

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES



MEMOIRE DE MAGISTER

Spécialité : Sciences Biologiques

Option: Ecologie végétale appliquée et gestion de l'Environnement.

THEME

**Influence des propriétés physico-chimiques du sol sur
l'architecture racinaire de *Pistacia atlantica* Desf. de
Dayate El Gouffa, Commune Aïn Madhi, W. Laghouat**

Présenté par : M. HAMITOUCHE Farid

Le 29 / 05 / 2016

Devant le jury composé de :

Mme SADOUDI-ALI AHMED DJ.	Professeur à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou	Présidente
Mme SMAIL-SAADOUN N.	Professeur à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou	Promotrice
Mme BELHADJ S.	Professeur à l'Université de Ziane Achour de Djelfa	Examinatrice
M. MEDDOUR R.	MCA à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou	Examinateur
M. MERROUKI K.	MCB à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou	Examinateur

2015/2016

Remerciements

Au nom de Dieu le Miséricordieux par essence et par excellence.

Avant d'aborder l'exposé de mes résultats, qu'il me soit permis de remercier toutes les personnes qui, à des degrés divers, ont contribué à faciliter l'élaboration de cette thèse.

Ce travail a été réalisé sous la direction du Professeur à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Mme SMAÏL SAADOUN Noria qui, par ses suggestions, conseils et critiques, m'a aidé à préparer mon mémoire. Je vous remercie Madame d'avoir accepté de m'encadrer, vos recommandations m'ont été précieuses pour mener ce travail à terme. De votre savoir prenons-en de la graine.

Que Madame SADOUDI ALI-AHMED Dj., Professeure à l'U.M.M.T.O., trouve ici l'expression de ma gratitude pour avoir accepté de présider le jury de soutenance et d'examiner mon travail.

Je suis très reconnaissant à Madame BELHADJ S., Professeure à l'Université de Ziane Achour de Djelfa, d'avoir bien voulu participer à ce jury et d'avoir accepté de faire ce long déplacement pour examiner mon travail. Veuillez trouver ici l'expression de ma sincère reconnaissance.

Que Monsieur MEDDOUR R., Maître de conférences à l'U.M.M.T.O, trouve ici l'expression de mes plus vifs remerciements d'avoir bien voulu participer à ce jury et examiner mon travail, pour ses enseignements en graduation et post graduation, ainsi d'avoir été mon promoteur de mémoire d'Ingénieur.

Je voudrais également remercier Monsieur MERROUKI K., Maître de Conférences, au Département des Sciences Agronomiques à l'U.M.M.T.O pour avoir fait l'honneur de participer et juger ce mémoire.

Je remercie, également, les thésards du Laboratoire Ressources Naturelles de l'U.M.M.T.O, plus particulièrement M^{elles} ACI O. et BOUBRIMA A., pour leur aide précieuse.

Mes vifs remerciements vont également à M. GASMI, conservateur des forêts de Laghouat, au personnel de la conservation, en l'occurrence M. Ahmed KEDARI et sa bonne

humeur, Il est important de mentionner en particulier la détermination et le travail sans relâche de M. Ali TOUIL à qui je rends un hommage spécial, il était un expert lors de l'excavation des racines, travaille avec soin pour ne pas les endommagées, merci pour votre bonté et simplicité.

Seules les conduites fortes inspirent le respect ; je tiens à exprimer ma sincère gratitude à M. ALILI N., Maître assistant classe " A" au Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, pour ses généreux enseignements, son amitié et pour son aide.

Que Mme NAIT-KACI M., Maître de conférences au département d'Agronomie de l'U.M.M.T.O., trouve ici mes respects et ma reconnaissance pour ses conseils.

Je remercie sincèrement M. BOUKHROUB du département de Génie-civil pour sa générosité et sa patience à nous prêter les tamis nécessaires pour la granulométrie.

Mes remerciements vont aussi à tous les enseignants qui ont contribué à mener ce magister à bon escient, à tous les camarades de promo, spécialement M. MADJOUR Karim, ainsi que M^{elles} MECHIAH Fahima et BENFODDIL Ouiza avec lesquels j'ai réalisé mon travail dans bonne une ambiance collégiale.

Je suis profondément reconnaissant à ma superviseuse nationale, Mme HAMLAT née BOUTELBA Yasmine des laboratoires pharmaceutiques UNIMED, pour m'avoir autorisé et encouragé à passer le concours de magister, et pour toutes les facilitations qui me sont offertes pour mener à bien ce travail.

Remerciements

Au nom de Dieu le Miséricordieux par essence et par excellence.

Avant d'aborder l'exposé de mes résultats, qu'il me soit permis de remercier toutes les personnes qui, à des degrés divers, ont contribué à faciliter l'élaboration de cette thèse.

Ce travail a été réalisé sous la direction du Professeur à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Mme SMAIL SAADOUN Noria qui, par ses suggestions, conseils et critiques, m'a aidé à préparer mon mémoire. Je vous remercie Madame d'avoir accepté de m'encadrer, vos recommandations m'ont été précieuses pour mener ce travail à terme. De votre savoir prenons-en de la graine.

Que Madame SADOUDI ALI-AHMED Dj., Professeure à l'U.M.M.T.O., trouve ici l'expression de ma gratitude pour avoir accepté de présider le jury de soutenance et d'examiner mon travail.

Je suis très reconnaissant à Madame BELHADJ S., Professeure à l'Université de Ziane Achour de Djelfa, d'avoir bien voulu participer à ce jury et d'avoir accepté de faire ce long déplacement pour examiner mon travail. Veuillez trouver ici l'expression de ma sincère reconnaissance.

Que Monsieur MEDDOUR R., Maître de conférences à l'U.M.M.T.O, trouve ici l'expression de mes plus vifs remerciements d'avoir bien voulu participer à ce jury et examiner mon travail, pour ses enseignements en graduation et post graduation, ainsi d'avoir été mon promoteur de mémoire d'Ingénieur.

Je voudrais également remercier Monsieur MERROUKI K., Maître de Conférences, au Département des Sciences Agronomiques à l'U.M.M.T.O pour avoir fait l'honneur de participer et juger ce mémoire.

Je remercie, également, les thésards du Laboratoire Ressources Naturelles de l'U.M.M.T.O, plus particulièrement M^{elles} ACI O. et BOUBRIMA A., pour leur aide précieuse.

Mes vifs remerciements vont également à M. GASMI, conservateur des forêts de Laghouat, au personnel de la conservation, en l'occurrence M. Ahmed KEDARI et sa bonne

humeur, Il est important de mentionner en particulier la détermination et le travail sans relâche de M. Ali TOUIL à qui je rends un hommage spécial, il était un expert lors de l'excavation des racines, travaille avec soin pour ne pas les endommagées, merci pour votre bonté et simplicité.

Seules les conduites fortes inspirent le respect ; je tiens à exprimer ma sincère gratitude à M. ALILI N., Maître assistant classe " A" au Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, pour ses généreux enseignements, son amitié et pour son aide.

Que Mme NAIT-KACI M., Maître de conférences au département d'Agronomie de l'U.M.M.T.O., trouve ici mes respects et ma reconnaissance pour ses conseils.

Je remercie sincèrement M. BOUKHROUB du département de Génie-civil pour sa générosité et sa patience à nous prêter les tamis nécessaires pour la granulométrie.

Mes remerciements vont aussi à tous les enseignants qui ont contribué à mener ce magister à bon escient, à tous les camarades de promo, spécialement M. MADJOUR Karim, ainsi que M^{elles} MECHIAH Fahima et BENFODHIL Ouiza avec lesquels j'ai réalisé mon travail dans une bonne ambiance collégiale.

Je suis profondément reconnaissant à ma superviseuse nationale, Mme BOUTELBA Yasmine des laboratoires pharmaceutiques UNIMED, pour m'avoir autorisé et encouragé à passer le concours de magister, et pour toutes les facilitations qui me sont offertes pour mener à bien ce travail.

Notation

A.C.P : analyse en composante principale

al., : autres

ANOVA : analyse de variance

A: Argiles ; **LF**: Limons Fins ; **LG**: Limons Grossiers ; **SF**: Sables Fins ; **SG**: Sables Grossiers.

CH24 : Type de station météorologique d'observation 24 h /24h automatisé, implantée sur un site fixe ou mobile, dont les capteurs rapportent à intervalles une série de données météorologiques sans intervention humaine.

CaCO₃ : calcaire total

CaCO₃ (%) : Taux de carbonate de calcium

Cr_{max}/P : Circonférence maximale par profil;

Cr_{min}/P : Circonférence minimale par profil;

Cr_{moy}/P : Circonférence moyenne par profil.

C (%) : dosage du carbone organique

CR : capacité de rétention

Cr_{moy} : Circonférence moyenne par racine ;

Desf. : Le pistachier de l'Atlas n'a été décrit qu'en 1799 par le botaniste français **René Louiche Desfontaines** dans la publication de *Flora atlantica* (Monjauze, 1968).

Dioïcie : chez les végétaux supérieurs est l'état dans lequel les sexes, dans une espèce, sont séparés (existence de sujets mâles et de sujets femelles)

EG : représente les sols d'El Gouffa

EM_{chiffre} : sols étudiés par Limane (2009) à El-Mergueb, (M'sila)

ETP : Evapotranspiration

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture créée en 1945 à Québec. Son siège est à Rome, au Palazzo FAO, depuis 1951.

Fig. : Figure

HD : sols de dayate Saadi à Hassi Delaâ étudiés par Boubrima (2014)

H.H (%) : taux d'humidité hygroscopique

H₂O₂ : eau oxygénée

H₂O : eau

H₀ : l'hypothèse nulle.

H₁ : l'hypothèse alternative.

L : Longueur totale par racine ;

LT : Longueur totale par profil ;

M.O (%) : taux de matière organique

NRmR : Nombre de ramifications par racine ;

NRS : Nombre de racines superficielles ;

NRP : Nombre de racines profondes ;

NRmC : Nombre de ramifications dès le collet ;

NTRm: Nombre total de ramifications ;

OMM : Organisation météorologique mondiale

ONM : Office Nationale de Météorologie

P : Précipitations

pH : Le pH est un sigle signifiant potentiel hydrogène et qui représente la mesure de l'alcalinité en chimie. Il mesure la concentration d'une solution aqueuse en ions oxonium H₃O⁺ et le degré d'acidité ou de basicité d'une solution.

P/ETPp : le quotient pluvio-évapotranspiratoire

Rech. f.: L'auteur abréviation standard **Rech.f.**, est utilisé pour indiquer cet individu comme l'auteur en citant un nom botanique.

R: Racine ;

SIG : système d'information géographique , est un système d'information conçu pour recueillir, stocker, traiter, analyser, gérer et présenter tous les types de données spatiales et géographiques.

ssp. : Sous espèce

T : Total.

T_{chiffre} : sols étudiés par Boubrima (2014) à dayate Aïat (Timzerth)

% : pourcentage

< : Inférieur

✦ : La racine plonge en profondeur.

☆ : Anastomose.

α : seuil de signification.

Liste des figures

Fig.1. Pistachier de l'Atlas dans la daya d'El Gouffa dans la commune d'Ain Madhi à (Laghouat, avril 2014)	04
Fig. 2. Feuillage du pistachier de l'Atlas (Laghouat, avril 2014).....	05
Fig. 3. Fruits du pistachier de l'Atlas, daya El Gouffa (Avril, 2014).....	05
Fig. 4. Carte de distribution de <i>Pistacia atlantica</i> Desf., dans le monde [d'après Alyafi (1979); Browicz (1988), et Khaldi (comm.pers. in Zohary (1996); modifié Belhadj (2007)).....	06
Fig.5. Répartition du pistachier de l'Atlas en Algérie d'après Monjauze (1980) modifié par (Kebci, 2008).....	07
Fig. 6. Localisation de la wilaya de Laghouat (google.fr)	08
Fig. 07. Étagement bioclimatique de la wilaya de Laghouat (Silaâ, 2012).....	09
Fig. 08. Stade d'évolution morphologique des dayas d'après (Taïbi A., et <i>al.</i> , 1999).....	11
Fig. 09. Nebkhas à <i>Zizyphus lotus</i> à daya El Gouffa (Laghouat avril, 2014).....	12
Fig.10. Image satellite montrant la localisation de la station d'étude (Google Earth 2014).....	13
Fig.11. Situation de daya El Gouffa (Google Earth, 2014)	14
Fig.12. Aires d'influence des stations météorologiques de la wilaya de Laghouat (Mahi, 2014).....	15
Fig.13. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson pour Laghouat (2002-2012) (ONM-Alger) in Boubrima, (2014).....	17
Fig.14. Zonation éoclimatique de la station de Laghouat selon la méthode de Le Houérou (1995).....	18
Fig.15. Sujet 1, daya El-Gouffa. (Laghouat avril, 2014).....	19
Fig. 16. Sujet 2, daya El Gouffa. (Laghouat avril, 2014).....	20
Fig. 17. Sujet 3, daya El Gouffa. (Laghouat avril, 2014).....	21
Fig. 18. Sujet 4, daya El Gouffa. (Laghouat avril, 2014).....	22
Fig. 19. Sujet 5, daya El Gouffa. (Laghouat avril, 2014).....	23

Fig. 20. Sujet 6, dayate El Gouffa. (Laghouat avril, 2014).....	24
Fig. 21. Sols des dayas.....	30
Fig. 22. Échantillons de sols de dayate El Gouffa, étalés et séchés au laboratoire.....	32
Fig.23. Procédé pour la détermination de la capacité de rétention du sol (Limane, 2009).....	34
Fig. 24. Proportions des fractions granulométriques par niveau dans chaque sujet étudié à dayate El Gouffa.....	38
Fig. 25. Humidités hygroscopiques des différents niveaux des profils de dayate El Gouffa.....	42
Fig. 26. Capacité de rétention des différents niveaux des profils de dayate El Gouffa.....	45
Fig. 27. ACP 01 concernant les différentes variables édaphiques étudiées à dayate El Gouffa.	57
Fig. 28. ACP 02 concernant les différentes variables édaphiques étudiées à dayate El Gouffa, (Aïat à Timzerth et dayate Saadi, Hassi Delaâ) de Boubrima (2014) et les sols de la dayate d'El Guersa (El-Mergueb) à M'sila, Limane (2009).....	60
Fig. 29. Différents stades de développement chez la majorité des ligneux (Raimbault, 2003)...	66
Fig. 30. Différents types de système racinaire (Waissen, 1991).....	66
Fig. 31. Profil racinaire et croquis du Sujet 1, immature.....	69
Fig. 32. Profil racinaire et croquis du Sujet 2,	71
Fig. 33. Profil racinaire et croquis du Sujet 3,	73
Fig. 34. Profil racinaire et croquis du Sujet 4,	75
Fig. 35. Profil racinaire et croquis du Sujet 5,.....	77
Fig. 36. Profil racinaire et croquis du Sujet 6,.....	79
Fig. 37. ACP 03 concernant les différentes variables racinaires étudiées à dayate El Gouffa...	83
Fig. 38. ACP 04 les différentes les paramètres racinaires étudiées à dayate El Gouffa, (Aïat à Timzerth et dayate Saadi, Hassi Delaâ) de Boubrima (2014) et les sols de la dayate d'El-Guersa (El-Mergueb) à M'sila, Limane (2009).....	85
Fig.39. Evolution of Atlas pistachio root system in relation to underlying soils in the El-Mergueb National Reserve, M'sila, Algeria, (Limane, 2014).....	90

Fig. 40. ACP 05 concernant les différentes variables racinaires et édaphiques étudiées à dayate El Gouffa.....	92
Fig. 41. ACP 06 concernant les variables étudiées pour les populations d'El Mergueb, Timzerth, Hassi Delâa et El Gouffa.....	96

Liste des tableaux

Tableau 01. Caractéristiques de la station de référence (Mahi, 2014).....	15
Tableau 02. Précipitations mensuelles (mm) de la station Laghouat (2002-2012) (ONM-Alger) (Boubrima, 2014).....	15
Tableau 03. Température (°C) de la station d'étude (2002-2012) (ONM-Alger) (Boubrima, 2014).....	16
Tableau 04. Données et paramètres utilisés dans la classification écoclimatique de la station de Laghouat (Boubrima, 2014).....	17
Tableau 05. Textures de différents sols sous pistachiers précédemment étudiés selon un gradient croissant d'aridité géographique.....	31
Tableau 6. Proportions des fractions granulométriques des sols par niveaux des sujets étudiés et leur texture correspondantes.....	37
Tableau 7. Textures des sols des six profils échantillonnés de dayate El Gouffa.....	39
Tableau 8. Textures des sols sous pistachier de l'Atlas dans les différentes zones étudiées.....	40
Tableau 09. Résultats des humidités hygroscopiques et des textures des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate El Gouffa.....	41
Tableau 10. Moyennes des humidités hygroscopiques et textures correspondantes par profil..	43
Tableau 11. Intervalles des humidités hygroscopiques des sols sous pistachier de l'Atlas des travaux précédents.....	43
Tableau 12. Résultats des capacités de rétention et textures des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate El Gouffa.....	44
Tableau 13. Moyennes des capacités de retentions par profil.....	46
Tableau 14. Représentation graphique de la capacité de rétention des sols sous pistachier précédemment étudiés.....	46
Tableau 15. pH par niveau des sols de dayate El Gouffa.....	47
Tableau 16. Normes d'appréciation du pH du sol (Baize, 2000).....	48
Tableau 17. Moyennes de pH des sols de la daya d'El Gouffa.....	48
Tableau 18. Représentation graphique des intervalles de pH des sols sous pistachier de l'Atlas des travaux précédents.....	49
Tableau 19. Normes d'appréciation du calcaire total du sol (Baize, 2000).....	49
Tableau 20. Taux de calcaire total (CaCO ₃) et pH des sols sous pistachier de l'Atlas.....	50

Tableau 21. Moyennes de CaCO ₃ des profils étudiés de dayate El Gouffa.....	51
Tableau 22. Taux de calcaire total des sols sous pistachier de l'Atlas des travaux précédents.	51
Tableau 24. Normes d'appréciation de la matière organique de sol (Soltner, 1982).....	52
Tableau 25. Taux carbone (C), de matière organique (M.O), de Calcaire total CaCO ₃ total et pH des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate El Gouffa.....	53
Tableau 26. Moyenne des taux de matière organique (M.O) des profils de dayate El Gouffa.	53
Tableau 27. Taux de matière organique (M.O) des sols sous pistachiers de l'Atlas précédemment étudiés.....	54
Tableau 28. Résultats de l'ANOVA appliquée sur les paramètres physico-chimiques des niveaux de sols de dayate El Gouffa.....	55
Tableau 29. Données de l'ACP 01.....	55
Tableau 30. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres physico-chimiques des sols étudiés à dayate El Gouffa.....	56
Tableau 31. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres physico-chimiques des sols étudiés à dayate El Gouffa, (Aïat à Timzerth et dayate Saadi, Hassi Delaâ) de Boubrima (2014) et les sols de la dayate d'El-Guersa (El-Mergueb) à M'sila, Limane (2009).....	58
Tableau 32. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du sujet 1.....	70
Tableau 33. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du sujet 2.....	72
Tableau 34. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du sujet 3.....	74
Tableau 35. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du sujet 4.....	76
Tableau 36. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du sujet 5.....	78
Tableau 37. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du sujet 6.....	80
Tableau 38. Résultats de l'ANOVA appliquée aux paramètres racinaires à dayate El Gouffa.	81
Tableau 39. Données de l'ACP 03.....	82
Tableau 40. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres racinaires étudiés à dayate El Gouffa.....	82

Tableau 41. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres racinaires étudiés à dayate El Gouffa, (Aïat à Timzerth et dayate Saadi, Hassi Delaâ) de Boubrima (2014) et ceux de la dayate d'El-Guersa (El-Mergueb) à M'sila, Limane (2009).....	84
Tableau 42. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres édaphiques et racinaires étudiés à dayate El Gouffa.....	91
Tableau 43. Ensemble des corrélations obtenues pour les variables testées lors de l'ACP 06...	94

Sommaire

Introduction générale	01
Chapitre 1. Présentation de l'espèce étudiée le pistachier de l'Atlas dans sa région d'étude.	
1. Description du pistachier de l'Atlas.....	04
2. Aire de répartition.....	06
3. Présentation générale de la zone d'étude.....	08
4. Présentation de la zone d'échantillonnage : dayate El-Gouffa.....	13
6. Bioclimat de la zone d'étude.....	14
5. Présentation des sujets échantillonnés.....	19
Chapitre 2. Caractérisation des propriétés physico-chimiques des sols sous pistachier de l'Atlas.	
1. Introduction.....	25
2. Sols des zones arides.....	26
3. Sols des dayas.....	29
4. Caractéristiques physico-chimiques des sols sous pistachier de l'Atlas.....	30
5. Matériel et méthodes.....	31
5.1. Analyse granulométrique.....	32
5.2. Indices d'humidité.....	33
5.2.1. Humidité hygroscopique.....	33
5.2.2. Capacité de rétention.....	33
5.3. Mesure du pH.	34
5.4. Dosage du calcaire.....	34
5.5. Dosage du carbone organique.....	35
5.6. Analyse statistiques.....	35
6. Résultats et discussion.....	36
6.1. Analyse granulométrique.....	36
6.2. Caractéristiques hydriques du sol.....	40
6.2.1. Humidité hygroscopique.....	40
6.2.2. Capacité de rétention.....	43

6.3. Mesure du pH.....	47
6.4. Dosage du calcaire total.....	49
6.5. Dosage du carbone organique.....	52
6.6. Analyse de la variance (ANOVA).....	54
6.7. Analyse en composantes principales (ACP).....	55
6.8. Etude synthétique : ACP 02.....	58
7. Conclusion.....	61

Chapitre 3. Architecture racinaire chez le pistachier de l'Atlas.

1. Introduction.....	62
2. Rôles des racines.....	62
3. Développement du système racinaire et architecture racinaire.....	64
4. Les grandes classes d'architectures racinaires.....	65
5. Système racinaire du pistachier de l'Atlas.....	67
6. Matériel et méthodes	68
7. Résultats et discussions	68
7.1. Sujet 1.....	68
7.2. Sujet 2.....	71
7.3. Sujet 3.....	73
7.4. Sujet 4.....	75
7.5. Sujet 5.....	77
7.6. Sujet 6.....	79
7.7. Analyse de la variance (ANOVA).....	81
7.8. Analyse en composantes principales (ACP).....	81

7.8.1. Relation entre l'ensemble des variables racinaires étudiées à dayate El Gouffa. ACP 03.....	81
7.8.2. Etude synthétique de variables racinaires. ACP 04.....	83
8. Conclusion.....	86
Chapitre 4. Interactions sol-racines chez le pistachier de l'Atlas	
1. Introduction.....	88
2. Interactions sol sous-jacent et Racines.....	91
2.1. Relation entre l'ensemble de variables des propriétés physico-chimiques du sol sous-jacent et celles du système racinaire à dayate El Gouffa : ACP 05.....	91
2.2. Etude Synthétique : ACP 06.....	93
3. Conclusion.....	97
Conclusion générale et perspectives.....	98
Références bibliographiques.....	101

Introduction générale



Le Bassin méditerranéen constitue l'un des plus importants points chauds (*hotspots*) de biodiversité planétaire, par la richesse floristique des communautés végétales terrestres et par son niveau élevé d'endémisme (Médail et Quezel 1999 ; Myers *et al.* 2001 ; Médail et Myers 2004). C'est l'un des écosystèmes les plus rares et menacés au monde, l'un des plus critiques, vraisemblablement en lien étroit et complexe avec ses fonctions passées de refuges glaciaires et celles de refuges actuels (Vela et Benhouhou, 2007).

Le WWF (2001) a classé les forêts de la Méditerranée parmi les écorégions les plus riches et les plus menacées du monde, dans le cadre du programme Global 200, qui identifie toutes les zones-clés (UICN- CEPF) dont la diversité biologique doit être préservée, afin que l'héritage naturel de notre planète soit conservé pour les générations à venir.

Les steppes et pré-steppes algériennes renferment, entre autres, des espèces végétales qui constituent un réservoir de diversité jouant à la fois un rôle contre la désertification, et constituant aussi une source pour l'alimentation du bétail dans les zones les plus reculées et les plus déshéritées. La zone comprise entre le tell et les limites du grand Sahara abrite une forêt pré-steppique à *Pistacia atlantica* qui se régénère et se développe aussi bien dans les dayas, les lits d'oueds, que dans les endroits les plus arides où peu d'espèces d'arbres peuvent s'établir et se développer (Belhadj, 2007).

Le pistachier de l'Atlas est l'une des rares espèces arborescentes présentes dans les régions semi arides, arides et voire même sahariennes. En Algérie, *Pistacia atlantica* Desf. ssp. *atlantica* est un arbre par excellence des milieux steppiques. Cependant, il peut pénétrer profondément jusqu'aux régions sahariennes (Kadi-Bennane *et al.*, 2005). Si la régénération de l'espèce avait été protégée depuis longtemps, elle se serait traduite par la constitution de populations plus homogènes et plus nombreuses (Monjauze, 1980b).

Pistacia atlantica peut être envisagé en DRS (défense et restauration du sol), par son système racinaire très puissant, il peut participer à la fixation des sols et peut donner une production tous les deux à trois ans. Grâce à son caractère rustique et à sa capacité de produire un humus abondant, le pistachier de l'Atlas pourrait être utilisé comme une essence de reboisement pionnière, pour la restauration de milieux fortement dégradés (Oukabli, 2005).

L'arbre fournit un bois d'artisanat et toutes les espèces du pistachier constituent un apport en fourrage considérable pour l'alimentation du bétail, surtout en automne. Cette essence peut entrer dans le cadre de la lutte contre la désertification, utilisée pour la fixation des dunes, comme brise vents (Belhadj, 2001).

Cette espèce mérite des mesures adéquates de protection, notamment dans son milieu naturel. En effet, outre son intérêt forestier et écologique, le Bétoum peut également avoir un intérêt économique certain, notamment en servant de porte greffes pour la culture du Pistachier vrai (*Pistacia vera*) dans les zones semi-arides (Benaradj et al., 2012). Les feuilles sont à vocation fourragère dont la valeur nutritive serait estimait à (0,35 U.F/Kg) de matière fraîche, (Khaldi et Khodja, 1996).

Une activité antileishmanienne des composés phénoliques des feuilles de *Pistacia atlantica* a été démontrée par l'étude de Mammeri (2008) et ses résultats ont établi que les extraits des feuilles constituent une source prometteuse en composés phénoliques.

Pistacia atlantica est une plante médicinale par excellence, ceci est prouvé par les résultats obtenus par l'enquête de Daoudi et al. (2013) concernant son utilisation thérapeutique. Cette plante est utilisée dans le traitement des affections bucco-dentaires, de l'eczéma, la paralysie, les diarrhées, les infections de la gorge, les lithiases rénales et l'asthme. On la considère comme un agent astringent, anti-inflammatoire, antipyrétique, antibactérien et antiviral; la plante est également utilisée dans les préparations de certains produits cosmétiques, tel le célèbre savon de Taza au Maroc (Daoudi et al., 2013).

Les huiles essentielles de *Pistacia atlantica* Desf. en Algérie ont révélé un grand pouvoir antibactérien et antifongique (Benabderrahmane et al., 2009), reste à identifier les principes actifs responsables de cet effet inhibiteur.

Les fruits sont utilisés à des fins culinaires et médicinales. Le fruit donne une excellente huile de table. Elle est obtenue à partir des graines qui contiennent environ 55% d'huile (Daneshard, 1980). L'huile extraite des fruits est consommée seule ou mélangée aux dattes ou figues (Belhadj, 2001, 2007). Elle s'emploie aussi comme baume antitussif en friction externe (Bellakhdar, 1997). Le fruit vert séché, préparé en tisane aurait également des vertus antidiabétique (Belhadj, 2007).

L'objectif de notre travail concerne l'influence des propriétés physico-chimique du sol sur l'architecture racinaire de *Pistacia atlantica*, afin de comprendre l'adaptation de cette espèce à son milieu aride, nous avons choisi une daya qui n'a jamais fait objet d'études auparavant dans la wilaya de Laghouat.

Ce travail enrichit les travaux initiés par les étudiants du Laboratoire Ressources Naturelles de Tizi-Ouzou, concernant l'adaptation de cette espèce. Parmi ces derniers, nous pouvons citer celles de Boubrima (2014) à Laghouat; Limane et *al.*, (2014a), Limane et *al.*, (2014b); Amroun (2013) dans la daya de Aïat Timzerth (wilaya de Laghouat); Bentaleb (2011) et Haboul (2011) dans la daya de Boucédraïa, (wilaya de Djelfa); Abdous (2010) et Tisgouine (2010) dans la forêt de Theniet El Had (wilaya de Tissemsilt); Limane (2009) dans la réserve nationale d'El Mergueb (wilaya de M'sila); Bounceur (2009) et Kebci (2008), dans la daya de Tirlhem; Deguiche et Chebieb (2008) dans la daya de Aïat Timzerth (wilaya de Laghouat); Bournine Béni Ounif (wilaya de Béchar) (2007); Tahroun (2005) à Oued Besbès; Ait Slimane (2004) Béni Ounif (wilaya de Béchar).

Nous avons scindé le mémoire en quatre chapitres. Le premier chapitre a pour but une présentation de l'espèce étudiée, à savoir le pistachier de l'Atlas avec ses exigences climatiques et édaphiques dans sa zone d'étude, ainsi que son aire de répartition. Dans le second chapitre, nous nous sommes intéressés à la caractérisation des propriétés physico-chimiques des sols sous pistachier de l'Atlas. Le troisième chapitre concerne l'architecture racinaire du pistachier de l'Atlas. Le quatrième chapitre de cette étude élucide les interactions sol-racines chez le pistachier de l'Atlas. La conclusion générale rappelle les résultats originaux et les principaux apports de cette étude. Elle souligne notamment la contribution de ce type d'étude à la compréhension des interactions sols-racines.

Chapitre 1.

Présentation de l'espèce étudiée :
Pistacia atlantica Desf. et de la région
d'étude.



1. Description du pistachier de l'Atlas

Pistacia atlantica Desf., de la famille des Anacardiaceae est communément appelé Btem ou Bétoum (Fennane *et al.*, 2007 ; Daoudi *et al.*, 2013), ou El Betoum, Botma, Betoma, Btouma ou Boutmaa en arabe et Igh, Eger, Egégh ou Tisemlal en Berbère (Blanguernon, 1955 ; Monjauze, 1980 ; Bellakhdar, 1997; Oukablia, 2001; Quezel et Médail, 2003 ; Belhadj 2007 et Daoudi *et al.*, 2013).

