de stress exercée (Figure 36).

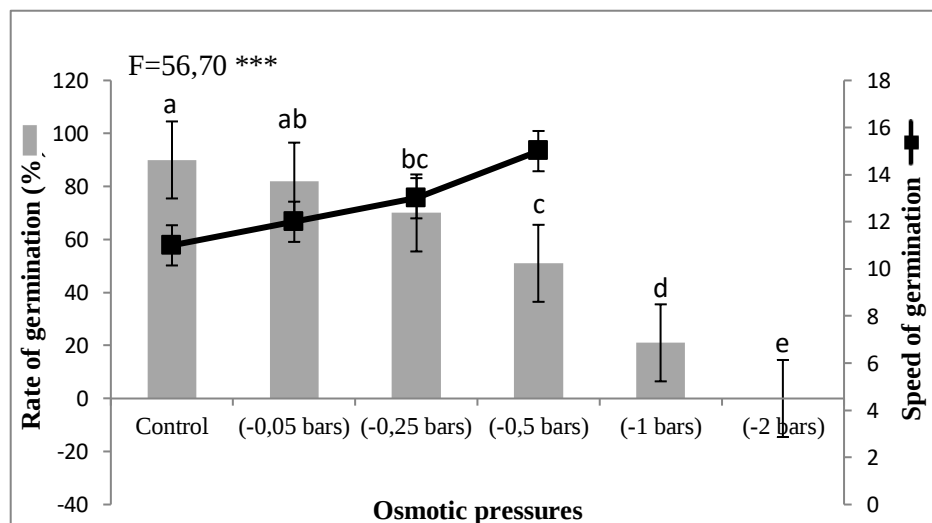


Figure 36 : Effet des différentes pressions osmotiques sur le taux et la vitesse de germination des graines de *Pinus halepensis*. Les plots représentent la moyenne $\pm$ Ecart type ($n=5$ répétitions).

IV.2.3. Effet du stress salin sur la germination du Pin d'Alep

Les résultats de l'effet du NaCl sur la germination des graines de pin d'Alep, ont été présentés dans la Figure 37. Les premières germinations des graines ont été observées dans les boîtes de pétri qui contiennent les graines imbibées par l'eau distillée après 7 jours de lancement de l'expérience. Les résultats obtenus montrent aussi que les taux de germination des graines ont diminué au fur et à mesure que la dose de NaCl augmente du témoin à 4g/l.

On remarque que le taux de germination des graines de pin d'Alep diffère d'une concentration à une autre. D'après ces résultats, on observe une valeur maximale de 89% pour les graines non stressées au NaCl, puis ces valeurs commencent à diminuer avec l'augmentation de la concentration en NaCl pour chuter à 21% pour le stress salin le plus élevé (4g/l). Nos résultats montrent clairement que les graines de *Pinus halepensis* germent mieux en absence du sel ou dans un milieu enrichi de NaCl à faible concentration (1g/l), (2g/l) et (3g/l).

Lorsque la concentration en sel augmente (5 g/l de NaCl), la germination des graines est nulle. En général, le taux de germination diminue considérablement avec l'augmentation du stress salin du substrat.

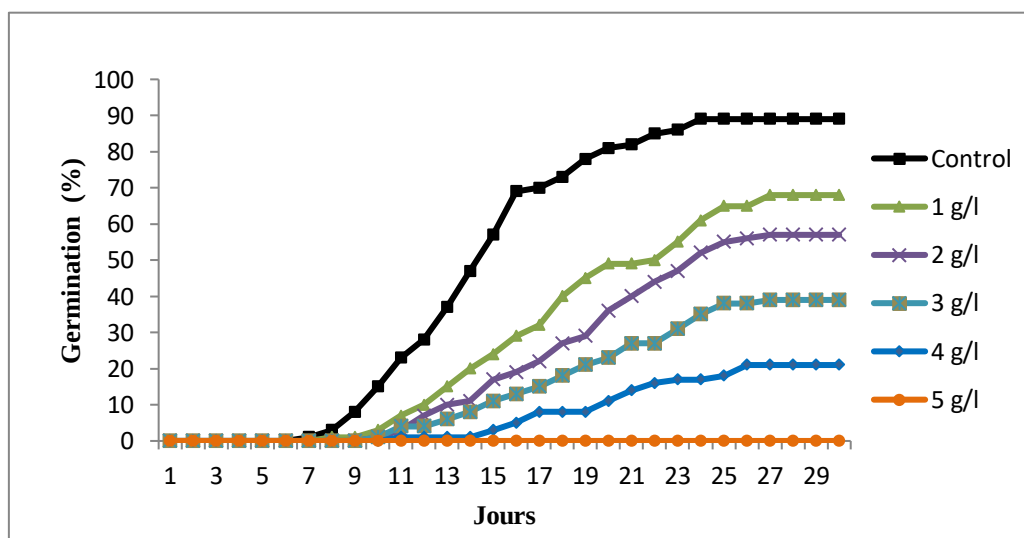


Figure 37 : Cumule du taux de germination du *Pinus halepensis* en fonction de l'intensité du stress salin

Les résultats de l'analyse de la variance montrent qu'il existe une différence significative du taux de germination des graines de pin d'Alep ($P < 0.001$) imbibées par différentes solutions concentrées en sel (Figure 38).

Le sel affecte la vitesse de germination, un ralentissement est observé avec l'augmentation du sel dans l'eau. En absence de sel, les graines nécessitent que 11 jours pour atteindre un taux

de 50% par contre en présence de sel (1g/l ; 2g/l) la germination dure (15j et 17j) pour atteindre 50% de germination en comparaison avec les témoins.

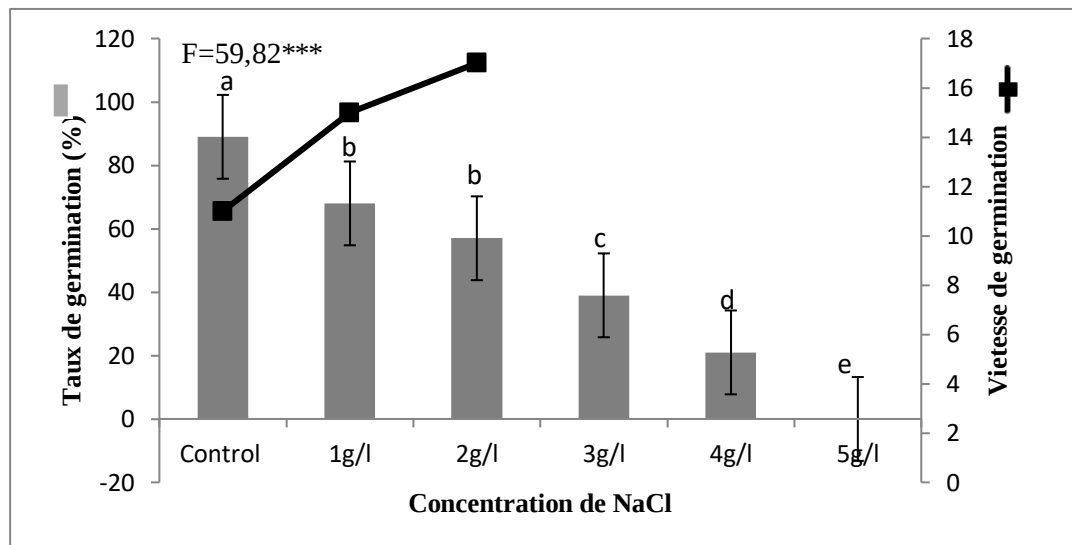


Figure 38 : Effet des différents stress salin sur le taux et la vitesse de germination des graines de *Pinus halepensis*. Les plots représentent la moyenne $\pm$ Ecart type (n=5 répétitions).

IV.3. Discussion

Le pin d'Alep est une essence forestière importante dans la région méditerranéenne. En Algérie, il est utilisé comme une espèce majeure de reboisement et de repeuplement pour assurer l'équilibre et le maintien de nombreux écosystèmes semi-arides et arides (Kadik, 1987 ; Bentouati et *al.*, 2005; Bentouati, 2006). En effet, certains auteurs ont montré qu'en raison de sa plasticité et de ses faibles exigences, le pin d'Alep reste l'espèce la plus utilisée dans ces zones dégradées. Il s'adapte à tous les types de sols lorsque les conditions climatiques sont favorables (Kadik, 1987 ; Bentouati et *al.*, 2005).

IV.3.1. Effet du stress hydrique sur la germination

Le pin d'Alep constitue un élément capital dans son groupement dans la méditerranée et particulièrement en Algérie où il est utilisé comme espèce majeur dans le reboisement et le repeuplement pour assurer l'équilibre et le maintien de nombreux écosystèmes semi aride et aride. L'utilisation de cette espèce dans les programmes de reboisement offre une solution de reforestation durable dans les zones arides et semi-arides caractérisé par son climat chaud et sec et permettrait par conséquent des exploitations diversifiées. Néanmoins, la réussite des phases de germination et de croissance de cette

espèce passe inéluctablement par une bonne connaissance de ses caractéristiques germinatives et de développement ainsi que de son comportement vis-à-vis des conditions du milieu.

Nos résultats montrent que la faculté germinative moyenne du traitement témoin (0 bars) est de 90 %. Selon les essais réalisés au niveau de notre laboratoire, le taux moyen de germination pour le Pin d'Alep est de 52,33 % en raison de la fragilité des graines et de l'existence de graines parasitées et vides, et aussi de leur faible pouvoir de conservation. Toute fois la faculté germinative peut atteindre 70 % pour des lots de bonne qualité (lot témoin, lot (-0,05 bars) et lot (-0,25 bars). Ces résultats montrent que le taux de germination diminue considérablement avec l'augmentation du stress hydrique du substrat, généralement la plus part des études d'impact du stress osmotique sur la germination montrent que le taux de germination diminue considérablement avec l'augmentation du stress. Des résultats similaires ont été obtenus par diverses études réalisées chez *Pinus ponderosa* et *Pinus eldarica* (Djavanshir, .1975), chez *Pinus brutia* et *Pinus eldarica* (Calamassi et al., 1980), chez *Pinus taeda* (Dunalp et Barnett, 1984) et chez *Pinus halepensis* et *Pinus brutia* (Thanos et Skordilis., 1987). En absence d'humidité suffisante, la graine même si elle est correctement placée dans le sol, elle n'évolue pas, retardant ainsi, la levée de la culture et en cas de persistance de la sécheresse la situation peut se traduire par une absence de levée (Feliachi et al., 2001). La sécheresse est l'un des principaux facteurs environnementaux qui affecte grandement la germination des espèces cultivées et réduit leur survie au cours des stades précoces de développement. Nos résultats montrent aussi que la vitesse de germination devient lente avec l'augmentation du stress, selon (Bliss et al., 1986) le retard de la germination des graines ainsi que la diminution de la moyenne de germination journalière de l'ensemble des génotypes avec l'augmentation du stress hydrique est expliqué par le temps nécessaire à la graine de mettre en place des mécanismes lui permettant d'ajuster sa pression osmotique interne. Lorsque les semences sont soumises à une pression osmotique, cette vitesse devient même encore plus faible, tandis que le pourcentage final de germination n'est affecté que lorsque le potentiel osmotique est faible. Ceci est observé chez la plupart des espèces de *Pinus* (ISTA, 1976 in FAO, 1992) et le retard peut être attribué à la couche de semence agissant comme barrière à la pénétration de l'eau dans l'embryon (Thalouarn, 1975; Thalouarn et Gautheret, 1976).

Falusi et al (1983), à montré dans ces travaux sur les effets du potentiel hydrique du substrat sur la germination et sur la première étape de la croissance racinaire de quelques provenances (Maroc, Grèce et Italie) de *pinus halepensis* une réduction significative de la germination en % à -2 bars, alors que la croissance racinaire a été affectée à -4 bars. Les différentes

provenances ont montrés des réponses significativement différentes au stress hydrique. Nos graines récoltées de Saida étaient moyennement résistantes, avec une forte germination. Les résultats sont discutés par rapport aux conditions climatiques des zones et des origines des graines.

IV.3.2. Effet du stress salin sur la germination

Les résultats de l'analyse de la variance montrent qu'il existe une différence significative du taux de germination des graines de pin d'Alep ($P < 0.001$) imbibée par différentes solutions concentrées en sel. En effet plus les concentrations en sel du milieu augmente plus le pouvoir germinatif diminue. La plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée (Maillard, 2001) Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence de sel, la variation de l'équilibre hormonal a été évoquée (Ungar, 1978 ; Kabar, 1987). Bien que les halophytes possèdent une teneur très élevée en sel dans leurs tissus au stade adulte, leurs graines ne sont pas aussi tolérantes au sel au stade germinative (Belkhodja et Bidai, 2004). Ce stade est souvent limité par la salinité du sol et se montre plus sensible que les autres stades (Bouda et Haddioui, 2011)

La salinité peut entraîner une diminution du taux final de germination et peut à son tour conduire à l'établissement de peuplements irréguliers et réduire la récolte des rendements (Yildirim et Guvenc, 2006). La présence excessive des sels solubles peut causer une forte pression osmotique chez les plantes et l'inhibition de la germination des graines ainsi que le développement de la plante entière en réduisant sa capacité à retenir l'eau entraînant des conséquences sur le niveau de croissance et sur l'activité métabolique (Belkhodja et Bidai, 2004). Les effets inhibiteurs imposés par la salinité sur le processus de la germination peuvent être également expliqué par l'altération de l'activité enzymatique, indispensable à la réactivation cellulaire pendant cette phase. Ainsi la salinité inhibe l'activité de plusieurs enzymes (Larcher, 1995). Nos résultats montrent clairement que les graines de *Pinus halepensis* germent mieux en absence du sel avec un bon taux de concentration et à une vitesse accélérer et même dans un milieu enrichi de NaCl à faible concentration (1g/l), (2g/l) et (3g/l). Lorsque la concentration en sel augmente (5 g/l de NaCl), la germination des graines est nulle. La tolérance au stress salin chez les pins est moyennement faible comme à montré (Rocco et al., 2013) qu'en présence de stress salin chez *pinus halepensis* les protéines dans les feuilles d'aiguilles de pin qui ont été identifiées comme étant affectées par le stress salin comprennent les protéines impliquées dans la photosynthèse.

Le pin d'Alep est affecté par des concentration élevée, ce qui est confirmé dans les résultats obtenus par (Bouda et Haddioui , 2011), lorsqu'ils ont fait le même traitement sur les graines d'*Atriplex*, ils ont trouvés que le taux d'inhibition de germination des graines stressées par le NaCl est arrêter à 5g/l. la diminution du taux de germination et le ralentissement de la vitesse de germination des graines exposés à la salinité est explique par une augmentation de la pression osmotique externe ce qui affecte l'absorption de l'eau par les graines due a une accumulation des ions Na^+ et Cl^- dans l'embryon (Groome, et *al.*, 1991). Cet effet toxique peut conduire à l'altération des processus métaboliques de la germination et dans le cas extrême à la mort de l'embryon par excès d'ions, l'émergence de la radicule serait contrôlée par l'osmolarité du milieu (Bruggeman et *al.*, 2003). Selon Bliss et *al.*, (1986) le retard de la germination avec l'augmentation du stress salin, et est expliqué par le temps nécessaire à la graine de mettre en place des mécanismes lui permettant d'ajuster sa pression osmotique interne. Sidari et *al.*, (2008) ont montré que la germination des graines et l'activité des principales enzymes impliquées dans l'utilisation de la réserve de graines de *Pinus Pinea* (enzymes du cycle du glyoxylate) diminuait avec l'augmentation du d'un stress salin et hydrique.

IV.4. Conclusion

Dans les zones arides et semi- arides en Algérie, la sécheresse observée depuis longtemps a conduit manifestement à la salinisation des sols. La combinaison de ces deux contraintes naturelles, devient de plus en plus stressante pour la germination et la croissance des plantes. Les résultats obtenus dans ce travail nous ont donnée une idée sur le comportement germinatif des graines du pin d'Alep face aux stress abiotiques.

Pour le stress hydrique : le taux de germination et la moyenne de germination journalière sont fortement touchées et elles diminuent avec l'augmentation de la concentration du PEG ajoutée. En absence de stress, le taux de germination maximal en présence d'humidité suffisante est d'environ 90%. Les graines stressés ne supportent pas plus de (-1bars) de PEG avec des taux de germination faible (21%).

Pour le stress salin l'espèce germe mieux dans un traitement dépourvu de sel (témoin) avec un taux de germination de 89% et une moyenne de germination journalière de 2.96. Par contre celles ayant subi un stress de l'ordre de 4g/l de NaCl ont un taux de germination faible de l'ordre de (21%).

Le taux de germination, pourrait être considéré comme un critère précoce de sélection des espèces végétales tolérantes au stress salin et stress hydrique.

D'après les résultats obtenus, on peut dire que le Pin d'Alep est une espèce fragile au moment des semences dans les milieux secs et les milieux riches en NaCl et elle ne tolère pas une grande concentration de NaCl. On estime que le degré de tolérance face à la contrainte saline est de (4g/l) et stress hydrique (-1bars). En effet le taux de germination diminue considérablement avec l'augmentation d'un stress abiotique quel soit hydrique ou salin.

Conclusion Générale

Conclusion générale

L'évaluation des effets du gradient d'aridité climatique sur les propriétés physico-chimiques et biologique des sols forestiers dans les pinèdes de l'ouest Algérien a montré une dégradation de la qualité de ces sols avec une différence généralement significative entre la zone semi aride et la zone aride. Cette différence a été observée aussi pour la croissance des résineux (*Pinus halepensis*) après la prospection du terrain dans les stations d'études. Les résultats de la présente étude ont montré que le facteur limitant dans ces sols surtout dans la zone aride est l'eau, l'intense assèchement de ces sols pourrait diminuer la fertilité physico-chimique et ralentir l'activité microbienne et l'altérer à long terme. La dégradation des sols dans la zone aride (Naâma) est plus avancée que dans la zone semi aride (Saida) principalement par une diminution des teneurs en eau, la pauvreté en matière organique et en azote nécessaire pour la minéralisation de cette matière, et par l'augmentation du taux de calcaire, le pH et un peu de salinité, cela a pour conséquence une réduction du couvert végétal observé sur le terrain, et la diminution de la biomasse végétale. Cet état de fait a provoqué avec le temps la désertification de la zone aride.

L'étude de la biomasse microbienne et la respiration basale a montré que les zones arides sont caractérisées par des conditions édapho-climatiques très contraignantes à la survie des microorganismes du sol et que l'activité microbienne est faible dans les forêts arides en comparaison avec celle de la zone semi aride en raison du type de sol et des facteurs climatiques (température et précipitation). Notre étude montre aussi que les sols forestiers qu'ils soient dans l'aride ou le semi aride sont généralement fragiles et vulnérables et ceci pour plusieurs raisons : l'influence du climat d'un côté tel que les précipitations irrégulières, la sécheresse et les vents secs souvent violents favorisant l'érosion, le surpâturage, les incendies et l'utilisation inadéquate des sols, tous ces facteurs ont une influence négative sur les paramètres physiques, chimiques et biologiques des sols qui se répercute automatiquement sur la qualité de ces sols. Cette dégradation est largement utilisée comme indicateur de non-durabilité et comme évidence visuelle de la dégradation de l'environnement et de la diminution de la diversité biologique.