C'est un arbre puissant, pouvant atteindre 20 m à 25 m de hauteur (Monjauze, 1980 ; Zohary, 1987) à couronne volumineuse et arrondie, il peut atteindre 15 à 25 m de haut, (Emberger, 1938 ; Négre, 1962 ; Belhadj, 2001). Le tronc est bien individualisé (Benhassaini et Belkhodja, 2004). Sa silhouette décrite par Monjauze (1980) est impressionnante. Peu d'essences ont un port plus massif et son feuillage semble même d'autant plus serré qu'il se développe dans des stations au plus faible indice d'évapotranspiration, c'est-à-dire où la contrainte de l'eau est la plus forte (Fig. 1).



Fig. 1. Pistachier de l'Atlas de dayate El Gouffa dans la commune d'Ain Madhi (Laghouat, avril 2014).

Les feuilles sont souples caduques en automne (Fig. 2), imparipennées à rachis finement ailé, composées de 7- 9 folioles larges (Fennane et *al.*, 2007) et de 7-11 folioles de (2,5 - 6) x (0,5 - 1,5) centimètres. Elles sont alternes et mesurent rarement plus de 12 cm de longueur totale (Monjauze, 1980).

Le pétiole est non ailé (Meikle, 1977 *in* Belhadj, 2007) ou à peine ailé (Tutin et *al.*, 1981 *in* Aït Saïd, 2011).

Les fleurs sont apétales et rougeâtres, en grappes lâches, terminales pour les mâles et axillaires pour les femelles. La pollinisation est effectuée par le vent (anémophile).

Le fruit est une petite drupe, de la taille d'un pois, à peine charnue. Il est appelé Elkhodiri ou Godeim par les populations locales en Algérie, appellation due à la prédominance de la couleur vert foncé à maturité (Belhadj, 1999). Les fruits prennent au départ une couleur jaune, qui change progressivement au rouge (Fig. 3) puis au bleu. Ils atteignent leur maturité au mois de septembre, en ayant une couleur vert foncée.



Fig. 2. Feuillage du pistachier de l'Atlas

Fig. 3. Fruits du pistachier de l'Atlas

(Laghout, Avril 2014).

2. Aire de répartition

Les pistachiers sont des essences caractéristiques de la région méditerranéenne (Boudy, 1952). D'après Zohary (1952, 1987), Monjauze (1980), Ozenda (1983) et Quezel et Médail (2003), l'espèce *Pistacia atlantica* est commune aux deux régions méditerranéenne et irano-touranienne (Fig. 4).

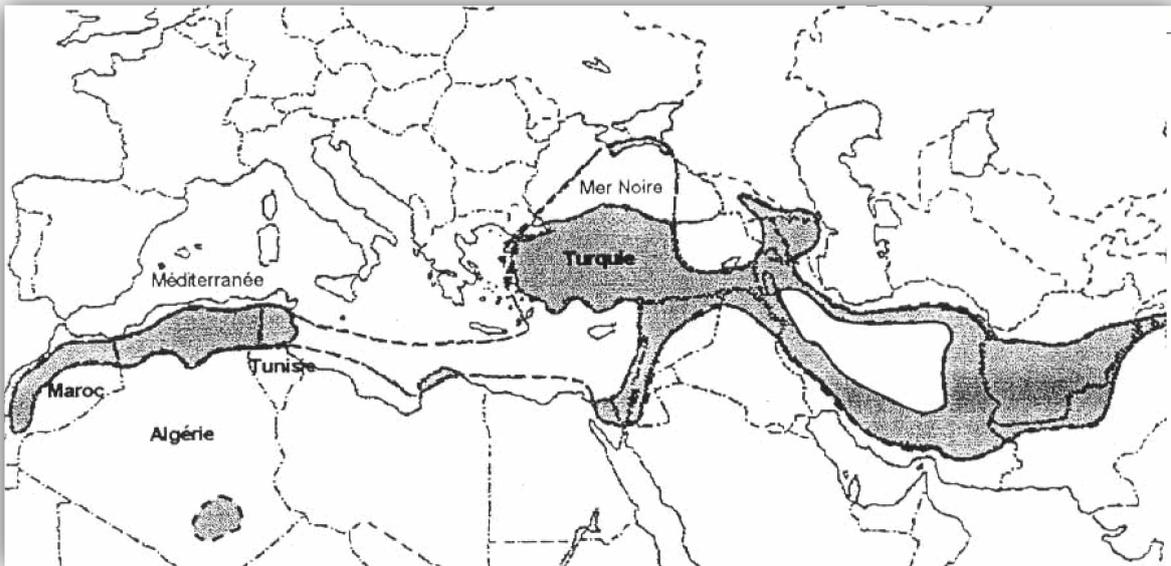


Fig. 4. Carte de distribution de *Pistacia atlantica* Desf., dans le monde [d'après Alyafi (1979); Browicz (1988), et Khaldi (comm.pers. in Zohary (1996); modifié par Belhadj (2007)].

La répartition mondiale des sous espèces est décrite selon Browicz (1988 in Zohary, 1996), *Pistacia atlantica* Desf., se subdivise en quatre races éco-géographiques :

- ssp. *cabulica* (Stocks) Rech. f., localisée au Pakistan, en Afghanistan et au sud de l'Iran ;
- ssp. *mutica* (Fischer & C.A. Meyer) Rech. f., répartie en Caucasic, en Arménie, en Crimée au nord de la Turquie et au nord de l'Iran ;
- ssp. *kurdica* (Zohary) Rech. f., distribuée à l'ouest de l'Iran, au sud-est de la Turquie, en Syrie et en Palestine ;
- ssp. *atlantica* native des pays du grand Maghreb.

En Algérie, le pistachier de l'Atlas est largement distribué de la Mitidja au Sahara Septentrional, dans la région des dayas au pied de l'Atlas Saharien jusqu'à 2000 m d'altitude ; il est rare dans le Hoggar (Fig. 5) (Monjauze, 1980 et Seigue, 1985).

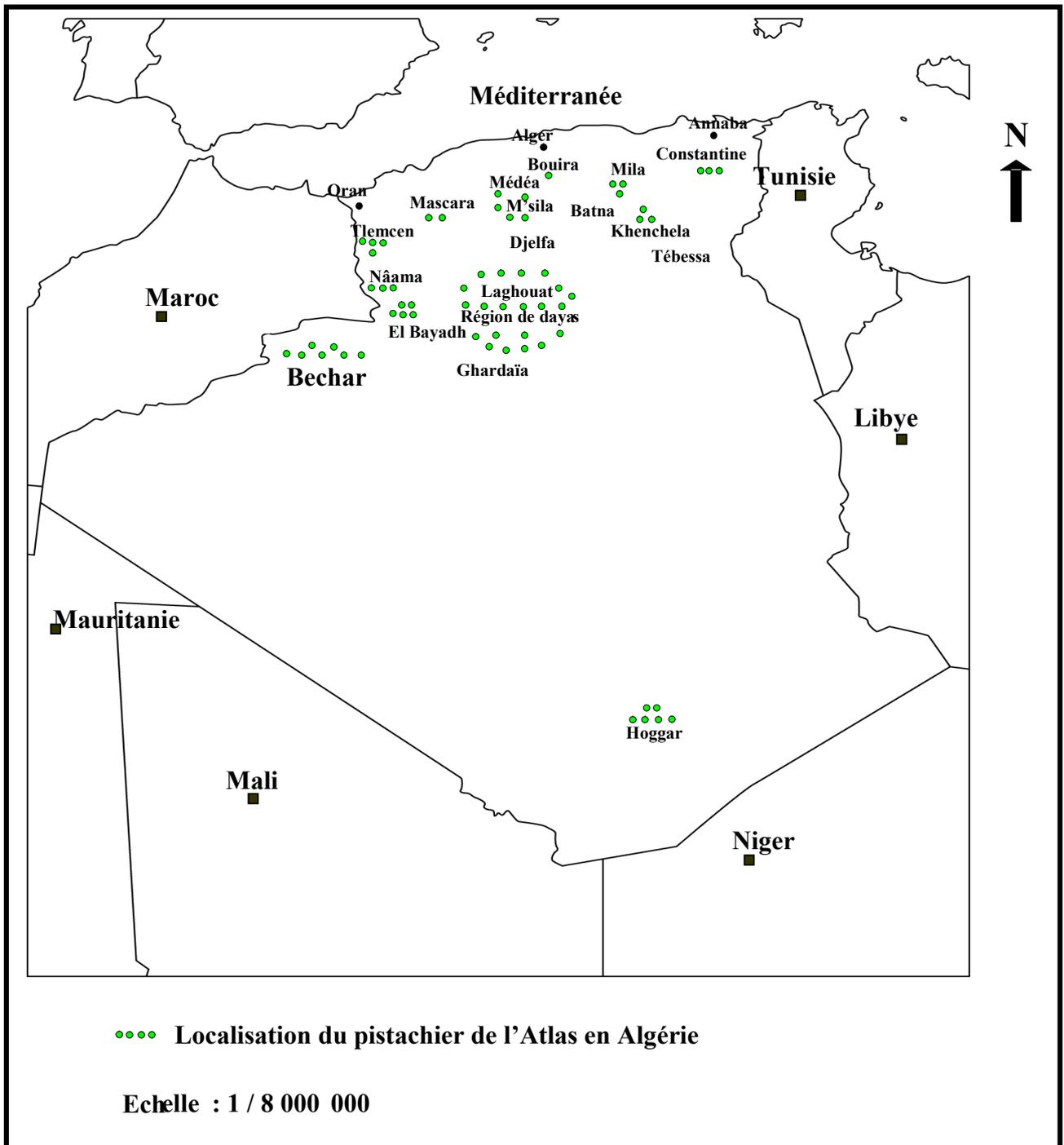


Fig. 5. Répartition du pistachier de l'Atlas en Algérie d'après Monjauze (1980) modifié par (Kebci, 2008).

3. Présentation générale de la zone d'étude

De par sa position géographique sur la latitude Nord de 33° 48' et la longitude Est de 02°35' et ses caractéristiques climatiques, la wilaya de Laghouat fait partie du groupe des neuf wilayas pastorales du pays. Elle est distante de 400 Km de la capitale Alger (Fig. 6).

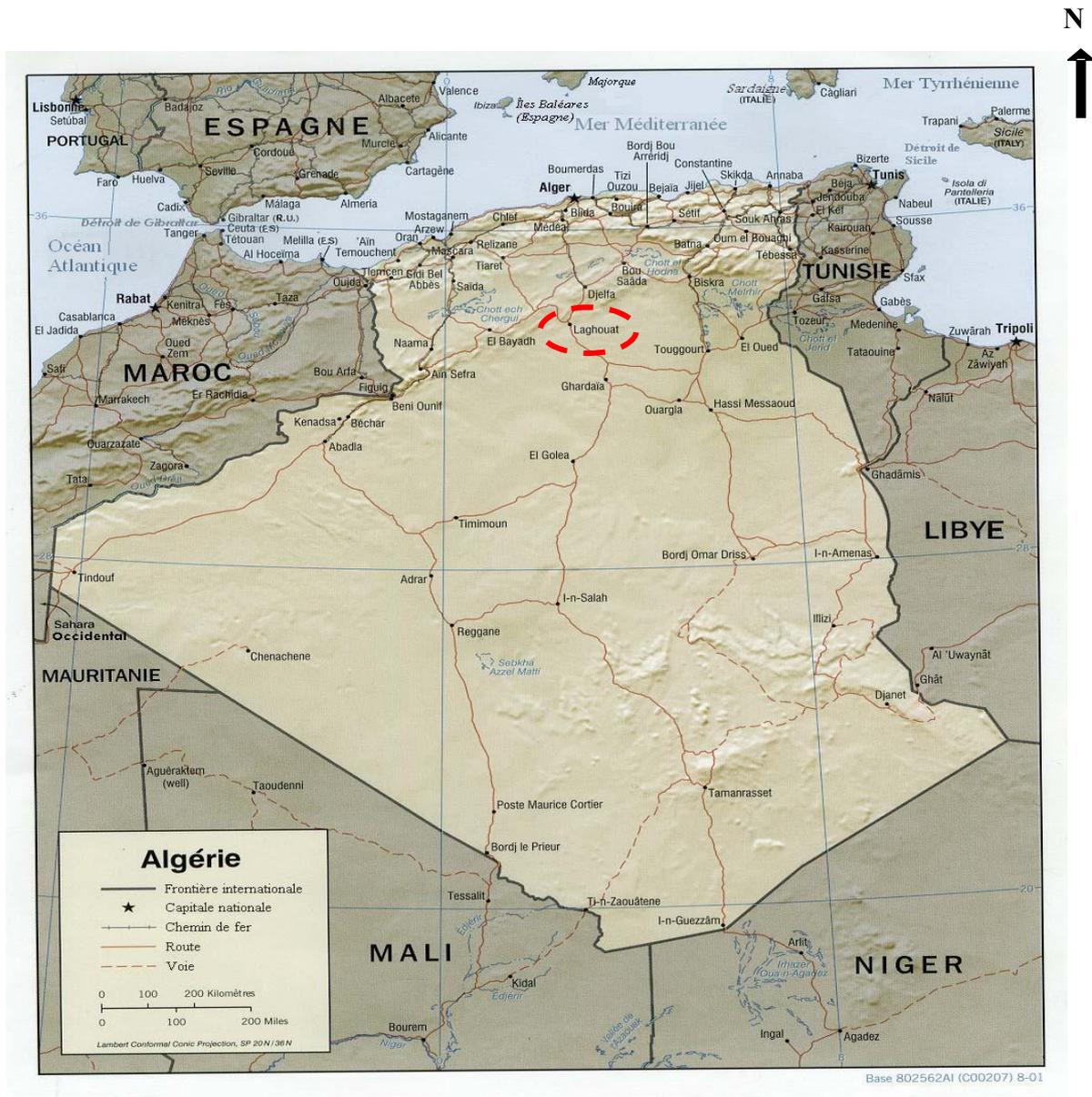


Fig. 6. Localisation de la wilaya de Laghouat (google.fr).

La wilaya de Laghouat est limitée administrativement par :

- la wilaya d’Ouargla à l’Est ;
- les wilayas de Djelfa et Tiaret au Nord ;
- la wilaya d’El Bayadh à l’Ouest ;
- la wilaya de Ghardaïa au Sud.

La wilaya de Laghouat se localise sur des glacis du quaternaire appartenant au sous secteur de l'Atlas Saharien algérois (Kadi-Hanifi et Amghar, 2002).

La distribution climatique de la région de Laghouat illustrée par la (figure 7) du nord-ouest au sud-est, le climat passe de l'étage semi-aride à l'étage saharien en passant par l'étage aride (Silaâ, 2012).

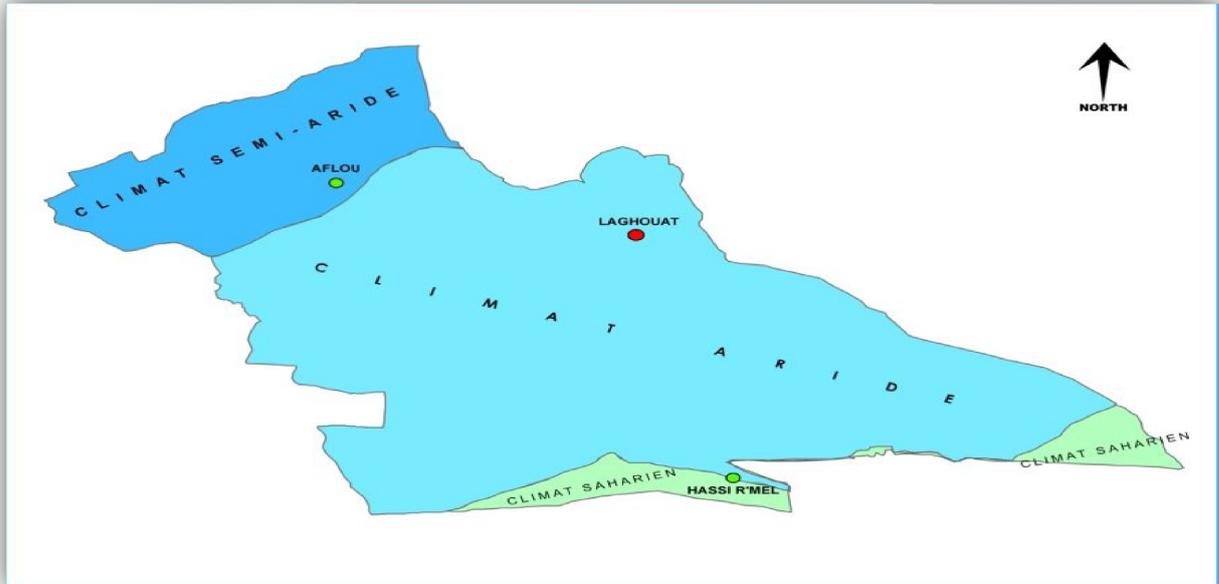


Fig. 7. Étagement bioclimatique de la wilaya de Laghouat (Silaâ, 2012).

Laghouat est située au cœur de la région des Dayas, qui selon Monjauze (1982), est un haut plateau dont l'altitude moyenne passe de 1000 à 500 m de l'ouest à l'est, il couvre à peu près 30 000 Km², il longe l'Atlas saharien central par son grand côté, s'appuie au sud sur la Chebka du M'zab, à l'ouest sur des plateaux descendant vers le grand Erg Occidental et à l'est s'atténue en pente douce en direction des grands oueds.

Les dayas correspondent à des zones de concentration des eaux de ruissellement. Ces dépressions sont également le lieu privilégié de décantation de diverses particules en suspension. A une telle localisation correspond un sol relativement profond, à texture limono-argileuse (Pouget, 1980).

Les dayas sont localisées au sein d'un vaste territoire constituant un large front entre le microclimat méditerranéen et saharien. Ce type d'habitat réunit les derniers et ultimes vestiges d'une végétation forestière. En effet, les dayas sont pourvues d'une végétation dense qui tranche par rapport à la steppe des hamadas (Taïbi et *al.*, 1999).

Le caractère spécifique des dayas est d'avoir un fond très plat, de n'être qu'accidentellement limitées par des abrupts, et jamais complètement imperméables. Modèles de karstification superficielle sous climat aride ou semi-aride, elles sont abondantes de part et d'autre de l'Atlas Saharien. Elles sont de forme régulière et peuplées de *Pistacia atlantica* (Monjauze, 1982). La daya naît par effondrement sous-jacent, accueille la végétation, se développe puis tourne à la stérilité finale par infiltration généralisée.

Conrad et *al.* (1967) distinguent trois types principaux en fonction de leur taille et surtout de leur profondeur :

- type peu déprimé : 15 à 20 m de diamètre et quelques centimètres de dénivellation ;
- type un peu déprimé : diamètre de 60 à 150 m pour une dénivellation ne dépassant pas un mètre ; leur forme reste grossièrement circulaire avec des évaginations correspondant à des chenaux de ruissellement plus ou moins bien individualisés et profonds (comparée à une assiette creuse) ;
- type très déprimé : diamètre de l'ordre hectométrique sinon kilométrique pour une dénivellation de plusieurs mètres ; le fond de la daya est plat.

La morphologie et la végétation des dayas du stade naissant au stade adulte ont été données par Taibi et *al.*, (1999) (Fig. 8).

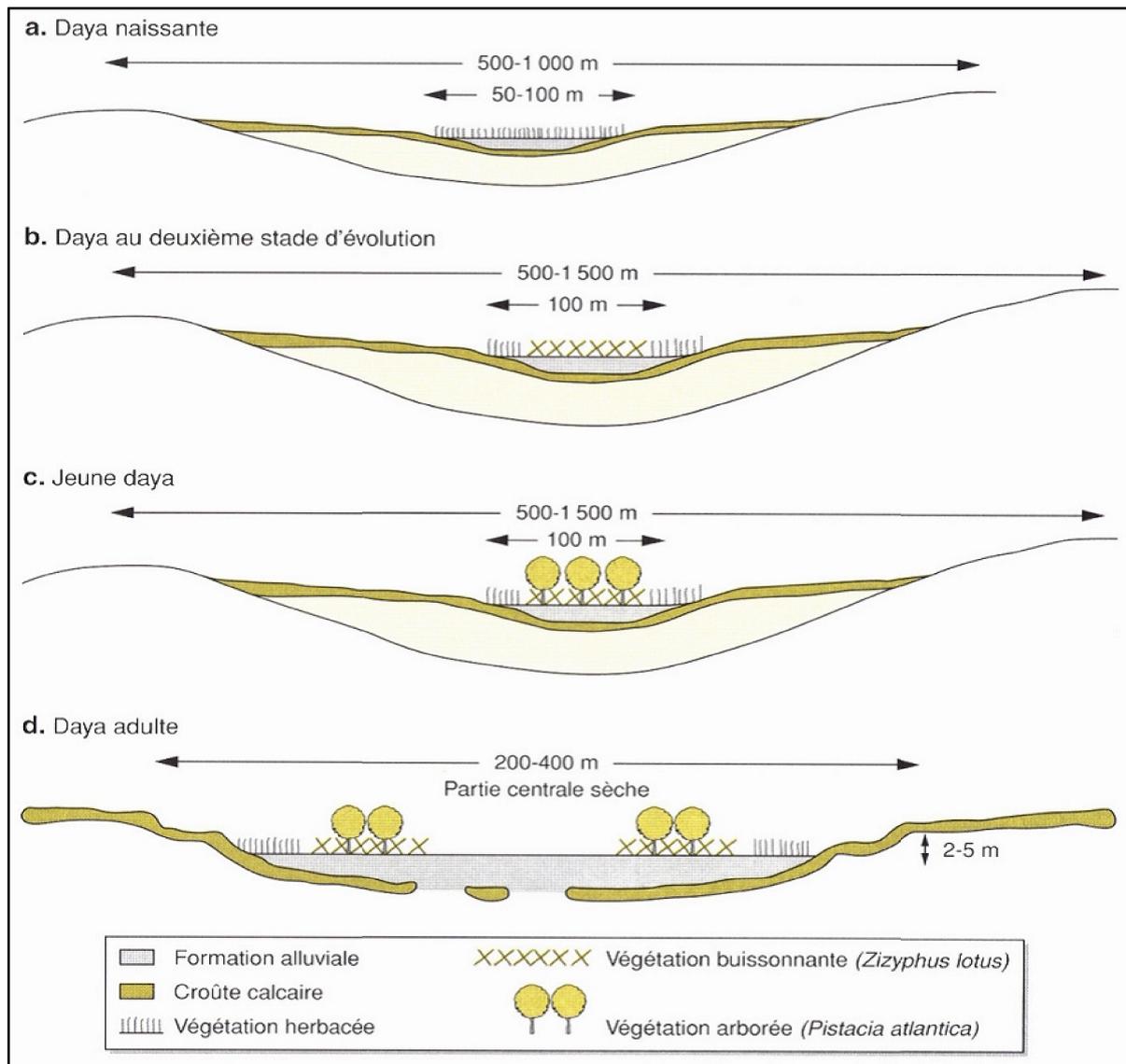


Fig. 8. Stade d'évolution morphologique des dayas d'après Taibi et *al.* (1999).

Au cours d'un premier stade, ces dayas de taille réduite (d'une moyenne inférieure à 30000 m²), sont caractérisées par une grande régularité de forme : elles sont presque parfaitement circulaires. Leur zone centrale, inondée pendant plus longtemps que les bords et colmatée par une formation colluviale sablo-limoneuse, est colonisée par une végétation plus ou moins dense, herbacée et arbustive. Elle est entourée d'une auréole, s'asséchant de plus en plus rapidement vers les bords extérieurs et soumise à une déflation un peu plus prolongée que la zone centrale, qui est caractérisée par une végétation clairsemée, puis de transition avec la steppe environnante.

Dans un deuxième stade, avec l'approfondissement de la daya se met en place le jujubier (*Ziziphus lotus*) qui élimine progressivement l'association végétale précédente. Ces dayas, de taille moyenne inférieure à 100000 m² présentent des formes encore proches du cercle.

Au stade suivant apparaît la strate arborée. Le bétoum se développe à l'abri des buissons de jujubiers, la végétation herbacée étant rejetée à l'extrême périphérie de la daya de manière générale, le centre des dayas est alors couvert de formations végétales denses plutôt arborées, entouré d'une végétation herbacée et arbustive de plus lâche.

Au niveau des buissons de jujubiers se forment les nebkhas. Elles correspondent à une accumulation de sable quartzeux, souvent riche en matériaux argileux qui s'installent à l'abri des touffes en forme de coussinets de végétaux chamaephytes ou nanophanérophites, comme c'est souvent le cas avec les nebkhas à *Zizyphus lotus* (Kaabache, 2003) (Fig. 9).



Fig. 9. Nebkhas à *Zizyphus lotus* à dayate El Gouffa (Laghouat, avril 2014).

Avec leur monticule, elles forment un gîte de choix pour les rongeurs (gerboises, rats et lapins), les hérissons, les reptiles (serpents et vipères) et les arachnides (scorpions et araignées). De leur côté, les animaux apportent directement à la plante la matière organique riche en éléments fertilisants et permettent indirectement une économie d'eau disponible grâce à l'écran protecteur constitué par leurs terriers. Le jujubier a été utilisé pour longtemps comme ceinture verte protectrice contre les courants d'eau, comme clôture épineuse (morte ou vivante) et pour ombrage près des douars (Bamouh, 2003).

Les dayas à évolution morphologique plus longue présentent une organisation concentrique encore différente : le centre est à nu, la végétation plus ou moins dense se cantonnant à la périphérie ce qui indique une évolution longue qui aboutit à l'assèchement de la zone centrale en éliminant progressivement toute végétation (Fig. 8d). A l'extrême périphérie apparaît une végétation de transition vers la steppe. Ces dayas de grande taille (surface moyenne de 170000 m^2) correspondent à un stade d'évolution avancé pour lequel on peut définir des stades intermédiaires. A terme, la zone centrale nue s'étend jusqu'à faire disparaître complètement la végétation, la daya est alors « morte ».

4. Présentation de la zone d'échantillonnage : dayate El-Gouffa.

Notre zone d'étude, dayate El Gouffa est située dans la région de Lagrare, dans la commune d'Ain Madhi (à 80 km du chef-lieu de la wilaya) en passant par la commune de Kheneg et en allant vers le sud cette daya est à une altitude de 982 m, sa latitude Nord est $33^{\circ}29'$ et la longitude est $02^{\circ}13'$ (Fig. 10 et 11).

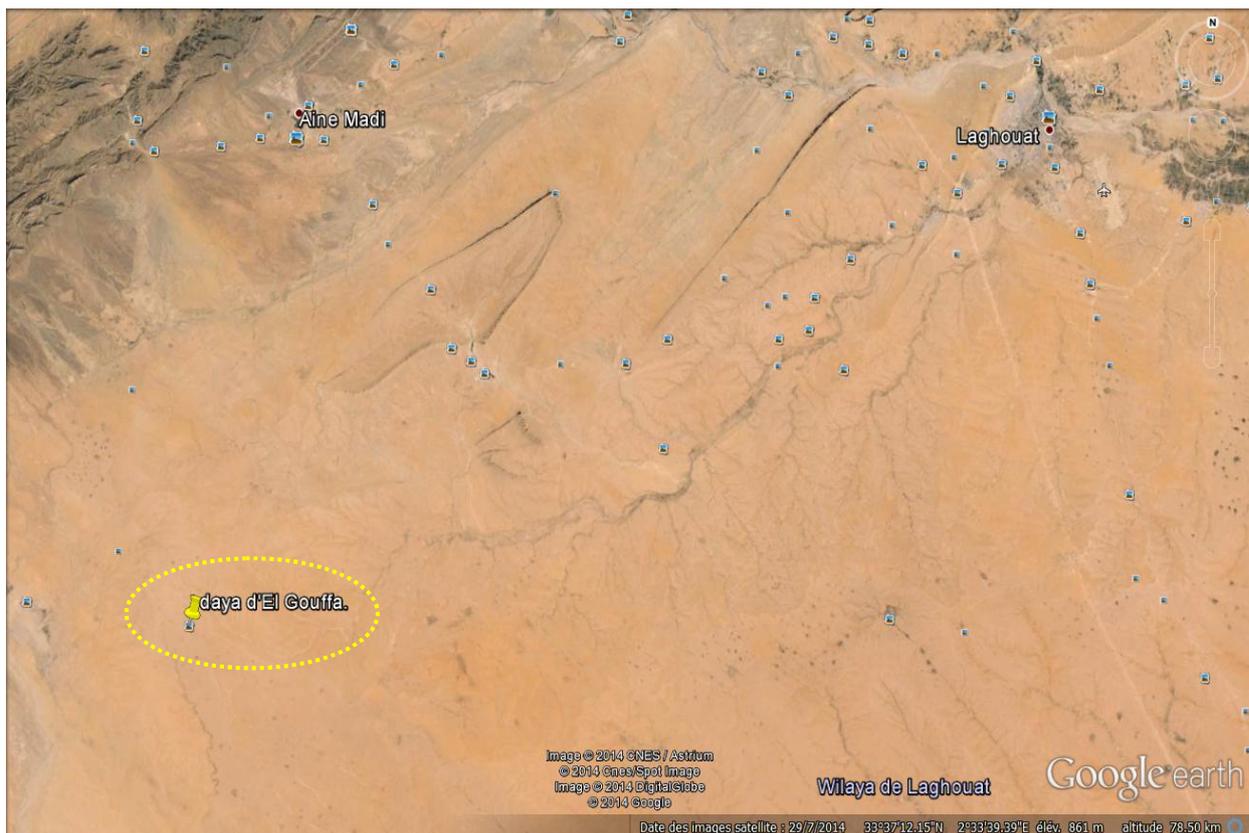


Fig. 10. Image satellite montrant la localisation de la station d'étude (Google Earth, 2014).

Les mensurations de dayate El Gouffa qui sont : 572.22 m de longueur et 242.60 m de largeur qui nous donne une superficie de 138820,57 m², nous amène à conclure que c'est « une jeune daya » colonisée par *Ziziphus lotus* et *Pistacia atlantica*.



Fig. 11. Situation de dayate El Gouffa (Google earth, 2014).

5. Bioclimat de la zone d'étude

La station météo de Laghouat est professionnelle automatisée de type CH24 et encadre notre site d'étude. En conséquence, sa caractérisation bio-climatologique est plus précise. En effet, la carte ci-après montre les zones d'influence des stations météorologiques de la wilaya de Laghouat (Fig.12, Tableau 1).

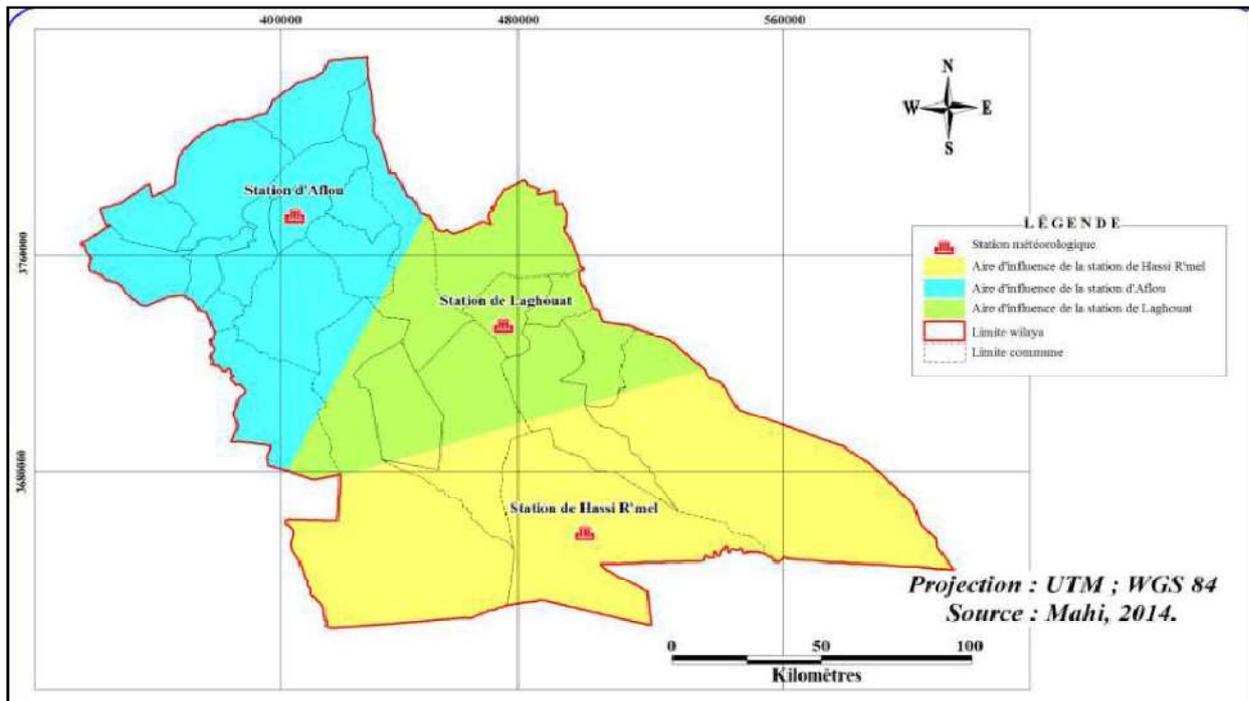


Fig. 12. Aires d'influence des stations météorologiques de la wilaya de Laghouat (Mahi, 2014).

Pour la détermination de la station de référence les données sont représentées dans le tableau 01.

Tableau 01. Caractéristiques de la station de référence (Mahi, 2014).

Station de référence	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Localisation
Laghouat	33°53° N	02° 31° E	777	Route de Khenag

A l'examen du tableau 02, la variabilité des précipitations mensuelles dans la station de Laghouat fait ressortir un maximum en octobre (27,63 mm) et septembre (27,48 mm). Le minimum a été enregistré en juillet (5,56 mm).

Tableau 02. Précipitations mensuelles (mm) de la station Laghouat (2002-2012) (ONM-Alger).

Mois	J	F	M	A	M	J	Jlt	A	S	O	N	D	Cumul Annuel (mm)
Laghouat	16,59	7,75	12,52	22,88	10,09	8,93	5,56	13,53	27,48	27,63	10,94	17,53	181,42

Pour la caractérisation du régime thermique de la région d'étude, les données disponibles sont celles de la station de Laghouat (2002-2012) (ONM-Alger) représentés dans le Tableau 03.

Tableau 03. Température (°C) de la station d'étude (2002-2012) (ONM-Alger) (Boubrima, 2014).

Station	T	J	F	M	A	M	J	Jlt	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
Laghouat	M	14,67	16,09	20,71	24,55	29,45	35,66	39,7	40,89	32,12	26,45	19,13	15	26,20
	m	2,03	3,04	6,46	9,96	14,8	19,69	23,86	38,55	18,04	12,9	6,3	3,04	13,22
	M+m /2	8,35	9,56	13,58	17,25	22,12	27,67	31,78	36,48	25,08	19,67	12,71	9,02	19,43

m : température moyenne minimale mensuelle en °C.

M : température moyenne maximale mensuelle en °C.

(M+m)/2 : température moyenne mensuelle en °C.

L'analyse de ces valeurs nous permet de remarquer que les températures maximales ont leurs plus fortes valeurs de juin à août où elles dépassent la barre des 35°C, avec un maximum en août (M= 40,89°C) mois le plus chaud, tandis que les plus faibles valeurs se produisent en janvier, avec un minimum (m= 2,03°C) mois le plus froid.

Bagnouls & Gausson (1953) considèrent qu'un mois est sec quand le total des précipitations exprimées en millimètres (P en mm) est inférieur au double de la température (T en °C).

D'après les moyennes mensuelles de température et le total des précipitations mensuelles sur dix années au niveau de Laghouat, le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson a montré que la période sèche s'étale sur toute l'année soit un total de 12 mois (Fig.13).

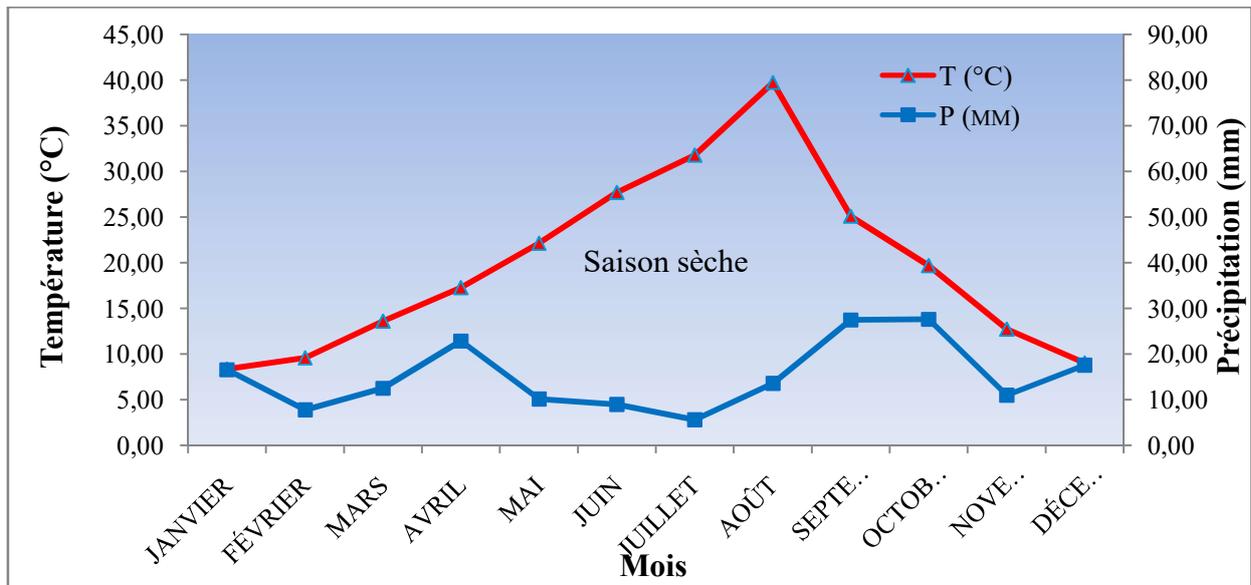


Fig. 13. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson pour Laghouat (2002-2012), (Boubrima, 2014).

Le Houérou (1995) a dressé une zonation éoclimatique des régions arides de l'Afrique du Nord en portant sur les ordonnées le quotient pluvio-évapotranspiratoire (P/ETPp), et sur les abscisses les moyennes des températures minimales du mois le plus froid (Fig. 20). ETP correspond à l'évapotranspiration calculée à partir de la formule de Penman :

$$ETP = [(M+m)/2] \times 68,64$$

Le tableau 04 retrace les différents calculs effectués pour classer notre station dans la zonation éoclimatiques de Le Houérou (1995).

Tableau 04. Données et paramètres utilisés dans la classification éoclimatique de la station de Laghouat (Boubrima, 2014).

Station	Altitude (m)	P (mm)	M	m	$\frac{M+m}{2}$	ETPp	$\frac{P}{ETPp}$	(P /ETPp) x100	Classification
Laghouat	777	181,42	40,89	2,03	21,46	1473	0,12	12	Aride inférieur à hiver frais

L'analyse du climat à travers ses différentes composantes sur une période allant de 2002 à 2012 a révélé que sur le climagramme de Le Houérou, notre station (Laghouat) se place dans l'étage bioclimatique aride inférieur ou selon le même auteur appelé aussi aride accentué ou présaharien ou subdésertique à hiver frais (Fig. 14).

La zone aride est caractérisée à la fois par son climat toujours peu pluvieux et parfois très sec et très irrégulier. La végétation est herbacée ou frutescente, rarement arborée, très irrégulièrement répartie, elle constitue un couvert excessivement lâche (Aubert, 1960).

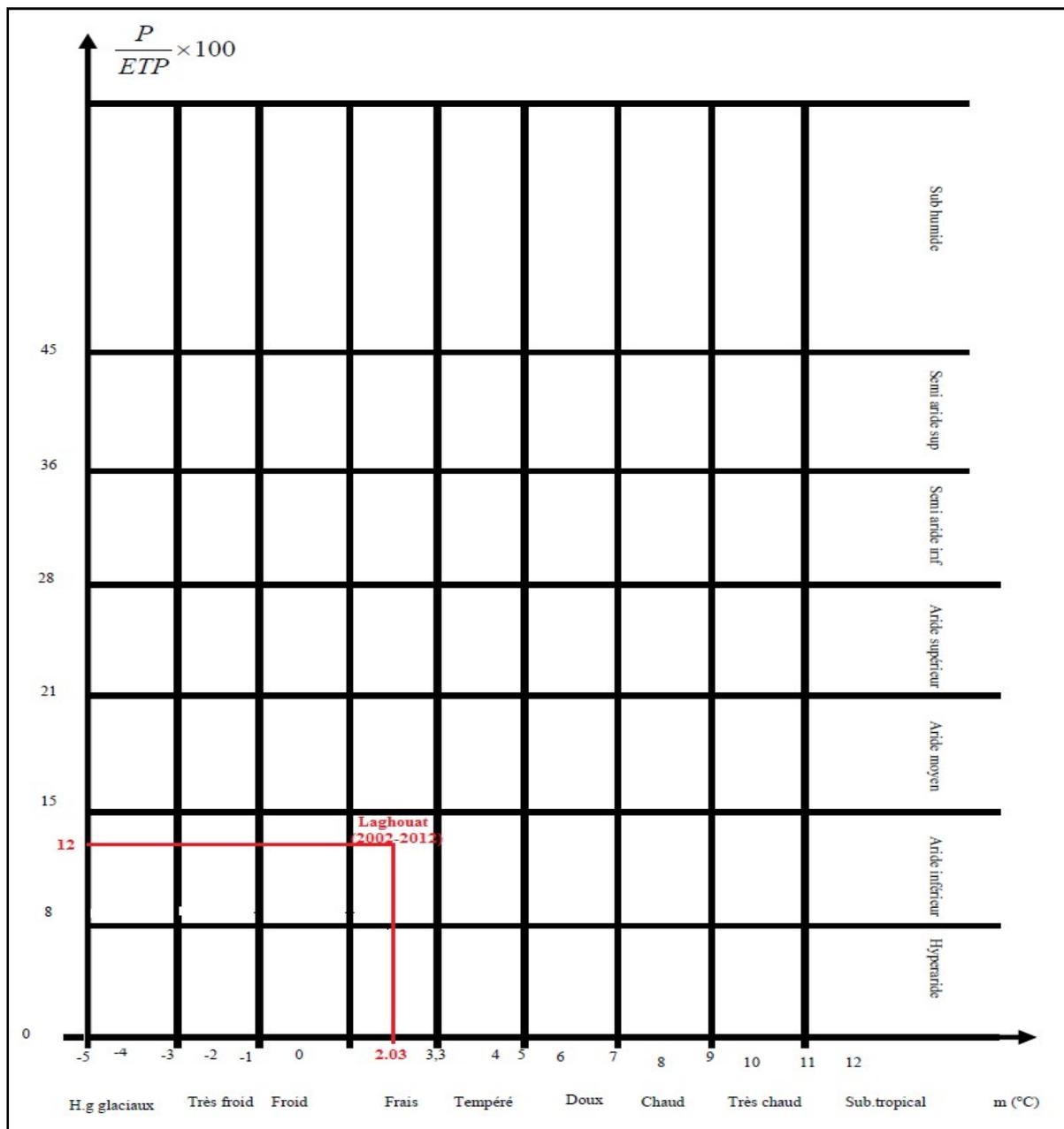


Fig. 14. Zonation écoclimatique de la station de Laghouat selon la méthode de Le Houérou (1995) (Boubrima, 2014).

6. Présentation des sujets échantillonnés

➤ Sujet 1

Arbre immature ; latitude : 33° 29'. 712 Nord ; longitude : 02° 15'. 400 Est, altitude à 956,46 m. L'arbre présente une circonférence de 10.5 cm et une ramification à six branches (Fig. 15).



Fig. 15. Sujet 1, dayate El-Gouffa (Laghouat, Avril 2014).

➤ **Sujet 2**

Sujet petit femelle ; latitude : 33° 29'. 712 Nord ; Longitude : 02° 13'. 406 Est, à 971.40 m d'altitude. L'arbre présente une circonférence de 24 cm et une ramification à trois branches (Fig. 16).

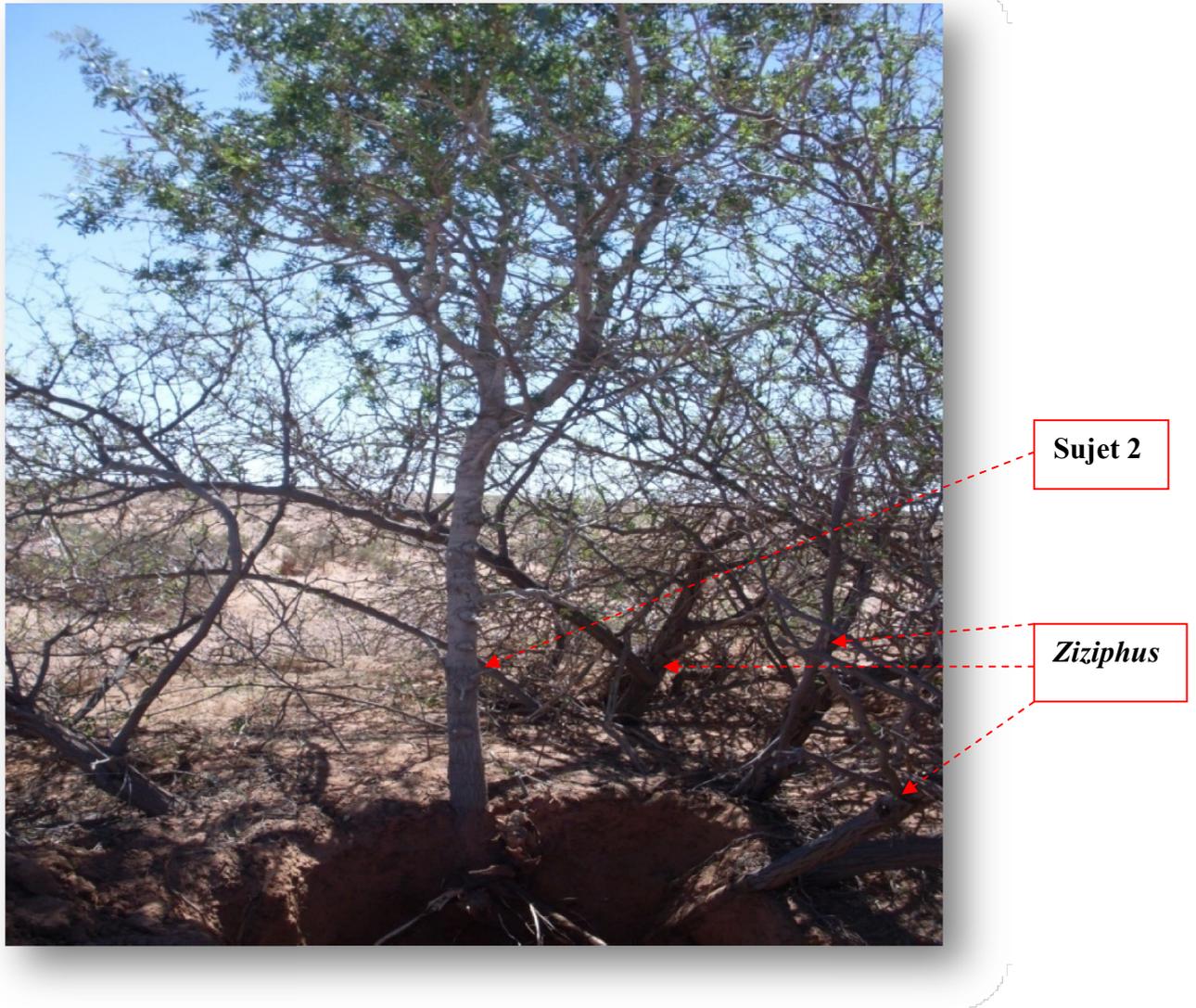
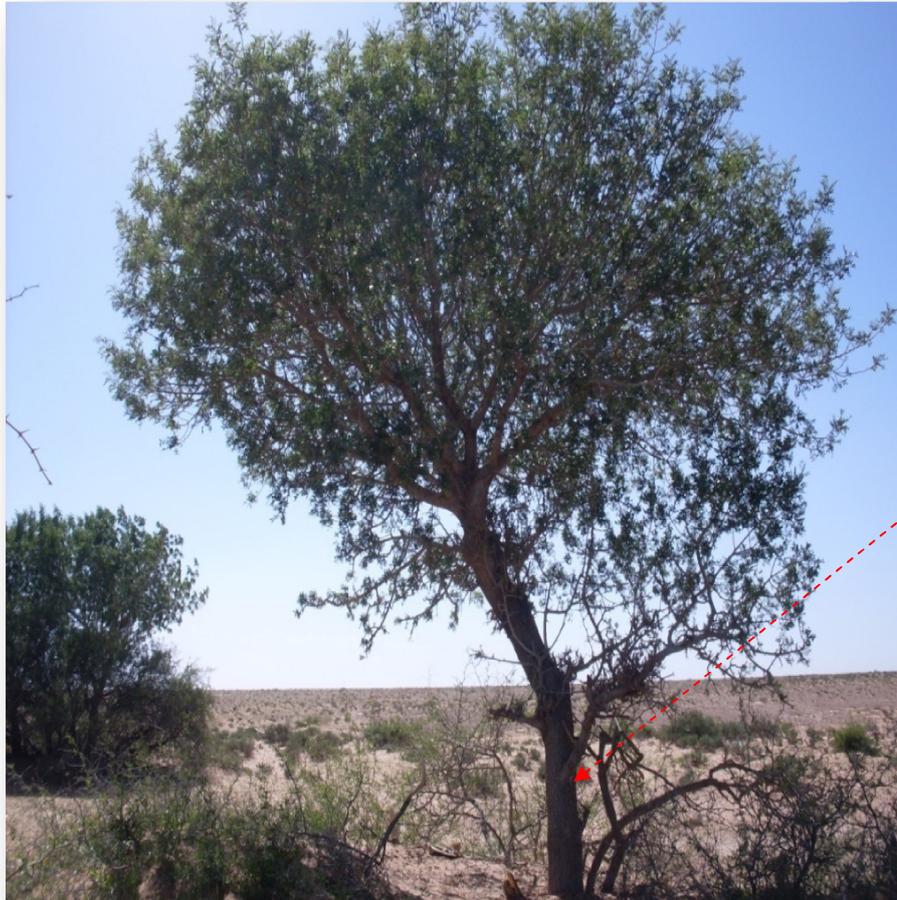


Fig. 16. Sujet 2, dayate El Gouffa (Laghouat, Avril 2014).

➤ **Sujet 3**

Arbre moyen mâle ; latitude : 33°29'.566 N ; longitude : 2°13'.3111 E, à 990,29 m d'altitude. Au niveau de la partie aérienne on rencontre une ramification à six branches (Fig. 17).



Sujet 3

Fig. 17. Sujet 3, dayate El Gouffa (Laghouat, Avril 2014).

➤ **Sujet 4**

Arbre moyen femelle ; latitude : 33° 29'. 642 Nord ; longitude : 02° 13'. 332 Est, à 970,79 m d'altitude. Le sujet présente deux ramifications et une troisième qui est coupée (Fig.18).

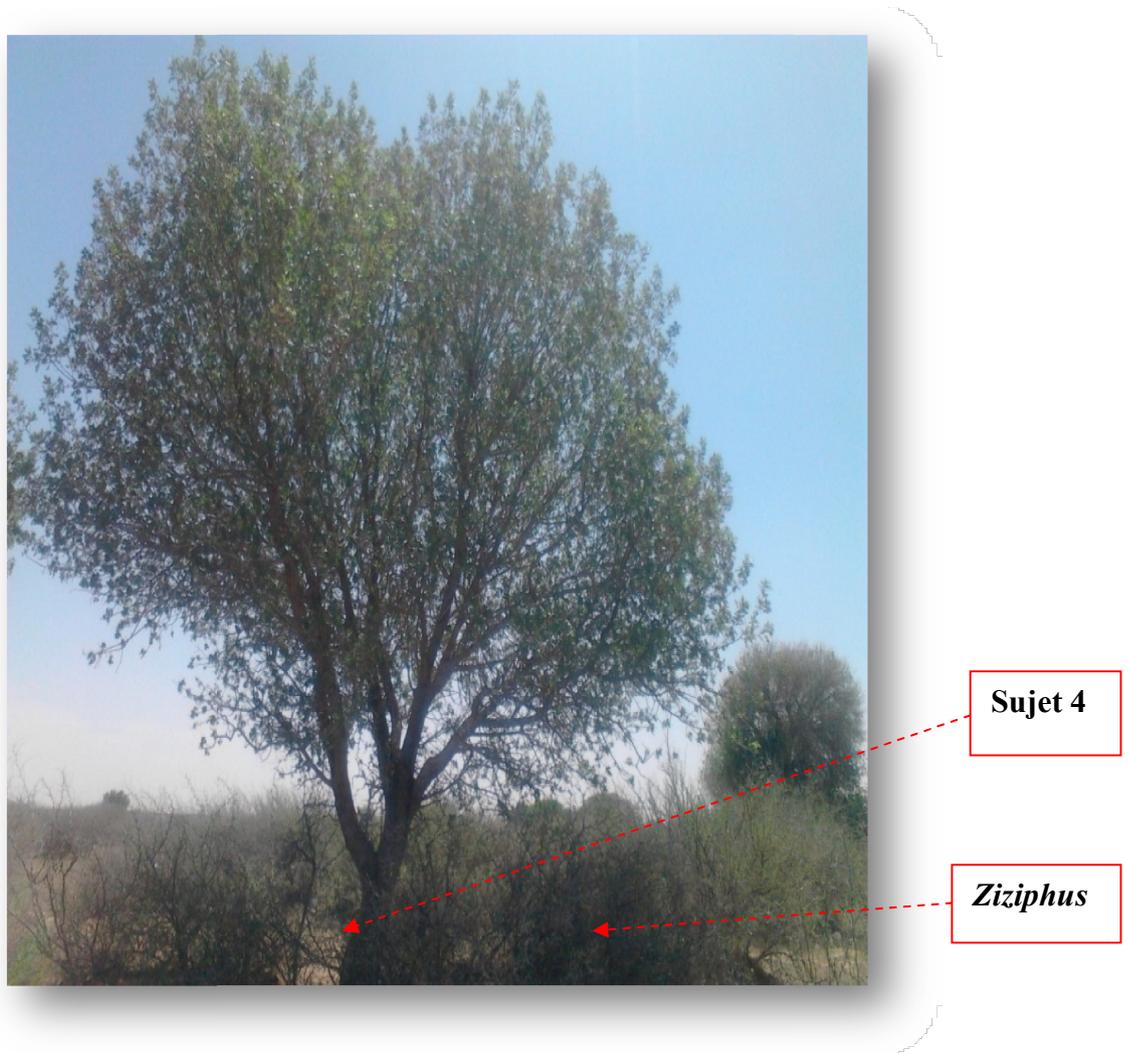


Fig. 18. Sujet 4, dayate El Gouffa (Laghouat, Avril 2014).

➤ **Sujet 5**

Arbre femelle âgée ; latitude : 33° 29'. 519 Nord ; longitude : 02° 13'. 353 Est, à 955,85 m d'altitude. L'arbre montre une circonférence de 245 cm ; avec 06 branches (Fig. 19).



Sujet 5

Fig. 19. Sujet 5, dayate El Gouffa (Laghout, Avril 2014).

➤ **Sujet 6**

Arbre mâle âgé ; latitude : 33° 29'. 553 Nord ; Longitude : 02° 13'. 425 Est, à 971,40 m d'altitude. La circonférence de l'arbre prise à 1m30 du sol est de 339 cm ramifié en 03 branches, dont la plus grosse est à 255 cm. Le sol autour de l'arbre est nu sans végétation et plus précisément sans *ziziphus* et très compacte (Fig.20)



Sujet 6

Fig. 20. Sujet 6, dayate El Gouffa (Laghouat, Avril 2014).

Chapitre 2.

Caractérisation de propriétés physico-chimiques des sols sous pistachier de l'Atlas.



1. Introduction

L'attrait scientifique pour l'étude du sol réside dans son rôle capital pour l'homme et les écosystèmes. Le sol est le support physique et nutritif des êtres vivants à la surface des continents et de ce fait, le support de vie de l'homme. Le sol est la couche la plus externe de la croûte terrestre, résultat de l'action mutuelle de l'eau, de l'air et des êtres vivants sur une roche, dans une position géographique donnée et pendant un temps donné (Drénou, 2006). Il est le résultat des interactions entre le monde minéral et les êtres vivants sous l'influence des conditions environnementales du milieu. Ces interactions permanentes lui confèrent une variabilité importante, spatiale et temporelle, multi-échelle, difficile à appréhender. Cette complexité caractérise les milieux naturels et rend leur étude délicate (Hubert, 2008).

Le sol en tant que partie de l'écosystème occupe une position clé dans les cycles globaux des matières (Gobat *et al.*, 2003). Ainsi, par ses fonctions naturelles, le sol peut être considéré comme :

- **un support pour les êtres vivants** : le sol est le milieu de vie des êtres vivants terrestres et par cette fonction, il assure le maintien de leur réserve génétique (notamment au niveau des microorganismes du sol) ;
- **un réservoir de matières organiques et minérales** : le sol est la ressource primordiale en éléments nutritifs des êtres vivants terrestres ;
- **un régulateur des échanges et des flux de l'écosystème** : le sol est le pivot du système biogéochimique; il joue un rôle majeur dans les cycles fondamentaux du fonctionnement de la planète comme par exemple le cycle du carbone, de l'azote, des cations et encore de l'eau ;
- **un lieu de transformation de la matière organique** : cette fonction du sol est principalement due à l'abondance et à la diversité des microorganismes du sol ;
- **un système épurateur de substances polluantes** : le sol par ses propriétés de rétention et de transformation permet de limiter la dispersion de substances polluantes comme les pesticides, les nitrates ou les éléments traces métalliques aux autres milieux de l'écosystème terrestre (comme les nappes phréatiques ou les cours d'eau et le milieu marin).

Les paysages et les sols des régions méditerranéennes restent profondément marqués par toute l'histoire des cycles climatiques du Quaternaire; l'héritage du passé est si important qu'il n'en est que plus difficile de saisir les processus actuels de pédogénèse. A toutes ces difficultés, s'ajoute l'aridité du climat qui réduit le degré actuel d'évolution des sols (Pouget, 1980). Dans les zones désertiques où des précipitations sont inférieures à 100 mm, l'altération chimique des roches est très réduite, les transformations sont essentiellement physiques.

La roche est désagrégée sous l'action des variations thermiques. Le matériel fin est déblayé par l'érosion éolienne. Ailleurs, le vent provoque l'accumulation d'éléments sableux pour former des sols d'apports. Les mouvements sous forme soluble sont réduits. Dans les sols plus ou moins limoneux, ils donnent origine à de minces pellicules superficielles de chlorures, de gypse ou de carbonates (Aubert, 1962).

La décomposition de la matière organique est favorisée autour des plantes grâce à l'ombrage et à une activité biologique plus élevées. La stabilité d'un sol dépend de sa richesse en matière organique et en humus, ce qui revient à affirmer l'importance qu'a le couvert végétal dans un milieu sec.

Le pistachier de l'Atlas participe à l'amélioration des propriétés physico-chimiques du sol en produisant des quantités considérables d'humus (Mirzaie et *al.*, 2001).

Une source importante de matière organique dans le sol est constituée par la racine du végétal. Cet apport peut être direct (décomposition des racines mortes, sécrétions racinaires) ou indirect (stimulation de la prolifération microbienne dans la rhizosphère). En conséquence, comme l'ont montré par exemple Bui Huu Tri et Monnier (1973a et b), Tisdall et Oades (1979) et Reid et Goss (1981), le système racinaire exerce une action positive sur la stabilité des agrégats du sol.

2. Sols des zones arides

En Algérie, les zones arides représentent près de 95% du territoire national dont 80% dans le zône hyperaride (Halitim, 1988).

Ces diverses régions correspondent à de grandes dépressions et à de basses plaines aux pieds des chaînes de montagnes. Elles sont constituées par des dépôts de piedmont et cônes de déjection, par les terrasses anciennes, récentes et actuelles ou de bas niveau, et par des rivières qui en descendent (Aubert, 1960). Les zones arides sont caractérisées à la fois par leurs climat toujours peu pluvieux et parfois très sec et très irrégulier, et par une végétation herbacée ou frutescente, rarement arborée, très irrégulièrement répartie et constituant un couvert excessivement lâche (Rognon, 1994b).

Dans les régions arides et semi-arides (environ 36% de la surface du globe), la sécheresse a un rôle important, mais parfois mal connu dans l'évolution des sols. Lorsqu'on passe des régions humides aux régions sèches, la pénurie en eau provoque-t-elle seulement un ralentissement des

processus pédologiques ou aussi l'apparition d'autres types de sols mieux adaptés aux environnements secs (Rognon, 1994a).

Parmi les caractéristiques des sols des zones arides, la composition de la surface s'est révélée comme un puissant indicateur de l'état écologique de ces milieux, en particulier par leur impact sur l'aridité édaphique. La surface des sols des régions arides est caractérisée par la présence de fentes de dessiccation, de débris végétaux et de sables mobiles (Girard et Viellefont, 1980 et Maignien, 1980).

D'après Rognon (1994a), que ce soit le substratum géologique (roche en place) ou les dépôts secondaires (alluvions, colluvions, dépôts éoliens), la quasi-totalité des matériaux sur lesquels se sont formés et évoluent les sols des zones arides, se caractérise par la présence de calcaire, très souvent aussi de gypse et de sels. Il en résulte des pH basiques, parfois proches de la neutralité et des complexes absorbants saturés. Ces pH élevés sont un facteur défavorable à la mobilité de nombreux éléments traces qui ont un grand rôle physiologique au niveau des plantes.