La comparaison de la litière des résineux dans deux forêts différentes nous a montré que le contexte pédoclimatique influe sur leur caractéristique par une différence significative en modifiant leur facteurs physico-chimiques particulièrement par un changement du taux d'humidité, du carbone et de l'azote qui favorise la décomposition et assure la survie des organismes décomposeurs qui sont présent avec des valeurs beaucoup plus importantes dans la zone semi-aride contrairement à la zone aride. La diminution des teneurs en eau de la litière

en forêt aride sous l'effet des longues périodes de sécheresse a engendré une augmentation des teneurs en carbone et une élévation du rapport C/N et par conséquent la décomposition lente de la litière.

L'évolution de la dégradation de la litière des résineux en fonction du rapport C/N est déterminante dans un contexte bioclimatique aride ou semi aride qui dépend étroitement des conditions spécifiques existantes dans ces différents écosystèmes affectés par les contraintes climatiques et pédologiques. Les forêts de pin d'Alep produisent une mauvaise qualité de litière acidifiante de type mull ou humus doux ($\text{pH} > 5$) difficilement dégradable qui diminue la biomasse microbienne et la respiration basale, deux paramètres clés de la décomposition et la minéralisation de la matière organique, ils sont aussi très sensibles aux conditions xériques exercés au niveau des zones arides.

La chute de litières est une phase importante dans le cycle des éléments nutritifs qui assurent la productivité des écosystèmes naturels, malgré que cette chute reste importante dans les écosystèmes les plus secs selon la littérature, mais leur accumulation dans la forêt de la zone aride reste difficile en absence de végétation herbacée, le risque de disparition existe par la pluie et le vent violent.

L'étude des paramètres physico-chimique des aiguilles de l'espèce *Pinus halepensis* Mill., au niveau des deux différents contextes bioclimatiques (semi aride et aride) a montré que les aiguilles de pin d'Alep dans chaque étage bioclimatique présentent leurs propres caractéristiques à savoir une morphologie réduite dans la zone aride pour diminuer l'évapotranspiration de la plante. Le taux de rendement, la teneur en chlorophylle et le taux de la matière organique varient en fonction de la teneur en eau, un facteur clé pour la physiologie du pin d'Alep principalement la photosynthèse. La diminution des précipitations et de la vapeur d'eau au niveau des zones arides affectent les pinèdes par l'augmentation de l'évaporation du sol et l'évapotranspiration qui se répercutent sur l'arbre par un état de stress ayant pour conséquence la destruction des pigments chlorophylliens au niveau des aiguilles qui représentent le siège de la photosynthèse et la production de l'arbre.

Les travaux effectués dans cette étude ont porté aussi sur l'adaptation des graines de *pinus halepensis* semées aux différents niveaux de stress hydrique par l'ajout de PEG et de stress salin par l'ajout de NaCl et cela nous a donné une idée sur le comportement germinatif des graines du pin d'Alep face aux stress abiotiques en zone arides et semi-aride. Ils montrent que le sel et la sécheresse ont un effet dépressif sur le taux de germination du Pin d'Alep *pinus halepensis* avec un degré de tolérance de (4g/l) et (-1bars) pour les stress utilisés. Ce qui rends le *pinus halepensis* un arbre sensible aux stress dans les zones arides. En effet le taux et

la vitesse de germination diminuent considérablement avec l'augmentation d'un stress abiotique qu'il soit hydrique ou salin.

L'utilisation de la spectroscopie dans notre étude nous a confirmé les résultats d'analyses effectuées, c'est un outil de technologie de pointe avancé qui pourrait être utilisé à la place des méthodes de laboratoire traditionnelles coûteuses en temps et en argent pour la détermination de la composition d'échantillons, elle permet d'avoir des données de bonne qualité une bonne prévision pour de nombreuses propriétés chimiques et certaines propriétés physiques et biologiques du sol, de la litière et des végétaux. Les profils MIR et PIR permettent d'obtenir une répartition des échantillons de sols, litières et aiguilles qui diffère selon le découpage des zones arides et semi-arides.

Cette recherche confirme que la situation actuelle des zones aride et semi-aride en Algérie est alarmante et subit un processus de dégradation dû essentiellement à plusieurs facteurs, comme le surpâturage, le défrichement anarchique, le non respect des opérations de mise en défend tendant à protéger les zones dégradées, l'absence d'un cadre structural, organisationnel et juridique adéquat, et l'inexistence d'une politique d'aménagement, de mise en valeur et de protection appropriée susceptible de protéger ces zones dernière barrière contre la désertification. Ces facteurs conjugués aux problèmes de régénération naturelle et de sécheresse qui sévissent dans notre pays, agissent en synergie et aboutissent à la disparition du couvert végétal (principalement le pin d'Alep) et l'érosion des sols sur une vaste région steppique, mettant en évidence le phénomène de désertification qui s'affirme et ne cesse de progresser.

L'ensemble de cette étude a confirmé l'existence d'une empreinte de l'étage bioclimatique aride et semi aride sur les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des sols et litière forestiers sous résineux à différentes échelles spatiales en intégrant aussi l'effet de stress spécifiques du climat en milieu méditerranéen. Nous pouvons conclure que le changement des paysages et la régression des espèces dans la zone aride plus que la zone semi aride n'est pas dû seulement aux changements climatiques mais il est dû aussi à des changements profonds des propriétés édaphiques.

Suite aux résultats obtenus dans ce travail et devant toutes ces menaces nous recommandons de :

- Sensibiliser la population locale pour contribuer à la protection des écosystèmes fragilisés contre les incendies, le surpâturage et le déclenchement de phénomène de désertification.

- L'élaboration de stratégies communes pour lutter contre la dégradation des terres et de l'ensablement par la fixation des accumulations sableuses
- L'augmentation des programmes de reboisement et repeuplement des zones dégradées pour assurer une ambiance biologique afin d'augmenter la production de la litière qui joue le rôle d'une éponge en gardant l'humidité et assurant la protection du sol contre l'évaporation en assurant la germination des graines.
- La mise en défend des forêts contre le surpâturage afin d'assurer la protection des sols et la régénération naturelle des pinèdes.
- L'élaboration future de soutiens à la qualité des sols devrait s'appuyer sur une réorganisation de l'enveloppe financière et des moyens associés, ce qui serait facilité par l'élaboration de documents stratégiques régionaux sur la gestion des sols forestiers.
- Eviter la monoculture dans le cadre de reboisement pour éviter la propagation de l'attaque parasitaire surtout la chenille processionnaire au niveau des pinèdes.
- Introduction des espèces fixatrices d'azote afin d'assurer la décomposition rapide de la litière et la minéralisation de carbone organique dans le sol et assurer aux plants une nutrition efficace, la bonne reprise et une croissance satisfaisante.
- Il serait intéressant d'appliquer les travaux de restauration des sols pour assurer la régénération du pin d'Alep en prenant en considération les conditions situationnelles (altitude, exposition, climat, pente), pour voir leur influence sur le repeuplement de l'espèce.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- **Abail Z. 2013.** Notions sur les propriétés chimiques du sol et la nutrition des plantes, Projet: ACLIMAS, 35 p.
- **Abbas H., Barbéro M., Loisel R., Quézel P. 1985.** Les Forêts de Pin d'Alep dans le Sud-Est Méditerranéen Français, Analyses Écodendrométriques. Marseille: Forêt Méditerranéenne, 7(2).
- **Abdelmoumène Y. 2009.** Que faire pour sauver la forêt algérienne ? Powered by vBulletin™ Version 4.0. All rights reserved. Content Relevant URLs by vBSEO 3.5.0 RC2 ©2010, Crawlability, Inc
- **Abdessemed K. 1981.** Le cèdre de l'Atlas dans le massif des Aurès et du Bélazma. Thèse de Doctorat. Aix- Marseille Université, 198 p.
- **Abdessemed K. 1985.** Les problèmes de la dégradation des formations végétales dans l'Aurès (Algérie). Deuxième partie : les mesures à prendre. *Revue Forêt méditerranéenne*, T.VII, n°1 : 43-52.
- **Aerts R. 1997.** Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos* 79: 439-449.
- **Aerts R. 2006.** The freezer defrosting: global warming and litter decomposition rates in cold biomes. *Journal of Ecology*, 94: 713-724.
- **AFNOR. 1999.** Qualité des sols.
- **Agrobio Périgord. 2013.** Faire ses tests de germination. Fiche technique 4p.
- **Alcaraz C. 1982.** La végétation de l'Ouest algérien. Thèse de Doctorat, Université de Perpignan., 415 p.
- **Ali-Haimoud A., Amir H., Bounaga D., Chami M., & Djellali N. 1980.** Contribution a l'etude de l'activite microbiologique de quelques sols de la sebkha de Boughzoul (hauts plateaux algerois). *Physiologie végétale*.
- **Allen A.P., Gillooly J.F. & Brown J.H. 2005.** Linking the global carbon cycle to individual metabolism. *Functional Ecology*, 19(2): 202–213.
- **ANAT. 2004.** (Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire) Carte bioclimatique de l'Algérie.
- **ANAT. 2008.** Plan d'Aménagement du Territoire de la Wilaya de Saida, Phase I, Evaluation Territoriale, 150p.
- **Anderson J.P.E., Domsch K.H. 1978.** A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 10: 215-221.
- **Andren O., Balandreau J. 1998.** Biodiversité et fonctionnement du sol : où en sommes nous aujourd'hui?. 16^{ème} congrès mondial de science du sol, symposium11, Montpellier, 20-26 Août 1998.
- **Antonio J. 2014.** Soil color never lies, blog of Soil system science, disponible sur: <http://blogs.egu.eu/divisions/sss/2014/03/30/soil-color-never-lies/>
- **Aoudi F. 2012.** Etude et valorisation des feuille d'Olivier « *Olea europaea* » dans l'industrie Agro-alimentaire .Thèse de Doctorat, Université de Carthage Tunisie, 213p.
- **Arbez M., Millier C. 1971.** Contribution à l'étude de la variabilité géographique de *Pinus nigra* Arn.: étude comparative de quelques caractères morphologiques des aiguilles

- au stade juvénile. conséquences pour la systématique de l'espèce et les tests variétaux. In *Annales des Sciences Forestières*, 28(1) : 23-49.
- **Arfa, A. M. T., Benderradji, M. E. H., & Alatou, D. 2009.** Analyse des bilans des incendies de forêt et leur impact économique en Algérie entre 1985-2006. *New Medit*, (1).
 - **Armand R. 2009.** Étude des états de surface du sol et de leur dynamique pour différentes pratiques de travail du sol. Mise au point d'un indicateur de ruissellement. Thèse de Doctorat Université de Strasbourg, 209p.
 - **Arnon DI. 1949.** Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoxidase in *beta vulgaris*. *Plant physiology* 24: 1-15.
 - **Artz R. R., Chapman S. J., Robertson A. J., Potts J. M., Laggoun-Défarge F., Gogo S., ... & Francez A. J. 2008.** FTIR spectroscopy can be used as a screening tool for organic matter quality in regenerating cutover peatlands. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(2) : 515-527.
 - **Arunachalam A., Maithani K., Pandey H. N., & Tripathi R. S. 1998.** Leaf litter decomposition and nutrient mineralization patterns in regrowing stands of a humid subtropical forest after tree cutting. *Forest Ecology and Management*, 109(1-3): 151-161.
 - **Aubert G. 1950.** Les sols des régions semi-arides d'Afrique et leur mise en valeur, Paris, 15 p.
 - **Aubert G. 1960.** Les sols de la zone aride, étude de leur formation, de leurs caractères, de leur conservation. Actes coll. Unesco de Paris sur les problèmes de la zone aride, 127-150.
 - **Aubert G. 1976.** Les sols sodiques en Afrique du Nord .Ann. de l'I.N.A. (El Harrach), Vol.VI n°1, pp 185-196.
 - **Aubert G. 1978.** Méthodes d'analyses des sols. Edit.C.R.D.P. Marseille.189p.
 - **Aubert G. 1983.** Observation sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés ou sals sodiques. Cash. ORSTOM.ser. ped. Vol xxx n°1, pp = 73-78.
 - **Aubert M. 2012.** Caractérisation de l'état de surface des sols nus agricoles par imagerie radar TerraSAR-X ; Thèse de doctorat ; L'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech), Paris ; 204p.
 - **Audin A. 1938.** Le gemmage des pins en France -ED Berger ,121 p.
 - **Baar, J., Ter Braak C. J. F. 1996.** Ectomycorrhizal sporocarp occurrence as affected by manipulation of litter and humus layers in Scots pine stands of different age. *Applied Soil Ecology*, 4(1): 61-73.
 - **Bååth, E., & Söderström, B. 1980.** Degradation of macromolecules by microfungi isolated from different podzolic soil horizons. *Canadian Journal of Botany*, 58(4): 422-425.
 - **Badeau V., Dambrine E., Walter C. 1999.** Propriétés des sols forestiers français : résultats du premier inventaire systématique. *Étude et Gestion des Sols*, 6(3) : 165-180.
 - **Bagnouls F., Gaussen H. 1953.** Saison sèche et indice xérothermique. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse* 88: 193-239.
 - **Baize D. 2000.** Guide des analyses pédologiques, 2^{ème} Edition, revue et augmentée, 257p.
 - **Baize D., Girard B. 1995.** Guide pour la description des sols. INRA. Paris, 375p.

- **Barbéro M., Loisel R., & Quezel P. 1974.** Problèmes posés par l'interprétation phytosociologique des *Quercetea ilicis* et des *Quercetea pubes centis*. Coll. Inter. CNRS La flore du bassin méditerranéen, 235, 48.
- **Barbero M., Quezel P. 1989.** Contribution à l'étude phytosociologique des matorrals de la Méditerranée Orientale. Lazaco, 11 : 37-56.
- **Bariteau M., Afxantidis D., & Bonnier J. 2008.** La forêt méditerranéenne: un modèle pour comprendre la place et l'usage de la forêt dans les territoires. *Revue Forestière Française*, LX – (5): 563-570.
- **Beare M.H., Neely C.L., Coleman D.C. & Hargrove W.L., 1990.** A substrate-induced respiration (SIR) method for measurement of fungal and bacterial biomass on plant residues. *Soil Biology and Biochemistry*. 22: 585-594.
- **Belhacini F. 2011.** Contribution à une étude floristique et biogéographique des matorrals du versant sud de la région de Tlemcen. Thèse de Majister. Univ. Abou Bakr Belkaid Tlemcen. 166p.
- **Belkhodja M., Bidai Y. 2004.** Réponse des graines d'*Atriplex halimus* L. à la salinité au stade de la germination. *Sécheresse*, 4(15): 331-334.
- **Bellanca A., Neri, R. 1993.** Dissolution and precipitation of gypsum and carbonate minerals in soils on evaporite deposits, central Sicily: isotope geochemistry and microfabric analysis. *Geoderma*, 59(1-4): 263-277.
- **Bellon-Maurel V., Orliac O., & Christen P. 2003.** Sensors and measurements in solid-state fermentation: a review. *Process Biochemistry*. 38: 881-896.
- **Benabadji N., Benmansour D., & Bouazza M. 2007.** La flore des monts d'Ain Fezza dans l'Ouest Algérien, biodiversité et dynamique. *Sciences & technologie*, (26): 47-59.
- **Benabdeli K. 1983.** Mise au point d'une méthodologie d'appréciation de l'action anthropozoogène sur la végétation dans la région de Télagh (Algérie occidentale). Thèse de Doctorat. Aix-Marseille III, 185 p.
- **Benabdeli K. 1996.** Aspects physionomicostructuraux de la végétation ligneuse face à la pression anthropozoogène dans les monts de Tlemcen et les monts de Dhaya (Algérie occidentale). Thèse d'État, Université Djillali Liabes (UDL), Sidi Bel Abbes, 400 p.
- **Benabdeli K. 1998.** Protection de l'environnement. Quelques bases fondamentales, appliquées et réglementaires. Présentation d'une expérience réussie. Ed. Graphi Pub, Sidi Bel Abbes, 243 p.
- **Benabid A. 1985.** Les écosystèmes forestiers et préforestiers du Maroc: diversité, répartition biogéographique et problèmes posés par leur aménagement. *For. méd.*, 7(1):53-67.
- **Benata H, Berrichi A.B, Reda Tazi M, Abdelmoumen H et Misbah & Idrissi M., 2006.** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et le développement de trois espèces légumineuses : *acacia tortilis* var. *raddiana*, *leucaena leucocephala* et *prosopis juliflora*. Le premier congrès national sur l'amélioration de production agricole settat (Recueil des résumés).
- **Benbrahim K. F., Ismaili M., Benbrahim S. F., & Tribak A. 2004.** Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation: impact du phénomène au Maroc. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 15(4) : 307-320.

- **Benderradji M. E. H., Alatou D. J., Arfa A. M. T., & Benachour K. H. 2006.** Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation Impact du phénomène en Algérie. *New Medit*, 4, 15-22.
- **Bengough A. G., Mullins C. E., & Wilson, G. 1997.** Estimating soil frictional resistance to metal probes and its relevance to the penetration of soil by roots. *European Journal of Soil Science*, 48(4) : 603-612.
- **Benmahioul B., Daguin F., & Kaid-Harche M. 2009.** Effet du stress salin sur la germination et la croissance in vitro du pistachier (*Pistacia vera* L.). *Comptes Rendus Biologies*, 332(8), 752-758.
- **Bensaid A. 2006.** SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la wilaya de Naâma (Algérie). Géographie. Thèse de Doctorat, Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2. France. 319p.
- **Bentouati A. 2006.** Croissance, productivité et aménagement des forêts de Pin d'Alep (*pinus halepensis*) du massif de Ouled Yagoub (Khenchela- Aurés). Thèse de Doctorat. Université de Batna.
- **Bentouati A., Oudjehih B., & Alatou, D. 2005.** Croissance en hauteur dominante et classes de fertilité du pin d'Alep (*pinus halepensis* Mill.) Dans le massif de ouled-yakoub et des benioudjana (khenchela-aures). Sciences & technologie. C, biotechnologies, (23), 57-62.
- **Benyacoub S., Louanchi M., Baba Ahmed R. 1998.** Plan directeur de gestion du Parc National d'El Kala et du complexe des zones humides. Projet GEF (Global Environment Facility)- Banque Mondiale. 220 p.
- **Berchiche T. 1986.** Contribution à l'étude socio-économique de la forêt algérienne. Thèse Magister en Science agronomique : INA d'Alger.
- **Berg B., Staaf H. 1980.** Decomposition rate and chemical changes of Scots pine needle litter. II. Influence of chemical composition. *Ecological Bulletins*, 373-390.
- **Berg B. 2000.** Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. *Forest Ecology and Management*, 133, 13-22.
- **Berg, B., McClaugherty, C., Santo, A. V. D., & Johnson, D. 2001.** Humus buildup in boreal forests: effects of litter fall and its N concentration. *Canadian Journal of Forest Research*, 31(6): 988-998.
- **Bergeron O. 2007.** Dynamique des échanges de dioxyde de carbone de la pessière noire boréale de l'est du Canada. Thèse de Doctorat, Université de Laval, 160p.
- **Bernou S. 1996.** Contribution à la création d'une banque de données pédologiques des sols gypseux de l'Algérie du Nord. INA, El Harrach, 49p.
- **Bliss R.D., Platt-Aloria K.A. & Thomson W.W. 1986.** The inhibitory effect of NaCl on barley germination. *Plant Cell and Env.* 9, 727-733.
- **Blondel J. 2009.** La production durable de biens et services en forêt méditerranéenne : le point de vue de l'écologue, *Forêt Méditerranéenne*, tome XXX, n°2, pp. 133-138.
- **Blum W.E.H., 1997.** Basic concepts: Dégradation, résilience and réhabilitation. *Methods for assessment of soil degradation*, 1-16.
- **BNEDER. 1992.** Etude du développement agricole dans la wilaya de Saida. Rapport final et documents annexes.