Une augmentation du pH bloque l'absorption de ces éléments sous des formes oxydées que les plantes ne peuvent pas assimiler.

Le calcaire s'accumule et s'individualise sous des formes diverses, l'accumulation pouvant aller jusqu'à formation de carapaces calcaires puissantes. Au point de vue chimique, le calcaire est un élément dont l'évolution est fondamentale dans la pédogénèse de ces régions sèches. Dans certains sols, cet élément tend à être entraîné en profondeur, souvent durci et feuilleté. Cette croûte calcaire peut être plus ou moins continue et se situer entre 5 et 60 centimètres en dessous de la surface. La profondeur des sols dans les régions arides est souvent limitée par un horizon concrétionné (Ruellan, 1970). Dans d'autres sols au contraire, le calcaire 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. Caractère essentiel de la plupart des sols des régions arides, le lessivage est un processus pédogénétique qui aura lieu lorsque la pluviométrie est assez faible pour que l'entraînement du calcaire en profondeur soit complet. Le même résultat peut provenir simplement d'une accentuation des phénomènes de remontée capillaire pendant la période sèche, où les carbonates de calcium s'accumulent en profondeur sous forme de granules et de nodules plus ou moins durcis, filaments, pseudo-mycéliums et amas friables (Aubert, 1960).

Le calcaire s'accumule et s'individualise sous des formes diverses, l'accumulation pouvant aller jusqu'à la formation de carapaces calcaires puissantes (Ruellan, 1970).

Dans les régions à sols limoneux-argileux, une croûte plus moins épaisse se développe en surface suite à l'effet de battance (Verheye, 1990).

Les sols des zones arides ne sont jamais très riches en matière organique. Aubert (1960) indique une diminution progressive de la richesse organique à travers les horizons de ces sols, surtout quand cette dernière est constituée aux dépens des débris du système racinaire d'une végétation herbacée. Du fait que dans les zones arides il y a peu d'accumulation de dépôts organiques, la teneur du sol en matières organiques est faible. Lorsqu'on les cultive, cette matière organique disparaît rapidement.

La stabilité d'un sol dépend de sa richesse en matière organique et en humus, ce qui revient à affirmer l'importance qu'a le couvert végétal dans un milieu sec. Cette importance prend toute sa dimension en la présence d'arbres dans ces zones arides, car l'arbre (surtout les espèces endémiques présentant une adaptabilité) peut être considéré comme étant l'un des maillons principaux dans le fonctionnement des différentes composantes de la phytocénose et dans le maintien de la stabilité fragile de ces écosystèmes. Les arbres sont une denrée rare très précieuse en milieux secs. Les arbres, source de fertilité et de résilience du milieu régressent sous les effets combinés de la pression de l'homme et de la péjoration climatique (Grouzis et Le Floch, 2003).

Les sols des zones arides sont caractérisés par un lessivage significatif des nutriments et une érosion intensive des minéraux, encore que ces deux phénomènes soient ralentis lorsque les précipitations diminuent. La fertilité naturelle (qui dépend beaucoup de la teneur en matières organiques de la couche arable) est souvent faible (FAO, 2015).

Du fait de l'aridité du climat, les caractéristiques édaphiques qui réduisent les contraintes hydriques seront favorables à la plantation d'arbres ou de buissons. Certaines de ces caractéristiques sont les suivantes (FAO, 2015) :

- ✓ présence de nappes phréatiques à une profondeur que les racines peuvent atteindre ;
- ✓ épaisseur suffisante des sols pour permettre une réserve d'eau ;
- ✓ texture du sol retenant la quantité maximum d'eau.

Il ne faut pas oublier que la topographie du terrain peut aussi jouer un rôle important. Ainsi, les bas-fonds et les parties basses des dunes de sable peuvent accumuler une quantité considérable d'eau utilisable par une végétation adaptée (FAO, 2015).

Enfin, les sols des zones arides étant vulnérables à la fois à l'érosion éolienne et à l'érosion hydrique, la fixation et la conservation du sol sont importantes.

3. Sols des dayas

Les dépressions de type daya (non ou peu salées) offrent une gamme très diversifiée de sol, généralement profonds et évolués, ayant en commun (Pouget, 1980) :

- une texture relativement homogène pour chaque profil, moyenne à très fine ;
- une structure instable en surface avec un horizon finement lamellaire de quelques millimètres à quelques centimètres et une croûte de battance ;
- une perméabilité d'ensemble faible ne permettant qu'une percolation lente et réduite à travers le profil, favorisant ainsi une stagnation plus ou moins prolongée de l'eau et son évaporation en surface ;
- une faible teneur en calcaire (< 10 – 20%) ; les horizons de surface étant parfois complètement décarbonatés.

Trois ensembles de sols s'individualisent plus ou moins en fonction de la texture et du degré d'évolution (Fig. 21). Il s'agit des vertisols à texture très fine, les sols peu évolués de texture fine conservant une structure verticale et les sols évolués de texture généralement moyenne à fine et bien structurés (Pouget, 1980).

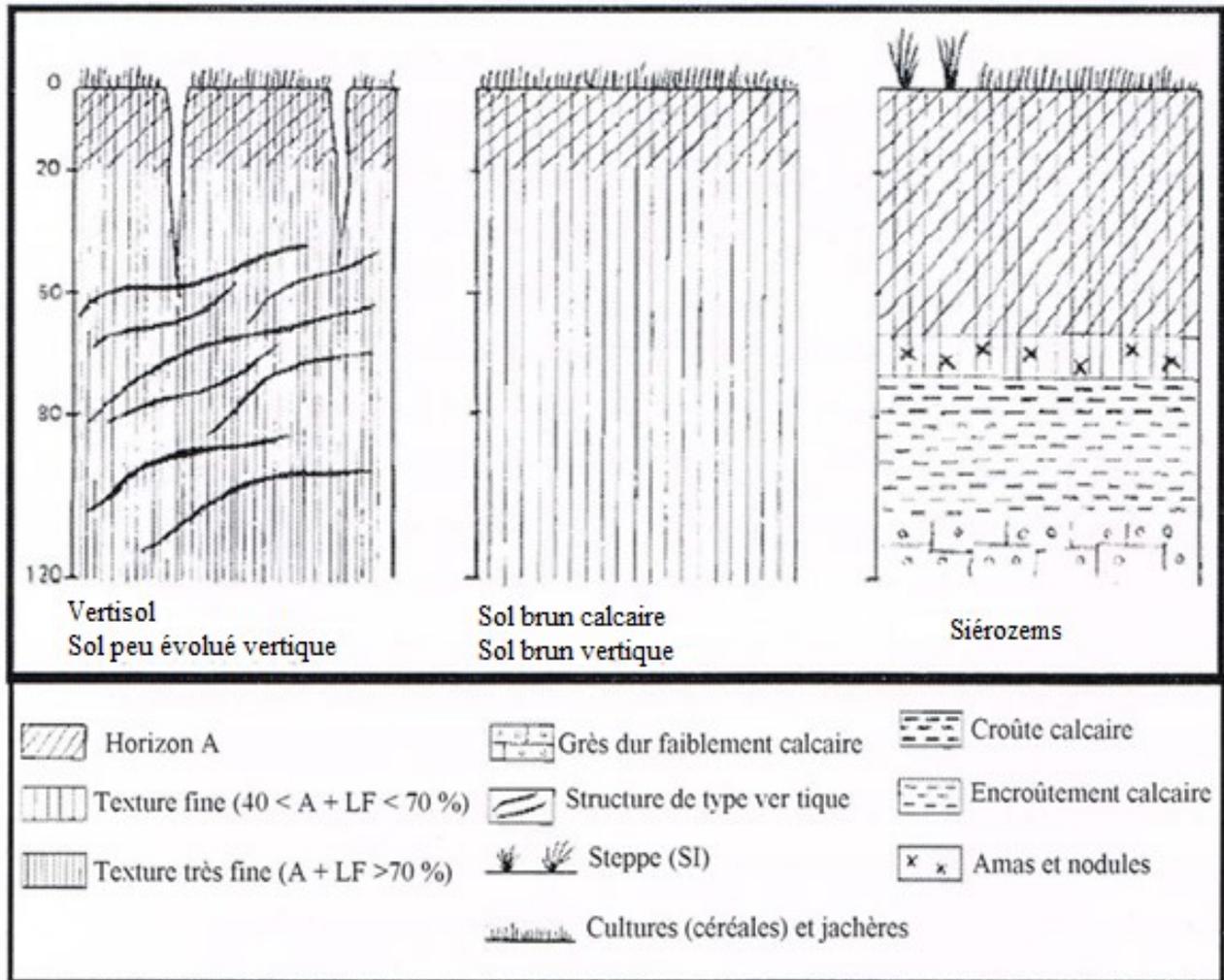


Fig. 21. Sols des dayas (Pouget, 1980).

4. Caractéristique physico-chimiques des sols sous pistachier de l'Atlas

Les textures des sols qu'occupe le pistachier de l'Atlas en Algérie sont très hétérogènes. En effet, une large gamme de textures a été signalée jusqu'à présent par les travaux effectués dans le cadre des activités de recherche du laboratoire Ressources Naturelles à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, sur des populations naturelles distribuées selon l'ordre d'un gradient nord-sud ; les textures de différents sols sous pistachiers sont résumées dans le tableau 05 ci-dessous :

Tableau 05. Textures de différents sols sous pistachiers précédemment étudiés selon un gradient croissant d'aridité géographique.

	Auteurs	Zones d'études	Textures
Gradient d'aridité croissant ↑	Limane et <i>al.</i> (2014b)	Béni Ounif (Béchar)	sablo-limoneuse.
	Bounceur (2009)	Tirlhemt (Laghouat)	limoneuse fine, limono-sableuse.
	Amroune (2013)	Aïat Timzerth (Laghouat)	sablo-limoneuse, limono-sableuse à limono-argilo-sableuse.
	Boubrima (2014)	Aïat Timzerth (Laghouate)	sablo-limoneuse à limono-sableuse.
	Deguiche (2008)	Aïat Timzerth (Laghouat)	Limoneuse.
	Limane et <i>al.</i> (2014b)	Lekhneg (Laghouat)	limono-sableuse
	Boubrima (2014)	Saadi, Hassi Delâa (W. Laghouat)	Limoneuse à limoneuse fine, limono-sableuse, et limono-argileuse.
	Bentaleb (2011)	Boucédria (Djelfa)	limono-sableuse, limoneuse à limoneuse fine
	Limane (2009)	El Mergueb (M'sila)	Limoneuse et sablo-limoneuse
	Tisgouine (2010)	Theniet El Had (Tissemsilt)	limoneuse et limono-sableuse
	Limane et <i>al.</i> (2014b)	Sidi Naâmane (Médea)	Limono-argileuse

Les résultats de ces mêmes travaux concernant ces autres paramètres pédologiques (humidité hygroscopique (%), capacité de rétention (%), pH, Calcaire total (%) et matière organique seront présentés au fur et à mesure dans ce chapitre.

5. Matériel et méthodes

Les sols sous pistachier de l'Atlas des six sujets sont prélevés à partir d'un profil racinaire à différents niveaux, sur une trajectoire verticale de haut en bas, sur une profondeur de 60 cm pour les deux sujets âgés (avec 03 niveaux de 20 cm chacun) et sur une profondeur de 80 cm (avec 04 niveaux de 04 cm) pour les sujets jeunes (immature, petit et moyens). Les échantillons de sol prélevés ont été conditionnés dans des sachets en plastique étiquetés, indiquant la numérotation des 22 échantillons et les niveaux correspondants.

Au laboratoire, nous avons étalé nos échantillons et laisser sécher à l'air libre pendant 48 heures (Fig. 22). Après broyage et tamisage à 2 mm, nous avons obtenu une terre fine que nous avons conditionnée dans des boîtes hermétiques.



Fig. 22. Échantillons de sols de dayate El Gouffa, étalés et séchés au laboratoire.

5.1. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique a pour but de caractériser la distribution de la taille des particules minérales contenues dans la terre fine. Elle a été réalisée selon la méthode internationale utilisant la pipette de Robinson basée sur la loi de Stokes (Baize, 2000).

L'oxydation de la matière organique contenue dans chaque sol se fait avec de l'eau oxygénée H_2O_2 (à 20 volumes), d'abord avec une attaque à froid pendant 24 heures, puis à chaud jusqu'à la fin de la réaction.

Lorsque l'échantillon a subi tous les prétraitements préliminaires nécessaires pour détruire les ciments, une dispersion chimique est pratiquée. Elle a pour but de séparer et de faire éloigner au maximum les particules minérales solides les unes des autres, à l'aide de l'hexamétaphosphate de sodium à 40%. Après décantation pendant 6 heures, les prélèvements des argiles et limons fins sont effectués à l'aide de la pipette de Robinson, Les sables ont été récupérés par tamisage après siphonage. Nous avons calculé ensuite les proportions des différents composants granulométriques, et nous avons déterminé les textures de nos échantillons à l'aide du triangle de texture classique.

5.2. Indices d'humidité

5.2.1. Humidité hygroscopique

C'est la quantité d'eau (en %) retenue par la terre séchée à l'air libre. Cette humidité peut être calculée de la manière suivante (Aubert, 1978) :

- ✓ peser une capsule en silice, soit P1 le poids de la capsule vide ;
- ✓ peser précisément dans cette capsule 10g de terre fine séchée à l'air libre ; soit P2 le poids de la capsule vide + 10g de terre fine ;
- ✓ mettre la capsule et son contenu dans l'étuve à 105 °C durant 48 heures ;
- ✓ retirer la capsule de l'étuve et la laisser refroidir dans un dessiccateur ;
- ✓ peser la capsule après refroidissement, soit P3 le poids obtenu (capsule vide + terre séchée à l'étuve) ;
- ✓ P2 – P3 correspond à la perte qu'ont subit les 10g de terre séchée à l'air libre ;
- ✓ La teneur en eau hygroscopique est ainsi obtenue par l'équation:

$$\text{H}_2\text{O} (\%) = (P2 - P3 / P3 - P1) \times 100$$

5.2.2. Capacité de rétention

La capacité de rétention (CR%) est appelée aussi capacité de saturation en eau d'un sol. C'est la quantité d'eau maximale que ce dernier peut absorber avant qu'il ne perde sa cohésion, elle peut être exprimée en ml par 100g de terre (Aubert, 1978).

- ✓ Dans une capsule à fond criblée tapissée d'un papier filtre, nous y avons versé 10g de sol;
- ✓ À l'aide d'une pissette, nous avons imbibé d'eau ce sol progressivement jusqu'à saturation apparente et apparition d'eau gravitaire de la base de la capsule ;
- ✓ Nous avons laissé nos échantillons pour ressuyage pendant 12 heures (une nuit) dans un lit de même texture respectivement pour chaque échantillon, en les recouvrant d'un chiffon humide pour éviter toute évaporation (soit P1 le poids de la capsule vide + 10g de sol après ressuyage) (Fig. 23) ;
- ✓ Nous les avons ensuite mis à l'étuve pendant 48 heures à 105°C, puis nous les avons repesés à nouveau (soit le poids P2) ;

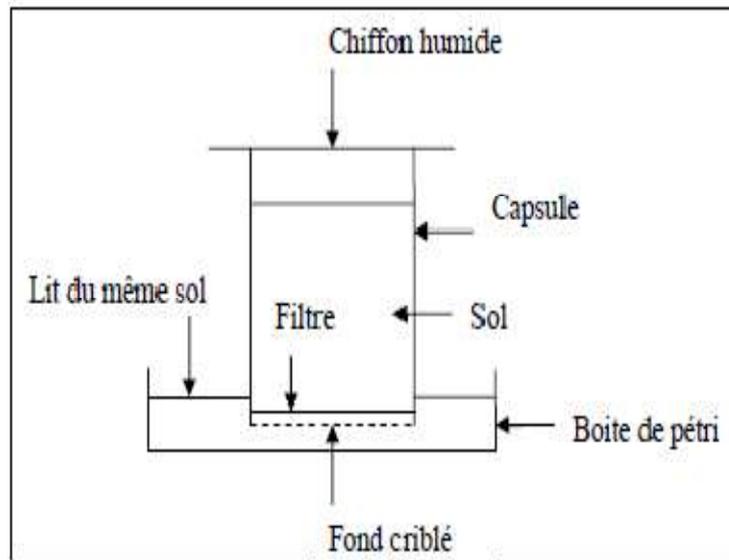


Fig. 23. Procédé pour la détermination de la capacité de rétention du sol (Limane, 2009).

Nous avons déduit l'humidité maximale retenue par chacun de nos échantillons de sol (leur capacité de rétention) suivant la formule :

$$\text{CR (\%)} = \frac{[P1 - P2]}{P1} \times 100$$

5.3. Mesure du pH

Le pH est mesuré par la méthode potentiométrique sur suspension sol/ liquide égale à 1/2,5. Peser 20g de terre fine séchée à l'air (éléments 2mm) et les introduire dans un bêcher de 100 ml, ajouter 50 ml d'eau distillée. Brasser énergiquement la terre de manière à obtenir une suspension, soit avec un agitateur magnétique durant 30 mn. Laisser reposer pendant 2 heures le contenu de bêcher (nécessaires surtout pour les sols calcaires). Les mesures sont réalisés à l'aide d'un pH mètre ; la lecture du pH se fait lorsque l'aiguille de l'appareil s'est stabilisée (Bonneau et Souchier, 1994).

5.4. Dosage du calcaire

Le taux de carbonates de calcium a été déterminé par la méthode volumétrique consistant à attaquer le sol avec l'acide chlorhydrique. Un titrage par la soude en présence de phénophtaléine a ensuite été fait (Bonneau et Souchier, 1994).

$$\text{CaCO}_3 (\%) = (Vt - Ve) \times 12,5$$

V_t : volume témoin.

V_e : volume de l'échantillon.

5.5. Dosage du carbone organique

Le carbone organique a été dosé par la méthode de Anne (Jackson, 1965), qui consiste en une oxydation du carbone organique à chaud par du bichromate de potassium en milieu sulfurique. La quantité du bichromate réduite est proportionnelle à la teneur en carbone organique. L'excès de bichromate de potassium est titré à la goutte par une solution de sel de Mohr, en présence de diphénylamine, révélateur permettant à la couleur du mélange de passer du brun violacé au bleu vert. Le pourcentage de carbone organique est calculé selon :

$$C(\%) = (N' - N) \times 0.615$$

N' : volume témoin ;

N : volume de l'échantillon.

En connaissant le pourcentage de carbone organique, le taux de matière organique (M.O) peut être obtenu par la formule :

$$M.O (\%) = C(\%) \times 1,72$$

5.6. Analyses statistiques

Nous avons effectué des analyses statistiques des résultats obtenus des paramètres physico-chimiques des sols prélevés. D'abord, nous avons commencé par une analyse de variance (ANOVA), pour mettre en évidence la présence de différences significatives entre les sols des sujets échantillonnés.

D'une manière tout à fait générale, l'analyse de la variance a comme objectif de comparer des ensembles de plus de deux moyennes, en identifiant les sources de variation qui peuvent expliquer les différences existant entre elles. A ce titre, l'analyse de la variance est un des principaux outils de l'inférence statistique (Dagnelie, 2011).

Rappel : qu'est-ce que la variance ?

C'est la somme des carrés des écarts par rapport à la moyenne / nombre de degrés de liberté = SCE/ddl (ceci lorsque le nombre d'individus composant l'échantillon est réduit ; sinon, utiliser $N-1$). La variance est le carré de l'écart-type (Dagnelie, 2011).

Afin de distinguer l'existence d'une différence entre les paramètres étudiés, nous avons procédé à une analyse de variance (ANOVA). Nous avons testé les hypothèses au seuil de signification $\alpha=0.05$, c'est-à-dire nous prenons 5% de risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 ou de retenir l'hypothèse alternative H_1 . Pour toutes les ANOVA établies, H_0 correspond à l'absence de différence significative entre les paramètres testés, tandis que H_1 réfute cette dernière, car elle ne correspond pas à notre théorie qui consiste à admettre que la différence entre les variables est significative (Dagnelie, 2013).

Des analyses en composante principale (A.C.P) sont réalisées en vue de mettre en évidence la relation entre les paramètres physico-chimiques des sols échantillonnés. Les analyses sont faites grâce au logiciel Stat Box 6.40.

L'analyse en composantes principales facilite l'étude des relations d'interdépendance existant entre plusieurs variables quantitatives ou qualitatives ordinales. On obtient une matrice de corrélation de Pearson, avec les coefficients de corrélation correspondant à toutes les variables croisées au seuil de signification $\alpha=0,05$, représentées sur un graphique. Le coefficient de corrélation donne le degré d'information que représente chaque composante (Dagnelie, 2011).

6. Résultats et discussion

6.1. Analyse granulométrique

Nous constatons dans la majorité des niveaux des profils analysés la prédominance de la fraction limons grossiers pour les sols étudiés. La texture est limoneuse à limoneuse fine pour les 5 sols, le sol 6 présente une texture limoneuse fine argileuse sur les deux premiers niveaux (niveaux : 0-20 cm et 20-40 cm) et une texture limono-argileuse fine au dernier (niveau 40-60 cm). Les résultats de l'analyse granulométrique effectuée sont reportés dans le tableau 6.

Tableau 6. Proportions des fractions granulométriques des sols par niveaux des sujets étudiés et leur texture correspondantes.

Sujet	Niveau (cm)	A (%)	LF (%)	LG (%)	SF (%)	SG (%)	Texture
S1	0-20	3,26	8,52	47,87	38,24	2,11	Limoneuse fine
	20-40	2,5	9,62	46,07	41,4	0,41	Limoneuse fine
	40-60	9,69	4,46	56,07	28,61	1,16	Limoneuse fine
	60-80	10,91	13,99	47,93	26,39	0,76	Limoneuse fine
S2	0-20	2,9	6,47	50,03	39,41	1,19	Limoneuse fine
	20-40	3,5	5,2	50,95	37,03	3,32	Limoneuse fine
	40-60	13,01	10,08	45,93	30,58	0,38	Limoneuse fine
	60-80	5,21	3,18	59,15	23,05	9,39	Limoneuse fine
S3	0-20	4,04	2,21	54,05	38,9	0,78	Limoneuse fine
	20-40	2,01	0,75	59,95	36,53	0,73	Limoneuse fine
	40-60	2,52	1,13	61,73	28,01	6,59	Limoneuse fine
	60-80	5,76	1,7	49,72	37,25	5,57	Limoneuse fine
S4	0-20	5,77	1,63	55,7	28,62	8,28	Limoneuse fine
	20-40	0,75	1	58,07	36,37	3,78	Limoneuse fine
	40-60	4,65	1,21	48,98	31,5	13,66	Limoneuse fine
	60-80	3,02	1,51	60,69	29,26	5,5	Limoneuse fine
S5	0-20	7,28	1,53	63,6	26,66	1,9	Limoneuse fine
	20-40	0,81	1,75	56,49	38,39	2,56	Limoneuse fine
	40-60	14,17	2,5	38,11	38,89	6,33	Limoneuse
S6	0-20	15,14	2,07	81,28	0,03	1,46	Limoneuse fine argileuse
	20-40	22,82	15,39	60,62	0,03	1,11	Limoneuse fine argileuse
	40-60	27,78	9,17	58,44	0,03	4,55	Limono-argileuse fine

A: Argiles ; LF: Limons Fins ; LG: Limons Grossiers ; SF: Sables Fins ; SG: Sables Grossiers.

Afin de discerner la distribution des textures par niveau pour chaque profil étudié, nous avons visualisé les résultats de granulométrie par des cartouches illustrées dans la figure 24.

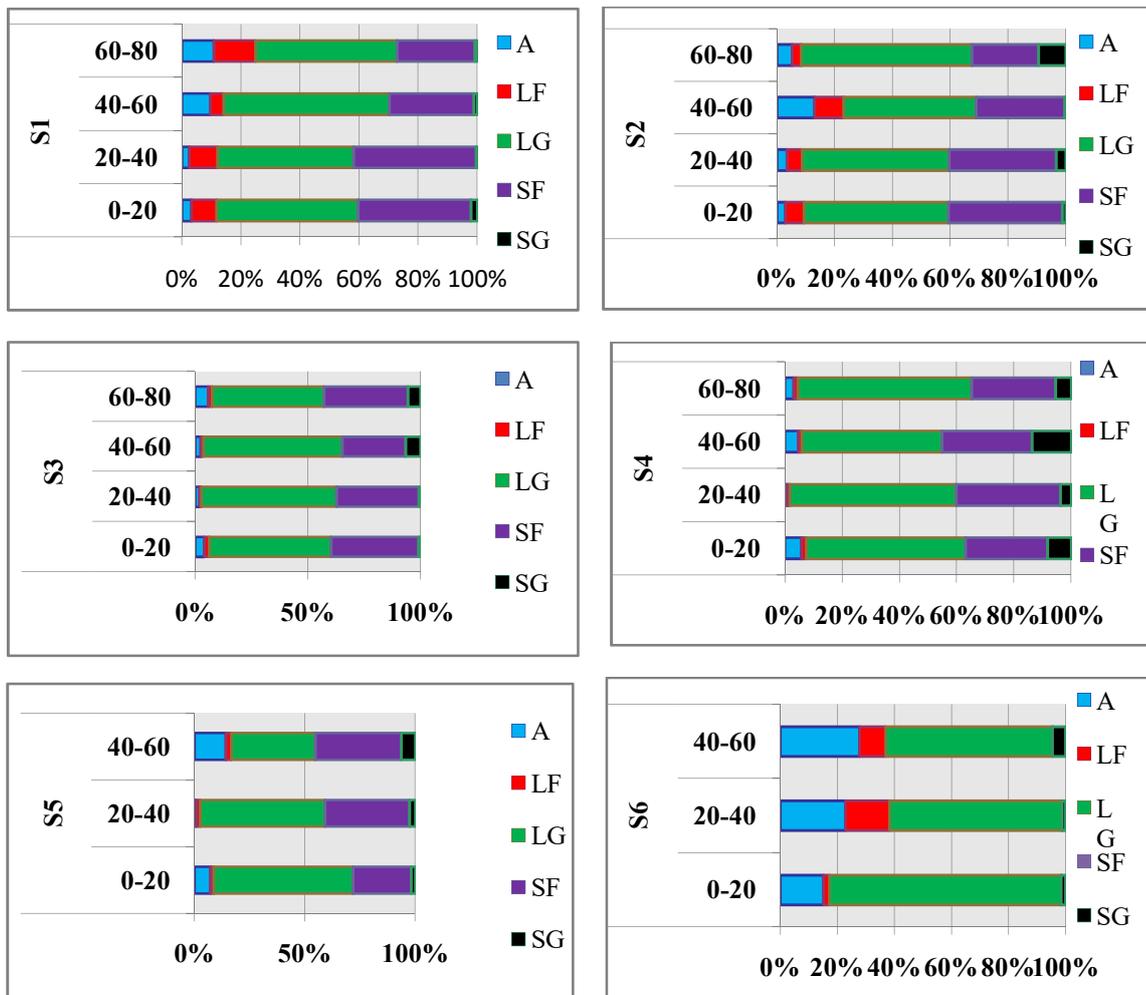


Fig. 24. Proportions des fractions granulométriques par niveau dans chaque sujet étudié à dayate El Gouffa.

Les proportions des fractions granulométriques diffèrent d'un niveau à l'autre au sein du même profil et varient entre les profils étudiés. De la surface à la profondeur, la distribution des différentes fractions croît progressivement, diminue graduellement ou montre une distribution relativement équitable entre les niveaux. Les profils 1, 2, 3 et 4 sont des nebkhas dont on remarque des proportions importantes de sables fins et de limons grossiers, par contre la présence d'argiles dans le sol du profil 6 est plus substantielle par rapport aux autres profils étudiés.

Les sols des climats arides se caractérisent par la formation d'argiles très originales caractérisées par leurs structures fibreuses, la polygorskite et les sépiolites. Elles se développent en milieu riche en sels magnésiens ou dans les croûtes calcaires à pH élevé. La rétrogradation par évolution des smectites, argiles saturées en potassium et soumises à la dessiccation en milieu aride contribue à la formation d'illites en surface des sols de ces régions (Rognon, 1994b).

Le tableau 7 résume les textures des sols échantillonnés de dayate El Gouffa.

Tableau 7. Textures des sols des six profils échantillonnés de dayate El Gouffa.

Dayate El Gouffa	Sol 1	Sol 2	Sol 3	Sol 4	Sol 5	Sol 6
Textures	Limoneuse fine argileuse					

D'après le tableau 7, nous constatons que la texture limoneuse fine est majoritaire dans les profils étudiés, excepté le sol 6 qui, contrairement aux autres montre une texture « limoneuse fine argileuse ». Près de 83,33% de nos sols sont à texture « limoneuse » à «limoneuse fine », les 16,66% qui restent sont à texture « limoneuse-fine-argileuse ».

Concernant la fraction sableuse, nous observons une diminution vers la profondeur pour les sols 1, 2 et 3. Par contre pour le sol 6, les taux de sables sont quasiment nuls.

Comparés à ces sols, les profils 5 et 6 se situent sous des sujets âgés. Ces sols sont plus évolués et la fraction limoneuse prédomine sur la fraction sableuse et argileuse. Ces deux dernières sont réparties également entre les niveaux de chaque profil.

Les dayas sont des zones d'épandage et de débordement des oueds des cuvettes où s'accumulent et se décantent des eaux de crues, leur régime hydrologique offre donc, avec des submersions temporaires, un milieu spécifique d'autant que s'y ajoutent une texture souvent fine à très fine (Pouget, 1980).

Afin de comparer nos résultats avec ceux obtenus précédemment au laboratoire Ressources naturelles, nous avons dressé le tableau 8 qui regroupe l'ensemble des textures de différentes dayas à pistachier de l'Atlas en Algérie organisées suivant un gradient d'aridité croissant.

Tableau 8. Textures des sols sous pistachier de l'Atlas dans les différentes zones étudiées.

Population	Texture
Theniet El Had (Tissemsilt) (Tisgouine, 2010)	75% des sols sont à dominante limoneuse ; 25% sont à texture limono-sableuse.
Oued Besbes (Médéa) (Tahrour, 2005)	41% des sols sont à dominante limoneuse ; 59% partagés entre des combinaisons variables de sables, argiles et limons.
Sidi Naamane (Medea) (Limane et al., 2014b)	limono-argileuse.
El Mergueb (M'sila) (Limane, 2009)	70% des échantillons sont de texture limoneuse ; 30% sont à texture sablo-limoneuse.
Boucédraia (Djelfa) (Bentaleb, 2011)	limono- sableuse à limoneuse-fine
Lekhneg (Laghouat) (Limane et al., 2014b)	limono- sableuse
Aïat, Timzerth (Laghouat) (Boubrima, 2014)	La texture des différents sols varie de sablo- limoneuse à limono-sableuse.
Aïat, Timzerth (Laghouat) (Deguiche, 2008)	sablo-limoneuse, limono-sableuse, limoneuse fine et limoneuse très fine.
Aïat, Timzerth (Laghouat) (Amroun, 2013)	75% des sols sont à texture sablo-limoneuse 21% sont à texture limono-sableuse ; un seul niveau profond est limono-argilo- sableuse
Saadi, Hassi Delâa (Laghouat) (Boubrima, 2014)	50% des sols sont à texture limoneuse à limoneuse fine, 25% sont à texture limono- sableuse, les 25% qui restent sont à texture limono-argileuse.
Tilrhemt centre (Laghouat) (Bounceur, 2009)	94,11% des sols sont à texture limoneuse fine ; un seul niveau est à texture limono-sableuse.
Béni Ounif (Bèchar) (Limane et al., 2014b)	Sablo-limoneuse

La texture des sols à dayate El Gouffa est semblable à ceux obtenus à dayate Aïat (Timzerth) par Deguiche (2008) ; à Tilrhemt centre par Bounceur (2009) ; à Boucédraia (Djelfa) par Bentaleb (2011) et à dayate Saadi, Hassi Delâa par Boubrima (2014).

6.2. Caractéristiques hydriques du sol

6.2.1. Humidité hygroscopique

Les résultats des humidités hygroscopiques de nos échantillons de sols sont portés dans le Tableau 09.

Tableau 09. Résultats des humidités hygroscopiques (H.H) et des textures des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate El Gouffa.

Sols	Niveaux (cm)	H.H (%)	Texture	Sols	Niveaux (cm)	H.H (%)	Texture
Sol 1	0-20	0,56	Limoneuse fine	Sol 2	0-20	1,05	Limoneuse fine
	20-40	0,68	Limoneuse fine		20-40	0,86	Limoneuse fine
	40-60	1,98	Limoneuse fine		40-60	2,05	Limoneuse fine
	60-80	2,62	Limoneuse fine		60-80	1,73	Limoneuse fine
Sol 3	0-20	0,79	Limoneuse fine	Sol 4	0-20	0,76	Limoneuse fine
	20-40	0,96	Limoneuse fine		20-40	0,69	Limoneuse fine
	40-60	0,98	Limoneuse fine		40-60	0,72	Limoneuse fine
	60-80	1,49	Limoneuse fine		60-80	0,88	Limoneuse fine
Sol 5	0-20	2,24	Limoneuse fine	Sol 6	0-20	3,43	Limoneuse fine argileuse
	20-40	2,41	Limoneuse fine		20-40	4,18	Limoneuse fine argileuse
	40-60	2,11	Limoneuse		40-60	3,28	Limono-argileuse fine

D'après les résultats obtenus dans le tableau 08, les valeurs de l'humidité hygroscopique varient d'un profil à l'autre, mais aussi au sein du même profil pour différentes profondeurs.

Les sols des sujets âgés (5 et 6) ont un taux d'humidité supérieur à 2%. La valeur la plus faible (0.56%) a été enregistrée au niveau de la surface du sol du sujet 1 (niveau 0 -20 cm) de texture limoneuse fine. Par contre au niveau du sol du sujet 6 (niveau 20-40 cm), nous avons relevé la valeur la plus élevée (4.18%) et la texture est limoneuse fine argileuse.

Les humidités hygroscopiques mesurées par niveau de chaque profil étudié à dayate El Gouffa sont illustrées par la figure 25.

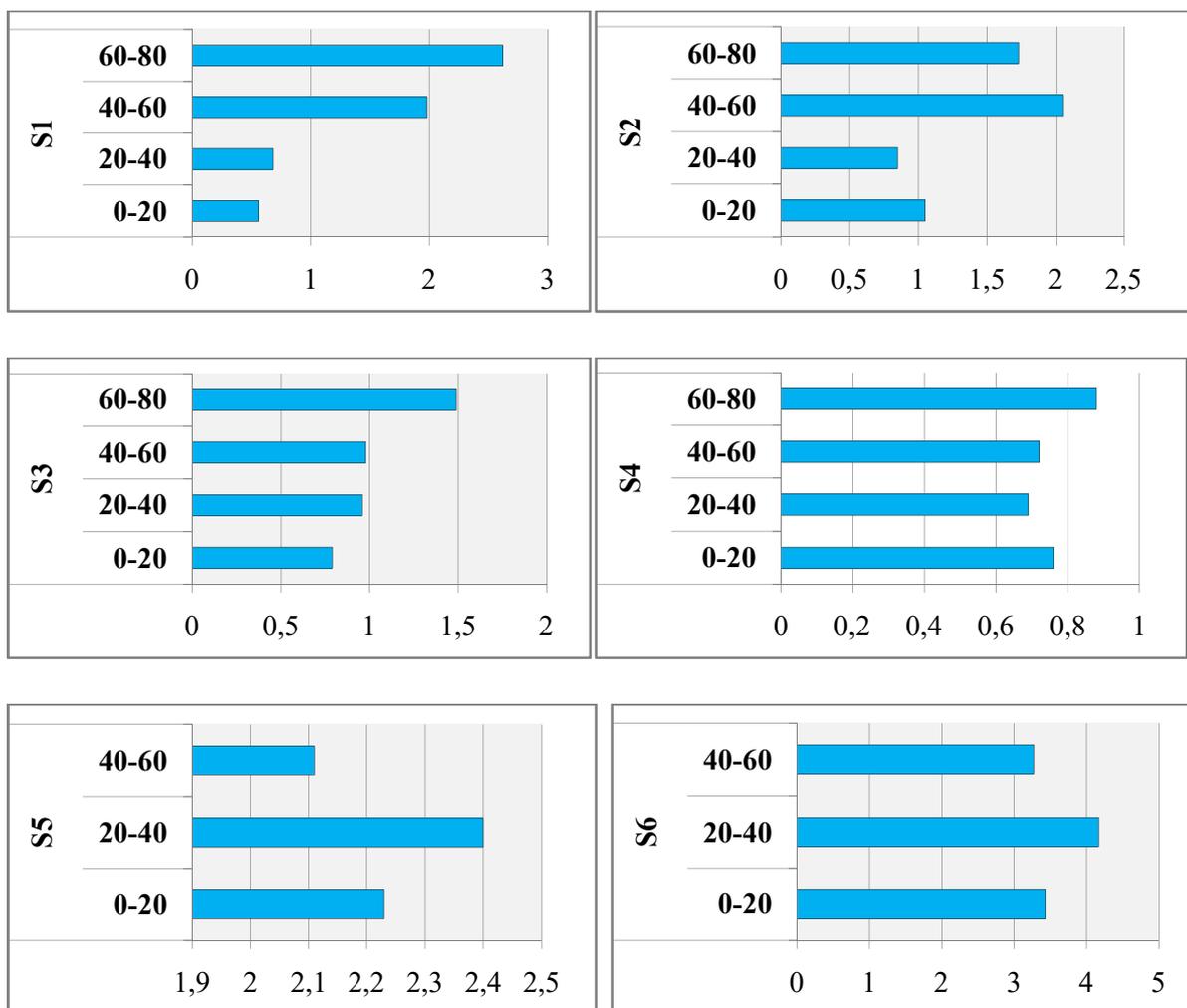


Fig. 25. Humidités hygroscopiques des différents niveaux des profils de dayate El Gouffa.

D'après cette figure, nous observons pour les sols 1, 2, 3 et 4, l'humidité hygroscopique augmente de la surface vers la profondeur.

L'assèchement des horizons supérieurs peut provoquer des modifications de leurs propriétés physiques. Des contraintes physiques dues à des dessiccations répétées au cours du temps semblent aussi jouer un rôle dans les propriétés actuelles de certains sols, ajoutant une dimension temporelle à l'impact des sécheresses (Rognon, 1994a).

Nous remarquons dans les sols 5 et 6, que l'humidité hygroscopique est importante au (niveau 20-40 cm). Ces sols sont dotés d'une faible perméabilité offerte par leur texture limono-argileuse fine, qui permet l'infiltration lente à travers le profil, favorisant ainsi une stagnation plus ou moins prolongée de l'eau et son évaporation retenue par les argiles, limons fins et grossiers présents en quantités plus élevées, surtout pour le sol 6.

Les moyennes calculées par profil effectué à dayate El Gouffa sont reprises dans le tableau 10.

Tableau 10. Moyennes des humidités hygroscopiques et textures correspondantes par profil.

Sols	Sol 1	Sol 2	Sol 3	Sol 4	Sol 5	Sol 6
H.H (%)	1,46	1,42	1,05	0,76	2,24	3,62
Texture	Limoneuse fine					Limoneuse fine argileuse

L'humidité hygroscopique la plus importante est celle du profil 6 (3.62%), il est de texture limoneuse fine argileuse, Le profil 4 montre l'humidité hygroscopique la plus faible (0.76%), de texture limoneuse fine.

Les humidités hygroscopiques des sols sous pistachier de l'Atlas précédemment étudiées au laboratoire « Ressources naturelles » selon un gradient d'aridité croissant, sont représentées dans le tableau 11.

Tableau 11. Intervalles des humidités hygroscopiques des sols sous pistachier de l'Atlas des travaux précédents.

Gradient d'aridité croissant →								
Zone Etudiée	Oued Besbès (Médea) (Tahrour, 2005)	El Mergueb (M'sila) (Limane, 2009)	Boucédraïa (Djelfa) (Haboul, 2011)	Aïat Timzerth (Laghouat) (Boubrima, 2014)	Aïat Timzerth (Laghouat) (Chebieb, 2008)	Saadi, Hassi Delâa (Laghouat) (Boubrima, 2014)	Tilrhemt (Laghouat) (Kebsci, 2008)	Béni Ounif (Béchar) (Aït Slimane 2004)
Intervalles (H.H %)	0,10-9,53	0,55-3,31	2,03-3,39	0,65-2,06	0,67-2,83	2,25-4,93	1,21-4,93	0,70-2,67

Comparés aux autres sols précédemment étudiés, les sols de dayate El Gouffa présentent des taux d'humidités hygroscopiques variant de 0,76 % à 3,62 % proche de celle d'El Mergueb estimés par Limane (2009).

6.2.2. Capacité de rétention

Les résultats des capacités de rétention sont inscrits dans le tableau 12.

Tableau 12. Résultats des capacités de rétention et textures des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate El Gouffa.

Sols	Niveaux (cm)	CR (%)	Texture	Sols	Niveaux (cm)	CR (%)	Texture
Sol 1	0-20	20,46	Limoneuse fine	Sol 2	0-20	21,1	Limoneuse fine
	20-40	19,26	Limoneuse fine		20-40	19,5	Limoneuse fine
	40-60	21,17	Limoneuse fine		40-60	27,76	Limoneuse fine
	60-80	27,62	Limoneuse fine		60-80	20,83	Limoneuse fine
Sol 3	0-20	22,16	Limoneuse fine	Sol 4	0-20	21,1	Limoneuse fine
	20-40	26,37	Limoneuse fine		20-40	20,9	Limoneuse fine
	40-60	22,22	Limoneuse fine		40-60	27	Limoneuse fine
	60-80	25,68	Limoneuse fine		60-80	24,03	Limoneuse fine
Sol 5	0-20	29,29	Limoneuse fine	Sol 6	0-20	34,13	Limoneuse fine argileuse
	20-40	22,54	Limoneuse fine		20-40	30,46	Limoneuse fine argileuse
	40-60	25	Limoneuse		40-60	33,73	Limono-argileuse fine

La capacité de rétention la plus élevée est celle du sol 6 (niveau 0-20) qui a atteint 34,13%. La majorité de nos échantillons ont une capacité de rétention supérieure à 20%, mis à part celles des niveaux (20-40 cm) des sols 1 et 2,

Les capacités de rétention par niveau de chaque profil étudié à dayate El Gouffa sont illustrées par la figure 26.

D'après cette figure, nous observons qu'habituellement la capacité de rétention est importante aux niveaux les plus profonds, ceci pourrait être expliqué par des phénomènes de lessivage des argiles et des particules très fines vers la profondeur. Par contre la capacité de rétention du cinquième et le sixième sol n'est pas homogène et ne suit pas un gradient de profondeur, le niveau supérieur détient la valeur la plus élevée corrélativement avec les taux élevés des argiles de ces niveaux ; les niveaux 40-60 cm du sol 6 présente le taux d'argiles le plus élevé des fractions granulométriques des niveaux des sols étudiés et leur texture correspondantes (Tableau 12).

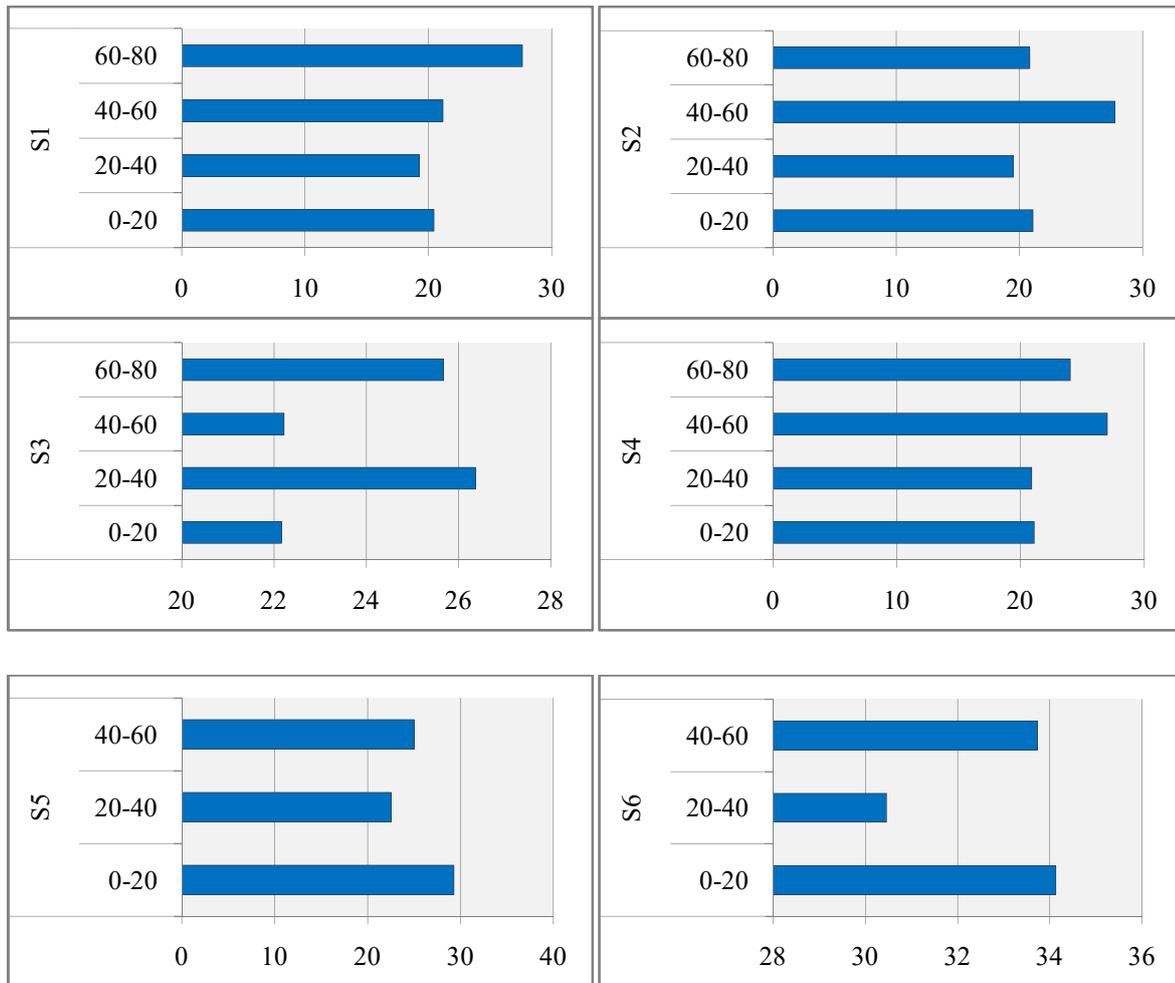


Fig. 26. Capacité de rétention des différents niveaux des profils de dayate El Gouffa.

La rétention de l'eau par les sols dépend largement de la composition granulométrique et de la matière organique. Les sols contenant en majorité des constituants fins sont ceux qui retiennent l'eau le plus énergiquement. Ainsi dans les sols très argileux, une partie de l'eau retenue par le sol est inutilisable par les plantes. Au contraire, dans les sols très sableux, l'eau est faiblement retenue et sa mobilité est généralement trop grande pour assurer une réserve hydrique à long terme (Tessier, 1994).

Nous avons calculé les moyennes des capacités de rétentions pour chaque profil dans le tableau 13.

Tableau 13. Moyennes des capacités de retentions par profil.

Sols	Sol 1	Sol 2	Sol 3	Sol 4	Sol 5	Sol 6
CR (%)	22,12	22,29	24,10	23,25	25,61	32,77
Texture	Limoneuse fine					Limoneuse fine argileuse

La capacité moyenne de rétention la plus élevée est celle du profil 6 avec (32,77 %), la moins élevée est celle du profil 2 avec 22,29%.

Le tableau 14 illustre les résultats des mesures des capacités de rétention des sols de différentes régions d'Algérie étudiées par nos prédécesseurs du laboratoire « Ressources Naturelles » où l'on retrouve le pistachier de l'Atlas.

Tableau 14. Représentation graphique de la capacité de rétention des sols sous pistachier précédemment étudiés.

Gradient d'aridité croissant →								
Zone étudiée	Oued Besbès (Médea) (Tahrou, 2005)	El Mergueb (M'sila) (Limane, 2009)	Boucédraïa (Djelfa) (Haboul, 2 011)	Aïat, Timzerth (Laghouat) (Boubrima, 2014)	Aïat, Timzerth (Laghouat) (Chebieb, 2008)	Saadi, Hassi Delâa (Laghouat) (Boubrima, 2014)	Tilrhemt (Laghouat) (Kebsci, 2008)	Béni Ounif (Béchar) (Aït-Slimane, 2004)
CR (%)	32-69	23,8-28,42	25,13-41,84	28,66-39,07	22,3-33,19	37,84-44	17,27-27,75	13-28,4

Nous constatons que ces capacités de rétention diminuent selon le gradient d'aridité à l'exception de Hassi Delâa, où 50% des sols sont à texture limoneuse à limoneuse fine, 25% sont à texture limono-sableuse, les 25% qui restent sont à texture limono-argileuse.

Les capacités de rétention de nos sols se rapprochent de celles obtenues par Chebieb (2008) à dayate Aïat Timzerth (Laghouat) à aridités comparables.

Pouget (1980) affirme que ces sols sont dotés d'une faible perméabilité offerte par leur texture moyenne à fine, qui permet l'infiltration lente des eaux de ruissellement reçues à travers le profil, favorisant ainsi une stagnation plus ou moins prolongée de l'eau et son évaporation en surface.

6.3. Mesure du pH

Le tableau 15 comporte les résultats de pH des sols à dayate El Gouffa. De ce tableau, il ressort que tous les échantillons des sols sous-jacents des pistachiers de l'Atlas sont à pH basique selon Baize (2000). Les valeurs sont comprises entre 8,02 et 8,41. Le pH le plus élevé a été enregistré au niveau du sol 2 (niveau 20-40 cm), le pH le plus bas a été observé au niveau du sol 5 (niveau 0-20 cm).

Tableau 15. pH par niveau des sols de dayate El Gouffa.

Sols sous pistachier	niveaux (cm)	pH
Sol 1	0 - 20	8,06
	20 - 40	8,27
	40 - 60	8,03
	60 - 80	8,34
Sol 2	0 - 20	8,4
	20 - 40	8,41
	40 - 60	8,3
	60 - 80	8,24
Sol 3	0 - 20	8,31
	20 - 40	8,17
	40 - 60	8,14
	60 - 80	8,11
Sol 4	0 - 20	8,1
	20 - 40	8,16
	40 - 60	8,1
	60 - 80	8,05
Sol 5	0 - 20	8,02
	20 - 40	8,3
	40 - 60	8,28
Sol 6	0 - 20	8,07
	20 - 40	8,22
	40 - 60	8,14

Les résultats des mesures de pH sont comparés selon les normes d'appréciation du sol qui figurent sur le tableau 16.

Tableau 16. Normes d'appréciation du pH du sol (Baize, 2000).

pH	hyper- acide	<3,5
	très acide	3,5 – 4,2
	peu acide	4,2 – 5,0
	acide	5,0 – 6,5
	neutre	6,5 – 7,5
	basique	7,5 – 8,7
	très basique	>8,7

Le pH mesuré de nos sols à dayate El Gouffa (Tableau 17) nous donne des résultats pH basiques oscillants entre **8,10** à **8,33**.

Tableau 17. Moyennes de pH des sols de la daya d'El Gouffa.

Sols	Sol 1	Sol 2	Sol 3	Sol 4	Sol 5	Sol 6
pH	8,17	8,33	8,18	8,10	8,2	8,14
Type	Basique					

Nous avons synthétisé les intervalles de pH des travaux précédents sur les sols sous pistachier de l'Atlas en Algérie suivant un gradient d'aridité croissant. Ceci est illustré dans le tableau 18. De ce tableau, nous déduisons que le pH neutre à basique caractérise les sols sous pistachier de l'Atlas de toutes les populations précédemment étudiées, ainsi que nos sols.

Le pH de nos sols se rapproche de ceux obtenues par Deguiche (2008) à dayate Aïat Timzerth, Bounceur (2009) à Tirlhemt centre (Laghouat) et Bournine (2007) à Béni Ounif (Béchar).

En plus des auteurs cités dans le tableau ci-dessus, Brown et *al.*, (1994) signalent que le pistachier de l'Atlas occupe une variété de sols qui se caractérisent par un pH élevé.

Tableau 18. Représentation graphique des intervalles de pH des sols sous pistachier de l'Atlas des travaux précédents.

Population	pH
Theniet El Had (Tissemsilt) (Tisgouine, 2010)	6,17 - 7,52
Oued Besbès (Médea) (Tahrour, 2005)	7,26 - 7,90
Boucédraia (Djelfa) (Bentaleb, 2011)	7,39 – 8,40
El Mergueb (M'sila) (Limane, 2009)	7,50 - 8,70
Aïat, Timzerth (Laghouat) (Boubrima, 2014)	7,57 – 7,88
Aïat, Timzerth (Laghouat) (Deguiche, 2008)	8,07 - 8,51
Aïat, Timzerth (Laghouat) (Amroun, 2013)	7,27 - 8,66
Saadi, Hassi Delâa (Laghouat) (Boubrima, 2014)	7,53 – 8,02
Tilrhemt centre (Laghouat) (Bounceur, 2009)	8,26 - 8,44
Béni Ounif (Béchar) (Bournine, 2007)	8,09 - 8,46

6.4. Dosage du calcaire total

Les sols de dayate El Gouffa sont classés d'après les normes d'appréciation citées dans le tableau 19.

Tableau 19. Normes d'appréciation du calcaire total du sol (Baize, 2000).

CaCO₃ Total (%)	< 1	non calcaire
	1 à 5	peu calcaire
	5 à 25	modérément calcaire
	25 à 50	fortement calcaire
	50 à 80	très fortement calcaire
	Plus de 80	excessivement calcaire

Les échantillons de sols de dayate El Gouffa analysés sont peu à modérément calcaires. Leurs teneurs varient de 1,25% (niveau 0-20 cm) du sol 3 à 18,25% de tous les niveaux du sol 6.

Les résultats obtenus sont portés dans le tableau 20.

Tableau 20. Taux de calcaire total (CaCO₃) et pH des sols sous pistachier de l'Atlas.

Sols sous pistachier	Niveaux (cm)	CaCO ₃ (%)	pH
Sol 1	0 - 20	15,6	8,06
	20 - 40	13,75	8,27
	40 - 60	16,25	8,03
	60 - 80	15,6	8,34
Sol 2	0 - 20	2,5	8,4
	20 - 40	5,62	8,41
	40 - 60	2,5	8,3
	60 - 80	7,5	8,24
Sol 3	0 - 20	1,25	8,31
	20 - 40	3,75	8,17
	40 - 60	8,12	8,14
	60 - 80	6,87	8,11
Sol 4	0 - 20	2,5	8,1
	20 - 40	3,75	8,16
	40 - 60	6,25	8,1
	60 - 80	5,62	8,05
Sol 5	0 - 20	15	8,02
	20 - 40	16,25	8,3
	40 - 60	15	8,28
Sol 6	0 - 20	18,75	8,07
	20 - 40	18,75	8,22
	40 - 60	18,75	8,14

Les teneurs moyennes des sols en calcaire total varient de 4,53% à 18,75% (Tableau 21). Les sols analysés sont peu à modérément calcaires.

Tableau 21. Moyennes de CaCO₃ des profils étudiés de dayate El Gouffa.

Sols	Sol 1	Sol 2	Sol 3	Sol 4	Sol 5	Sol 6
CaCO₃ (%)	15,3	4,53	5	4,53	15,42	18,75
Type	modérément calcaire	peu calcaire	modérément calcaire	peu calcaire	modérément calcaire	

Selon les normes d'appréciation du calcaire total du sol (Baize, 2000), les sols de dayate El Gouffa sont peu à modérément calcaires.

Pouget (1980) caractérise les sols des dayas par leur faible teneur en calcaire (< 10-20%), ce qui correspond aux résultats obtenus pour les sols étudiés à dayate El Gouffa.

En comparant nos résultats à ceux obtenus dans les précédents travaux du laboratoire « Ressources Naturelles », nous avons élaboré le tableau 22.

Tableau 22. Taux de calcaire total des sols sous pistachier de l'Atlas des travaux précédents

Gradient d'aridité croissant →							
Zone étudiée	El Mergueb (M'sila) (Limane, 2009)	Boucédraïa (Djelfa) (Bentaleb, 2011)	Saadi, Hassi Delâa (Laghouat) (Boubrima, 2014)	Aïat, Timzerth (Laghouat) (Boubrima, 2014)	Aïat, Timzerth (Laghouat) (Deguiche, 2008)	Aïat, Tilrhemt (Laghouat) (Amroun, 2013)	Tilrhemt (Laghouat) (Bounceur, 2009)
CaCO₃ total %	5,52-81,25	2,53-13,56	10,41-22,80	9,58-13,75	5,62-51,87	19,37-23,27	7,81-25,31

Nous constatons que les sols étudiés de dayate El Gouffa sont peu à modérément calcaires, ils sont relativement plus proches de ceux de dayate Boucédraïa à Djelfa par Bentaleb (2011) et ceux de dayate Aïat à Timzerth (Laghouat) étudiées par Boubrima (2014).

6.5. Dosage du carbone organique

Nous avons qualifié les sols selon leurs teneurs en matière organique d'après les normes de Soltner (1982).

Tableau 24. Normes d'appréciation de la matière organique de sol (Soltner, 1982).

M.O (%)	0 - 1%	Extrêmement faible
	1 - 1,5%	Très faible
	1,5 - 2,5%	Faible
	2,5 - 3,5%	Moyen
	3,5 - 4,5%	Moyen élevé
	4,5 - 5%	Elevé
	> 5%	Très élevé

Le tableau 25 illustre les résultats de l'analyse. Les échantillons de sols analysés ne dépassent pas 1,5 % de matière organique. Les proportions dans les niveaux de chaque sol sont réparties de manière hétérogène. La teneur la plus importante (1,5%) a été relevée pour le sol 2 (60-80 cm) et la plus basse est de 0,12%, elle a été enregistrée pour le sol 3 (20-40 cm) (Tableau 25).

Nous remarquons que les niveaux qui ont présenté les valeurs les plus élevées sont ceux du sol 1 c'est la nebkha du sujet le plus jeune.

Tableau 25. Taux carbone (C), de matière organique (M.O), de Calcaire total CaCO₃ total et pH des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate El Gouffa.

Sols sous pistachier	niveaux (cm)	C (%)	MO (%)	CaCO ₃ total (%)	pH
Sol 1	0 - 20	0,44	0,76	15,6	8,06
	20 - 40	0,22	0,38	13,75	8,27
	40 - 60	0,30	0,52	16,25	8,03
	60 - 80	0,33	0,58	15,6	8,34
Sol 2	0 - 20	0,77	1,32	2,5	8,4
	20 - 40	0,86	1,48	5,62	8,41
	40 - 60	0,77	1,32	2,5	8,3
	60 - 80	0,87	1,5	7,5	8,24
Sol 3	0 - 20	0,13	0,23	1,25	8,31
	20 - 40	0,07	0,12	3,75	8,17
	40 - 60	0,16	0,28	8,12	8,14
	60 - 80	0,16	0,28	6,87	8,11
Sol 4	0 - 20	0,28	0,49	2,5	8,1
	20 - 40	0,33	0,57	3,75	8,16
	40 - 60	0,56	0,97	6,25	8,1
	60 - 80	0,55	0,94	5,62	8,05
Sol 5	0 - 20	0,27	0,46	15	8,02
	20 - 40	0,21	0,36	16,25	8,3
	40 - 60	0,15	0,26	15	8,28
Sol 6	0 - 20	0,16	0,28	18,75	8,07
	20 - 40	0,18	0,31	18,75	8,22
	40 - 60	0,30	0,51	18,75	8,14

Nous avons réalisé le tableau 26, dans le but de comparer la teneur des profils en matière organique.

Tableau 26. Moyenne des taux de matière organique (M.O) des profils de dayate El Gouffa.

Sols	Sol 1	Sol 2	Sol 3	Sol 4	Sol 5	Sol 6
M.O (%)	0,56	1,41	0,22	0,74	0,36	0,36
Qualification	extrêmement faible	très faible	extrêmement faible			

De l'interprétation du tableau on déduit que les sols sous pistachier de l'Atlas de dayate El Gouffa montrent des valeurs extrêmement faibles à très faibles de matière organique.

La teneur en matière organique, sous la dépendance des précipitations, diminue plus ou moins régulièrement avec l'aridité croissante du climat (Pouget, 1980).

Le tableau 27 illustre les intervalles de matière organique des sols sous pistachier de l'Atlas déjà étudiés, suivant un gradient d'aridité en Algérie. Nous constatons que les taux de matière organique recensés dans notre étude se rapprochent de ceux obtenus à dayate Aïat Timzerth par Deguiche (2008) et Boubrima (2014).

Tableau 27. Taux de matière organique (M.O) des sols sous pistachiers de l'Atlas précédemment étudiés.