- **Boiron P. 1996.** Organisation et biologie des champignons. Nathan. Paris.
- **Boix Fayos C. 1997.** The roles of texture and structure in the water retention capacity of burnt Mediterranean soils with varying rainfall. *Catena* 31: 219- 236.
- **Bonneau M. 1995.** Fertilisation des forêts dans les pays tempérés, Editions de l'ENGREF, 368p.
- **Bonnet D. 1983.** Prise en compte des risques naturels en forêt de montagne : quelques réflexions dans le cas des forêts soumises des Alpes du nord. Grenoble : Cemagref, *ENITEF*.106p.
- **Borsali A.H., Hachem K., Zouidi M., Dahmani R., & Gros R. 2018.** Properties physicochemical and microbial forest soil based on exposure to stress. *EM International journal Eco. Env. & Cons.* 24 (1): 2018; pp. (34-4).
- **Borsali A.H. 2013.** Contribution à l'évaluation de l'impact des incendies sur les écosystèmes forestiers: cas de la forêt de Fénouane, wilaya de Saïda. (Algérie). Thèse de Doctorat. Univ. Abou Bakr Belkaid Tlemcen & Univ.Aix Marseille. 237p.
- **Borsali A.H., Dahmani R., Zouidi M., Gros R. 2017.** Chemical properties and leaf traits of *Pistacia lentiscus* in link with the age of the leaves and exposure to stress. N 3 Vol 73 *PONTE International Journal of Sciences and Research*, 11p.
- **Borsali A.H., Zouidi M., Hachem K., Gros R., & Theoneste H. 2017b.** Catabolic profiles of cultivable microbial communities in forest soils of western Algeria along a latitudinal gradient, *Advanced Studies in Biology*, 9(4):157 – 169.
- **Bossuyt H., Denef K., Six J., Frey S.D., Merckx R., Paustian K. 2001.** Influence of microbial populations and residue quality on aggregate stability. *Applied Soil Ecology*, 16: 195–208.
- **Bouazza M. 1995.** Etude phyto-écologique des steppes à *Stipa tenacissima* L. et à *Lygeum spartum* L. au Sud de Sebdou (Oranie-Algérie). Thèse de Doctorat. Es. Sci. Tlemcen 275p.
- **Bouchet F, 2008.** Réponses microbiennes des sols à des évènements extrêmes de type canicule et/ou sécheresse, premières approches expérimentales. Diplôme d'Ingénieur INSA-Lyon, département Biosciences. 47p.
- **Bouda S., Haddioui A. 2011.** Effet du stress salin sur la germination de quelques espèces du genre *Atriplex*. *Revue «nature & technologie»*. N, 5, 73.
- **Boudy P. 1955.** Economie forestière nord-africaine. Tome 4 : Description forestière de l'Algérie et de la Tunisie. Larose, Paris, 483 p.
- **Boudy P. 1955.** Guide du forestier en Afrique du Nord. Maison rustique, Paris, 509 p.
- **Boulghalagh J., Berrichi A., El Halouani H., & Boukroute A. 2006.** Effet des stress salin et hydrique sur la germination des graines du jojoba (*simmondsia chinensis* [link] schneider).recueil des résumés. le premier congrès national sur l'amélioration de production agricole, Settat, Maroc, 24p.
- **Bourennane Schnebelen N., Fort J., & Coord L. 2008.** Connaître les sols pour préserver la ressource en eau. Guide d'application à l'échelle d'un territoire. Gis Sol, groupe « Projets » IGCS, INRA Orléans, France, 84 p.

- **Bourgogne Alterre, 2012.** Les sols : des fonctionnalités à mieux connaître pour une meilleure utilisation. Agence pour l'environnement et le développement soutenable, rapport technique. 72p.
- **Bouteyre G., Loyer Y. 1992.** Sols salés eaux saumâtre des régions arides tropicales et Méditerranéennes in l'aridité, une contrainte au développement. ORSTOM, Paris.
- **Braudel F. 1985.** La Méditerranée – L'espace et l'histoire, Champs Flammarion, Paris, 223 p.
- **Bréda N., Huc R., Granier A., & Dreyer E. 2006.** Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Annals of Forest Science*, 63(6): 625-644.
- **Bréda N., Huc R., Granier A., & Dreyer E. 2006.** Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Annals of Forest Science*, 63(6), 625-644.
- **Bridges E. 1978.** World soils. Cambridge University. Press. 2^{ème} Edition, pp :95- 97.
- **Bruggeman A., Hamdy A., Touchan H., Karajeh F., & Oweis T. 2003.** Screening of some chickpea genotypes for salinity tolerance in a Mediterranean environment. *Regional Action Programme (RAP): Water Resources Management and Water Saving in Irrigated Agriculture (WASIAPROJECT)*, 171-179.
- **Brunet D., Barthès B.G., Chotte J.L., & Feller C. 2007.** Determination of carbon and nitrogen contents in Alfisols, Oxisols and Ultisols from Africa and Brazil using NIRS analysis: effects of sample grinding and set heterogeneity. *Geoderma* 139, 106–117.
- **Burrow C. 2015.** Influence des modalités de restauration des sols dégradés sur leur colonisation par une faune du sol fonctionnelle. Thèse de Doctorat, Université Lille 1 France, 312p.
- **Calamassi R. 1986.** Caractérisation de quelques provenances de *Pinus halepensis* Mill. sur la base de la structure anatomique et morphologique des aiguilles. *Annales des sciences forestières*, INRA/EDP Sciences, 43 (3): 281-298.
- **Calamassi R., Falusi M., & Tocci A. 1980.** Variazione geografica e resistenza a stress idrici in semi di *Pinus halepensis* Mill., *Pinus brutia* Ten. e *Pinus eldarica* Medw. *Ann. Ist. Sper. Selv. XI*, 195-230.
- **Calvet R. 2003.** Le sol: propriétés et fonctions (Vol. 2). France Agricole Editions.511p.
- **Cannavo P., Richaume A., Renault P., Emblanch C., Bertuzzi P. & Lafolie F., 2002.** Denitrification in the upper vadose zone layers : a comparison between a fluvic hypercalcic cambisol and a haplic calcisol. *Agronomie*, 22(10) :479- 488.
- **Castegnaro M., Pfohl-Leszkowicz A. 2002.** Les mycotoxines: contaminants omniprésents dans l'alimentation animale et humaine. La sécurité alimentaire du consommateur, 2: 127-79.
- **Cazaly M. 2002.** La Forêt méditerranéenne française et son public - Résultats d'enquête par sondage. *Forêt méditerranéenne*, XXIII (3): 173-184.
- **Cécillon L., Cassagne N., Czarnes S., Gros R., & Brun J.J. 2008.** Variable selection in near infrared spectra for the biological characterization of soil and earthworm casts. *Soil Biology and Biochemistry*. 40 : 1975–1979.

- **Chaabane A. 2012.** Flore et Végétations Méditerranéennes. MOEDCO. Institut Sylvo-Pastoral de Tabarka. Tunisie, 74p.
- **Chang C. W., Laird D. A., Mausbach M. J., Hurburgh C. R. Jr. 2001.** Near-infrared reflectance spectroscopy – principal components regression analyses of soil properties. *Soil Science Society of America Journal*. 65: 480–490.
- **Chao W. L., Alexander M. 1982.** Influence of Soil Characteristics on the Survival of Rhizobium in Soils Undergoing Drying 1. *Soil Science Society of America Journal*, 46(5), 949-952.
- **Chaussod R., Breuil M. C., Echairi A., Nouaïm R., Nowak V., & Ranjard L. 1996.** La qualité biologique des sols. Évaluation et implications, Étude et gestion des sols, 3 : 261-278.
- **Chauvel A. 1977.** Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Office de la recherche scientifique et technique outre-mer.
- **Chen H., Richardson A.E. & Rolfe B.G. 1993.** Studies of the physiological and genetic basis of acid tolerance in *Rhizobium leguminosarum* biovar *trifolii*. *Applied and Environmental Microbiology* **59**, 1798–1804.
- **Cherbuy B. 1991.** Les sols salés et leur réhabilitation étude bibliographique. Cemagref, école. Nat. Renne, 170p.
- **Cheverry C., Bourrié G. 2003.** Salinisation of Soils. Soil, fragile interface. *INRA Editions*, Paris, 129-150.
- **Chomitz K.M., Buys P., De Luca G., Thomas T.S & Wertz-Kanounnikoff S. 2006.** At loggerheads? Agricultural expansion, poverty reduction, and the environment in the tropics. Washington, DC, Banque mondiale.
- **Claud G., Malher C., Claud Remy J., Berthelm J., Louis Morel j. 2005.** Sol et environnement. Dunod . Paris, pp 609-625.
- **Cleveland C. C., Reed S. C., & Townsend A. R. 2006.** Nutrient regulation of organic matter decomposition in a tropical rain forest. *Ecology*, 87(2): 492-503.
- **Colaone M. 1971.** Indagini preliminari sui caratteri anatomici degli aghi di alcune provenienze di *Pinus pinaster* Air. e di *Pinus halepensis* Mill. *Ital Forest Mont* ., XXVI, 164-171.
- **Combes F., Hurand A., & Meunier M. 1995.** La forêt de montagne : un remède aux crues. In *Compte-rendu de recherches* n°3. BVRE de Draix. Cemagref éditions, Grenoble, 3 : 113-121.
- **Côme D. 1982.** Germination (chapitre 2), dans croissance et développement - *physiologie végétale ii*, mazliak p., collection méthodes, herman, paris, pp 129-225.
- **Cornet A. 2002.** La désertification à la croisée de l'environnement et du développement : un problème qui nous concerne, Sommet du Développement Durable, Johannesburg, 2002 : 93-130.
- **Coûteaux M. M., Sarmiento L., Hervé D., & Acevedo D. 2005.** Determination of water-soluble and total extractable polyphenolics in biomass, necromass and decomposing plant material using near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS). *Soil Biology and Biochemistry*, 37(4): 795-799.

- **Cozzolino D., Morón A., 2006.** Potential of near infrared reflectance spectroscopy and chemometrics to predict soil organic carbon fractions. *Soil and Tillage Research* 85: 78-85.
- **CPCS.** (Commission de Pédologie et de la Cartographie des Sols), **1967.** Classification des sols, INRA, Grignon, 96 p.
- **Criquet S., Ferre E., & Farnet A. M. 2004.** Annual dynamics of phosphatase activities in an evergreen oak litter: influence of biotic and abiotic factors. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(7): 1111-1118.
- **Criquet S., Tagger S., Vogt G., Iacazio G., & Le Petit J. 1999.** Laccase activity of forest litter. *Soil Biology and Biochemistry*, 31(9), 1239-1244.
- **Daget P. 1977.** Le bioclimat méditerranéen: analyse des formes climatiques par le système d'Emberger. *Végétation*, 34(2): 87-103.
- **Daget P. 1977.** Le bioclimat méditerranéen: caractères généraux, modes de caractérisation. *Végétation*, 34(1) : 1-20.
- **Daguillon A. 1890.** Recherches morphologiques sur les feuilles de conifères. Paris, Klincksieck, 86p.
- **Dahmani M. 1997.** Diversité biologique et phytogéographique des chênaies vertes d'Algérie. *Ecologia Mediterranea*. XXII (3/4) : 19-38.
- **Dahmani-Megrerouche M., 1997.** Le chêne vert en Algérie. Syntaxonomie, phytosociologie et dynamique des peuplements. Thèse Doctorat Univ. Houari Boumediene. Alger. 329p.
- **Dart P., Zou N. 1993.** Rhizobia for NFTs on saline soils. *ACIAR Forest Newslett.*, 15, 3.
- **Davet P. 1996.** Vie microbienne du sol et production végétale. Editions Quae, 383p.
- **De Lajudie P., Willems A., Pot B., Dewettinck D., Maestrojuan G., Neyra M., ... & Gillis M. 1994.** Polyphasic Taxonomy of Rhizobia: Emendation of the Genus *Sinorhizobium* and Description of *Sinorhizobium meliloti* comb. nov., *Sinorhizobium saheli* sp. nov., and *Sinorhizobium teranga* sp. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 44(4), 715-733.
- **De Martonne E. 1923.** Aridité et indices d'aridité. *Académie Des Sciences. Comptes Rendus*, 182, 1935-1938.
- **De Santo A. V., Berg B., Rutigliano F. A., Alfani A., & Floretto A. 1993.** Factors regulating early-stage decomposition of needle litters in five different coniferous forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 25(10): 1423-1433.
- **De Santo A. V., Rutigliano F. A., Berg B., Fioretto A., Puppi G., & Alfani A. 2002.** Fungal mycelium and decomposition of needle litter in three contrasting coniferous forests. *Acta Oecologica*, 23(4), 247-259.
- **Deferne J., Engel N. 2010.** Le monde fascinant des roches, 60p.
- **Delaunois A. 2006.** Guide simplifié pour la description des sols. 18p.
- **Delpech R. 1996.** Vocabulaire de phytosociologie et de synécologie végétale. Conseil International de la Langue Française. La banque des mots, 51, 49-87.
- **Demmak A. 1982.** Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse de Docteur Ingénieur, université de Pierre et Marie Curie, Paris XI.
- **Demolon A. 1948.** Dynamique du sol (Vol. 1, Edition 4). LWW.414p

- **Demolon A. 1966.** Dynamique du sol (Vol. 1, Edition 5). Dunod. 580p.
- **Despois J. 1955.** La Tunisie orientale. Sahel et basse steppe étude géographique. PUF Paris, 554 p.
- **DGF. 2007.** Annuaire statistique Superficies, potentialités des forêts Algériennes.104p.
- **DGF. 2017.** Protéger et préserver, Annuaire statistique, 15p.
- **DGF. 2018.** Patrimoine forestier national: une superficie à plus de 4 millions d'hectares. Rapport annuelle. Rapport journée de montagne 2018.
- **Dick E., De Paepe M. 1997.** Steam injected gas turbines: cycle analysis and feasibility of water recuperation. *European journal of mechanical and environmental engineering*, 42(2): 67-77.
- **Didierjean C. 2014.** Comparaison inter-spécifique de traits impliqués dans les réponses à la sécheresse d'arbres méditerranéens: une approche par méta-analyse. Mémoire de dominante d'approfondissement Gestion Forestière, 92p.
- **Djavanshir K., Reid C. P. P. 1975.** Effect of Moisture Stress on Germination and Radicle Development of *Pinus eldarica* Medw. and *Pinus ponderosa* Laws. *Canadian Journal of Forest Research*, 5(1): 80-83.
- **Djebaili S. 1978.** Recherches phytosociologiques et phytoécologiques sur la végétation des Hautes Plaines Steppiques et de l'Atlas Saharien algérien. *El Kasba*. Alger.
- **Djebaili S. 1984.** Recherches phytosociologiques et phytoécologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien. OPU. Alger, 177 p.
- **Djili K. 2000.** Contribution a la connaissance des sols du nord de l'Algérie. Thèse de Doctorat, INA, Alger. 243p.
- **Djili K., Daoud Y., Ayache N. 1999.** Analyse de la distribution verticale et spatiale du calcaire dans les sols de l'Algérie septentrionale, *Etude et gestion des sols*, 6(3) : 201-213.
- **Dommergues Y., Duhoux E., & Diem H. G. 1999.** Les arbres fixateurs d'azote: caractéristiques fondamentales et rôle dans l'aménagement des écosystèmes méditerranéens et tropicaux avec référence particulière aux zones subhumides et arides. *Espaces* 34.
- **Dommergues Y., Mangenot F. 1970.** Ecologie microbienne du sol (No. 631.46). Masson.
- **DPAT. 2010.** Monographie de la Wilaya of Saida, Rapport. 150 p.
- **Drouet, 2010.** Pédologie BING-F-302 version 2010.
- **Duchaufour Ph. 1980.** Écologie de l'humification et pédogénèse des sols forestiers. In : Actualités de l'écologie forestière : sol, flore, faune / P. Pesson Éd. — Paris : Gauthiers-Villars, 1980. pp. 177-202.
- **Duchaufour Ph. 1953.** Humus actif et humus inerte. Recherches expérimentales sur la minéralisation de l'humus forestier, Nancy : Ecole nat.des Eaux et forêts 453 p.
- **Duchaufour Ph. 1957.** Tableau descriptifs et analytiques des sols. Editions de l'Ecole Nationale des Eau x et des Forêts, Nancy , 87 p.
- **Duchaufour Ph. 1968.** L'évolution des sols (essais sur la dynamique des profils). Edit. Masson & Clé. Paris. 94 p.

- **Duchaufour Ph. 1970.** Humification et Ecologie. Cah ORSTOM Série Pédologie, 8, 1-12.
- **Duchaufour Ph. 1977.** Pédologie 1 .pédogénèse et classification. Edition, Masson Paris. 491p.
- **Duchaufour Ph. 1979.** Pédologie 2 .Constitutions et propriétés du sol. Edition, Masson Paris.
- **Duchaufour Ph. 1984.** Abrégés de pédologie. Masson Paris, 212 p.
- **Duchaufour Ph. 1988.** Pédologie. 2^{ème} Édition. Masson. Paris. 224p.
- **Duchaufour Ph. 1991.** Pédologie: sol, végétation, environnement». Troisième édition. Masson, Paris, 189 p.
- **Duchaufour Ph. 2001.** Introduction à la science du sol, végétation, environnement, 6^{ème} édit. 331 p.
- **Duchaufour Ph., Souchier B. 1978.** Roles of iron and clay in genesis of acid soils under a humid, temperate climate. *Geoderma*, 20(1) : 15-26.
- **Ducommun C., Vidal-Beaudet L. 2016.** Du sol dépend la vie sur terre- Dossier Le sol : un capital à protéger - Jardins de France, 5p.
- **Dudal R. 1967.** Sols argileux foncés des régions tropicales et subtropicales, FAO ,172p.
- **Dufour L. 1887.** Influence de la lumière sur la forme et la structure des feuilles. G. Masson.103p.
- **Dunalp J.R., Barnett J.P. 1984.** Manipulating loblolly pine (*Pinus taeda* L.) seed germination with simulated moisture and temperature stress, in: Duryea M.L., Brown G.N (Eds.). Seedling physiology and reforestation succes, Martinus Nijhoff/Dr. W Junk Publishers, Dordrecht. 61-73.
- **Dupuy B, 1998.** Bases pour une sylviculture en forêt dense tropicale humide africaine, Série FORAFRI, document 04, 328p.
- **Eijsackers H. 1982.** Soil fauna and soil microflora as possible indicators of soil pollution. *Environmental Monitoring Assessment* 3:307-316.
- **Eliard J.L. 1979.** Manuel d'agriculture générale. ed. J.B. Baillière. Paris, 344 p
- **Emberger L. 1939.** Aperçu général sur la végétation du Maroc: commentaire de la carte phytogéographique du Maroc 1: 1 500 000. Berne: H. Huber.
- **Emberger L. 1952.** Sur le quotient pluviothermique. *Comptes Rendus Hebdomadaires Des Seances De L'Academie Des Sciences*, 234(26), 2508-2510.
- **Emberger L. 1954.** A biogeographic classification of climates. Researches and Developments in Montpellier Botanical Laboratory. Faculty of Sciences of Montpellier Série Botanique, 7, 3-43.
- **Emberger L. 1955.** Une classification biogéographique des climats. Recueil. Trav. Lab. Géol. Zool. Fac. Sci. Montpellier, 3-43.
- **Emberson L., Ashmore, M., & Murray, F. 2003.** Air pollution impacts on crops and forests: an introduction”, Air pollution impacts on crops and forests (Emberson L., Ashmore M.R. et Murray F., eds), World Scientific Publishing Company. Imperial College Press. 300p.
- **Eswaran H., Ilaiwin M., Osman A., 1981.** Mineralogy and micro – morphology of aridisols. Proc. 3th Int . Soil classification workshop. ACSAD. Damascus.