Gradient d'aridité croissant →							
Populations étudiées	El Mergueb (M'sila) (Limane, 2009)	Boucédraia (Djelfa) (Bentaleb, 2011)	Aïat, Timzerth (Laghouat) (Boubrima, 2014)	Timzerth (Laghouat) (Deguiche, 2008)	Timzerth (Laghouat) (Amroun, 2013)	Saadi, Hassi Delâa (Laghouat) (Boubrima, 2014)	Tilrhent (Laghouat) (Bounceur, 2009)
Intervalle de (M.O)%	2,59–4,65	0,60–3,61	0,21-1,26	0,1– 2,43	3,59–10,26	1,33-3,41	0,49–1,21

Selon Le Houérou (1995) on ne rencontre guère de sols évolués zonaux au-dessous de l'isohyète 100 mm. Il s'agit de sols bruts climatiques: régosols (friables) ou lithosols (durs), que l'on appelle aussi formations superficielles. Ce phénomène est dû à la faiblesse de la teneur en matière organique (0.5 à 0.1 %, ou moins), résultant elle-même de la rareté de la végétation pérenne et de la faiblesse de la biomasse. Les zones arides, au contraire, possèdent des sols évolués steppiques (siérozems, sols bruns arides) contenant 0.5 à 2.5% de matière organique et parfois plus dans les horizons supérieurs (Le Houérou, 1995). La stabilité des propriétés physiques des sols, dépend du rapport entre les teneurs en matière organique et en fraction fine (limons plus argiles).

6.6. Analyse de la variance (ANOVA)

Les résultats de l'ANOVA illustrés par le tableau 28 nous indiquent une différence très significative des propriétés physico-chimiques étudiées entre les sols étudiés à l'exception des variables pH, limons grossiers et sables grossiers qui indiquent une différence non significative.

Tableau 28. Résultats de l'ANOVA appliquée sur les paramètres physico-chimiques des niveaux de sols de dayate El Gouffa.

Variables	Probabilités	Conclusion
A	P < 0,01	Très Significative
LF	P < 0,01	Très Significative
LG	P = 0,13	Non significative
SF	P < 0,01	Très Significative
SG	P = 0,12	Non significative
HH	P < 0,01	Très Significative
CR	P < 0,01	Très Significative
pH	P = 0,10	Non significative
CaCO₃	P < 0,01	Très Significative
MO	P < 0,01	Très Significative

A: Argiles ; LF: Limons Fins ; LG: Limons Grossiers ; SF: Sables Fins ; SG: Sables Grossiers ; H.H : Humidité Hygroscopique ; CR : Capacité de Rétenion ; CaCO₃: Calcaire total ; MO : Matière Organique.

6.7. Analyse en composantes principales (ACP)

En utilisant la matrice de données illustrée par le tableau 29, nous avons réalisé l'ACP 01.

Tableau 29. Données de l'ACP 01.

Sols	pH	CaCO ₃ total (%)	MO (%)	HH (%)	CR (%)	A (%)	LF (%)	LG (%)	SF (%)	SG (%)
Sol 1	8,17	15,3	0,56	1,46	22,12	6,59	9,14	49,48	33,66	1,11
Sol 2	8,10	4,53	1,41	1,42	22,29	6,15	6,23	51,51	32,51	3,57
Sol 3	8,33	5	0,22	1,05	24,10	3,58	1,44	86,36	35,17	3,41
Sol 4	8,18	4,53	0,74	0,76	23,25	3,54	1,33	55,86	31,43	7,80
Sol 5	8,20	15,42	0,36	0,24	25,61	7,42	1,92	52,73	34,64	3,59
Sol 6	8,14	18,75	0,36	3,62	32,77	21,91	8,87	66,78	0,03	2,37

Une matrice de corrélation de Pearson illustrée par le tableau 30, nous avons révélé les corrélations les plus significatives. Nous tenons à noter que :

Tableau 30. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres physico-chimiques des sols étudiés à dayate El Gouffa.

	pH	CaCO ₃	MO	CR	A	LF	LG	SF	SG	H.H
pH	1									
CaCO ₃	-0,27	1								
MO	0,68	-0,49	1							
CR	-0,36	0,66	-0,48	1						
A	-0,18	0,73	-0,24	0,93	1					
LF	0,16	0,58	0,18	0,31	0,62	1				
LG	-0,45	0,33	-0,40	0,91	0,80	0,16	1			
SF	0,30	-0,57	0,21	-0,92	-0,96	-0,54	-0,90	1		
SG	-0,30	-0,62	0,21	-0,22	-0,40	-0,71	0,04	0,21	1	
H.H	-0,08	0,82	-0,31	0,91	0,95	0,53	0,69	-0,85	-0,48	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0,05 (test bilatéral)

Nous notons à noter que :

- ✓ Les argiles sont corrélées positivement à la capacité de rétention (R= 0,93) ;
- ✓ l'humidité hygroscopique est corrélée positivement au calcaire total (R= 0,82) ; à la capacité de rétention (R= 0,91) ; aux argiles (R= 0,93) et négativement aux sables fins (R= -0,85) ;
- ✓ la fraction limons grossiers est corrélée positivement à la capacité de rétention (R= 0,91) ;
- ✓ la fraction sables fins est corrélée négativement à la capacité de rétention (R= -0,92), aux argiles (R= -0,96) et enfin aux limons grossiers (R= -0,90).

Le plan factoriel ½ de l'ACP explique 79% du phénomène, l'axe 1 contribue avec 57%, tandis que l'axe 2 exprime 22% de cette inertie (Fig. 27).

L'axe F1 semble séparer les sols de dayate El Gouffa en deux groupes individualisés :

Le groupe A renferme les sols 5 (EG5) et 6 (EG6), Ce sont des sols sous pistachier de l'Atlas âgés. Ils sont surtout riches en limons fins et présentent des taux d'argiles, de limons grossiers, et de calcaire total relativement importants qui sont corrélés positivement aux humidités hygroscopiques et capacités de rétention.

Le groupe B rassemble le sol 1 (EG1), le sol 2 (EG2), le sol 3 (EG3), et le sol 4 (EG4), sous pistachier de l'Atlas de dayate El Gouffa riches en sables fins et grossiers et présentent des pH élevés, leurs humidités hygroscopiques et capacités de rétention sont relativement faibles par rapport à celles du groupe A. Ces sols appartiennent à des nebkhas.

Le recouvrement sableux présente le double avantage de favoriser l'infiltration, et de limiter l'évaporation. Ce recouvrement peut être relativement mince, lorsqu'il s'agit de voile éolien plus ou moins stabilisé, c'est donc bien une caractéristique de la surface qui a un fort impact sur le cycle de l'eau, comme l'ont confirmé les mesures d'infiltrabilité sous pluies simulées réalisées ultérieurement. Cependant, ce recouvrement sableux n'est bénéfique que s'il est fixé, stabilisé, sinon les jeunes plantules seront déchaussées dès le prochain épisode venteux et criblées par le sable en mouvement au raz du sol (Floret et *al.*, 1989).

Le taux élevé de matière organique provient des buissons de *Ziziphus* où se forment les nebkhas, la hauteur de ces dunes offre un excellent habitat pour les animaux qui apportent directement à la plante la matière organique.

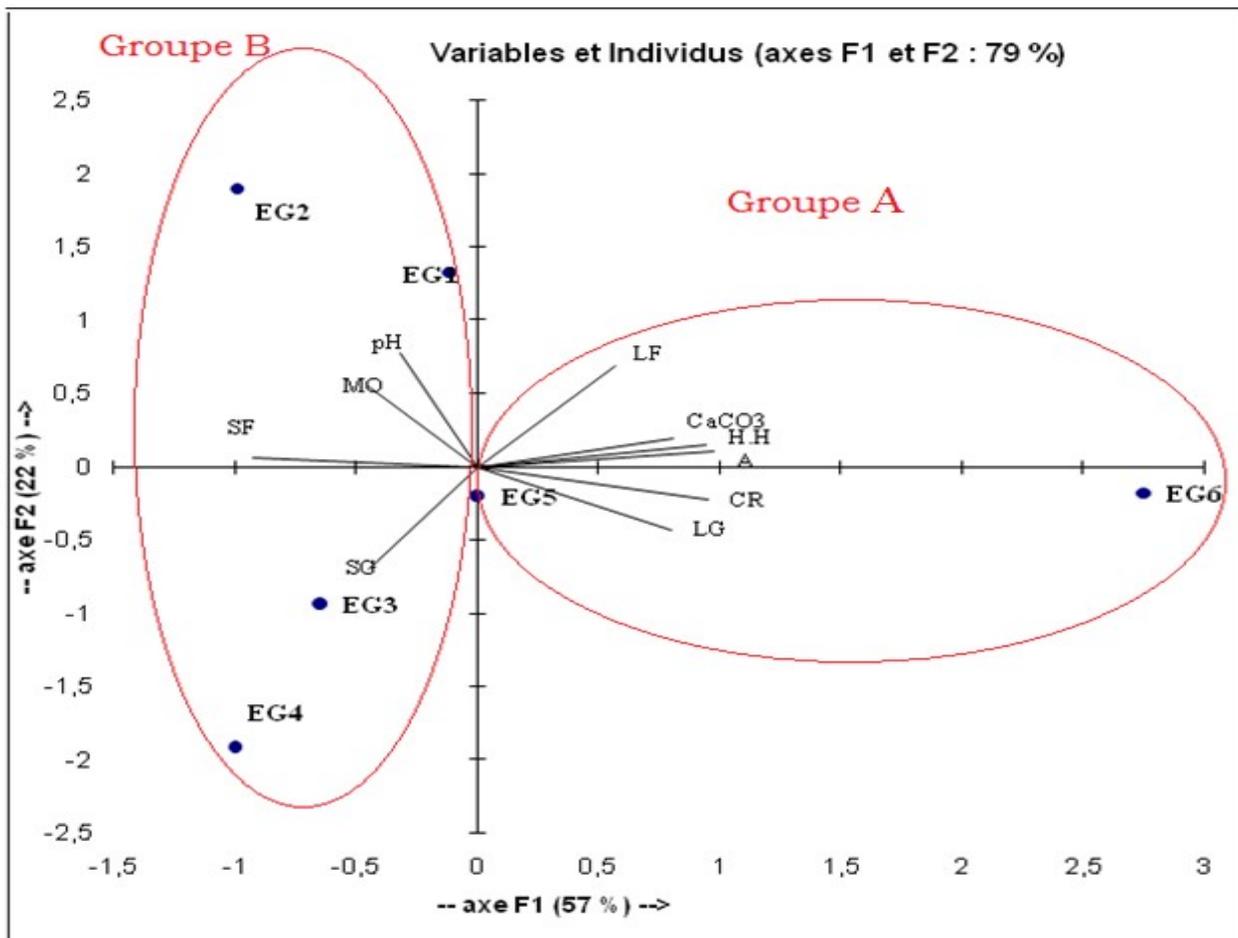


Fig. 27. ACP 01 concernant les différentes variables édaphiques étudiées à dayate El Gouffa.

6.8. Etude Synthétique : ACP 02

Dans le but de comparer les résultats des sol sous-jacent de pistachiers de l'Atlas à dayate El Gouffa avec ceux réalisés par Limane (2009) et Boubrima (2014), nous avons établi une analyse globale en composantes principales, à laquelle nous avons intégré les résultats de l'étude analogue de Limane (2009) à dayate El Guersa, dans la wilaya de M'sila et l'étude de Boubrima (2014) à dayate Aïat, région de Timzerth et dayate Saadi, Hassi Delâa, toutes deux à Laghouat. Le principe de cette étude synthétique est de montrer la variation des différents caractères physico-chimiques des sols sous-jacents du pistachier. Les dayas étudiées s'organisent du nord au sud respectivement :

- ✓ dayate El Guersa dans la réserve d'El Mergueb, wilaya de M'sila est située, entre l'étage bioclimatique aride moyen et aride inférieur à hiver tempéré (Limane, 2009) ;
- ✓ dayate El Gouffa dans la commune d'Ain Madhi se place dans l'étage bioclimatique aride inférieur ou selon Le Houérou (1995) appelé aussi aride accentué ou présaharien ou subdésertique à hiver frais dans la wilaya de Laghouat.
- ✓ dayate Aïat, région de Timzerth et dayate Saadi, Hassi Delâa se situent dans l'étage bioclimatique aride inférieur à hiver frais, toutes les deux dans la wilaya de Laghouat ; mais la première est plus au nord par rapport à la deuxième Boubrima (2014).

Nous avons réalisé une matrice de corrélation de Pearson entre les paramètres physico-chimiques des sols représentée par le tableau 31, illustré par une ACP de synthèse indiquée par la figure 28.

Tableau 31. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres physico-chimiques des sols étudiés à dayate El Gouffa, Aïat à Timzerth et dayate Saadi, Hassi Delâa de Boubrima (2014) et les sols de la dayate d'El-Guerssa (El-Mergueb) à M'sila de Limane (2009).

	pH	CaCO ₃	MO	CR	A	LF	LG	SF	SG	H.H
pH	1									
CaCO ₃	-0,31	1								
MO	-0,13	0,13	1							
CR	-0,64	0,37	0,03	1						
A	-0,28	0,42	0,30	0,65	1					
LF	-0,58	0,42	0,36	0,82	0,61	1				
LG	0,73	-0,14	-0,46	-0,40	-0,19	-0,41	1			
SF	-0,41	-0,20	-0,30	0,00	-0,44	-0,25	-0,55	1		
SG	0,18	-0,11	0,69	-0,51	-0,15	-0,28	-0,25	-0,16	1	
H.H	-0,22	0,45	0,16	0,76	0,60	0,77	0,03	-0,48	-0,39	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0,05 (test bilatéral)

Le tableau ci-dessus montre ($R = -0,64$) des corrélations négatives entre la capacité de rétention et le pH ;

- ✓ la fraction argiles des sols sous pistachier est corrélée positivement à la capacité de rétention ($R = 0,65$) ainsi qu'avec le calcaire total ($R = 0,42$) ;
- ✓ les limons fins présentent une corrélation négative avec le pH ($R = -0,58$); et une corrélation positive avec le calcaire total ($R = 0,42$), la capacité de rétention ($R = 0,82$), la fraction argile ($R = 0,61$).
- ✓ la fraction limons grossiers est corrélée positivement avec le pH ($R = 0,73$), et négativement les limons fins ($R = -0,41$) et la matière organique ($R = -0,46$) ;
- ✓ les sables fins sont négativement corrélée au pH ($R = -0,41$), aux argiles ($R = -0,44$) ainsi qu'aux limons grossiers ($R = -0,51$) ;
- ✓ les sables grossiers présentent une corrélation positive avec la matière organique ($R = 0,69$) et négative avec la capacité de rétention ($R = -0,51$) ;
- ✓ l'humidité hygroscopique est positivement corrélée à la capacité de rétention ($R = 0,76$), au calcaire total ($R = 0,45$) ainsi qu'avec plusieurs fractions des sols étudiés telles que les argiles ($R = 0,60$) et limons fins ($R = 0,77$), par contre, elle est négativement corrélée avec la fraction sables fins ($R = -0,48$).

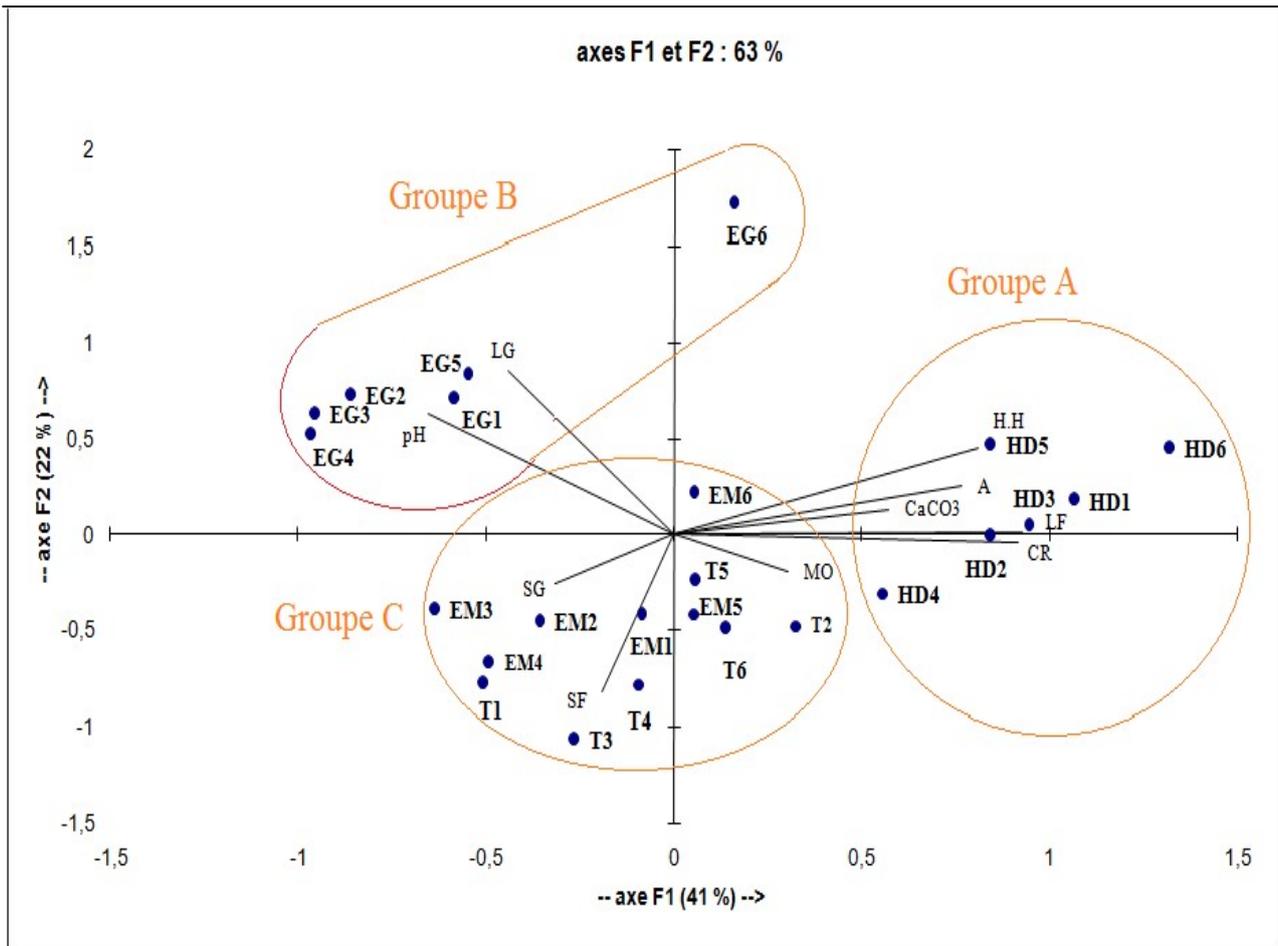
Le plan factoriel $\frac{1}{2}$ de l'ACP explique 63% du phénomène, l'axe 1 contribue avec 41%, tandis que l'axe 2 exprime 22% de cette inertie.

L'axe F1 semble séparer les sols étudiés de dayates El Gouffa, Aïat à Timzerth et dayate Saadi, Hassi Delaâ étudiée par Boubrima (2014) et les sols de la dayate El-Guersa (El-Mergueb) à M'sila en trois groupes individualisés.

Groupe A : dans ce groupe on trouve tous les sols (HD1, HD2, HD3, HD4, HD5 et HD6) de dayate Saadi à Hassi Delaâ étudiés par Boubrima (2014) qui présentent des taux considérables calcaire total. Ces sols riches en limons fins et argiles présentent une bonne humidité hygroscopique et capacité de rétention relative à leur composition texturale.

Groupe B : représenté exclusivement par les sols à pH basiques étudiés sous pistachier de l'Atlas à dayate El Gouffa soit le sol 1 (EG1), le sol 2 (EG2), le sol 3 (EG3), le sol 4 (EG4), le sol 5 (EG5), et le sol 6 (EG6) où les limons grossier, prédominant de la présente étude.

Groupe C : rassemble les sols dont les sables fins et grossiers dominent les fractions granulométriques, représentés par des sols étudiés par Boubrima (2014) à dayate Aïat (Timzerth) en l'occurrence le sol 1 (T1) et sol 2 (T2) ; qui appartiennent à des nebkhas. Le sol 3 (T3) et le sol 4 (T4) sont sous pistachier de l'Atlas adulte et les autres sols 5 (T5) et 6 (T6) sont sous pistachiers âgés. Dans ce groupe on trouve aussi les sols étudiés par Limane (2009) à El-Mergueb riche en fraction sableuse. Comparés à des sols de région arides, les sols de ce groupe C présentent des taux considérable de matière organique.



EG : les sols étudiés sous pistachier de l'Atlas à dayate El Gouffa.

HD : les sols étudiés sous pistachier de l'Atlas à dayate Saadi à Hassi Delaâ étudiés par Boubrima (2014).

T : des sols étudiés à dayate Aïat (Timzerth) par Boubrima (2014).

EM : les sols étudiés à El-Mergueb par Limane (2009).

Fig. 28. ACP 02 concernant les différentes variables édaphiques étudiées à dayate El Gouffa, (Aïat à Timzerth et dayate Saadi, Hassi Delaâ) de Boubrima (2014) et les sols de la dayate d'El-Guersa (El-Mergueb) à M'sila, Limane (2009).

7. Conclusion

Les résultats de ce chapitre nous confirment l'adaptabilité étonnante du pistachier de l'Atlas face aux conditions édaphiques extrêmes.

Les sols à pH basiques étudiés à dayate El Gouffa présentent des similitudes avec les sols étudiés par Limane (2009) à El-Mergueb (M'sila) et les sols des dayates Aïat à Timzerth et Saadi, à Hassi Delâa (Laghouat) étudiées par Boubrima (2014).

Les sols échantillonnés à dayate El Gouffa sont de texture à dominante limoneuse fine. Un seul sol sous-jacent un sujet âgé présente une texture « limoneuse fine argileuse ».

La fraction sableuse signalé aux niveaux des nebkhas à dayate El Gouffa et les autres sols étudiés par Boubrima (2014) et Limane (2009) présente un double avantage de favoriser l'infiltration, et de limiter l'évaporation.

Les taux de calcaire total modérés combinés avec la fraction limoneuse fine appellent la rétention d'eau dans ces sols. Cette capacité de rétention est augmentée par la présence des argiles.

Le "couple" limons-calcaire de ces sols est prépondérant dans la capacité de rétention d'eau de ces mêmes sols, qui a par ailleurs largement dépassé les 20% de l'humidité totale de nos sols, ce qui constitue une réserve utile très appréciable pour le pistachier de l'Atlas (Limane, 2009).

Nous pouvons aussi dire que ces sols sous pistachier de l'Atlas à dayate El Gouffa montrent des valeurs très faibles à extrêmement faibles de matière organique contrairement aux sols étudiées par Boubrima (2014) qui présentent des teneurs en matière organique considérables par rapport à des sols arides, et elles sont relativement importantes dans les études de sols réalisées par Limane (2009).

Chapitre 3.

Architecture racinaire de *Pistacia atlantica* Desf.



1. Introduction

Parce que le système racinaire est invisible, son importance est toujours sous estimée. Pourtant, les racines des plantes vivaces peuvent se développer pendant plusieurs mois sans tige, tandis que rares sont les plantes (Crassulaceae, Cactaceae), dont les tiges peuvent survivre plus de quelques jours sans racines (Raimbault, 2003).

Les racines vraies sont apparues en même temps que les plantes vasculaires vers le milieu de l'ère primaire. La racine diffère de la tige par trois caractères fondamentaux : le géotropisme, l'absence de cuticule et le mode de ramification. Chez les arbres, les racines qui constituent la partie souterraine des plantes, dépendent pour leur développement, de la qualité du sol, autrement dit, des propriétés physico-chimiques et biologiques du sol (Drénou, 2006).

L'architecture est la manière dont est construit tout édifice (Le Roux, 1994). Elle résulte de l'effet combiné des facteurs internes et externes et évolue au cours du temps chez tous les systèmes végétatifs (Barthélémy et Caraglio, 2007). L'architecture d'un système racinaire est sa structure tridimensionnelle (3D). Elle englobe l'agencement topologique de ses différents composants et leurs caractéristiques géométriques (Danjon et Reubens, 2008). La topologie racinaire définit la nature des éléments constitutifs du système et la manière dont ils sont agencés les uns par rapport aux autres (Godin et *al.*, 1999; Gregory P.J., 2006). L'architecture racinaire est un aspect fondamental de la productivité des plantes (Lynch, 1995). Elle est directement liée aux principales fonctions du système racinaire (Le Roux, 1994), dont l'ancrage et le prélèvement des nutriments. Selon Gorenflot de Foucault (2005), suivant les conditions physico-chimiques et hydriques du sol, d'une part, et les différentes espèces d'autre part, il existe des systèmes racinaires variés, mais tous peuvent subir un développement particulièrement important, quand l'eau manque plus ou moins. Le même auteur signale que le système pivotant à extension verticale atteint plusieurs mètres pour des arbrisseaux des zones arides. A cette profondeur, le sol reste relativement humide plus longtemps.

2. Rôles des racines

- ✓ **La fixation** de l'arbre et son ancrage au sol sont assurés par les grosses racines ligneuses dont la configuration s'adapte aux contraintes de l'environnement (Drénou, 2006), grâce à leur croissance orientée vers le bas et leurs ramifications multiples, les racines ancrent solidement le végétal dans le sol (Camefort, 1997).

Dans le cas de la lutte contre l'érosion, il apparaît en général que les racines fines sont plus importantes que les grosses racines. C'est pourquoi un réseau dense de racines fines dans un système peut permettre une importante fixation au sol des arbres (Gyssels *et al.*, 2005).

- ✓ **L'alimentation** en eau et la nutrition minérale à partir des ressources du sol sont assurées par les racines fines (Drénou, 2006). Le transport est réalisé par l'évaporation foliaire traçante principalement (évapotranspiration), mais aussi par la pression racinaire due à l'absorption active d'eau (visible lors de la guttation au niveau des hydathodes foliaires) (Camefort, 1996; Lavelle et Spain, 2002). Les critères les plus importants pour caractériser l'absorption de l'eau par les racines sont la profondeur d'enracinement et la longueur des racines (Tardieu, 1987). Dans un sol, la disponibilité en eau dépend d'une part de la distance à parcourir jusqu'à la racine la plus proche en chaque point du sol, et d'autre part de la conductivité hydraulique du sol sur ce trajet (Calvet, 1988).

Le rôle de capteur hydrominéral, dévolu aux racines fines est de ce fait fortement dépendant de la répartition spatiale des racines. La profondeur d'enracinement conditionne la survie des plantes en période de stress hydrique. C'est le rôle souvent attribué aux grosses racines, qui puisent l'eau dans les horizons profonds et assurent leur transport vers les horizons superficiels (Danjon et Reubens, 2008).

- ✓ **Le stockage** des réserves (carbone sous forme de sucres solubles, d'amidon ou de lipides azotés sous formes de protéines) est aussi assuré par les racines. Elles sont également capables de créer des associations symbiotiques complexes avec les microorganismes (bactéries et champignons) qui vont, par exemple, aider à la solubilisation du phosphore, à la fixation de l'azote atmosphérique, au développement de racines secondaires (Domergues *et al.*, 1999).
- ✓ **Création de sol** : les molécules et enzymes sécrétés par les racines et leurs manchons symbiotiques contribuent à la formation du sol ; les racines de nombreux arbres sécrètent des acides organiques assez puissants pour ronger les pierres calcaires et en libérer le calcium et d'autres minéraux utiles pour les espèces qui produisent et exploitent l'humus (Domergues *et al.*, 1999). Parmi les sécrétions racinaires les plus connues, des composés de poids moléculaire élevé, tels que les mucilages, les enzymes et les protéines. Le mucilage racinaire est sécrété par les cellules de la coiffe des racines (Rougier, 1982 et Nguyen *et al.*, 2007). Il est composé de macromolécules insolubles constituées principalement de polysaccharides associés à une fraction d'acides uroniques et protéiques (Morel, 1986 et Marschner, 1995). Les mucilages ont d'une part, un rôle d'adhésion des cellules de la coiffe avec les particules de sol, ce qui facilite leur

desquamation, protégeant ainsi le méristème racinaire des blessures liées à la progression de la racine à travers les particules de sol. Ce rôle dans l'adhésion des particules du sol à la racine permet d'assurer la continuité du flux d'absorption d'eau et d'éléments minéraux (Nguyen et *al.*, 2007).

- ✓ **Communication** : certaines espèces d'arbres peuvent anastomoser leurs racines à celles d'arbres de la même espèce et ainsi mettre en commun des ressources hydriques et nutritives ; ces anastomoses peuvent aider une souche ou un arbre gravement blessé à survivre et à mieux résister à l'érosion des sols, pentes et berges ; quand la connexion n'est pas directement physique, des communications via les associations mycorhiziennes peuvent exister (Camefort, 1977).

3. Développement du système racinaire et architecture racinaire

Selon Raimbault (2003), la majorité des espèces ligneuses passe par ces mêmes stades de développement racinaire (Fig. 29).

Stade A : la croissance du pivot se poursuit quelques semaines.

Stade B : des racines secondaires se développent sur le pivot qui reste fortement dominant.

Stade C : quelques racines de la base du pivot, souvent aussi des racines adventives à la base du tronc, se développent aussi à l'horizontale.

Stade D : pour différentes raisons, le pivot perd sa dominance et se ramifie, des racines horizontales et de nouvelles racines obliques accélèrent leur croissance et forment ensemble le système fasciculé.

Stade E : les racines fasciculées émettent des racines verticales.

Stade F : Les ramifications du pivot atteignent leur profondeur maximum, elles sont rejointes par les ramifications verticales du système fasciculé.

Stade G : le pivot disparaît physiologiquement, il peut même disparaître physiquement. Il est remplacé par les nombreuses racines pivotantes du système fasciculé. Le système racinaire est à son apogée, la partie aérienne atteint son maximum d'extension et de densité.

Stade H : les racines obliques les extrémités profondes des racines pivotantes meurent progressivement. Le chevelu ne se renouvelle plus intensément. Le système racinaire est devenu superficiel, sensible aux moindres variations de l'environnement. Le système est entretenir la masse de la partie aérienne dont la croissance stagne puis régresse.

Stade J : chez certains vieux individus, le développement de nouvelles branches très vigoureuses à proximité du tronc réactive certains secteurs du cambium qui induisent à leur tour le développement de nouvelles racines à la base du tronc. Parallèlement à la réorganisation de la partie racinaire, l'arbre fait totalement ou partiellement un nouveau système racinaire en équilibre avec la partie aérienne. Le plus souvent l'arbre est composé de plusieurs ensembles tige-racine physiologiquement indépendants.