- **Fahn A., Benayoun J. 1976.** Ultrastructure of resin ducts in *Pinus halepensis* development, possible sites of resin synthesis, and mode of its elimination from the protoplast. *Annals of Botany* 40: 857–863.
- **Falusi M., Calamassi R., & Tocci A. 1983.** Sensitivity of seed germination and seedling root growth to moisture stress in four provenances of *Pinus halepensis* Mill. *Silvae Genetica*, 32(1/2): 4-9
- **FAO. 1980.** Les évaluations des ressources forestières mondiales, Rapport principal.
- **FAO. 1990.** Management of gypsiferous soils. Soils Bulletin 62, 81 p.
- **FAO. 1992.** Foresterie en zones arides - Guide à l'intention des techniciens de terrain. Produit par Département des forêts.
<http://www.fao.org/docrept/t0122f/t0122f00.htm#contents>
- **FAO. 2000.** Etude prospective du secteur forestier en Afrique (FOSA) : Algérie. FAO, Rome, 50p.
- **FAO. 2005.** Utilisation des engrais par culture en Algérie. FAO Rome, 61 p.
- **FAO. 2010.** Global forest resources assessment 2010. Main report. FAO Forestry Paper No. 163. Rome.
- **FAO. 2013.** Etat des forêts méditerranéennes 2013. 197 p. disponible sur : <http://www.fao.org/docrep/017/i3226f/i3226f.pdf>
- **FAO. 2015.** Fonctions du sol, Année internationale des sols, fao.org/soils-2015.fr
- **FAO. 2015.** Les sols sont fondamentaux pour la végétation. www.fao.org/soils-2015/fr.
- **FAO. 2018.** Etat des forêts méditerranées. 10p.
- **FAO. 1993.** Programme d'action forestier méditerranéen: cadre de référence des plans d'action forestiers nationaux des pays méditerranéens. Comité des questions forestières méditerranéennes, *Sylva med.* Rome. 81 p.
- **FAO. 1994.** Evaluation des ressources forestières 1990. Pays non tropicaux en développement. Région méditerranéenne. Rome, 48 p.
- **Fauci M.F., Dick R. P. 1994.** Soil microbial dynamics: short- and long-term effects of inorganic and organic nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*, 58(3): 801-806.
- **Feliachi K, Amroune R et Khaldoune. 2001.** Impact de la sécheresse sur la production des céréales cultivées dans le nord de l'Algérie: céréaliculture N035.ED. ITGC. Algérie.
- **Fenner M. 1985.** Seed ecology. Chapman and Hall, New York, 151p.
- **Féret JB. 2009.** Apport de la modélisation pour l'estimation de la teneur en pigments foliaires par télédétection. Thèse de Doctorat université Pierre et Marie Curie, 214p.
- **Ferka Zazou N. 2006.** Impact de l'occupation spatio-temporelle des espaces sur la conservation de l'écosystème forestier. Cas de la commune de Tessala, Wilaya de Sidi Bel Abbas, Algérie. Thèse Université de Aboubekr Belkaïd, Tlemcen, Algérie. 164 p.
- **Fleuriel M. 1998.** Synthèse bibliographique : forêt et écoulement des eaux. Aix-en-Provence : Université de Provence, 29 p.
- **Fort C. 1999.** L'eau et la forêt. Bulletin Technique de l'ONF, n°37 spécial, 240 p.
- **Fox T.R. 2000.** Sustained productivity in intensively managed forest plantations. *Forest Ecology and Management*, 138: 187-202.

- **Friend A.D., Woodward F.I. 1990.** Evolutionary and ecophysiological responses of mountain plants to the growing season environment. *Advances in Ecological Research* 20: 59- 124.
- **Gallardo A., Schlesinger W. H. 1992.** Carbon and nitrogen limitations of soil microbial biomass in desert ecosystems. *Biogeochemistry*, 18: 1-17.
- **Gaouar A. 1980.** Hypothèse et réflexion sur la dégradation des écosystèmes forestiers dans la région de Tlemcen. Forêt Méditerranéenne., n°2, Marseille, 1-8.
- **Garnier E., Shipley B., Roumet C., & Laurent G. 2001.** A standardized protocol for the determination of specific leaf area and leaf dry matter content. *Functional ecology*, 15(5): 688-695.
- **Gaussen H. 1960.** Les Gymnospermes actuelles et fossiles (Généralités, Genre *Pinus*). Fasc. VI, chap. XI, 272p.
- **Gballou Y., Gnahoua Y. 1989.** Les méthodes de mesure de la densité apparente: analyse de la dispersion des résultats dans un horizon donné. Cahiers ORSTOM. Série Pédologie, 25(4): 423-429.
- **Géhu J. M. 2000.** Principes et critères synsystématiques de structuration des données de la phytosociologie. In *Colloque phytosociologique* . 27. 693-708.
- **Géhu J. M. 2006.** Dictionnaire de sociologie et synécologie végétales. BerlinStuttgart : Cramer, 899 p.
- **Genot V., Colinet G., Brahy V., Bock L. 2009.** L'État de fertilité des terres agricoles et forestières en région wallonne (adapté du chapitre 4 — sol 1 de « L'État de l'Environnement wallon 2006-2007 »). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, vol. 13, n° 1, 2009, pp. 121-138.
- **Ghassemi F., Jakeman A. J., & Nix H. A. 1995.** Salinisation of land and water resources: human causes, extent, management and case studies. CAB international. 544 p.
- **Gholz H.L., Wedin D.A., Smitherman S.M., Harmon M.E. & Parton W.J. 2000.** Long-term dynamics of pine and hardwood litter in contrasting environments: toward a global model of decomposition. *Global Change Biology*, 6(7): 751–765.
- **Gibelin A.L., Déqué M. 2003.** Anthropogenic climate change over the Mediterranean region simulated by a global variable resolution model. *Climate dynamics*, 20: 327-339.
- **GIEC, 2007.** Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de~)]. GIEC, Genève, Suisse, 103 p.
- **Gillon D., Joffre R., & Dardenne P. 1993.** Predicting the stage of decay of decomposing leaves by near infrared reflectance spectroscopy. *Canadian Journal of Forest Research*: 23, 2552-2559.
- **Gillon D., Joffre R., & Ibrahima A. 1999.** Can litter decomposability be predicted by near infrared reflectance spectroscopy? *Ecology* 80: 175–186.
- **Girard MC., Christian W ., Berthelin J ., Rémy JC., Morel JL 2005.** Sols et Environnement, 2^{ème} édition, Editions DUNOD, 2005.

- **Gloaguen J. C., Touffet J. 1982.** Evolution du rapport C/N dans les feuilles et au cours de la décomposition des litières sous climat atlantique. Le hêtre et quelques conifères. In : *Annales des Sciences Forestières*. EDP Sciences, 219-230.
- **Gloaguen J.C., Touffet J. 1980.** Rate of decomposition and mineral evolution of litter under Atlantic climate. I. Beech and some conifers. *Oecologia plantarum*, 1:3-25
- **Gobat IM., Aragno M & Matthey W. 2003.** Le Sol vivant. 2^{ème} éd. rev. et augm. Coll. «Gérer l'environnement», Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes, 568p.
- **Graham P. H. 1992.** Stress tolerance in Rhizobium and Bradyrhizobium, and nodulation under adverse soil conditions. *Canadian Journal of Microbiology*, 38(6): 475-484.
- **Gras R. 1988** Physique du sol pour l'aménagement. Paris, 587 p.
- **Grego S., Marinari S., Moscatelli M. C., & Badalucco L. 1998.** Effect of ammonium nitrate and stabilized farmyard manure on microbial biomass and metabolic quotient of soil under zea mays l. *Agricoltura mediterranea*, 128(2), 132-137.
- **Grim S. 1989.** Le pré aménagement forestier. Min. Hyd. For. Alger. Univ. Cathol. Louvain. Belgique. pp 1-45.
- **Groome M.C., Axler S., & Gfford D.J. 1991.** Hydrolysis of lipid and protein reserves in lobolly pine seeds in relation to protein electrophoretic patterns following imbibitions. *Physiologia plantarum*, 83(1): 99-106.
- **Gros R. 2002.** Fonctionnement et qualité des sols soumis à des perturbations physiques et chimiques d'origines anthropiques: réponses du sol, de la flore et de la microflore bactérienne tellurique. Thèse de Doctorat, Université de Savoie.
- **Grünberger O. 2015.** Dynamiques salines des sols des milieux arides et semi-arides. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier, 133p.
- **Guénon R. 2010.** Vulnérabilité des sols méditerranéens aux incendies récurrents et restauration de leurs qualités chimiques et microbiologiques par l'apport de composts. Thèse Doctorat, Univ. Marseille, 218 p.
- **Guettoche M. S., Guendouz M., & Boutiba M. 2006.** Sur l'existence d'un modèle-type d'encroûtement des sols arides et semi-arides en Algérie: Etude comparative entre la Tafna (Algérie nord-occidentale), les Hauts Plateaux sétifiens et le bassin hodéen (Algérie nord-orientale). *Journal des sciences pour l'ingénieur*, 6(1): 65-80.
- **Gundersen P., Sevel L., Christiansen J.S., Vesterdal L., Hansen K., Bastrup-Birk A. 2009.** Do indicators of nitrogen retention and leaching differ between coniferous and broadleaved forests in Denmark? *For. Ecol. Manag.* 258, 137–1146.
- **Gundesen P., Callesen I, & De Vries W. 1998.** Nitrate leaching in forest ecosystems in relation to forest floor C/N ratio, *Environmental Pollution*, 102(1): 403- 407.
- **Guterman Y. 1994.** Strategies of seed dispersal and germination in plants inhabiting deserts. *The Botanical Review*, 60(4): 373-425.
- **Guyot G .1997.** Climatologie de l'environnement. Masson, Paris, 505 p.
- **Guyot G. 1999.** Climatologie de l'environnement. Dunod Edution., 525 p.
- **Haberhauer G., Rafferty B., Strebl F., Gerzabek M. H. 1998.** Comparison of the composition of forest soil litter derived from three different sites at various decompositional stages using FTIR spectroscopy. *Geoderma* 83, 331-342.

- **Haddouche I., Mederbel K., Saidi S., & Benhanifia K. 2004.** Caractérisation d'une région steppique Par Télédétection cas de la région de Mecheria, Algérie." Université de Tlemcen. Algérie. *Nature vivante*. 9p.
- **Hadri N .2015.** Photochemical study and antioxidant activity of plant extracts *Sedum villosum* L. (Orpin.) and *Anabasis articulata* Moq (Forsk.). Ph.D. Dissertation. University of Abou Bekr Belkaid Tlemcen Algeria, 148p.
- **Halilat M.T., Dogar M.A., Badraoui M. 2000.** Effet de l'azote, du potassium et de leur interaction sur la nutrition du blé sur sol sableux du désert algérien. *Revue. Homme, terre et eaux*. 30 (115) : 32-39.
- **Halitim A. 1988.** Sols des régions arides d'Algérie. OPU, Alger, 384 p.
- **Halitim A. 2011.** Aridoculture et le développement durable. *Algerian Journal of Arid Environnement*, 3(1) :3-9.
- **Hart S. C., Stark J. M. 1997.** Nitrogen limitation of the microbial biomass in an old-growth forest soil. *Ecoscience* 4: 91-98.
- **Hendrik D 2016.** Vulnérabilité et adaptation des écosystèmes forestiers dans un contexte de changement climatique: observation, modélisation et réflexion épistémique. Thèse de Doctorat, Aix Marseille Université, France, 85p.
- **Henin S. 1958.** Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. *Ann. Agron.*, 9: 73-92.
- **Huber G., Schaub C. 2011.** La fertilité des sols: L'importance de la matière organique. Chambre d'agriculture du Bas-Rhin. 46p.
- **Huetz De Lempis. 1970.** la végétation de la terre, Masson, éditeurs, Paris, 133 p.
- **Hufty A. 2001.** Introduction à la climatologie: le rayonnement et la température, l'atmosphère, l'eau, le climat et l'activité humaine. Presses Université Laval.
- **Humbert J., Najjar G. 1992.** Influence de la forêt sur le cycle de l'eau en domaine tempéré : une analyse de la littérature francophone. Strasbourg : CEREG, 85 p.
- **Huttel C., Bernhard-Reversat F. 1975.** Recherches sur l'écosystème de la forêt subéquatoriale de basse Côte d'Ivoire. Biomasse végétale et productivité primaire-Cycle de la matière organique. *Terre et Vie*. 29 : 243-264.
- **Iermoud M. 2000.** Evaluation des ressources forestières nationales. Alger : DGF. 39 p.
- **Insam H., Domsch K. H. 1988.** Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. *Microbial ecology*, 15(2) : 177-188.
- **IUCN. 2007.** Forests and livelihoods: Reducing emissions from deforestation and ecosystem degradation (REDD). Document d'information. http://cmsdata.iucn.org/downloads/bali_fact_sheet_redd_08cropped.pdf.
- **Jabiou B. 2004.** Sol sensible ou résistant ? Eléments simples de diagnostic de la sensibilité à la dégradation 30-46
- **Jancovici J.M. 2011.** Changer le monde: Tout un programme!, Paris, Ed. Calmann-Levy.
- **Janvier C. 2007.** Recherche d'indicateurs de la santé des sols. Thèse de Doctorat. INA Paris Grignon, 216p.

- **Joffre R., Gillon D., Dardenne P., Agneessens R., & Biston, R. 1992.** The use of near-infrared reflectance spectroscopy in litter decomposition studies. *Annales des Sciences Forestières*. 49: 481-488.
- **Johnson E.J., Dorot O., Liu J., Chefetz B., & Xing B. 2007.** Spectroscopic characterization of aliphatic moieties in four plant cuticles. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 38(17-18): 2461-2478.
- **Jolivet, C., Boulonne, L., Ratié, C. 2006.** Manuel du réseau de mesure de la qualité des sols, édition 2006, Unité infosol, INRA Orléans, France, 190p.
- **Jordan D.C. 1984.** Rhizobiaceae. In: Kreig, N R (ed) Bergey's manuel of systematic Bacteriology 1: 234-256.
- **Jouzel J., Lorius C., Reynaud D. 2008.** Planète blanche. Les glaces, le climat et l'environnement, Bruxelles, Ed. O. Jacob.
- **Jung M. 2005.** The role of forestry sinks in the CDM: Analysing the effects of policy decisions on the carbon market. Document de travail HWWA, n° 241. Hambourg, Allemagne, Institute of International Economics.
- **Kabar K. 1987.** Alleviation of salinity stress by plant growth regulators on seed germination, *Journal of Plant Physiology*, 128(1-2): 179-183.
- **Kačuráková M., Wilson R. H. 2001.** Developments in mid-infrared FT-IR spectroscopy of selected carbohydrates. *Carbohydrate Polymers*, 44(4): 291-303.
- **Kadi Hanifi H. 1998.** L'alfa en Algérie. Thèse de Doctorat. Science. USTHB, Alger, 270p.
- **Kadik B. 1987.** Influence du climat sur la répartition naturelle du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Algérie. *Ann Rech Forest Algérie INRF*, 2, 61-106.
- **Kaiser M., Ellerbrock R.H. 2005.** Functional characterization of soil organic matter fractions different in solubility originating from a long-term field experiment. *Geoderma*. 127: 196-206.
- **Karabi M. 2016.** Fonctionnement microbiologique des sols oasiens. Cas de quelques sols de la region de Ouargla. Thèse de Doctorat, Université de Ouargla, 215 p.
- **Karabi M., B.Hamdi Aissa., S.Zenkhrri., A.Kemassi., N.Bouras. 2015.** Seasonal variations affect microbiocenose arid soils in the Ouargla basin (Algerian sahara). *Ciência e Técnica Vitivinicola* . 30: 0254-0223.
- **Karacan M.S. 2006.** Monitoring of changing chlorophyll content of Buxus sempervirens and Euonymus japonica leaves affected with air pollutants in Ankara, *World Journal of Agricultural Science*, 2(2):213-216.
- **Kaspari M., Garcia M. N., Harms K. E., Santana M., Wright S. J., & Yavitt J. B. 2008.** Multiple nutrients limit litterfall and decomposition in a tropical forest. *Ecology letters*, 11(1), 35-43.
- **Kaspari M., Yanoviak S. P. 2008.** Biogeography of litter depth in tropical forests: evaluating the phosphorus growth rate hypothesis. *Functional Ecology*, 22(5), 919-923.
- **Katembe WJ, Ungar IA, & Mitchell JP. 1998.** Effect of salinity on germination and seedling growth of two *Atriplex* species. *Annals of Botany*, 82:167–175.
- **Khademi H., Mermut A. R. 2003.** Micromorphology and classification of Argids and associated gypiferous Aridisols from central Iran. *Catena*, 54(3): 439-455.