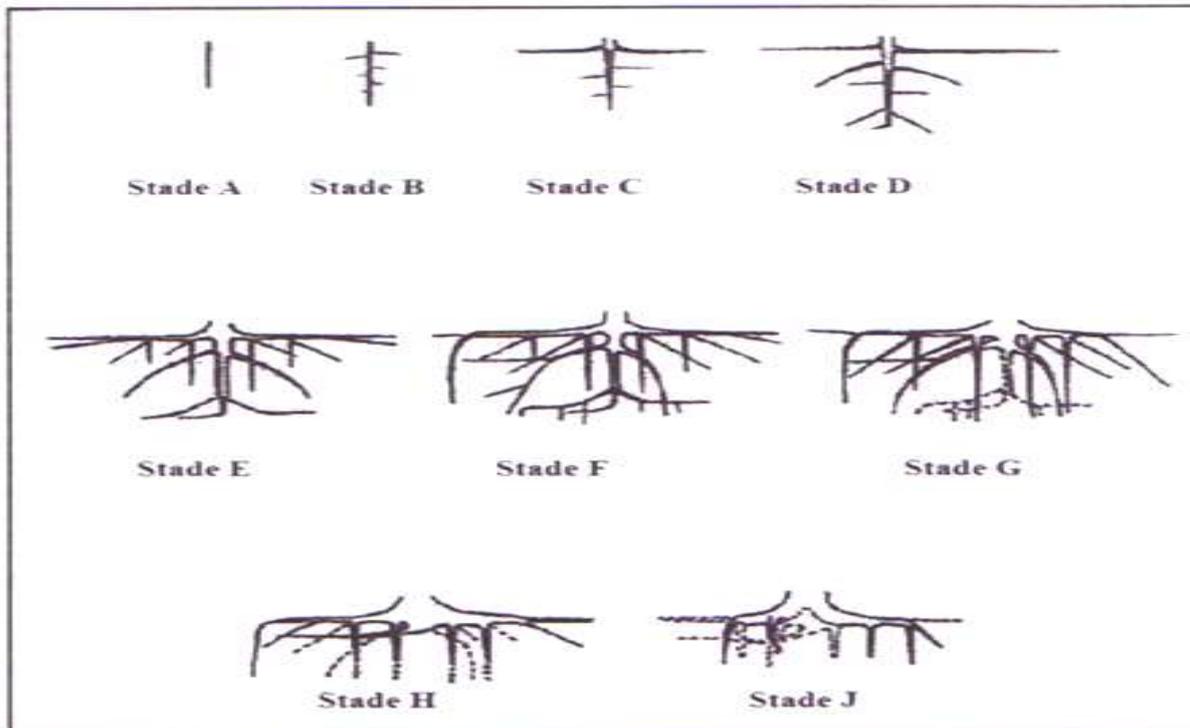


Fig. 29. Différents stades de développement chez la majorité des ligneux (Raimbault, 2003).

Selon Raimbault, (2003), il faut attendre que le ligneux atteigne son apogée de développement pour voir son pivot disparaître physiologiquement ou même physiquement.

L'eau joue un rôle prépondérant dans l'établissement de l'architecture racinaire. En effet, dans les sols inondés, mal drainés et mal oxygénés, les racines ont un développement superficiel et leur pénétration verticale est limitée (Kazarjan, 1969).

4. Les grandes classes d'architectures racinaires

Les premières descriptions des systèmes racinaires ont amené, à force de simplification, à mettre en évidence des grandes classes d'architectures. La classification la plus répandue est celle de Köstler *et al.* (1968), qui définit trois grandes classes de systèmes racinaires ; les systèmes traçants dont toutes les racines se développent à l'horizontale et en surface, les

systèmes pivotants constitués d'une grosse racine verticale dans le prolongement du tronc (pivot) et de racines latérales partant du collet, et enfin le système cœur ou oblique dont les multiples racines sont fasciculées et dirigées selon diverses inclinaisons elles exploitent intensivement la zone autour du collet (Fig. 30).

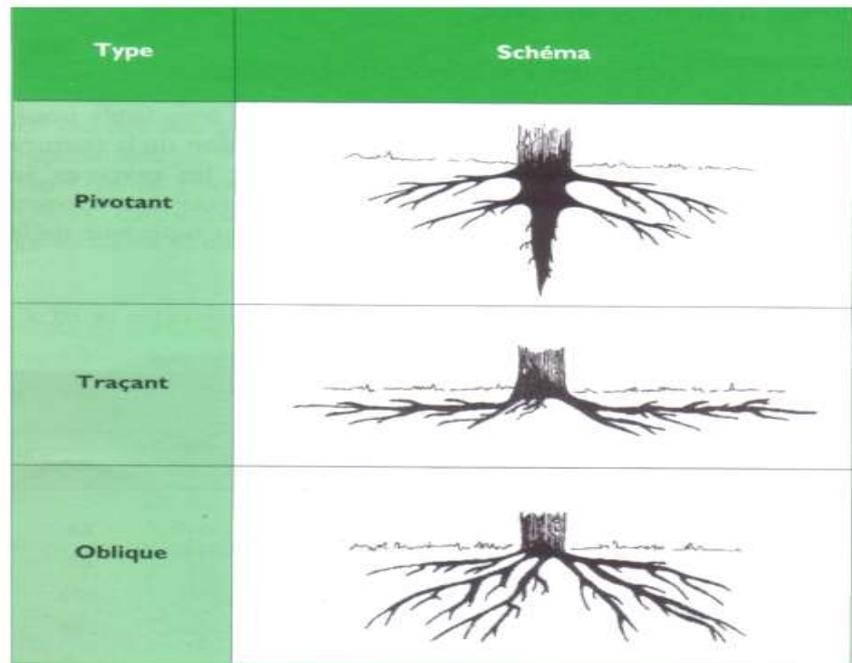


Fig. 30. Différents types de système racinaire (Waissen, 1991).

Une toute autre approche consiste à se concentrer uniquement sur la répartition spatiale des racines dans le sol sans considérer les aspects architecturaux. Il a été observé que l'occupation du sol pour un système racinaire donné, s'organise en deux niveaux ; dans le proche voisinage du collet, une zone de ramification très dense à forte décroissance en diamètre se développe dans un périmètre de 1m environ. Les parties éloignées du collet, moins ramifiées et plus traçantes, correspondent au développement extensif, peuvent se déployer jusqu'à plusieurs mètres de l'arbre (Lyford, 1980 ; Lucot, 1994).

Selon Drénou (2006), l'agencement des réseaux plongeant et traçant conduit à la différenciation de deux compartiments: le compartiment central autour du collet et le compartiment périphérique, qui est essentiellement composé de racines horizontales superficielles. Les arbres possèdent deux types de racines : un squelette de gros axes ligneux pérennes qui assurent les fonctions d'ancrage, de réserves et d'exploitation du sol à grande distance, et un chevelu de racines fines à renouvellement rapide qui exploitent localement les ressources.

Selon Drénou (1999), il existe chez les arbres plusieurs catégories de racines ligneuses :

- ✓ **le pivot primaire** vertical issu de la graine, il est généralement de taille modeste, se courbe ou disparaît ;
- ✓ **les racines charpentières horizontales et obliques** : issues du pivot primaire, qui forment la couronne racinaire primaire ;
- ✓ **des pivots secondaires verticaux** : issus des racines charpentières et généralement situés à proximité du collet ;
- ✓ **des racines charpentières secondaires** naissant tardivement à proximité du collet et à la base des fourches formées par les racines charpentières initiales.

5. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

Alors que la plupart de la flore des biomes arides a des stratégies de survie visant la suppression de la perte d'eau pendant la saison sèche, le pistachier de l'Atlas emploie une stratégie d'endurance. Avec un système racinaire qui est flexible et évolutif dans le temps et l'espace, le pistachier de l'Atlas peut réussir à coloniser les milieux inhospitaliers. Il a évolué pour réussir dans des biotopes difficiles tels que dayas et les oueds, en maximisant l'accès aux ressources hydrominérales, qui lui permettent de prospérer pendant la saison sèche (Limane, 2014a).

Ozenda (1977) s'émerveillant devant l'hypertrophie du système racinaire des végétaux désertiques, écrivait que les racines du pistachier présentaient un allongement de 1,5 m en une seule saison. Les racines du pistachier de l'Atlas sont très pivotantes, pouvant atteindre 5 m de profondeur Monjauze (1980b), et 5 à 6 m de profondeur d'après Germana (1997).

Les travaux de l'équipe du Laboratoire Ressources Naturelles de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, en l'occurrence Ait Slimane (2004), Belharret et Rekkeb (2004), Tahrou (2005), Limane (2009), Abdous (2010), Haboul (2011) et Boubrima (2014) ; qui ont trouvé que le profil racinaire de *Pistacia atlantica*, ce dernier présente un système à extension horizontale et verticale (système généralisé).

6. Matériel et méthodes

Les racines ont été excavées, simultanément avec les sols sous pistachier de l'Atlas, à différents niveaux ; jusqu'à 60 cm de profondeur pour les deux sujets âgés (mâle et femelle) et 80 cm pour les autres sujets immatures et moyens.

Lors de notre échantillonnage, nous avons examiné les morphologies des systèmes racinaires des pistachiers de l'Atlas choisis au niveau de dayate El Gouffa.

Dans un premier temps, soigneusement à l'aide de pioches, pelles, bêches et brosses nous avons creusé, libéré et débarrassé les racines des individus choisis. Par la suite, nous avons réalisé des croquis pour chaque profil et mesuré à l'aide d'un mètre ruban les longueurs et les circonférences de toutes les racines visibles (primaires, secondaires et/ou tertiaires).

Nous avons dénombré les racines superficielles et profondes selon la nomenclature de Raimbault (2003), c'est-à-dire celles qui colonisent les premiers 50 cm du sol sous-jacent.

De plus, grâce à un appareil photo numérique professionnel, nous avons pris le maximum de photos de tous les profils réalisés. Nous les avons traités dans le but d'en extraire des croquis plus précis pour mieux décrire l'enracinement de chaque sujet échantillonné. Par la suite, nous avons caractérisé l'architecture racinaire de nos individus en se référant à celle décrite dans les travaux précédents.

Enfin, nous avons vérifié la normalité des paramètres racinaires étudiés, et nous avons effectué des analyses de variance (ANOVA). En dernier, nous avons essayé de corrélérer ces paramètres par des Analyses en Composantes Principales (ACP), grâce au logiciel Stat Box 6.4, afin de tenter de classer le type d'enracinement de chaque individu échantillonné.

7. Résultats et discussions

7.1. Sujet 1

Pour le premier profil illustré par la figure 31, nous avons dégagé le système racinaire sur une profondeur de 80 cm qui correspond à la longueur du pivot dévoilé. On y observe une racine principale formant le pivot, de laquelle se détachent des racines secondaires du premier ordre aux ramifications les plus fines.

Nous notons une anastomose au niveau du collet du sujet 1 et une racine de *Ziziphus* (★). L'occupation de l'espace souterrain par les racines se concentre généralement dans les niveaux superficiels plus ou moins riches en nutriments que la profondeur. La racine R1 est une racine pivotante orthogéotrope ; on distingue tout autour du collet des racines traçantes comme : R-1-1, R1-2, R1-3, R1-4 et R1-5 et légèrement plus bas, on différencie des racines obliques telles que R1-6, R1-7, R1-8, R1-9.

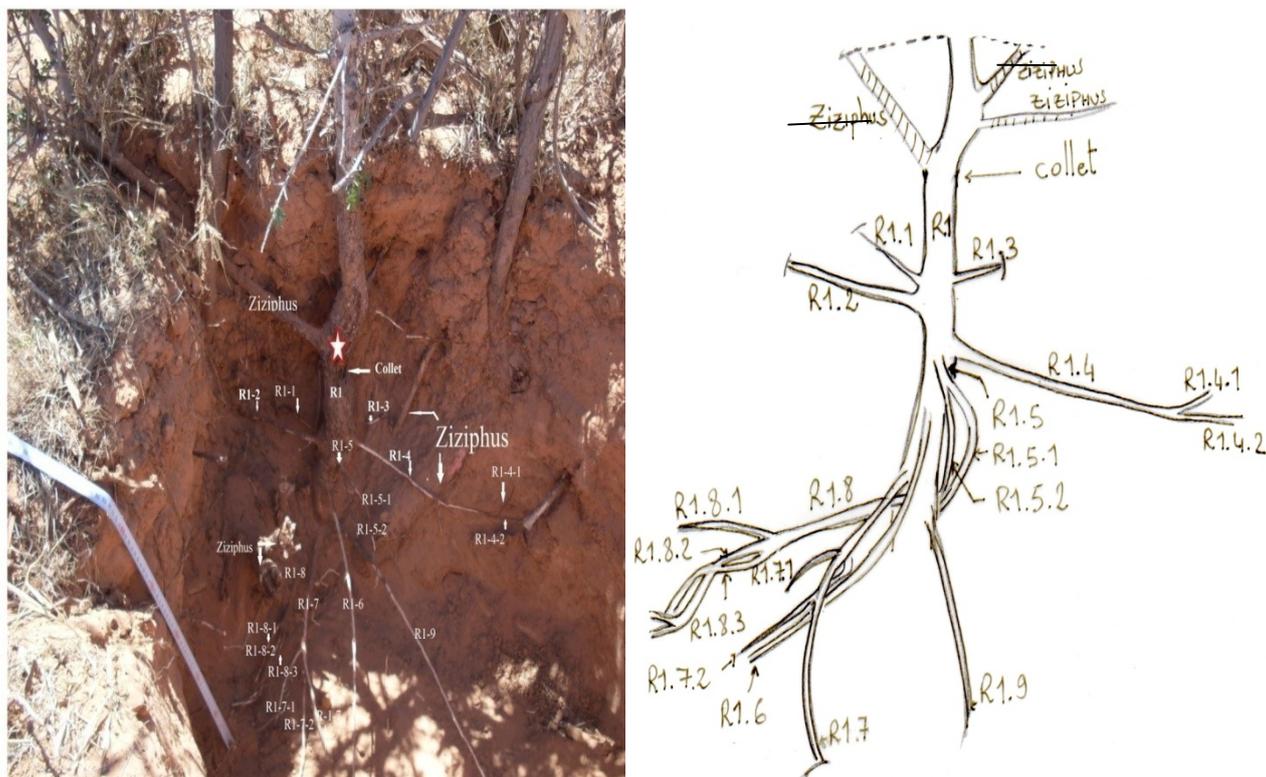


Fig. 31. Profil racinaire et croquis du sujet 1, immature.

Les différentes mesures et autres caractéristiques racinaires étudiées sur le sujet 1 sont représentées dans le tableau 32.

Tableau 32. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du sujet 1.

Racines	L (cm)	Cr moy(cm)	NRmR	NRS	NRP	NRmC	NTRm
R1	12,5	17,25	9	18	01	01	19
R1-1	10	1	0				
R1-2	13	2,75	0				
R1-3	10	1,25	0				
R1-4	43	2	2				
R1-4-1	6,5	0,8	0				
R1-4-2	8	2,5	0				
R1-5	1,3	3,5	2				
R1-5-1	17	4,25	0				
R1-5-2	9	0,8	0				
R1-6	49	1,95	0				
R1-7	38	3,25	2				
R1-7-1	11	0,5	0				
R1-7-2	26	0,85	0				
R1-8	14	5	3				
R1-8-1	10	1	0				
R1-8-2	21	1,85	0				
R1-8-3	20	1,1	0				
R1-9	76	2,1	0				
/	T = 395,3	Moy = 2,83	T = 18				

R: Racine ; **L** : Longueur totale par racine ; **Cr moy** : Circonférence moyenne par racine ; **NRmR** : Nombre de ramifications par racine ; **NRS** : Nombre de racines superficielles ; **NRP** : Nombre de racines profondes ; **NRmC** : Nombre de ramifications dès le collet ; **NTRm**: Nombre total de ramifications ; **T** : Total.

De ce tableau il ressort que la racine (R1-9) est la racine secondaire la plus longue parmi les racines de ce profil. Cependant, la racine pivot R1 est la plus épaisse et la plus ramifiée avec 9 ramifications secondaires. Le pivot présente une circonférence maximale (Cr max) de 18 cm et une circonférence minimale (Cr min) de 16,5 cm. A sa partie supérieure, nous comptons 5 racines secondaires assez fines qui se ramifient. Ce sont les racines R1-1, R1-2, R1-3, R1-4 et R1-5. Le nombre de ramifications total (NTRm) est égal à 19 et la R1 est la seule ramification dès le collet. Le nombre de ramifications superficielles est de 18 racines.

Nous décelons que le système racinaire de ce pistachier immature est dans les premiers stades de développement. Ses 18 racines secondaires sont plutôt longues, la racine principale s'enfonce dans le sol et produit, en arrière, des racines secondaires en disposition rayonnante. Celles-ci, à croissance oblique ou horizontale, vont augmenter la stabilité d'ancrage et accroître la zone explorée pour le prélèvement de l'eau et des sels minéraux.

7.2. Sujet 2

Dans le proche voisinage du collet, une zone de ramification très dense à forte décroissance en diamètre se développe dans un périmètre de 1m environ, les deux racines coupées appartiennent au jujubier entourant la plante. Le pivot principal est en place représenté par R1 (Fig. 32).

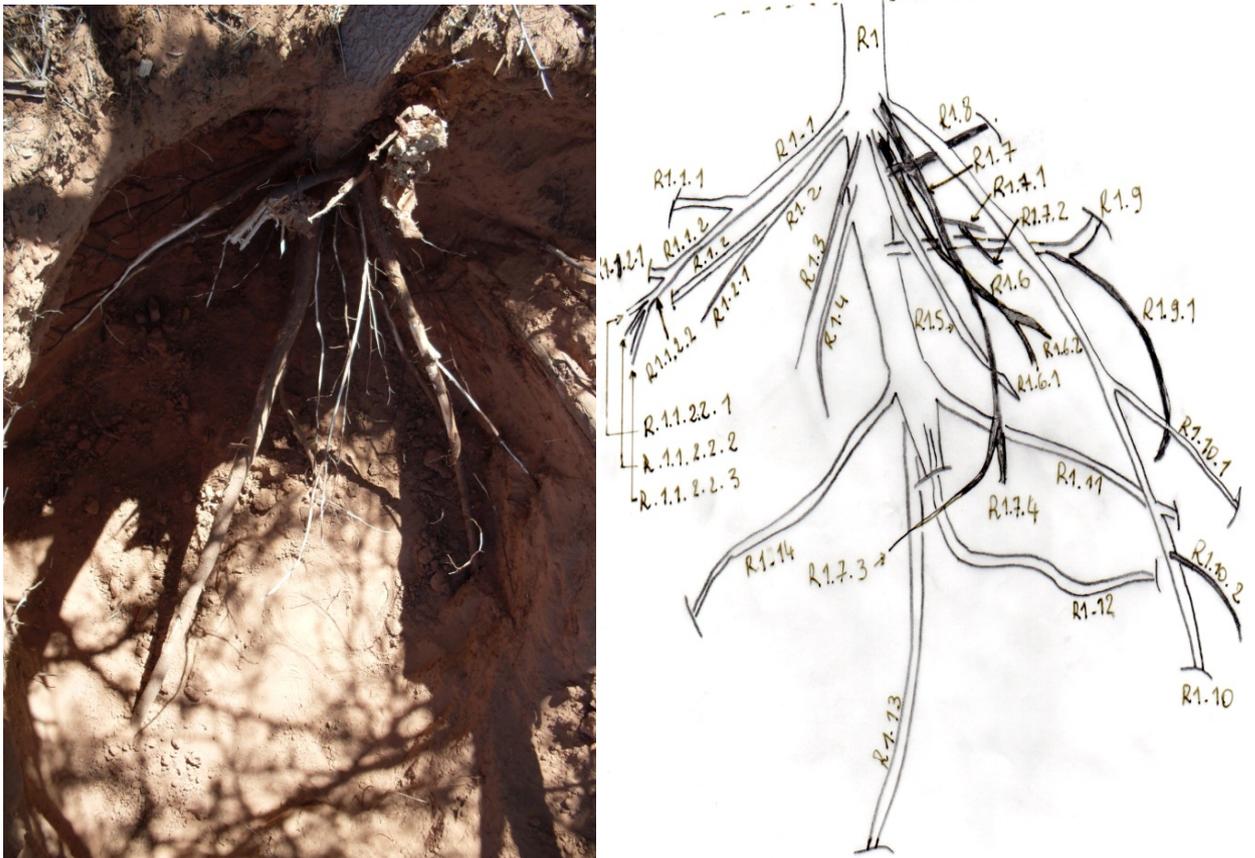


Fig. 32. Profil racinaire et croquis du sujet 2.

Les différentes mesures et autres caractéristiques racinaires étudiées sur le sujet 2 sont représentées dans le tableau 33.

Tableau 33. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du sujet 2.

Racines	L (cm)	Cr moy(cm)	NRmR	NRS	NRP	NRmC	NTRm
R1	80	22,5	14	33	01	01	34
R1-1	28	5	2				
R1-1-1	13	3,25	0				
R1-1-2	13	2,5	2				
R1-1-2-1	1	2	0				
R1-1-2-2	2	1	3				
R1-1-2-2-1	7	0,3	0				
R1-1-2-2-2	8	0,2	0				
R1-1-2-2-3	7	0,2	0				
R1-2	35	2,25	1				
R1-2-1	14	3,5	0				
R1-3	30	0,7	0				
R1-4	25,5	1,75	0				
R1-5	55	1,9	0				
R1-6	39,5	1,35	2				
R1-6-1	5,5	0,4	0				
R1-6-2	5	0,5	0				
R1-7	39,5	2,25	2				
R1-7-1	26,5	0,3	0				
R1-7-2	4	0,6	2				
R1-7-2-1	15,5	0,4	0				
R1-7-2-2	13	0,4	0				
R1-7-3	24	0,75	0				
R1-7-4	17	0,2	0				
R1-8	23	1	0				
R1-9	30	4,5	1				
R1-9-1	21	1	0				
R1-10	77	7,75	2				
R1-10-1	28	2	0				
R1-10-2	24	1	0				
R1-11	62	4	0				
R1-12	83	3,75	0				
R1-13	109	10	0				
R1-14	48	4,75	0				
/	T =1013	Moy = 2,76	T = 31				

R: Racine ; **L** : Longueur totale par racine ; **Cr moy** : Circonférence moyenne par racine ;
NRmR : Nombre de ramifications par racine ; **NRS** : Nombre de racines superficielles ; **NRP** : Nombre de racines profondes ; **NRmC** : Nombre de ramifications dès le collet ; **NTRm**: Nombre total de ramifications ; **T** : Total.

De ce tableau il apparaît que la racine (R1) est la plus longue (80 cm), la plus épaisse (22,5 cm), et la plus ramifiée (14 ramifications) parmi les racines de ce profil. R1 est aussi la seule racine qui part du collet, c'est une racine pivotante profonde ; elle est surtout importante pour l'ancrage et le support structurel pour les nombreuses racines superficielles.

Le système racinaire du sujet 2 présente au total 34 ramifications dont 33 racines superficielles. Cet individu investit plus en longueur qu'en épaisseur racinaire. Son envergure latérale est réduite.

7.3. Sujet 3

Le profil a été réalisé sur une profondeur de 80 cm (avec 04 niveaux de 20 cm chacun). Le sujet présente un petit pivot, fourchu en racines secondaires qui émettent des racines tertiaires disjointes, qui s'étalent obliquement, puis se courbent avant de plonger verticalement dans le sol (Fig. 33). Le système généralisé ou mixte est formé du système vertical comprenant généralement plusieurs racines importantes et profondes, qui se double d'un système horizontal plus superficiel; ce système développe un réseau relativement étendu et ramifié de racines et radicelles.

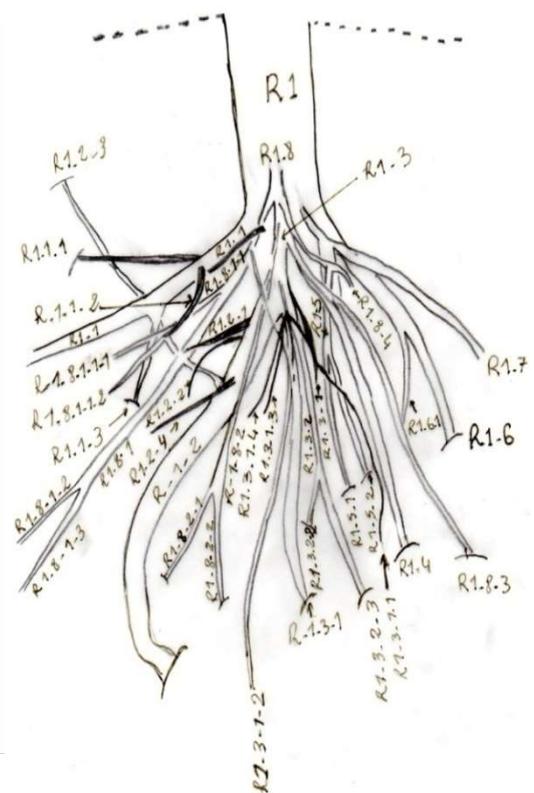


Fig. 33. Profil racinaire et croquis du sujet 3.

Tableau 34. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du sujet 3.

Racines	L (cm)	Crmoym(cm)	NRmR	NRS	NRP	NRmC	NTRm
R1	49	60,5	8	02	38	01	40
R1-1	65	8,5	3				
R1-1-1	14	1,3	0				
R1-1-2	15	1,45	0				
R1-1-3	16	3,75	0				
R1-2	61	17	4				
R1-2-1	38	0,6	0				
R1-2-2	22	0,6	0				
R1-2-3	18	2,5	0				
R1-2-4	26	2,75	0				
R1-3	8	16	10				
R1-3-1	45	5,75	5				
R1-3-1-1	29	0,7	0				
R1-3-1-2	55	2	0				
R1-3-1-3	16	0,35	0				
R1-3-1-4	23,5	0,55	0				
R1-3-1-5	16	0,6	0				
R1-3-2	19	3,8	3				
R1-3-2-1	11,5	0,85	0				
R1-3-2-2	17	3,1	0				
R1-3-2-3	32	2,55	0				
R1-4	42	11,5	0				
R1-5	15,5	2,65	2				
R1-5-1	36	1,55	0				
R1-5-2	19,5	1,9	0				
R1-6	36	10,75	1				
R1-6-1	18	1,35	0				
R1-7	30,5	1,25	0				
R1-8	4	7,5	11				
R1-8-1	32	3,25	3				
R1-8-1-1	1	3,5	2				
R1-8-1-1-1	19,5	1,3	0				
R1-8-1-1-2	15,5	0,75	0				
R1-8-1-2	27,5	1,25	0				
R1-8-1-3	27	0,85	0				
R1-8-2	37	4,15	2				
R1-8-2-1	29	2	0				
R1-8-2-2	18,5	3,75	0				
R1-8-3	49	2,25	0				
R1-8-4	23	0,75	0				
/	T= 1076,5	Moy = 4,92	T= 34				

A partir du tableau 34, le système racinaire se révèle très ramifié. R1 est la seule ramification dès le collet qui révèle la Crmoym la plus importante du profil (60,5 cm).

R: Racine ; **L :** Longueur totale par racine ; **Crmoym :** Circonférence moyenne par racine ; **NRmR :** Nombre de ramifications par racine ; **NRS :** Nombre de racines superficielles ; **NRP :** Nombre de racines profondes ; **NRmC :** Nombre de ramifications dès le collet ; **NTRm:** Nombre total de ramifications ; **T :** Total.

La R1-1 est la plus longue racine (65 cm). La racine R1-8, avec ces onze ramifications, est la racine la plus ramifiée, suivie de la R1-3 avec dix ramifications. On remarque un nombre important de ramifications, dont la majorité est constitué par des racines qui vont en profondeur.

Nous pouvons dire que le système racinaire de cet arbre exhibe un axe principal vertical, sur lequel s'insèrent plusieurs axes secondaires plagiotropes assurant son ancrage et sa fixation. Il investit plus dans la longueur que dans l'épaisseur racinaire, son envergure latérale étant réduite.

7.4. Sujet 4

Le sujet 4 dévoile un schéma architectural à pivot très réduit et de nombreuses racines se ramifiant directement en dessous de ce dernier. Ces racines supportent à leur tour des racines plus modestes et beaucoup de radicelles (Fig. 34).

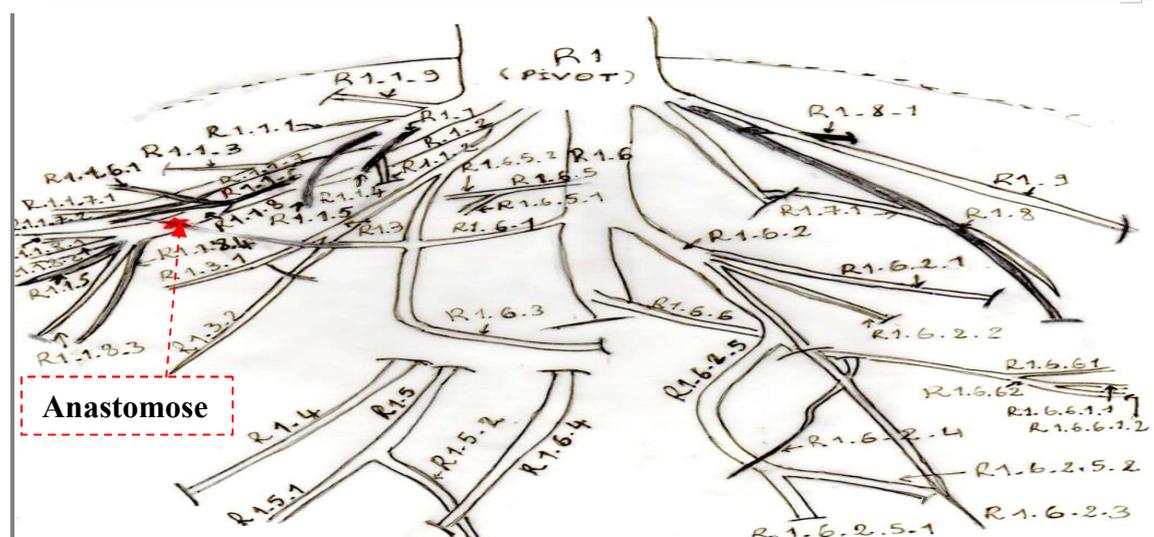


Fig. 34. Profil racinaire et croquis du sujet 4.

Le tableau 35 comporte les mesures des différentes caractéristiques racinaires du sujet 4.

Tableau 35. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du sujet 4.