- **Killian C.H. 1961.** Amélioration naturelle et artificielle d'un pâturage dans une réserve algérienne « Le Maghreb ». Mém. n°6 de la société d'histoire naturelle de l'Afrique. D.N. Ibr, 62p.
- **Kimmins J. P. 1996.** Importance of Soil and Role of Ecosystem Disturbance for Sustained Productivity of Cool temperate and Boreal Forest. *Soil Science Society of America Journal*, 60: 1643-1654.
- **Koerner W., Benoît M., Dambrine E., & Dupouey J.L. 1999.** Influence des anciennes pratiques agricoles sur la végétation et les sols des forêts reboisées dans le Massif vosgien. *Revue forestière française*, vol. LI, n° 2, 1999, pp. 231-238.
- **Körner C. 2007.** The use of 'altitude' in ecological research. *Trends in ecology & evolution*, 22(11): 569-574.
- **Krivtsov V., Bezginova T., Salmond Liddell K., Garside A., Thompson J., Palfreyman J.W., Staines H.R., Brendler A., Griffiths B., Watling R. 2006.** Ecological interactions between fungi, other biota and forest litter composition in a unique Scottish woodland. *Forestry*, 79(2): 201–216.
- **Kurz-Besson C. 2000.** Décomposition de litières de pin (*Pinus sylvestris*, *P. halepensis*, et *P. pinaster*) dans un transect climatique européen: rôle de la qualité des litières et du climat. Thèse de Doctorat, Université Paris-Sud, France, 280p.
- **Labani A. 2005.** Cartographie écologique et évaluation permanente des ressources naturelles et des espaces productifs dans la wilaya de Saida. Thèse de Doctorat. Université de Sidi Bel Abbes. 231p.
- **Lachiheb K., Neffati M., & Zid E. 2004.** Aptitudes germinatives de certaines graminées halophytes spontanées de la Tunisie méridionale. In : Ferchichi A. (comp.), Ferchichi A. (collab.). Réhabilitation des pâturages et des parcours en milieux méditerranéens. Zaragoza : CIHEAM, 2004. p. 89 -93.
- **Lagacé B.J. 2009.** Caractérisation des stocks de carbone de 5 types de formations végétales dans un secteur du bassin versant de la rivière Eastmain, Baie James. Univ du Québec à Montréal. 158p.
- **Lal R., Blum W.E.H., Valentin C., Stewart B.A., eds. 1997.** Methods for Assessment of Land Degradation. Boca Raton: CRC.
- **Larcher W. 1995.** Plant under stress. In, Physiological plant ecology. Third edition. Springer. 321-448.
- **Lauber C. L., Hamady M., Knight R., & Fierer N. 2009.** Pyrosequencing-based assessment of soil pH as a predictor of soil bacterial community structure at the continental scale. *Appl. Environ. Microbiol.*, 75(15): 5111-5120.
- **Lavabre J., Andreassian V., Laroussinie O. 2000.** Eaux et forêts. la forêt, un outil de gestion des eaux ?, Cahors, CEMAGREF Éditions, Paris, 116 p.
- **Lavelle P., Blanchart E., Martin A., Spain A., Toutain F., Barois I., & Schaefer R., 1993.** A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soil of the humid tropics. *Biotropica*, 25: 130–150.
- **Lazzeri Y., Chiappero M. 2013.** Construire des quartiers durables en Méditerranée: une ingénierie territoriale à renouveler. Université Paul Cézanne - Aix-Marseille 3.

- **Le Houérou H.N. 1980.** L'impact de l'homme et de ses animaux sur la forêt méditerranéenne. 2^{ème} partie. Forêt méditerranéenne.155-174.
- **Le Houérou H.N. 1995.** Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. Centre international de hautes études agronomiques méditerranéennes, Institut agronomique méditerranéen de Montpellier.
- **Le Houérou H.N. 2005.** The isoclimatic mediterranean biomes: bioclimatology, diversity and phytogeography, vols 1, 2. Copymania Publication, Montpellier.
- **Le Houérou H.N. 1988.** L'impact de l'homme et de ses animaux sur la forêt méditerranéenne. *For. méd.*, 2(1): 31-44; n° 2, 155-174.
- **Lee C.H. 1968.** Geographic variation in European black pine. *Silvae genetica*, 17(5/6): 165-74.
- **Lehner A. 2014.** La nutrition hydrique et minérale chez les plantes. Laboratoire de glyco-biologie et matrice extracellulaire végétale, université de Rouen. (<http://www.univ-rouen.fr/GlycoMEV/>).
- **Leneuf N., Mangenot G. 1959.** Un exemple de relation entre les sols et la végétation dans les tropiques humides. *Col. Soc. Bot. Fr. Paris*.
- **Leonard J.P. 2003.** Forêt vivante ou désert boisé ? la forêt française à la croisée des chemins, L'Harmattan, Paris, 311 p.
- **Letreuch-Belarouci A. 2010.** Caractérisation structurale des subéraies du parc national de Tlemcen, régénération naturelle et gestion durable .Thèse de Docorat. Dép., Forest., Fac. Sc, Univ.Tlemcen, 209 p.
- **Letreuch-Belarouci N. 1991.** Les reboisements en Algérie et leurs perspectives d'avenir. Office des publications universitaires.
- **Letreuch-Belarouci N. 1995.** Sylviculture spéciale. Éléments de réflexion de la mise en valeur des taillis de chêne vert. Etude d'un cas concret. Polycopié O.P.U. Alger, 66p.
- **Lindner M., Maroschek M., Netherer S., Kremer A., Barbati A., Gordi-Gonzalo J., Seidl R., DelzonS., Corona P., Kolström M., Lexer M.J., & Marchetti M. 2010.** Climate change impacts, adaptativecapaity, and vulnerability of european forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259(4): 698-709.
- **Loggini B, Scartazza A, Brugnoli E., & Flavia Navari-Izzo. 1999.** Anti oxidative Defense System, Pigment Composition, and Photosynthetic Efficiency in Two Wheat Cultivars Subjected to Drought, *Plant physiology*, 119(3), 1091-1100.
- **Lopes F. 1996.** O sobreiro e a cortiça. - Revista Florestal 9: 2.
- **Lossaint P.1959.** Etude expérimentale de la mobilisation du fer des sols sous l'influence des litières forestières Ann agron 10: 369-542
- **Louni D. 1994.** Les forêts algériennes. Forêt méditerranéenne. t. XV n° 1 :59-63.
- **Lovero M. 2015.** Les forêts méditerranéennes, une longue histoire entre l'homme et l'écosystème. Les forêts méditerranéennes participent activement au XIV^e Congrès forestier mondial. 7 – 11 septembre 2015, Durban, Afrique du Sud.
- **Lucas G. 1952.** Bordure nord des Hautes Plaines dans l'Algérie occidentale. Primaire. Jurassique. Analyse structurale. Monogr. Région XIXème. Congr. géol.inter. Alger, sér.1,n°21, 139 p.

- **Lynn W.C. Pearson M.J. 2000.** The Color of Soil, The Science Teacher, May 2000 :https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/edu/?cid=nrcs142p2_054286
- **M'hirit O., Maghnouj M. 1994.** Stratégie de conservation des ressources génétiques forestières au Maroc. *Les ressources phytogénétiques et développement durable. Actes Editions, Rabat, Maroc*, 123-138.
- **Madoui A. 2002.** Les incendies de forêts en Algérie. Historique, bilan et analyse. *Forêt méditerranéenne*, 23(11) : 23-30.
- **Maignien R. 1948.** Extension des sols bruns et des sols bruns rouges en Mauritanie, au Sénégal et au Soudan. Commonwealth conference of tropical soils rothamstead (Angleterre).
- **Maillard J. 2001.** Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne. Risques et recommandations. *Handicap International*, 34p.
- **Malagnoux M., Sene E. H., & Atzmon N. 2007.** Les forêts, les arbres et l'eau dans les terres arides: un équilibre précaire. *Unasylva*, 229(58): 24-29.
- **Mangenot F. 1980.** Les litières forestières, signification écologique et pédologique. *Revue Forestiere Francaise*, 4 : 339-355.
- **Marchand H. 1990.** Les forêts méditerranéennes. Enjeux et perspectives. *Les fascicules du Plan Bleu*, 2. Economica, Paris. 108 p.
- **Martinez-Mena M., Alvarez Rogel J., Albaladejo J., Castillo V.M. 1999.** Influence of vegetal cover on sediment particle size distribution in natural rainfall conditions in a semi arid environment. *Catena*, 38 (3): 175-190.
- **Mathieu C. 1998.** Analyse physique des sols .Paris ,275p.
- **Mathieu C., Pieltain F. 2003.** Analyse chimique des sols. Ed. Tec et doc. Lavoisier, Paris, 292 p.
- **McLellan T.M., Aber J.D., Martin M.E., Melillo J.M., Nadelhoffer K.J. 1991.** Determination of nitrogen, lignin, and cellulose content of decomposing leaf material by near infrared reflectance spectroscopy. *Canadian Journal of Forest Research* 21: 1684–1688.
- **MEA. 2005.** Ecosystems and Human Well-being: Washington, Covelo, London, Mylenium Ecosystem Assesment Board, 918 p.
- **Médail F., Quezel P. 1999.** Biodiversity hotspots in the Mediterranean Basin: setting global conservation priorities. *Conservation biology*, 13(6): 1510-1513.
- **Médail F., Quezel P.1997.** Hot-spots analysis for conservation of plant biodiversity in the Mediterranean Basin. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 112-127.
- **Meddour S.O., Meddour R., & Derriidj A. 2008.** Analyse des feux de forêts en Algérie sur le temps long (1876-2007). Les notes d'analyse du CIHEAM n°39, 24p.
- **Melalih A. 2011.** Analyse des techniques de conservation de l'eau et du sol dans la zone aride cas bassin versant d'Ain Sefra. Systèmes de cultures intégrés et gestion conservatoire. Université de Tlemcen. 133p.
- **Mer M. E. 1883.** Recherches sur les causes de la structure des feuilles. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 30(3), 110-129.
- **Mergen F. 1963.** Ecotypic variation in *Pinus strobus* L. *Ecology*, 44(4):716-727.

- **Mergen F., Stairs G. R., & Snyder E. B. 1965.** Natural and controlled loblolly x shortleaf pine hybrids in Mississippi. *Forest Science*, 11(3): 306-314.
- **Merzag D., Ziane M. 2013.** Les incendies des forêts en Algérie et leurs impacts sur l'environnement. Université de Houari Boumediene, *Geotunis*. 13p.
- **Mezali M. 2003.** Forum des Nations Unies sur les forêts (3ème session, Genève). Alger : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural et Direction Générale des Forêts, 9 p.
- **Mezali M. 2003.** Rapport sur le secteur forestier en Algérie. In 3ème session du forum des Nations Unies sur les forêts, 7 : 39-46.
- **M'Hirit O. 1999.** Mediterranean forests: ecological space and economic and community wealth. UNASYLVA-FAO-, 3-15.
- **Michel B.E., Kaufman R.M., 1973.** The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology* 51, 914–916.
- **Miller, N. 1993.** Expression d'une thermo tolérance au niveau de la fonction du photosystème II. Thèse de Doctorat. Université du Québec pour la maîtrise en biophysique, 159p.
- **Missoumi A., Mederbal K., & Benbdelli K. 2002.** Apport des SIG dans la prévention et la lutte contre les incendies de forêt. Exemple de la forêt domaniale de Kounteidat, Algérie. *Forêt Méditerranéenne* t. XXIII, n° 1 : 11-22.
- **Montanarella L. 1999.** Soil at the interface between agriculture and environment. *Agriculture, Environment, Rural Development: facts and figures–A challenge for agriculture*.
- **Moore J.C., de Ruiter P.C., Hunt H.W. 1993.** Influence of productivity on the stability of real and model ecosystems. *Science*, 261: 906-908.
- **Moore T. R., Trofymow J. A., Taylor B., Prescott C., Camire C., Duschene L., ... & Siltanen M. 1999.** Litter decomposition rates in Canadian forests. *Global Change Biology*, 5(1): 75-82.
- **Morel R., 1996.** Les sols cultivés. lavoisier. 2ème Edition. Paris, 378 p.
- **Mugnossa G., Scarascia Oswald H., Piussi P., & Radaglou K. 2000.** Forests of the Mediterranean region: Gaps in Knowledge and research needs. *For. Ecol. Manag.* 132: 97- 109.
- **Murdiyarso D., Robledo C., Brown S., Coto O., Drexhage J., Forner C., Kannin M., Lipper L., North N., & Rondón M. 2005.** Linkages between mitigation and adaptation in land-use change and forestry activities. Dans C. Robledo, C. Kanninen and L. Pedroni, eds. Tropical forests and adaptation to climate change: In search of synergies. Bogor, Indonésie, CIFOR.
- **Myers N., Mittermeier R. A., Mittermeier C. G., Da Fonseca G. A., & Kent, J. 2000.** Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853.
- **Nabuurs G. J., Masera O., Andrasko K., Benetiz-Ponce P., Boer R., Dutschke M., ... & Krankina O. 2007.** Forestry. In Climate change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 541-584).

- **Nahal L. 1962.** Le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill). Etude taxonomique. Phytogéographique, écologique et sylvicole. Ann. De l'Ecole nationale des Eaux et Forêts 19 (4), p533-627.
- **Nahal L. 1984.** Problèmes de désertification en région méditerranéenne. Départ des Sci. des Sols. INRA Paris-Grignon, 14: 71-103.
- **Nardi S., Tosoni M., Pizzeghello D., Provenzano M.R., Cilenti A., Sturaro A., Rella R., & Vianello A. 2005.** Chemical characteristics and biological activity of organic substances extracted from soils exudates. *Soil Science Society of America Journal*, 69: 2012-2019.
- **Ndour P., Danthu P. 2000.** Effet des contraintes hydrique et saline sur la germination de quelques acacias africains: Projet national de semences forestières du Sénégal 105-122.
- **Nedjimi B., Homida M. 2006.** Problématique des zones steppiques algériennes et perspectives d'avenir. *Revue El Bahith* 04.
- **Nedjraoui D. 2003.** Foresterie en zones arides - Guide à l'intention des techniciens de terrain. Document FAO. <http://www.fao.org/docrep/t0122f/t0122f03.htm#3.%>
- **Nedjraoui D. 2011.** Vulnérabilité des écosystèmes steppiques en Algérie. Séminaire Effet changement climatique sur l'élevage et la gestion durable des parcours dans les zones arides et semi-arides du Maghreb, 21-24.
- **Nedjraoui D., Bédrani S. 2008.** La désertification dans les steppes algériennes: causes, impacts et actions de lutte. *VertigO*, 8(1): 1-15.
- **Norby R.J., Richter D.D & Luxmoore R.J. 1985.** Physiological processes in soybean inhibited by gaseous pollutants but not by acid rain, *New Physiologist*, 100:79-85.
- **OMM. 2005.** Le climat et la dégradation des sols. Rapport organisation météorologique mondiale. Terre- climat – eau. OMM-N° 989 .34p.
- **OMS. 2007.** Changement climatique et santé humaine <https://www.who.int/globalchange/fr/>
- **Orshan G. 1986.** Plant form as describing vegetation and expressing adaptation to environment. *Annali di Botanica*, 44, 7-38.
- **Ouelmouhoub S. 2005.** Gestion multiusage et conservation du patrimoine forestier : cas des subéraies du Parc National d'El Kala (Algérie). Mémoire Master of Science du CIHEAM-IAMM : Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier. 129 p.
- **Ozenda P. 1977.** Flore du Sahara. Edit. du CNRS. 625p.
- **Ozenda P. 1985.** La végétation de la chaîne alpine dans l'espace montagnard européen. Masson, Paris.
- **PANE D-D. 2002.** *Plan d'Action national de l'Environnement et du Développement durable (PANE-DD)*, Inscrit et élaboré par la Commission Européenne, programme EC-LIFE & programme METAP administré par la BM & MATE.
- **Pany I. 2019.** Apport de la spectroscopie et de la chimiométrie pour le contrôle qualité de poudres de *Moringa oleifera* LAM. Thèse de Doctorat, Aix-Marseille université, 193p.
- **Papa S., Pellegrino A., Fioretto A. 2008.** Microbial activity and quality changes during decomposition of *Quercus ilex* leaf litter in three Mediterranean woods. *Applied Soil Ecology*, 40(3): 401-410.

- **Paul E. A. 2014.** Soil microbiology, *ecology and biochemistry*. Academic press. 598p.
- **Paul E.A., Collins H.P., Harris, D., Schulthess U., Robertson G.R. 1999.** Evolution of CO₂ and soil carbon dynamics in biologically managed, row-crop agroecosystems. *Appl. Soil Ecol.* 11:53–65.
- **Paul EA, Clark FE. 1996.** Soil microbiology and biochemistry, Academic Press, San Diego, CA, 340 p.
- **Pautrot C. 2012.** Érosion et dégradation des sols. *Mémoires de l'Académie nationale de METZ*. 203-221.
- **Paycheng C. 1980.** Méthodes d'analyses utilisées au laboratoire commun de Dakar Office de la recherche scientifique et technique outre-mer. 109p.
- **Pérez H.N, Diaz S, Vendramini F, Gurvich D.E., Cingolani A.M., Giorgis M., & Cabido M., 2007.** Direct and indirect effects of climate on decomposition in native ecosystems from central Argentina. *Austral Ecology*, 32 (7): 749-757.
- **Petit R. J., Aguinagalde I., de Beaulieu J. L., Bittkau, C., Brewer S., Cheddadi R., ... & Mohanty A. 2003.** Glacial refugia: hotspots but not melting pots of genetic diversity. *Science*, 300(5625), 1563-1565.
- **Petit R.J., Brewer S., Bordács S., Burg K., Cheddadi R., & Oledska I., 2002.** Identification of refugia and post-glacial colonisation routes of European white oaks based on chloroplast DNA and fossil pollen evidence, *For. Ecol. Manag.* 156: 49–74.
- **Pinault J. L. 2006.** La sensibilité des eaux souterraines au changement climatique. *Géosciences* 3, 56–62.
- **Plan Bleu, 2003.** Les menaces sur les sols dans les pays Méditerranéens, Etude Bibliographique, 70p.
- **PNUE. 2007.** Le changement climatique, rapport annuelle, 122p. disponible sur : https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7647/UNEP_AR_2007_FR.pdf?sequence=6&isAllowed=y.
- **Ponette Q., Bispo A., Brêthes A., Dupouey J. L., Feix I., Gégout J. C., Jabiol B, Pousse N., Ranger J. 2014.** Indicateurs de fertilité des sols forestiers tempérés: enjeux, approches et perspectives. *Rev. For. Fr.* LXVI – (4): 501-515
- **Post WM., King AW., Wullschleger SD. 1996.** Soil organic matter models and global Bibliographie 145 estimates of soil organic matter. In Powlson, D.S., Smith, P. & Smith, J.U., editors, *Evaluation of soil organic matter models: using existing long-term datasets*, Berlin and Heidelberg: Springer-Verlag, 201-22.
- **Prescott C. E., Blevins L. L., & Staley C. L. 2000.** Effects of clear-cutting on decomposition rates of litter and forest floor in forests of British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research*, 30(11): 1751-1757.
- **Prévosto B., Ripert C., Favand G., Lopez J. M., Esteve R., Martin W., & N'Diaye A. 2009.** Régénération du pin d'Alep en Basse Provence. Impact des traitements du sol, de la végétation et des rémanents. *Forêt méditerranéenne*, 30(1), p-3.
- **Puig H., Delobelle J. P. 1988.** Production de litière, nécromasse, apports minéraux au sol par la litière en forêt guyanaise. *Revue d'écologie* vol. 43.

- **Qasemian L., Guiral D., & Farnet A. M. 2014.** How do microlocal environmental variations affect microbial activities of a *Pinus halepensis* litter in a Mediterranean coastal area?. *Science of the Total Environment*, 496 : 198-205.
- **Quézel P. 1976.** Les forêts du pourtour méditerranéen. In Forêts et maquis méditerranéens: écologie, conservation et aménagement. Note technique MAB, 2: 9-33. UNESCO, Paris.
- **Quézel P. 1985.** Definition of the Mediterranean region and the origin of its flora. *Geobotany*.
- **Quezel P. 2000.** Taxonomy and biogeography of Mediterranean pines (*Pinus halepensis* and *P. brutia*). Ecology, biogeography and management of *Pinus halepensis* and *P. brutia* forest ecosystems in the Mediterranean Basin. Backhuys Publishers, Leiden, 1-12.
- **Quezel P., Barbero M. 1989.** Les formations à genévrier rampant du Djurdjura. Leur signification écologique, dynamique et syntaxonomique dans une approche globale des cédraies Kabyles. *Lazaroa*, 11 : 85-99.
- **Quezel P., Barbero M. 1990.** Les forêts Méditerranéennes, problèmes posés par leur signification historiques, écologique et leur conservation. *Acta. Botanica Malacitana* 15 pp : 145-178.
- **Quézel P., Médail F. 2003.** Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. *Elsevier*. Paris, 571p.
- **Quezel P., Santa S. 1962.** Nouvelles flores de l'Algérie et des régions méridionales. CNRS. Paris, 1700p.
- **Raison R. J., Woods, P. V., & Khanna, P. K. 1986.** Decomposition and accumulation of litter after fire in sub-alpine eucalypt forests. *Australian Journal of Ecology*, 11(1): 9-19.
- **Ramade F, 2003.** Eléments d'écologie, Ecologie fondamentale. 3^{ème} édition. Paris, 690p.
- **Ramade F. 1991.** Conservation des écosystèmes méditerranéens: enjeux et perspectives. Les fascicules du Plan Bleu, 3. Economica, Paris.
- **Rapp M. 1969.** Production de litière et apport au sol d'éléments minéraux dans deux écosystèmes méditerranéens: la forêt de *Quercus ilex* et la garrigue de *Quercus coccifera*. *Oecol. Plant.* 4 (4): 377–410.
- **Rey F., Ballais J. L., Marre A., & Rovera G. 2004.** Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface. *Comptes rendus géoscience*, 336(11): 991-998.
- **Rey, F., Berger, F. 2003.** Interactions végétation-érosion et génie écologique pour la maîtrise de l'érosion en montagne. *Cemagref Grenoble*. 8p.
- **Ribeiro da Luz, B. 2006.** Attenuated total reflectance spectroscopy of plant leaves: a tool for ecological and botanical studies. *New Phytologist*, 172(2): 305-318.
- **Righi D., Wilbert J. 1984.** Les sols sableux podzolisés des Landes de Gascogne (France): répartition et caractères principaux. *Science du sol*, (4), 253-264.
- **Rivas-Martínez S. 2004.** Global bioclimatics. *Classificación Bioclimática de la Tierra*.
- **Rivas-Martínez, S. 1991.** Bioclimatic belts of West Europe (relations between bioclimate and plant ecosystems). Proc. Eur. School Climate Nat. Hazards Course (Arles, 1990). 225-246.

- **Robert M. 1996.** Le sol interface dans l'environnement ressource pour le développement Ed. Masson. Paris ; 243 p.
- **Robert M. 1996.** Le Sol, Masson, 241 p.
- **Rocco M., Lomaglio T., Loperte A., & Satriani A. 2013.** Metapontum forest reserve: Salt stress responses in *Pinus halepensis*. *American Journal of Plant Sciences*, 4(03), 674.
- **Rodríguez-Calcerrada J., Martin-StPaul N. K., Lempereur M., Ourcival, J. M., del Rey, M. D. C., Joffre, R., & Rambal, S. 2014.** Stem CO₂ efflux and its contribution to ecosystem CO₂ efflux decrease with drought in a Mediterranean forest stand. *Agricultural and Forest Meteorology*, 195, 61-72.
- **Roger J.M. 2005.** Développements chimiométriques pour améliorer la robustesse des mesures spectrométriques appliquées aux agro-procédés. Habilitation à Diriger des Recherches, section Mathématiques Appliquées et Application des Mathématiques, Université de Montpellier II. 60 p.
- **Rome S., Fernandez M. P., Brunel B., Normand P., & Cleyet-Marel J. C. 1996.** *Sinorhizobium medicae* sp. nov., isolated from annual *Medicago* spp. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 46(4), 972-980.
- **Romo S, Emilla L, Dopico, B., 2001.** Water Stress-regulated gene expression in *Cicer arietinum* seedlings and plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 39(11): 1017-1026.
- **Roose E. 1984.** Impact du défrichement sur la dégradation des sols tropicaux. *Machinisme Agricole Tropical*, 87 : 24-36.
- **Roose E., Arabi M., Brahania K., Chebbani R., Mazour M., & Morsli B. 1993.** Érosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne. *Cahiers Orstom, série Pédologie*, 28(2): 289-308.
- **Ruellan A. 1971.** Les sols de la base moulouya (Maroc oriental). Cah. ORSTOM. N° 54, 302 p.
- **Ruellan A. 1976.** Morphologie et répartition des sols calcaires dans les régions Méditerranéennes et désertiques, Ann. Agro. INA. Vol VI. N°1, pp 11-39.
- **Rumpel C., Rabia N., Derenne S., Quenea K., Eusterhues K., Kögel-Knabner I., & Mariotti A. 2006.** Alteration of soil organic matter following treatment with hydrofluoric acid (HF). *Organic Geochemistry*, 37: 1437-1451.
- **Sabaté S., Graciaa C.A., Sánchez A. 2002.** Likely effects of climate change on growth of *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica* forests in the Mediterranean region. *Forest Ecology and Management*, 162: 23-37.
- **Sabine C. L., Heimann M., Artaxo P., Bakker D. C., Chen C. T. A., Field C. B., & Lankao P. R. 2004.** Current status and past trends of the global carbon cycle. Scope-scientific committee on problems of the environment international council of scientific unions, 62, 17– 44.
- **Sadio S. 1989.** Pédogenèse et potentialités forestières des sols sulfatés acides salés des tannes du sine saloum, sénégal. These de Doctorat. Landbouw universitie, wageningen, 270 p.
- **Saetre P. 1998.** Decomposition, microbial community structure and earthworm effects along a birch spruce soil gradient. *Ecology*, 79(3): 834-846.

- **Salamani M., Kadi Hanifi H., Hirche A., & Nedjraoui D. 2013.** Évaluation de la sensibilité à la désertification en Algérie. *Revue d'écologie*. 67 :71-84.
- **Salleles J. 2014.** Étude du devenir de l'azote dérivé des litières dans le sol et dans l'arbre sur le moyen terme dans les forêts de hêtres par traçage isotopique et modélisation. Thèse de Doctorat, Université de Lorraine. 220p.
- **SATEC. 1976.** Etude développement intégré de la daïra de Saida. Rapport technique, 93p.
- **Sayer E.J. 2005.** Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. *Biological Review*, 80(1): 1–31.
- **Schmid M 1970.** avec des compléments de J. Bosser chapitre VIII la végétation et les conditions édaphiques OVATY-PARIS dépôt légale n 6, 19p.
- **Schnürer J., Clarholm M., & Rosswall T. 1985.** Microbial biomass and activity in an agricultural soil with different organic matter contents. *Soil Biology and Biochemistry*, 17(5): 611-618.
- **Schoettle A.W., Rochelle S.G. 2000.** Morphological variation of *Pinus flexilis* (Pinaceae), a bird-dispersed pine, across a range of elevations. *American Journal of Botany*, 87(12): 1797-1806.
- **Scott S.J., Jones R.A., & Williams W.A. 1984.** Review of data analysis methods for seed germination. *Crop science*, 24(6): 1192-1199.
- **Seigue A. 1985.** La forêt circum méditerranéenne et ses problèmes. Techniques agricoles et productions méditerranéennes. g.-p. *Maisonneuve et Larousse*. 502 p.
- **Seltzer P. 1946.** Le climat de l'Algérie. Ed : Institut de météorologie et de physique du globe. Alger. 218 p.
- **Seppälä R., Buck A & Katila P. (éds.). 2009.** Adaptation of forests and people to climate change. A global assessment report. IUFRO World Series Volume 22, Helsinki. 224 p.
- **Servant J.M. 1970.** Etude expérimentale de l'influence des conditions salines sur la perméabilité des sols, conséquences pédologiques. *Sci. du Sol*. 2: 87- 103.
- **Sidari M., Mallamaci C., Muscolo A. 2008.** Drought, salinity and heat differently affect seed germination of *Pinus pinea*. *Journal of Forest Research*, 13: 326–330.
- **Simonson R. W. 1991.** Soil science—goals for the next 75 years. *Soil Science*, 151(1) : 7-18.
- **Skouri M. 1994.** Les dégradations du milieu. Les mesures de protection. . Paris *CR Acad. Agri. Fran.*, 80(9): 49-82.
- **Smith B.C. 1999.** Infrared spectral interpretation: a systematic approach. CRC Press, 1999. 265p.
- **Smith C. K., Coyea M. R., & Munson A. D. 2000.** Soil carbon, nitrogen, and phosphorus stocks and dynamics under disturbed black spruce forests. *Ecological Applications*, 10(3): 775-788.
- **Soubeyroux J. M., Kitova N., Blanchard M., Vidal J. P., Martin E., & Dandin P. 2012.** Caractérisation des sécheresses des sols en France et changement climatique: Résultats et applications du projet ClimSec.

- **Soudi B., Chiang CN., Berdai H., Naaman F. 2003.** Statut du cycle de l'azote et de la matière organique en zones semi-arides irriguées et d'agriculture pluviale, 24p.
- **Sterner R.W. Elser J.J. 2002.** Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere. Princeton University Press, Princeton, NJ. 439p.
- **Stewart P. 1968.** Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique. Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, 59, pp. 23-36.
- **Szabolc SL. 1992.** Salinization of soil and water and its relation to desertification, Desertification control bulletin, 21: 32-37.
- **Szabolcs I. 1992.** Salinization of soil and water and its relation to desertification. *Desertification Control Bulletin*, (21) : 32-37.
- **Tardif A. 2013.** Prédiction des taux de décomposition des litières végétales par les traits fonctionnels agrégés Thèse de doctorat. Université de Sherbrooke et Université Blaise Pascal – Clermont-Ferrand II École Doctorale Sciences de la Vie, Santé, Agronomie, Environnement. 165p.
- **Tassin C. 2012.** Paysage végétal du domaine méditerranéen. IRD Éditions – 424p.
- **Tate R.L. 1987.** Soil organic matter: biological and ecological effects. *Biochemistry*, 57 : 282-291.
- **Taylor B. R., Parkinson D., Parsons W. F. 1989.** Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates: a microcosm test. *Ecology*, 70(1): 97–104.
- **Tenenhaus M. 1998.** La régression PLS. Théorie et pratique, Editions Technip, Paris.
- **Terhoeven-Urselmans T., Michel K., Helfrich M., Flessa H., & Ludwig B. 2006.** Near infrared spectroscopy can predict the composition of organic matter in soil and litter. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 169, 168–174.
- **Terras M. 2011.** Typologie, cartographie des stations forestières et modélisations des peuplements forestiers. Cas des massifs forestiers de la wilaya de Saida. Thèse de Doctorat. Université de Tlemcen, 386p.
- **Tessier D., Bruand A., Le Bissonais Y., & Dambrine E. 1996.** Qualité chimique et physique des sols: spatiale et évolution. *Étude et Gestion des Sols*, 229-244.
- **Thaiutsa B., Granger O. 1979.** Climate and the decomposition rate of tropical forest litter. *Unasylva*, 126: 28-38.
- **Thalouarn P. 1975.** Stimulation de la germination de *Pinus halepensis* Mill. par administration successive d'ions mercure et chlore. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, série D, 280, 275-278.
- **Thalouarn P., Gautheret M. R. 1976.** Stimulation de la germination de *Pinus halepensis* Mill. par administration successive d'ions mercure et chlore; recherche des mécanismes en cause. *CR Acad. Sci. Paris*, 282, 1857-1860.
- **Thanos C.A., Skordilis A. 1987.** The effects of light, temperature and osmotic stress on the germination of *Pinus halepensis* and *P. brutia* seeds, *Seed Sci. Technol.* 15: 163-174.
- **Thiombiano L. 2015.** The living soils of Africa. in Sustainable Soil Management: Key to Food Security and Nutrition in Africa; Nature & Faune, Foday Bojang, Ada Ndeso-Atanga. FAO Regional Office for Africa (eds) (30) 1, 13-14.

- **Tian G., Kang B. T., & Brussaard L. 1992.** Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions decomposition and nutrient release. *Soil Biology and Biochemistry*, 24(10): 1051-1060.
- **Tillier S. 2011.** Gérer durablement la forêt Méditerranéenne: exemple du parc naturel régional des Alpilles. Thèse de doctorat. Université du Maine. 395p.
- **Tinoco P., Almendros G., Sanz J., Gonzalez-Vazquez R., & González-Vila F.J. 2006.** Molecular descriptors of the effect of fire on soils under pine forest in two continental Mediterranean soils. *Organic Geochemistry*. 37: 1995-2018.
- **Tisdall J.M., Oades J.M. 1982.** Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33(2): 141-163.
- **Tiwari S. P., Kumar P., Yadav D., & Chauhan D. K. 2013.** Comparative morphological, epidermal, and anatomical studies of *Pinus roxburghii* needles at different altitudes in the North-West Indian Himalayas. *Turkish Journal of Botany*, 37(1): 65-73.
- **Toberman H., Evans C. D., Freeman C., Fenner N., White M., Emmett B. A., & Artz R. R. 2008.** Summer drought effects upon soil and litter extracellular phenol oxidase activity and soluble carbon release in an upland *Calluna* heathland. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(6): 1519-1532.
- **Tomaselli R. 1976.** La dégradation du maquis méditerranéen. In *Forêts et maquis méditerranéens: écologie, conservation et aménagements*. UNESCO, Paris. *Note technique MAB*, 2: 34-75.
- **Trabaud L. 1976.** Inflammabilité et combustibilité des principales espèces de la garrigue. *Oecol. Plant*, 11 : 117 -136.
- **Tremblay G. 2015.** L'effet rotation : mythe ou réalité. *Grandes Cultures*, Janvier 2015.
- **Tzedakis P. C., Lawson I. T., Frogley M. R., Hewitt G. M., & Preece R. C. 2002.** Buffered tree population changes in a Quaternary refugium: evolutionary implications. *Science*, 297(5589): 2044-2047.
- **UE. 2011.** Les sols, la face cachée du cycle climatique, 24 p.
- **UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification). 2011.** Desertification, une synthèse visuelle. 50 p. http://catalogue.unccd.int/10_Desertification_FR.pdf
- **Ungar I. A. 1978.** Halophyte seed germination. *The Botanical Review*, 44(2): 233-264.
- **Ungar I. A. 1982.** Germination ecology of halophytes. *Contributions to the ecology of halophytes*, 143-154.
- **Ungar I.A. 1991.** *Ecophysiology of vascular halophytes*. crc press, boca. raton, 209 p.
- **USDA. 1998.** Soil quality resource concerns : Soil biodiversity. USDA Natural Resources Conservation Service, January 1998. www.nssc.nrcs.usda.gov
- **Van Aufsess. 1976.** Enquête sur la possibilité de distillation de gomme du pin d'Alep dans le massif des Aurès, Ministère de l'agriculture, 49p.
- **Vennetier M., Cecillon L., Guénon R., Schaffhauser A., Vergnoux A., Boichard J. L., ... & Chandioux, O. 2008.** Etude de l'impact d'incendies de forêt répétés sur la biodiversité et sur les sols: recherche d'indicateurs. *Rapport final. Cemagref, Ministère de l'Agriculture et de la pêche, Union Européenne*, Aix en Provence, 236p.

- **Vennetier M., Girard F., Didier C., Ouarmim S., Ripert C., Misson L., Esteve R., Martin W., & Ndyaye A 2011.** Adaptation phénologique du pin d'Alep au changement climatique. *Forêt méditerranéenne*, (32)2: 151-167.
- **Vennetier M., Ladier J., & Rey F. 2014.** Le contrôle de l'érosion des sols forestiers par la végétation face aux changements globaux. *Revue Forestière Française*, Ecole nationale du génie rural, LXVI(4): 467-478.
- **Verburg P. S. J., VanDam D., Hefting M. M., Tietema A. 1999.** Microbial transformations of C and N in a boreal forest floor as affected by temperature. *Plant Soil* 208: 187-197.
- **Verhey R., Deloffre J., Brun cottan JC., Lafite R. 2010.** The effect of wave- induced on intertidal mudflats: impacts traffic and wind. *Continental Shelt Recherche*, 27(5): 594-612.
- **Vernet J.L. 1997.** L'homme et la forêt Méditerranéenne de la préhistoire à nos jours, Editions Errance, Paris, 248 p.
- **Vile D., Garnier E., Shipley B., Laurent G., Navas ML., Roumet C. 2005.** Specific leaf area and dry matter content estimate thickness in laminar leaves. *Annals of Botany*. 96:1129–1136.
- **Vincent J.M. 1970.** A Manual for the Practical Study of Root Nodule Bacteria. IBP handbook, no. 15. Blackwell Scientific Publications, Ltd., Oxford, England.
- **Vitousek P.M. 1984.** Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests. *Ecology*, 65: 285–298.
- **Vogel R. M., Wilson I., & Daly C. 1999.** Regional regression models of annual stream flow for the United States. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 125(3): 148-157.
- **Walser M., Schneider Mathis D., Köchli R., Stierli B., Maeder, M., & Brunner I. 2018.** Le sol forestier vit – diversité et fonctions des organismes vivants du sol. Not. prat. 60. 12.
- **Walter C., Chaussod R., Cluzeau D., Curmi, P., & Hallaire V. 2002.** Caractérisation, déterminisme et surveillance de la qualité des sols en milieu limoneux acide. Rennes; UMR 6553 Ecobio. 181p.
- **Walter H., Lieth H. 1967.** Klimadiagramm Weltatlas. VEB Gustaf Fischer Verlag, Jena.
- **Wardle D. A. 1992.** A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. *Biological Reviews* 67: 321-358.
- **Wardle D. A., Ghani A. 1995.** A critique of the microbial metabolic quotient (qCO₂) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. *Soil Biology and Biochemistry*, 27(12): 1601-1610.
- **Wardle D.A. 1998.** Controls of temporal variability of the soil microbial biomass - a global-scale synthesis. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(13), 1627-1637.
- **Waring R. H., Schlesinger W. H. 1985.** Decomposition and forest soil development. 181-210 in Academic Press, ed. Forest ecosystems: concepts and management. Harcourt Brace Jovanovich, Orlando.

- **Wiebe B.H., Eilers R.G., Eilers W.D., & Brierley J.A. 2001.** Salinité du sol. L'agriculture écologiquement durable au Canada: Série sur les indicateurs agroenvironnementaux - Rapport n° 2.
- **Wilson R.H., Smith A.C., Kačuráková M., Saunders P.K., Wellner N., & Waldron K. W. 2000.** The mechanical properties and molecular dynamics of plant cell wall polysaccharides studied by Fourier-transform infrared spectroscopy. *Plant Physiology*, 124(1), 397-406.
- **Yanis A. 2009.** Que faire pour sauver la forêt algérienne ? Albertine Sarrazin. Publications Docs, 10p.
- **Yildirim E., Guvenc I. 2006.** Salt tolerance of oaoer cultivars during germination and seedling growth. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30(5): 347-353.
- **Zak D. R., Holmes W. E., White D. C., Peacock A. D., & Tilman, D. 2003.** Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: are there any links?. *Ecology*, 84(8): 2042-2050.
- **Zhanfeng L.A., Guohua L.A., Bojie F., & Xiao X.Z. 2007.** Relationship between plant species diversity and soil microbial functional diversity along a longitudinal gradient in temperate grasslands of Hulunbeir, Inner Mongolia, China. *The Ecological Society of Japan*. 353-357.
- **Zid E., Grignon C. 1991.** Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. ed. *john libbey. eurotext*, paris : 91-104.
- **Zouidi M, Borsali AH, Allam A, Gros R. 2017b.** Microbial properties of coniferous forest soils in the semi-arid and arid areas of western Algeria. : *The First International Conference On Biotechnology Beni Mella Morocco : Perspectives Beyond 2020* December18 And 19, 2017 Univ Soltan Moulay Slimane p31.
- **Zouidi M., Borsali A.H., Allam A., & Gros R. 2018.** Characterization of coniferous forest soils in the arid zone. *Forestry Studies. Metsanduslikud Uurimused* 68: 64–74. DOI: 10.2478/fsmu-2018-0006.
- **Zouidi M., Borsali A.H., Allam A., Gros R 2019c.** Quality Estimation of the Western Algeria Forest Soils, *Malaysian journal of soil science*, 23:87-98.
- **Zouidi M., Borsali A.H., Allam A., Gros R. 2019b.** Microbial activities and physicochemical properties of coniferous forest soils in two forest areas (arid and semi-arid) of western Algeria. *BOSQUE* 40(2): 163-171, DOI: 10.4067/S0717-92002019000200006.
- **Zouidi M., Borsali A.H., Kefifa A., Allam A., keddouri N., Gros R. 2019a.** Impact of the aridity gradient on the physico-chemical parameters of the needles of "*Pinus halepensis* Mill." in the western Algeria. *Indian Journal of Ecology*. 46(1): 137-142.
- **Zouidi M., Borsali AH, 2017 :** Contribution à l'étude des caractères physico - chimiques et microbiologiques des sols forestiers sous l'espèce « *Pistacia lentiscus* L. » dans le semi aride. Cas de Djebel Sidi Ahmed Zeggai, Saida, Algerie. *Genetics and Biodiversity Journal* Special issue proceding .2^{ed} Workshop international Management and Genetic Improvement of Plant and Microbial.

Annexes

Annexe 01. Stations d'échantillonnages de la zone semi-aride (Zouidi, 2017).



Station 01



Station 02



Station 03



Station 04



Station 05

Annexe 02. Stations d'échantillonnages de la zone aride (Zouidi, 2017).



Station 01



Station 02



Station 03



Station 04



Station 05

Annexe 03. Préparation des milieux de culture.

1. Préparation des milieux de culture

Milieu de culture pour les bactéries:

Gélose nutritive à l'extrait de terre (POCHON, 1954)

Extrait de viande.....	1g
Extrait de levure.....	2g
Chlorure de sodium.....	5g
Peptone.....	10g
Agar agar.....	15g
Extrait de terre.....	100 ml

-Dissoudre les constituants dans 900 ml d'eau distillée, puis dans l'autoclave à 121°C pendant 15 min

2. Préparation de l'extrait de terre

- Choisir une terre assez riche (type terre de jardin) de pH neutre ou légèrement alcalin et autant que possible, employer toujours la même terre.
- mélanger à poids égal terre et eau du robinet (s'il n'est pas exagérément chlorée), ou mieux utilisé une eau de source ou de puits. Laisser macérer 24h à la température du laboratoire.
- Porter à l'autoclave 1h à 30°C. Laisser décanter et filtrer à chaud sur papier filtre.
- Vérifier le pH qui doit être voisin de la neutralité. Repartir dans des récipients bouchés au coton et stériliser 20 minutes à 112°C.

3. Milieu de culture des champignons (OGA)

OGA.....	30g
Eau distillée.....	1000 ml

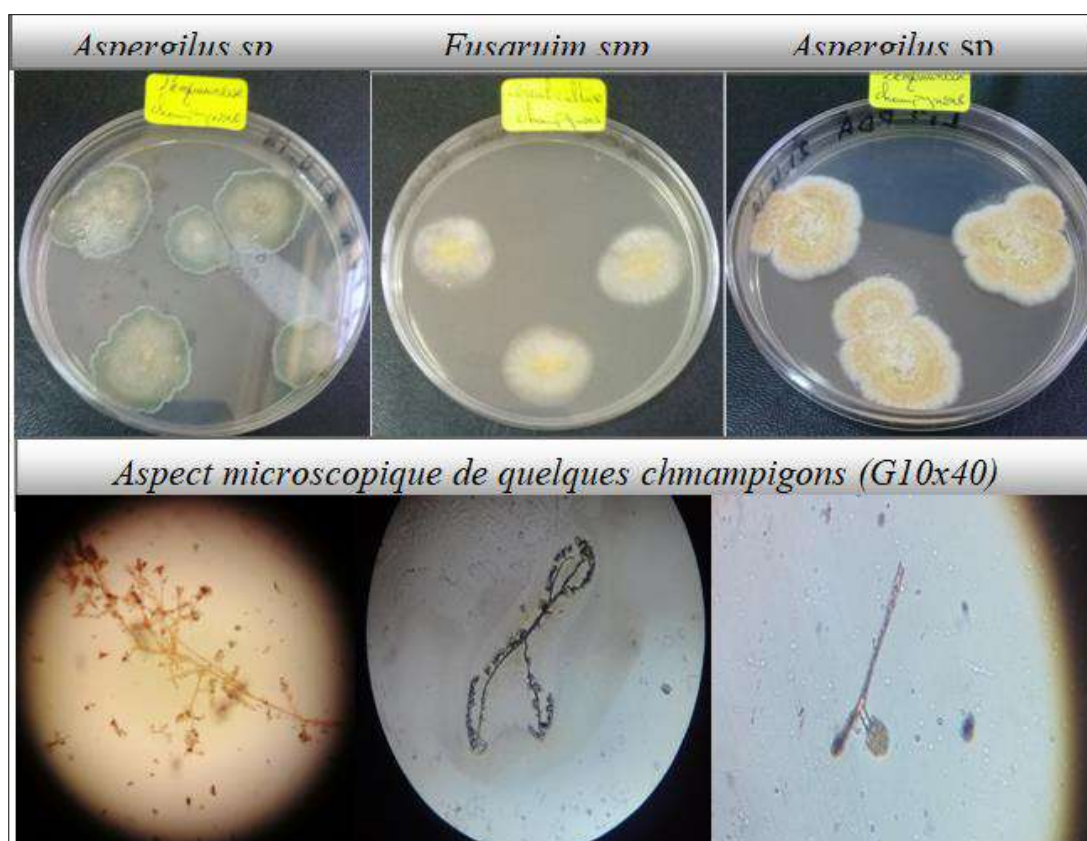
La préparation de ces milieux et comme suit:

- dissoudre sous un bec bunsen les constituants du milieu dans une petite quantité d'eau distillée puis compléter le volume jusqu'à un litre.
- ajuster le pH de milieu.
- repartir le mélange dans des flacons fermé et autoclavés à 112 °C pendant 20 min.
- conserver le milieu au réfrigérateur jusqu'au moment de l'utilisation.

4. Milieu de culture de *Rhizobium* YEM (yeast Extract)

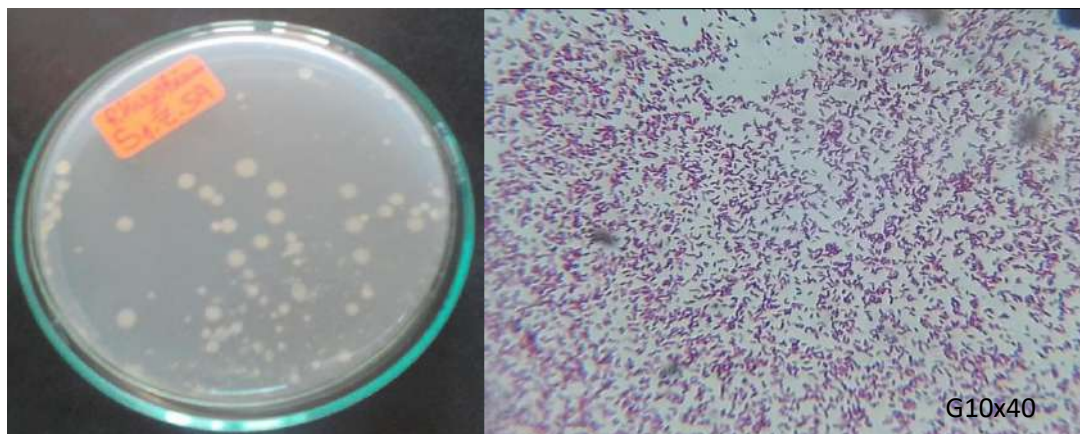
Mannitol.....	10g
K ₂ HPO ₄	0.5g
MgSO ₄ (7H ₂ O).....	0.2g
NaCl.....	0.1g
Extrait de levure	1g
Gélose.....	10g
Eau distillée.....	1000ml

Annexe 04 : Aspect macroscopique et microscopique de quelques champignons de sol forestier identifier en zone semi-aride.



Annexe 05. Caractéristiques macroscopiques des champignons

SAIDA	Station	Aspect	Forme	Couleur	Contour	espèces	Croissance sur (OGA) solide
Zone semi aride	S01	Bombée	Circulaire	Beige	régulier	--	7 jours
		Lisse	Circulaire	Blanche	régulier	--	
	S02	Bombée	Circulaire	Marron claire contour vert	régulier	<i>Aspergillus flavus</i>	7 jours
		Poilu	Circulaire	Beige	régulier		
		Poilu	Circulaire	Jaune	régulier	<i>Penicillium.</i>	
	S03	Bombée	Circulaire	Blanchâtre	régulier	--	7 jours
		Poilu	Circulaire	Vert	régulier	<i>Aspergillus flavus</i>	
		Bombée	Circulaire	Gris	régulier		
		Poilu	Circulaire	Blanche	régulier	<i>Mucor</i>	
	S04	Poilu	Circulaire	Noir	régulier	--	7 jours
		Bombée	Circulaire	Marron	régulier	--	
		Poilu	Circulaire	Vert jaunâtre	régulier	<i>Aspergillus flavus</i>	
	S05	Bombée	Circulaire	Jaune	régulier	<i>Penicillium.</i>	7 jours
		Lisse	Circulaire	Blanche	régulier		
		Poilu	Circulaire	Blanchâtre	régulier	<i>Fusarium</i>	
Zone aride	S01	Poilu	Circulaire	Jaune	régulier	<i>Penicillium.</i>	7 jours
		Lisse	Circulaire	Blanche	régulier		
	S02	Bombée	Circulaire	Gris	régulier	<i>Penicillium.</i>	7 jours
		Poilu	Circulaire	Marron	régulier	<i>Fusarium</i>	
		Poilu	Circulaire	Noir grisetre	régulier	--	
	S03	Poilu	Circulaire	Blanche	régulier	<i>Mucor</i>	7 jours
		Bombée	Circulaire	Jaune	régulier	<i>Epicoccum</i>	
	S04		Circulaire	Marron	régulier		7 jours
		Poilu	Circulaire	Noir grisetre	régulier	<i>Aspergillus niger</i>	
	S05	Lisse	Circulaire	Blanche	régulier	<i>Muccorus</i>	7 jours
		Bombée	Circulaire	Gris	Régulier	--	

Annexe 06. Aspect macroscopique et microscopique des rhizobiums (S1- Zone semi-aride).**Annexe 07.** Caractéristiques macroscopiques des rhizobiums

		Aspect	Couleur	Forme	Contour	Croissance sur (YEM) solide
Zone semi aride	S01	Lisse	Beige Blanchâtre	circulaire	Régulier	72h
	S02	Lisse	Beige	circulaire	Régulier	72h
	S03	Lisse	Beige Blanchâtre	circulaire	Régulier	72h
	S04	Lisse	Blanchâtre Beige	circulaire	Régulier	72h
	S05	Lisse	Beige Blanchâtre	circulaire	Régulier	72h
Zone aride	S01	Lisse	 Beige	Circulaire	Régulier	72h
	S02	Lisse	Blanchâtre Beige	Circulaire	Régulier	72h
	S03	Lisse	Beige	Circulaire	Régulier	72h
	S04	Lisse	Beige	Circulaire	Régulier	72h
	S05	Lisse	Blanchâtre Beige	Circulaire	Régulier	72h

Annexe 08. Dégradation des forêts de pin d'Alep dans la zone aride de Naâma (Zouidi,2018).



L'ensablement



Le surpâturage



Les maladies



Les décharges anarchiques



L'érosion hydrique

Articles scientifiques

Microbial activities and physicochemical properties of coniferous forest soils in two forest areas (arid and semi-arid) of western Algeria

Actividades microbianas y propiedades fisicoquímicas de los suelos forestales de coníferas en dos zonas forestales (áridas y semiáridas) del oeste de Argelia

Zouidi Mohamed ^{a,b*}, Borsali Amine Habib ^{a,b}, Allam Ayoub ^a, Gros Raphael ^c

*Corresponding Author: ^a University of Saïda, Faculty of Science, Department of Biology, Algeria, bio.zouidi1991@hotmail.com

^b University of Saïda, Laboratory "Water resources and environment", Algeria, phone: +213658444013.

^c St. Jerome, Aix-Marseille University, Faculty of Sciences and Techniques, Institut Mediterranean Biodiversity and Ecology, UMR CNRS IRD 7263, Team vulnerability of microbial systems, 452 Service of, 13397 Marseille cedex 20, France.

SUMMARY

The Algerian forest, the last bulwark against desertification coming from Sahel, is particularly vulnerable to global change and must be protected from deforestation, which is constantly advancing. Aleppo pine, which covers 880,000 ha, is the predominant species of forests in semi-arid and arid regions. The soils of these regions are generally fragile and vulnerable due to climatic aridity; their degradation today has accentuated the phenomenon of desertification. The objective of this work was to compare the physicochemical and microbiological characteristics of the coniferous forest soils of the semi-arid and arid zones of the Algerian west. In addition to characterization of climates, 16 physical, chemical and microbiological properties were analyzed on soils collected from forest areas characteristic of the two zones: Jebel Sid Ahmed Zeggai forest massif (Saida province) located in the semi-arid zone and the forest massif of Jebel Antar (Naama province) located in the arid zone. Our results showed very different soil qualities between the two zones: moisture content, water retention capacity, permeability, porosity and organic carbon content, total nitrogen and organic matter are higher in the semi-arid zone compared with the arid zone, which is characterized by the large presence of total limestone. Biomass and microbial basal respiration are higher in the semi-arid zone. Our results are discussed with regard to the vulnerability of soils to the respective climate of each of the zones and agro-silvo practices potentially involved in the degradation of these soils.

Key words: soil quality, Aleppo pine, degradation, drought, vulnerability.

RESUMEN

El bosque argelino, el último baluarte contra la desertificación procedente del Sahel, es especialmente vulnerable al cambio global y debe ser protegido de la deforestación, que avanza constantemente. *Pinus halepensis*, que ocupa 880.000 ha, es la especie dominante en las regiones semiáridas y áridas. Los suelos de estas regiones son generalmente frágiles y vulnerables debido a la aridez climática y su degradación ha acentuado el fenómeno de la desertificación. El objetivo de este trabajo fue comparar características fisicoquímicas y microbiológicas de suelos forestales de coníferas de las zonas semiáridas y áridas del oeste argelino. Además de la caracterización de los climas, se analizaron 16 propiedades físicas, químicas y microbiológicas en suelos recolectados de áreas forestales características de dos zonas: macizo forestal de Jebel Sid Ahmed Zeggai (provincia de Saida), situado en la zona semiárida, y macizo forestal de Jebel Antar (provincia de Naama), en la zona árida. Los resultados mostraron calidades de suelo muy diferentes entre las dos zonas: el contenido de humedad, la capacidad de retención de agua, la permeabilidad, la porosidad y el contenido de carbono orgánico, el nitrógeno total y la materia orgánica son más altos en la zona semiárida en comparación con la zona árida, que se caracteriza por la gran presencia de caliza. La biomasa y la respiración basal microbiana fueron mayores en la zona semiárida. Se discuten los resultados con respecto a la vulnerabilidad de los suelos, al clima respectivo de cada zona y prácticas agro-silvícolas potencialmente involucradas en la degradación de estos suelos.

Palabras clave: calidad del suelo, pino carrasco, degradación, sequía, vulnerabilidad.

INTRODUCTION

The Mediterranean region is one of the 34 hot spots of biodiversity identified at global level. This richness is explained by the diversity of geological and edaphic

contexts, by strong heterogeneity of the climatological conditions at meso-and micro-scale, and by the seniority and importance of agro-pastoral practices. This region is subject to strong environmental pressures of different natures: climatic stresses (intense and prolonged droughts),



Impact of the Aridity Gradient on the Physico-chemical Parameters of the Needles of *Pinus halepensis* Mill. in the Western Algeria

Mohamed Zouidi, Amine Habib Borsali, Abdelkrim Kefifa, Ayoub Allam
Naima Keddouri and Raphael Gros¹

Department of biology, Faculty of science, Water Resources and Environment Laboratory
University of "Dr. Tahar Moulay", BP 138, Saïda 20000, Algeria.

¹Institute Mediterranean Biodiversity and Ecology, UMR CNRS IRD 7263, Team Vulnerability of Microbial Systems, 452 Service, Faculty of Sciences and Techniques of St. Jerome, Aix-Marseille University, 13397 Marseille Cedex 20, France

*E-mail: bio.zouidi1991@hotmail.com

Abstract: In Algeria, pinewoods are mainly concentrated in arid and semi-arid areas where climatic and edaphic conditions have an effect on the phenology, physiognomy and growth of trees. The objective of this study is to see whether the aridity gradient has an effect on the needles of Aleppo pine. For realized this work, some characteristics of 50 samples of Aleppo pine needles collected from five stations in two areas of western Algeria (semi arid and arid) were studied. Analysis of the results showed a significant difference in the specific characteristics of needles in each zone, namely morphology, water content, chlorophyll rate and yield, which are more important in the semi-arid zone. On the other hand organic and mineral content, the pH and conductivity remain homogeneous between the two zones. The principal component analysis (PCA) confirmed the significant differences between the parameters measured in the two study areas, highlighting the imprint of the bioclimatic stage on the *Pinus halepensis* Mill in each zone.

Keywords: *Pinus halepensis* Mill., Needles, Drought, Physico-chemical parameters

In the mediterranean region, currently the main climatic constraint on ecosystems is the summer drought characterized by high temperatures associated with low rainfall in summer (Le Houérou 2005). High-intensity drought can cause water stress to trees and results in decrease in productivity and survival, thus can have significant deleterious consequences for ecosystem services. Water stress may alter the functioning of plantations over the long term by decreasing production and leaf area, resulting in a decrease in photosynthesis and therefore growth (Breda et al 2006). Trees, with very long life cycles, appear to be particularly vulnerable, whether for survival or for the services they provide, to the effects of climate change that can be rapid. This vulnerability may, among other things, affect the goods and services that humans derive from it wood production, carbon storage, water cycle operation (Lindner et al 2010). On the other hand, associated with these climate changes, other factors such as land use changes or the use of biomass as renewable energy can affect the forest ecosystem. They can act independently or in combination with climate change (Hendrik 2016). Mediterranean forests are a fragile natural environment already deeply disturbed by multiple uses, the origins of which date back to the early neolithic period. The

aggressions they underwent, however, varied considerably in frequency and intensity over the ages as a function of human demography, which determined phases of regression or progression of their surface (Marien and Billand 2009, Guénon 2010). Aleppo pine is the most common resinous essence in the Mediterranean basin and especially in Algeria, as it is the most rustic and able to adapt to several types of soil and the most varied climates, there are almost 881 000 ha of Aleppo pine in Algeria from a reforestation or in the natural state (DGF 2007). Aleppo pine is characterized by leaves in the form of very fine needles (less than 1 mm), soft 5 to 10 cm long. The aim of present study is to understand some physico-chemical characteristics of needles of the *Pinus halepensis* species between the semi-arid and arid bioclimatic stage represented by the mountain of Sid Ahmed Zaggai (Saida) and Antar (Naâma) forestands to assess the impact of the main regional climatic conditions on the adaptation of the needles of Aleppo pine in the face of extreme conditions.

MATERIAL AND METHODS

Semi-arid area: The semi-arid area is represented by the forest of Sid Ahmed Zaggai (34° 50' 12.7" N, 00° 05' 14.2" E, Altitude: 1126 m), 4.5 km west of wilaya of Saida upstream of

ASSESSING OF THE TOLERANCE OF *PINUS HALEPENSIS* MILL. SEEDS TO WATER AND SALINE STRESS AT THE GERMINATION STAGE

Mohamed Zouidi^{1,2}, Amine Habib Borsali^{1,2*}, Kadda Hachem¹, Ayoub Allam¹,
Amel Naimi¹, and Imane Hakmi¹

¹University 'Dr. Moulay Tahar', 20 000 Saïda, Algeria. *E-mail: rhizobiologie@yahoo.fr

²Laboratory 'Water Resources and environment', 20 000 Saïda, Algeria.

Received: 04 May 2018

Accepted: 12 June 2019

Abstract

Arid and semi-arid ecosystems cover a large part of the southern fringe countries of the Mediterranean basin. Drought and salinization are the major processes of steppe land degradation. The objective of this work was to investigate the tolerance to water and saline stress of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) seeds at the germinating stage. The adopted methodology used increasing concentrations under a controlled temperature of 20 °C for 30 germination days of seeds. Germination responses of seeds to different degrees of salt stress caused by NaCl (1, 2, 3, 4, and 5 g·L⁻¹) and the water stress caused by polyethylene glycol (–0.05, –0.25, –0.5, –1, and –2 bars) under a temperature of 20 °C showed that salt and water stress have decreased the percentage of seed germination of Aleppo pine seeds for a period of 30 days. In the control treatment (distilled water) with no stress the seeds showed a germination rate of 89 % for salt stress and 90 % for water stress. The results of the study showed that salt and drought have a depressive effect on the germination rate of Aleppo pine with a tolerance of 4 g·L⁻¹ and –1 bars for the stresses used.

Key words: Aleppo pine, drought, germination tests, NaCl, Polyethylene glycol (PEG), semi-arid.

Introduction

Algeria is one of the most water-deficient regions in the world, and the water resources are subjected to strong natural, climatic and anthropogenic pressures (Bellal 2011). The water deficit is more than 20 % for the western region, 13 % for the central and 12 % for the eastern part of the country (Ould Amara 2000, Bouguerra 2001). Arid and semi-arid area cover very large surface and are characterized by a high rainfall irregularity. These areas re-

ceive an annual average rainfall between 100 and 300 mm for the arid and between 300 and 600 mm for the semi-arid one (Le Houerou 1995, Nedjraoui 2003, Ramade 2003). Besides, they are characterized by very restrictive edapho-climatic conditions, thus posing challenges to survival of some indigenous plant species, which are subjected to constant stress by the severe environment.

In these regions, the availability of water, salinity and some other soil characteristics are among the main factors limiting

Characterization of coniferous forest soils in the arid zone

Mohamed Zouidi^{1,2*}, Amine Habib Borsali^{1,2},
Ayoub Allam^{1,2} and Raphael Gros³

Zouidi, M., Borsali, A.H., Allam, A., Gros, R. 2018. Characterization of coniferous forest soils in the arid zone. – Forestry Studies | Metsanduslikud Uurimused 68, 64–74. ISSN 1406-9954. Journal homepage: <http://mi.emu.ee/forestry.studies>

Abstract. Arid zones are very harsh environments characterized by binding edaphic and climatic factors, their rainfall is low and irregular accentuated by high temperatures and their soils are fragile and vulnerable. In recent years, it has been noted that vegetation is regressing and that the majority of reforestation has been a failure. Our study aims to know the physico-chemical and microbiological characteristics of forest soils in the pinewoods of an area of the highlands of western Algeria (Naama). For this we analyzed several soil samples spread over five sampling stations in a forest of Aleppo pine. The results show that the forest soils of our study area are characterized by a generally sandy texture and an orange color for all the selected stations. They are characterized by: a very high C/N ratio that indicates a slow evolution of organic matter and a nitrogen deficiency that is necessary for carbon decomposition. The conductivity shows that the soil contains some salinity, its permeability is strong and its humidity fairly low with an alkaline pH (> 8) due to the increase in the limestone level in the area. Basal respiration is low compared to microbial biomass due to poor physico-chemical quality of soils and the effect of water stresses that slow down microbial activities. Soils in this arid forest are generally characterized by soil homogeneity sensitive to the influence of environmental factors mainly poverty into elements necessary for its proper functioning such as nitrogen and water that accentuate soil degradation of these forest formations, which results in the risk of degradation being triggered.

Key words: forest soil properties, pinewood, aridity, microbial activity.

Author's addresses: ¹Department of Biology, Faculty of Science. University “Dr Moulay Taher” Saïda, Algeria; ²Laboratory “Water Resources and Environment” University of Saïda, Algeria; ³Institut Mediterranean Biodiversity and Ecology, UMR CNRS IRD 7263, Team Vulnerability of Microbial Systems, 452 Service, Faculty of Sciences and Techniques of St. Jerome, Aix-Marseille University, 13397 Marseille Cedex 20, France; *e-mail: zouidibiologie20@gmail.com

Introduction

In Algeria, arid zones account for nearly 95% of the national territory, of which 80% is in the Hyper-arid zone (Halitim, 2011). These areas, characterized by a dry and most often warm climate, are highly sensitive to the warming of the atmosphere due to the increase in greenhouse gases since the end of the 19th century (IRD, 2015). The climatic conditions characterised by the low annual average rainfall (between 100 to 300 mm water per year) and by the high deficit of these in relation to potential evapotranspiration (FAO, 1992). The soil is the living and vital epidermis of the earth's

continents, the support of human activities and the place of life of many plant and animal species (Mathieu, 2009).

The soil, although it can be restored and more or less reconstituted, remains a non-renewable resource because of the long period necessary for its formation processes. This property makes it particularly susceptible to anthropogenic aggression (Gros, 2002). The knowledge of the constituents of the soil, their composition and their main physico-chemical properties, is in any case a prerequisite for the study of the soil medium. This fundamental knowledge makes it possible to undertake the study of soil formation processes (pedogenesis process)

Quality Estimation of the Western Algeria Forest Soils

M. Zouidi*¹, A.H. Borsali¹, A. Allam¹ and R. Gros²

¹*Water Resources and Environment Laboratory, Department of Biology, Faculty of Science, University Dr Moulay Tahar, 20 000 Saïda, Algeria.*

²*Mediterranean Institute of Biodiversity and Ecology, UMR CNRS IRD 7263, Team Vulnerability of Microbial Systems, Service 452, Faculty of Sciences and Techniques of Saint-Jérôme, Aix-Marseille University, 13397 Marseille Cedex 20, France*

ABSTRACT

In recent years, there has been significant regression of the Aleppo pine forest massif in the semi-arid areas of Algeria which is the last barrier against desertification. Several studies on the effects of climate and anthropogenic practices have been undertaken to identify the limiting factors but no study in the region deals with the effects of soil properties. In this work, we studied the quality of soils in a pine forest of Aleppo, Western Algeria by comparing their physico-chemical and biological parameters in order to characterise these soils and to identify the main limiting and degrading factors of their quality. The results of this study showed that the forest soils in this area were alkaline but not salty with a presence of limestone. They had a balanced texture homogeneous moisture with the colour varying from reddish brown to reddish maroon. The C/N ratio was moderately low indicating that these soils release some nitrogen despite being rich in organic matter. Microbial activity in these soils was moderately low as a function of nitrogen availability to ensure good carbon mineralisation. This study has shown that the soils of Aleppo pine forests in semi-arid zones are fragile and generally characterised by heterogeneous properties that are very sensitive to the influence of environmental factors (climate and human). This may result in the deterioration of physico-chemical and biological quality of the soils over a long-term consequently changing them into arid soils.

Keywords: Soil properties, Aleppo pine, quality, degradation, forest, semi-arid

INTRODUCTION

The Mediterranean basin is one of the most important hotspots of global biodiversity, given its floristic richness of terrestrial plant communities and its high level of endemism (Médail and Quezel 1999; Myers *et al.* 2000; Médail and Myers 2004). According to Seigue (1985), the Mediterranean forest covers 65 million hectares of which 45 million of forests proper and 19 million hectares of forest formations have become a fragile natural environment disturbed by multiple uses, the origins of which date back to the beginning of the Neolithic period. However, the aggression the Mediterranean forest has undergone

*Corresponding author : bio.zouidi1991@hotmail.com

Résumé

Les forêts Algériennes constituent un milieu naturel fragile déjà profondément perturbé par les facteurs climatiques et l'action anthropique notamment en zones arides et semi arides. Les objectifs de ce travail étaient de comparer les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des sols et litières des forêts de résineux et voir le comportement adaptatif et germinatif de pin d'Alep face aux facteurs pédoclimatiques stressants des zones semi-arides et arides de l'Ouest Algérien. On voulait aussi voir quels sont les effets du gradient d'aridité sur les sols et les litières des pinèdes et leurs impact sur les changements de paysage, pour cela nous avons analysé les différents caractéristiques des sols, des litières et des aiguilles de pin d'Alep avec une prédiction spectroscopique (PIR et MIR) prélevés dans des massifs forestiers caractéristiques des deux zones : le massif forestier de djebel Sid Ahmed Zeggai (wilaya de Saïda) situé dans la zone semi-aride et le massif forestier de djebel Antar (wilaya de Naâma) situé dans la zone aride. Puis on a étudié le comportement des graines de pin d'Alep au stade germinatif face à la sécheresse et la salinité, deux facteurs xériques majeurs dans les zones arides. i) Nos résultats ont montré des qualités de sol très différentes entre les deux zones: la teneur en humidité, capacité de rétention d'eau, perméabilité, porosité et teneur en carbone organique, azote total et matière organique sont plus élevés dans la zone semi-aride que dans la zone aride, caractérisée par une présence importante de calcaire total qui engendre l'augmentation de pH et une diminution de la biomasse microbienne et sa respiration basale dans ces sols . ii) L'analyse des propriétés physico-chimiques de la litière (humidité, pH, conductivité, carbone, azote et rapport C/N) montre une différence significative par contre la comparaison de la moyenne de la biomasse microbienne et leur efficacité montre qu'elle est homogène dans les deux zones avec une faible différence de la respiration basale. iii) Les aiguilles de pin d'Alep dans chaque étage bioclimatique présentent ses propres caractéristiques à savoir la morphologie, la teneur en eau, la matière organique et la matière minérale. Le taux de chlorophylle et le rendement sont plus élevés dans la zone semi-aride que la zone aride. iv) L'étude de la germination rapportées dans cette étude montre que le pin d'Alep est un arbre sensible à l'action du stress hydrique et salin au stade germinatif, ils ont un effet dépressif sur le taux de germination du Pin d'Alep. L'ensemble de cette étude a souligné l'empreinte de l'étage bioclimatique sur la phyllosphère et le comportement de *Pinus halepensis* Mill dans chaque zone et nous donne une simulation réelle sur l'avenir proche de la zone semi aride dernière barrière contre la désertification. Cette recherche nous interpelle sur la vulnérabilité des sols face au climat respectif de chacune des zones et des pratiques agro-sylvo-pastorales potentiellement impliquées dans la dégradation de ces sols.

Mots clés : Qualité des sols, litière, pin d'Alep, aridité, Algérie.

Abstract

Algerian forests constituted a fragile natural environment already deeply disturbed by the climatic factors and the anthropic action in particular in arid and semi arid areas. The objectives of this work were to compare the physico-chemical and microbiological characteristics of soils and litter of softwood forests and to see the adaptive and germinative behavior of Aleppo pine in the face of stressful pedoclimatic factors in the semi-arid and arid zones of the West Algerian. We also wanted to see what are the effects of the aridity gradient on soils and litter of pine forests and their impact on landscape changes, for this we analyzed the different characteristics of soils, litter and needles of Aleppo pine with a spectroscopic prediction (NIR and MIR) taken from forest areas characteristic of both zones: the Jebel Sid Ahmed Zeggai forest (Saïda province) in the semi-arid area and the Jebel Antar forest (Naâma province) in the arid area. Then, the behavior of Aleppo pine seeds in the germinal stage was studied in the face of drought and salinity, two major xeric factors in arid areas. i) Our results showed very different soil qualities between the two areas: the moisture content, water retention capacity, permeability, porosity and organic carbon content, total nitrogen and organic matter are higher in the semi-arid area than in the arid area, characterized by a significant presence of total limestone that causes the increase in pH and a decrease in microbial biomass and its basal respiration in these soils. ii) The analysis of the physicochemical properties of the litter (humidity, pH, conductivity, carbon, nitrogen and C / N ratio) shows a significant difference compared to the comparison of the average microbial biomass and their efficiency shows that it is homogeneous in both areas with a slight difference in basal respiration. iii) The Aleppo pine needles in each bioclimatic stage have their own characteristics, namely morphology, water content, organic matter and mineral matter. Chlorophyll content and yield are higher in the semi-arid area than the arid area. iv) The study of germination reported in this study shows that Aleppo pine is a tree sensitive to the action of water and salt stress in the germinative stage; they have a depressive effect on the germination rate of Aleppo pine. The whole of this study has highlighted the footprint of the bioclimatic stage on the phyllosphere and the behavior of *Pinus halepensis* Mill in each zone and gives us a real simulation on the near future of the semi arid zone last barrier against desertification. This research challenges us on the vulnerability of soils to the respective climate of each zone and agro-sylvo-pastoral practices potentially involved in the degradation of these soils.

Key words: Soil quality, litter, Aleppo pine, aridity, Algeria.

ملخص

تشكل الغابات الجزائرية بيئة طبيعية هشة بفعل العوامل المناخية وتدخل الإنسان على وجه الخصوص في المناطق الجافة و شبه الجافة. كانت أهداف هذا العمل هي مقارنة الخصائص الفيزيوكيميائية والميكروبيولوجية للتربة الغابية وبقايا الأوراق الجافة في طريق التحلل و خصائص الأوراق الإبرية وروية السلوك التكيفي والإنباتي لصنوبر الحلبي في مواجهة العوامل المناخية القاسية في المناطق شبه الجافة والجافة بغرب الجزائر. أردنا أيضا أن نرى ما هي آثار تدرجات الجفاف على التربة وبقايا الأوراق اليابسة في غابات الصنوبر وتأثيرها على التغيرات الطبيعية في هذه المناطق ، ولهذا قمنا بتحليل الخصائص المختلفة للتربة ، بقايا الأوراق المتحللة والأوراق الخضراء مع استعمال تقنية القنبات طيفية (PIR و MIR) لعينات من غابات الصنوبر الحلبي مأخوذة من منطقتين مختلفتين . غابة جبل سيد أحمد زقاي (ولاية سعيدة) في المنطقة شبه الجافة وغابة جبل عنتر (ولاية نعامة) في المنطقة الجافة. بعد ذلك ، تمت دراسة سلوك بذور الصنوبر الحلبي أثناء مرحلة الإنبات في مواجهة الجفاف والملوحة ، وهما عاملان رئيسيان في المناطق الجافة.(1) أظهرت النتائج اختلافا كبيرا في التربة بين المنطقتين: فمحتوى الرطوبة ، قدرة الاحتفاظ بالمياه ، النفاذية المسامية ومحتوى الكربون العضوي ، إجمالي النيتروجين والمواد العضوية أعلى في المنطقة شبه الجافة مما كانت عليه في المنطقة الجافة ، والتي تتميز بوجود كبير في نسبة الحجر الجيري الذي يسبب زيادة في الأس الهيدروجيني (pH) وانخفاض في الكتلة الحيوية الميكروبية وتنفسها القاعدي في هذه التربة. (2) كما أظهر تحليل الخواص الفيزيائية والكيميائية لبقايا الأوراق اليابسة المشكلة للمواد العضوية نسبة الرطوبة ودرجة الحموضة والملوحة والكربون والنيتروجين ونسبة (C / N) فرقا كبيرا مقارنة بمقارنة متوسط الكتلة الحيوية للميكروبات ويظهر كفاءتها على أنها متجانس في كلا المنطقتين مع وجود اختلاف بسيط في التنفس القاعدي. (3) تتميز أوراق الصنوبر الحلبي في كل منطقة حسب المناخ السائد بها بخصائصها المميزة، حيث أن شكل الورقة ونسبة المحتوى المائي والمواد العضوية والمواد المعدنية. محتوى اليخضور وإنتاجه أعلى في المنطقة شبه الجافة من المنطقة الجافة. (4) تشير دراسة الإنبات إلى أن الصنوبر الحلبي عبارة عن شجرة حساسة لعامل الجفاف والملوحة في مرحلة الإنبات، حيث لها تأثير مثبط لمعدل إنبات الصنوبر الحلبي. سلطت هذه الدراسة بأكملها الضوء على مدى تأثير المناخ و بصمته على السطح الرقيق من التربة المحيط بالجذر و الساق وسلوك الصنوبر الحلبي في كل منطقة بحيث تمنحنا محاكاة حقيقية في المستقبل القريب للمنطقة شبه الجافة التي تعتبر اليوم بمثابة الجدار المقاوم للتصحّر . هذا البحث يتوقف حول مدى تعرض التربة لمناخ ونتاجه في كل منطقة والممارسات الزراعية الرعوية التي يحتمل أن تكون متورطة في تدهور هذه التربة.

الكلمات المفتاحية: جودة التربة ، بقايا الأوراق ، الصنوبر الحلبي ، الجفاف ، الجزائر.