Racines	L (cm)	Cr moy(cm)	NRmR	NRS	NRP	NRmC	NTRm
R1	12	93	51	51	01	01	52
R1-1	43	14,5	17				
R1-1-1	11	1,25	0				
R1-1-2	5	1	0				
R1-1-3	22	0,75	0				
R1-1-4	13	1	0				
R1-1-5	14	1	0				
R1-1-6	7	1	2				
R1-2-6-1	9	0,9	0				
R1-2-6-2	21	0,8	0				
R1-1-7	25	4,75	2				
R1-1-7-1	8	4	0				
R1-1-7-2	12,5	1	0				
R1-1-8	29	9	4				
R1-1-8-1	9	3,5	0				
R1-1-8-2	8,5	5,5	0				
R1-1-8-3	32	3,5	0				
R1-1-8-4	32	0,75	0				
R1-1-9	11	4,75	0				
R1-2	29	6	0				
R1-3	36	4	2				
R1-3-1	22	0,75	0				
R1-3-2	24,5	2	0				
R1-4	39	3,75	0				
R1-5	19	5,5	2				
R1-5-1	13	2,75	0				
R1-5-2	30	4,5	0				
R1-6	35	25	6				
R1-6-1	31	3,1	0				
R1-6-2	38	8,8	5				
R1-6-2-1	33	3,25	0				
R1-6-2-2	20	2	0				
R1-6-2-3	64	1,75	0				
R1-6-2-4	46	2,5	0				
R1-6-2-5	55	8	2				
R1-6-2-5-1	17	3,9	0				
R1-6-2-5-2	14	4,5	0				
R1-6-3	53	2,75	0				
R1-6-4	44	5,5	0				
R1-6-5	14	2,5	2				
R1-6-5-1	9	1	0				
R1-6-5-2	9	1,5	0				
R1-6-6	25	4	2				
R1-6-6-1	44	2,75	0				
R1-6-6-2	5	3	2				
R1-6-6-2-1	27	2,75	0				
R1-6-6-2-2	35	1,8	0				
R1-7	25	8,25	1				
R1-7-1	57	1,75	0				
R1-8	86	3,5	1				
R1-8-1	9	3,5	0				
R1-9	17	6	0				
/	T= 1358,5	Moy = 5,66	T= 114				

R: Racine ; **L** : Longueur totale par racine ; **Cr moy** : Circonférence moyenne par racine ;

NRmR : Nombre de ramifications par racine ; **NRS** : Nombre de racines superficielles ; **NRP** : Nombre de racines profondes ;

NRmC : Nombre de ramifications dès le collet ; **NTRm**: Nombre total de ramifications ; **T** : Total.

Nous observons au niveau du profil quatre grosses racines primaires horizontales qui se ramifient à partir du collet en plusieurs racines verticales s'engouffrant en profondeur pour un meilleur ancrage et maximisant l'accès aux ressources hydrominérales disponible au niveau des nappes phréatiques. Les racines R1, R2, R3 et R4 sont des charpentières horizontales et obliques qui forment la couronne racinaire primaire.

Une anastomose s'est développée entre R1 et R2 représentée sur la figure par une étoile blanche (☆).

Les différentes mesures et autres caractéristiques racinaires étudiées sur le sujet 5 sont représentées dans le tableau 36.

Tableau 36. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du sujet 5.

Racines	L (cm)	Cr moy(cm)	NRmR	NRS	NRP	NRmC	NTRm
R1	100	55,5	0	08	05	04	13
R2	74	48	3				
R2-1	10	40	0				
R2-2	27	13	0				
R2-3	30	20	0				
R3	57	59	5				
R3-1	28	06	1				
R3-1-1	40	02	0				
R3-2	60	23,5	0				
R3-3	86	38	1				
R3-3-1	20	26,5	0				
R4	62	14,75	1				
R4-1	9	7,25	0				
/	T= 603	Moy= 26,83	T= 11				

De ce tableau, il apparaît que la racine R1 est la plus longue parmi les racines de ce profil, tandis que les racines R1 et R3 sont les plus épaisses. Par contre, les racines R2 et R3 sont quant à elles les plus ramifiées.

R: Racine ; **L** : Longueur totale par racine ; **Cr moy** : Circonférence moyenne par racine ; **NRmR** : Nombre de ramifications par racine ; **NRS** : Nombre de racines superficielles ; **NRP** : Nombre de racines profondes ; **NRmC** : Nombre de ramifications dès le collet ; **NTRm**: Nombre total de ramifications ; **T** : Total.

7.6. Sujet 6

Un profil semblable à celui du 5^e sujet, a été réalisé à une profondeur de 60 cm. Le système racinaire est à extension mixte. C'est un système à pivots multiples, il constitue une cage emprisonnant une grande masse de sol, également consolidée par la partie distale des racines traçantes (R1, R2 et R5) portant des pivots secondaires (R1-1, R2-4, R2-5, R5-2, R5-3), qui améliorent l'interaction sol-racines. Cette stabilité structurelle est aussi améliorée par des anastomoses observées entre les racines (R3 et R5) et (R5-3, R6-1) qui sont représentées par deux étoiles noires (☆), par contre l'étoile blanche (☆) informe que la racine (R2-3), plonge en profondeur (Fig. 36).

Ces axes ligneux pérennes assurent les fonctions d'ancrage, de réserves et d'exploitation du sol à grand distance.

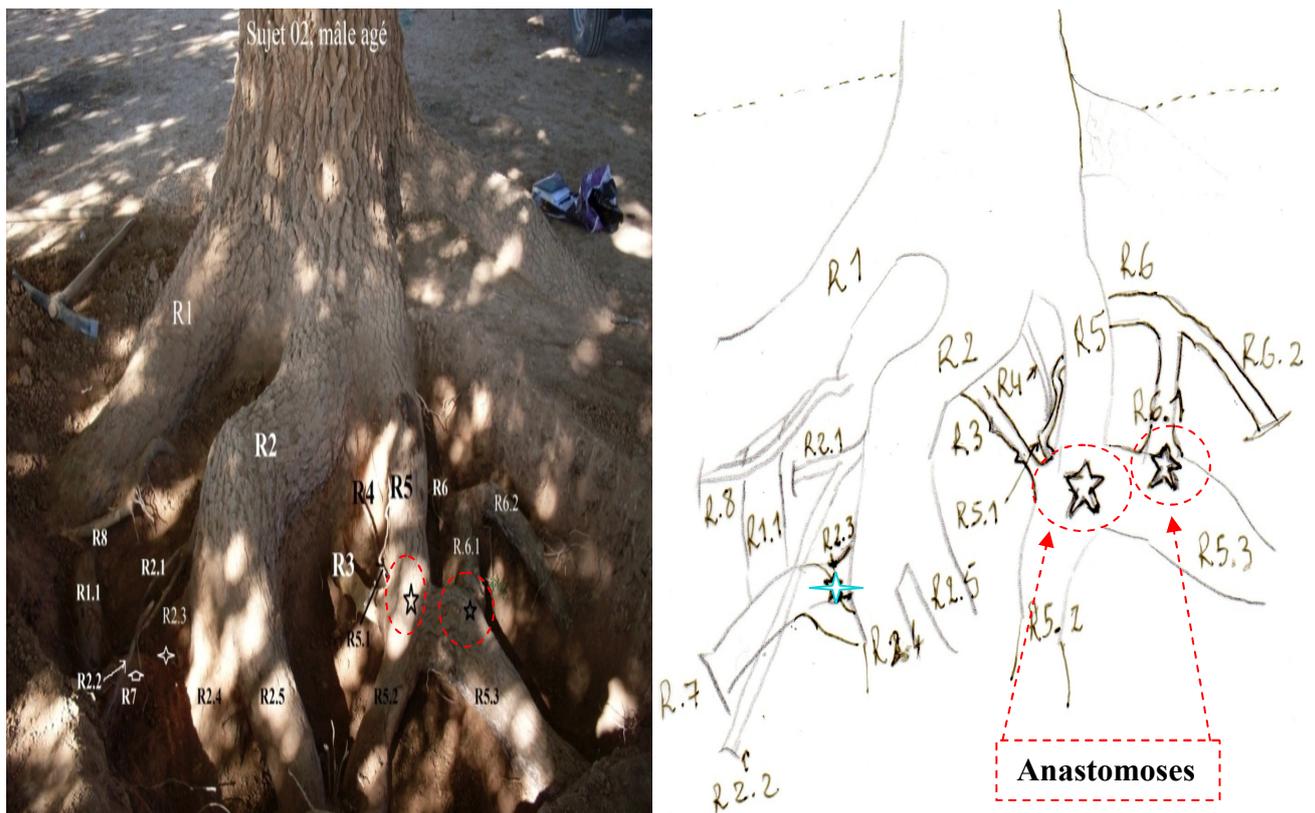


Fig. 36. Profil racinaire et croquis du sujet 6.

Les différentes mesures et autres caractéristiques racinaires étudiées sur le sujet 6 sont représentées dans le tableau 37.

Tableau 37. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du sujet 6.

Racines	L (cm)	Cr moy(cm)	NRmR	NRS	NRP	NRmC	NTRm
R1	130	95	01	15	04	08	19
R1-1	130	31	00				
R2	130	95	05				
R2-1	22	4	00				
R2-2	64	4,5	00				
R2-3	15	22	00				
R2-4	117	68,5	00				
R2-5	52	59,25	00				
R3	60	21	00				
R4	74	3,75	00				
R5	130	55,5	03				
R5-1	49	2,5	00				
R5-2	131	25,87	00				
R5-3	81	64	00				
R6	50	39	02				
R6-1	46	37	00				
R6-2	57	24	00				
R7	45	30	00				
R8	70	26,5	00				
/	T = 1453	Moy = 37,28	T = 11				

De ce tableau, il apparaît que les racines R1, R1-1 et R2 sont les plus longues parmi les racines de ce profil (130 cm). Les racines R1 et R2 sont les plus épaisses (95 cm). Par contre, la racine R2 est quant à elle la plus ramifiée (5 ramifications). Les deux sujets âgés ont pratiquement le même nombre de racines profondes. Le nombre total de ramifications (NTRm) est de 19 ramifications. L'architecture racinaire de cet individu s'avère mixte, elle ressemble à celle du sujet 5, sauf que pour le sujet 6, l'investissement en longueur et en épaisseur est plus apparent, l'envergure latérale semble importante pour ces deux sujets.

R: Racine ; **L** : Longueur totale par racine ; **Cr moy** : Circonférence moyenne par racine ; **NRmR** : Nombre de ramifications par racine ; **NRS** : Nombre de racines superficielles ; **NRP** : Nombre de racines profondes ; **NRmC** : Nombre de ramifications dès le collet ; **NTRm**: Nombre total de ramifications; **T** : Total.

7.7. Analyse de la variance (ANOVA)

Les résultats de l'ANOVA à dayate El Gouffa (Tableau 38) montrent une différence inter individus significative pour les variables étudiées: longueur racinaire totale, circonférence moyenne, nombre de racines superficielles, nombre de ramifications profondes, nombre de ramifications dès le collet et nombre total de ramifications. Ceci peut s'expliquer par la différence d'âge entre les sujets.

Tableau 38. Résultats de l'ANOVA appliquée aux paramètres racinaires à dayate El Gouffa.

Variabiles	Probabilités	Conclusion
LT	P<0,01	Très significative
Cr_{moy}/P	P<0,01	Très significative
NRS	P< 0,01	Très significative
NRP	P< 0,01	Très significative
NRmC	P< 0,01	Très significative
NTRm	P< 0,01	Très significative

LT : Longueur totale par profil ; **Cr_{max}/P** : Circonférence maximale par profil; **Cr_{min}/P** : Circonférence minimale par profil; **Cr_{moy}/P** : Circonférence moyenne par profil; **NRS** : Nombre de racines superficielles ; **NRP** : Nombre de racines profondes ; **NRmC** : Nombre de ramifications dès le collet ; **NTRm**: Nombre total de ramifications.

7.8. Analyse en composantes principale (ACP)

La mise en évidence de l'interaction entre les différents paramètres racinaires étudiés par des ACP, au sein de la dayate El Gouffa porte sur: la longueur totale, les circonférences moyennes, le nombre de racines superficielles et profondes, le nombre de ramifications dès le collet et le nombre total de ramifications, servant à caractériser l'enracinement du pistachier de l'Atlas dans la daya d'El Gouffa.

7.8.1. Relation entre l'ensemble de variables racinaires étudiées à dayate El Gouffa : ACP 03

Le tableau des données illustré par le tableau 39 nous a permis réalisé l'ACP 03.

Tableau 39. Données de l'ACP 03.

Caractéristiques	LT (cm)	Cr _{moy/P}	NRS	NRP	NRmC	NTRm
Sujet 1	395,3	2,83	18	01	01	19
Sujet 2	1013	2,76	33	01	01	34
Sujet 3	1076,5	4,92	02	38	01	40
Sujet 4	1358,5	5,66	51	01	01	52
Sujet 5	603	26,83	08	05	04	13
Sujet 6	1453	37,28	15	04	08	19

LT : Longueur totale par profil ; Cr_{moy/P} : Circonférence moyenne par profil; NRS : Nombre de racines superficielles ; NRP : Nombre de racines profondes ; NRmC : Nombre de ramifications dès le collet ; NTRm: Nombre total de ramifications.

A partir du tableau 39, nous avons obtenu la matrice de corrélation de Pearson

Tableau 40. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres racinaires étudiés à dayate El Gouffa.

	LT (cm)	Cr _{moy/P}	NRmC	NRS	NRP	NTRm
LT (cm)	1					
Cr _{moy/P}	0,27	1				
NRmC	0,36	0,97	1			
NRS	0,37	-0,36	-0,32	1		
NRP	0,11	-0,17	-0,19	-0,59	1	
NTRm	0,55	-0,60	-0,57	0,62	0,26	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0,05 (test bilatéral)

La matrice de Pearson de l'ACP 03 montre une corrélation significative positive entre le nombre de ramifications dès le collet et la circonférence moyenne par profil (R=0.97).

Pour visualiser cette corrélation précitée nous avons élaboré une carte de contributions des différents variables (Fig. 37) étudié par l'ACP 03.

76% du phénomène est exprimé par le plan factoriel ½. L'axe F1 contribue par 46% à la formation du plan, tandis que l'axe F2 contribue par 30%.

L'axe F1 semble individualiser deux groupes A et B.

Le groupe A renferme les caractéristiques racinaires des sujets immatures (sujet 1 et sujet 2) et celles des sujets moyens (sujet 3 et sujet 4). Ces sujets investissent dans la longueur racinaire totale, les ramifications totales et les racines superficielles et profondes. Le sujet 4 montre les longueurs racinaires totales et le nombre total de ramifications les plus importants à dayate El Gouffa. Les sujets 1 et 3 se distinguent par le nombre de racine profonde.

Le groupe B rassemble les sujets âgés 5 et 6 qui investissent plus en épaisseur qu'en longueur racinaire. Le nombre de ramifications dès le collet (NRmC) et la circonférence moyenne (Cmoy/P) des racines les distinguent des sujets plus jeunes.

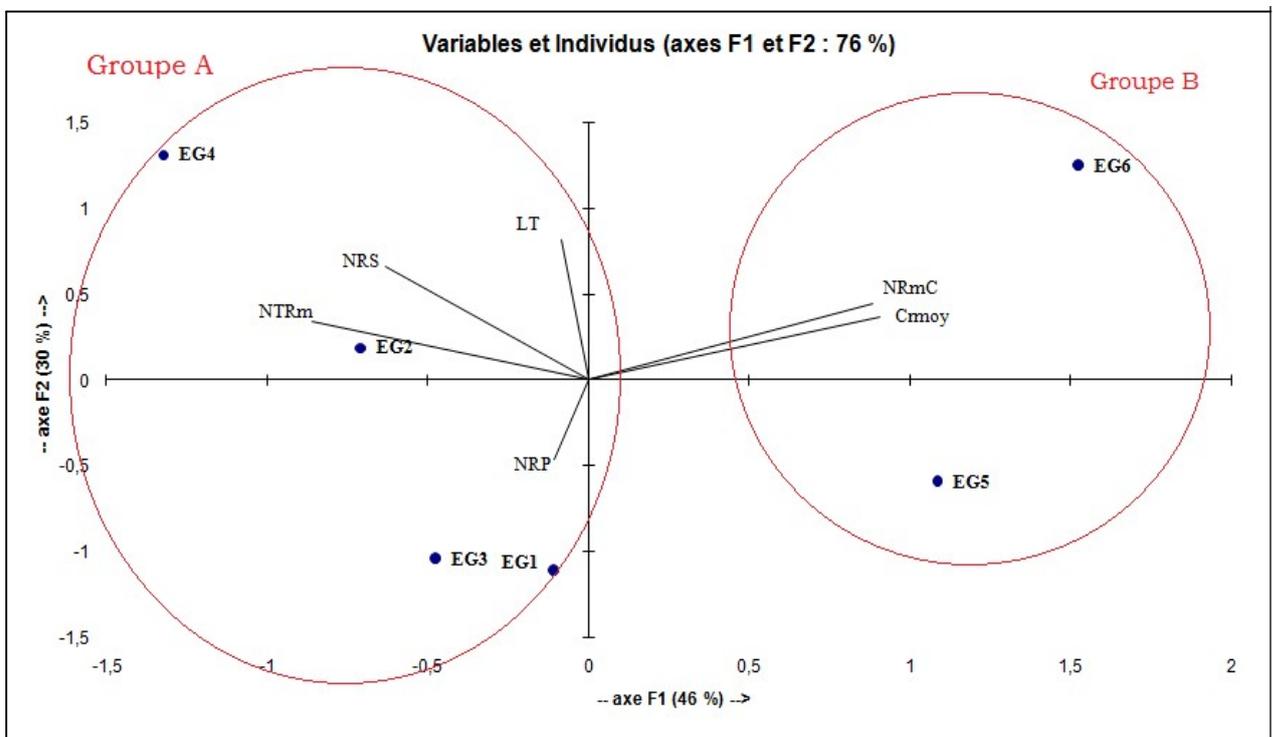


Fig. 37. ACP 03 concernant les différentes variables racinaires étudiées à dayate El Gouffa.

7.8.2. Etude Synthétique de variables racinaires ACP 04

A l'ACP 03, nous rajoutons une ACP de synthèse dans le but de comparer les évidences d'interactions entre les différents paramètres racinaires de pistachiers du l'Atlas à dayate El Gouffa avec ceux réalisés par Limane (2009) et Boubrima (2014). Nous avons établi une analyse globale en composantes principales, à laquelle nous avons intégré les résultats de l'étude analogue de Limane (2009) à dayate El Guersa, dans la wilaya de M'sila et l'étude Boubrima (2014) à dayate Aïat, région de Timzerth et dayate Saadi, Hassi Delâa

Tableau 41. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres racinaires étudiés à dayate El Gouffa, (Aïat à Timzerth et dayate Saadi, Hassi Delaâ) (Boubrima, 2014) et ceux de dayate d'El-Guersa (El-Mergueb) à M'sila, (Limane, 2009).

	LT (cm)	Cr moy/P	NRmC	NRS	NRP	NTRm
LT (cm)	1					
Cr moy/P	0,09	1				
NRmC	-0,09	0,20	1			
NRS	0,58	-0,36	-0,13	1		
NRP	0,38	-0,13	-0,32	-0,08	1	
NTRm	0,40	-0,57	0,03	0,65	0,35	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil $\alpha=0,05$ (test bilatéral)

La matrice de Pearson de l'ACP 04 montre une corrélation significative positive entre :

- ✓ le nombre de racines superficielles (NRS) et la longueur totale par profil ($R=0,58$) ;
- ✓ le nombre de racines superficielles et le nombre total des ramifications ($R=0,65$) ;
- ✓ une corrélation significative négative entre la circonférence moyenne et le nombre total des ramifications ($R=-0,57$) est aussi notée.

Le plan factoriel $\frac{1}{2}$ explique 62% de l'inertie totale, l'axe F1 apporte 41% de l'information, et l'axe F2 en contribue par 21% (Fig.38).

L'axe F1 sépare les sujets des dayates étudiées selon leurs caractéristiques racinaires en 3 groupes différents.

Selon cet axe F1, nous pouvons discerner deux groupes principaux qui s'opposent :

Le groupe A comprend les racines du sujet 1 immature EG1, du sujet 2 jeune EG2, de deux sujets moyens 3 et 4 (EG3 et EG4) et du sujet âgé 6 (EG6) étudiés à dayate El Gouffa qui présentent une longueur racinaire importante, un nombre de racines superficielles et profondes élevé, ce groupe englobe aussi les racines du arbre âgé, le sujet 2 (EM2) de la dayate d'El-Guersa (El-Mergueb) à M'sila étudié par Limane (2009) et les racines des pistachiers immatures et moyens respectivement (HD1 et HD3) à dayate Saadi, Hassi Delaâ ; et également les racines des deux sujets immatures (T1 et T2) à dayate Aïat à Timzerth étudiés par Boubrima (2014). Le sexe des pistachiers vérifié dans ce groupe n'est pas un facteur prépondérant, puisqu'on y trouve les deux sexes.

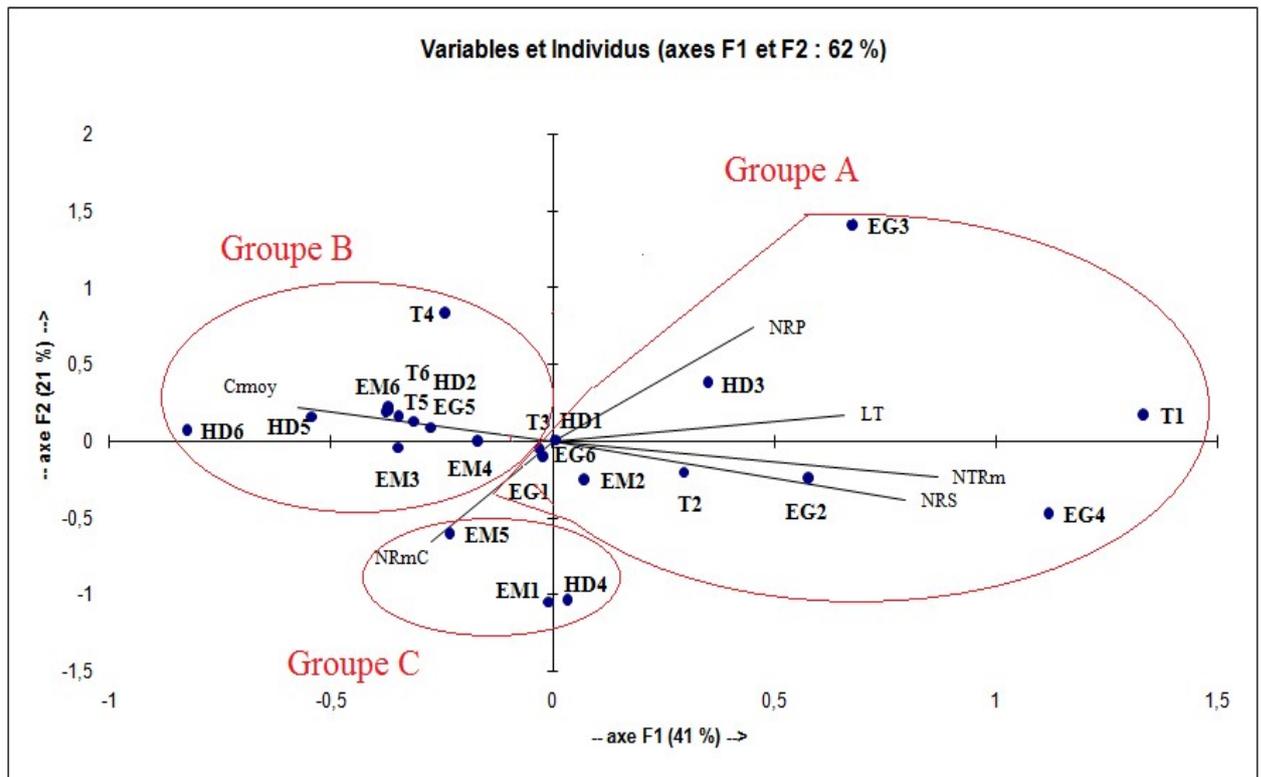


Fig. 38. ACP 04 les différentes les paramètres racinaires étudiées à dayate El Gouffa, (Aïat à Timzerth et dayate Saadi, Hassi Delaâ de Boubrima (2014) et les sols de la dayate d'El-Guersa (El-Mergueb) à M'sila, Limane (2009).

Le groupe B quand à lui comprend la majorité de racines des sujets adultes (T3 et T4) et âgés de Aïat à Timzerth (T5 et T6) ; et les racines de pistachiers immatures (HD2) et âgés (HD5 et HD6) à dayate Saadi, Hassi Delaâ de Boubrima (2014). Ce groupe comprend aussi les racines du pistachier âgés (EG5) étudié à dayate El Gouffa, et les racines des sujets adultes (EM3 et EM4) et le jeune sujet (EM6) étudiés à dayate d'El-Guersa par Limane (2009).

Le groupe rassemble une majorité de pistachiers qui investissent plus en épaisseur qu'en longueur racinaire.

Le groupe C se caractérise par la présence d'un nombre caractéristique de racines ayants leurs ramifications dès le collet, dans ce groupe on les racines des sujets adultes 1 et 5 (EM1 et EM5) à dayate d'El-Guersa étudiés par Limane (2009) ainsi que les racines du sujet 4 (HD4) à dayate Saadi, Hassi Delaâ étudiés par Boubrima (2014).

8. Conclusion

Les analyses statistiques des différents paramètres de croissance racinaires ont montrés des différences en fonction de l'âge des arbres.

A dayate El Gouffa le nombre de ramifications racinaires superficielles et profondes des sujets jeunes et moyens semblent plus important. Tous les sujets jeunes et moyens étudiés présentent un schéma architectural à pivot.

D'un point de vue mécanique, le pivot unique portant des racines traçantes peut-être comparé à un pieu haubané dans le sol, alors que le système à pivots multiples constitue une cage emprisonnant une grande masse de sol, également haubanée par la partie distale des racines traçantes portant des pivots secondaires. Cette cage délimite un volume sol-racine qui peut peser plusieurs tonnes et qui constitue donc un facteur important de l'ancrage (Danjon et Fourcaud, 2009).

Les pistachiers âgés investissent plus en épaisseur pour un bon ancrage et une meilleure stabilité. Le nombre de ramifications qui partent dès le collet les distinguent des sujets plus jeunes. Il ya disparition de la racine pivotante, qui est remplacée par de grosses racines primaires horizontales, qui se ramifient à partir du collet en plusieurs racines verticales s'engouffrant en profondeur pour un meilleur ancrage et maximisant l'accès aux ressources hydrominérales, disponibles au niveau des nappes phréatiques. C'est le rôle souvent attribué aux grosses racines qui puisent l'eau dans les horizons profonds et assurent leur transport vers les horizons superficiels (Danjon et Reubens, 2008).

D'après Raimbault (2003), il faut attendre que le ligneux atteigne son apogée de développement pour voir son pivot disparaître physiologiquement ou même physiquement.

L'architecture racinaire des pistachiers de l'Atlas étudiés à dayate El Gouffa réaffirme celle décrite par Limane et *al.* (2014a) et Boubrima (2014) sur des individus jeunes, moyens et âgés de pistachiers de l'Atlas, qui adoptent deux types d'architecture racinaire, l'un est superficiel, l'autre est généralisé :

✓ le type superficiel est caractérisé par une concentration du système racinaire dans les 50 premiers centimètres du sol, ici les racines sont longues, très ramifiées et peu épaisses ;

- ✓ le type généralisé est caractérisé par la présence de racines latérales peu profondes aussi bien que les racines profondes, qui plongent au-delà de 50 cm de profondeur ; les racines de ce type sont typiquement épaisses et peu ramifiées.

Chapitre 4.

Interactions sol-racines chez le pistachier de l'Atlas.



1. Introduction

Le système racinaire constitue un élément essentiel dans l'étude des relations sol végétation, car il renseigne sur l'écologie des espèces, et il rend compte de l'action de la végétation sur les sols. Par ailleurs, le sol est un élément quasi permanent du milieu au même titre que le climat, il est perçu en tant que facteur de la végétation actuelle, et, en lui-même correspond à un ensemble dynamique dans lequel la végétation devient à son tour un facteur de pédogénèse parmi d'autres, dont le climat ; le sol exerce donc une influence sélective sur la végétation et inversement, la végétation influence le sol (Pouget, 1980).

Le développement des racines et leur fonction d'absorption dépendent de l'agrégation des particules de sol, de la structure de son réseau poreux et de sa composition. Considérons trois aspects principaux : la texture et la structure du sol, son pH et son hydratation. Le sable est particulière, l'argile compacte, le limon et l'humus conditionnent d'une part la porosité du sol, donc la perméabilité pour l'eau et les gaz, et d'autre part les échanges thermiques. Un sol perméable bien exposé au soleil retiendra mieux la chaleur favorable à la croissance racinaire qu'un sol engorgé d'eau (Meyer et *al.*, 2004).

Selon Callot et *al.* (1982), la croissance des racines est favorisée par une texture grossière, la texture modifie également la morphologie des racines notamment au niveau des poils absorbants. Ceci influe sur la surface de contact milieu-plante et sur l'intensité de la colonisation du sol.

Raimbault (1999) observe que dans les sols de type sableux, les racines restent longilignes alors que pour les sols argileux les périodes de sécheresse durcissent l'argile et les racines se développent dans les fissures. Quant aux racines poussant dans des zones compactées, elles sont plus courtes et plus épaisses qu'en sols non compactés. La compaction peut contraindre les pivots à pousser à l'horizontale (Atger, 1994).

Sur les sols limoneux, l'enracinement n'est pas profond et dépasse rarement 50 cm, mais les racines peuvent s'étendre latéralement sur de grandes longueurs (Floret & Pontanier, 1982).

Le contact sol-racine représente les surfaces par lesquelles les éléments minéraux pourront pénétrer dans la plante. La surface développée des racines est le paramètre généralement retenu pour apprécier l'importance de ce contact (Callot et *al.*, 1982).

Pour Gobat et *al.* (2003), par sa croissance, son activité et ses productions, la racine change considérablement les propriétés physico-chimiques du sol avec lequel elle entre en contact.

Selon Gobat et *al.* (2010), le stress hydrique oblige les plantes des lieux arides à s'étendre très loin à la recherche des sources d'eau. De manière générale les plantes allongent ces racines dans les sols pauvres en bioéléments ou en eau.

Chez le pistachier de l'Atlas l'étude des adaptations de son système racinaire en réponse aux variations texturales de son sol sous-jacent au niveau des individus de la population d'El-Guerssa (réserve nationale d'El Mergueb) a permis à Limane et *al.* (2014a) de déduire que le jeune pistachier émet un pivot séminal orthogéotrope d'où émanent beaucoup de ramifications secondaires.

Selon Limane et *al.* (2014a), la racine pivotante profonde est surtout importante pour l'ancrage et le support structurel pour les nombreuses racines superficielles qui en découleront. L'évolution ultérieure de l'architecture des racines dépendra du sol sous-jacent. Avec l'âge, ce pivot disparaît et laisse les racines secondaires s'organiser selon la texture du sol. L'arbre montre alors un système racinaire mixte, bien hiérarchisé à extension racinaire horizontale et superficielle, mais aussi verticale et profonde, (Ait Slimane, 2004 ; Kebci, 2008 ; Chebieb, 2008 ; Limane, 2009 ; Abdous, 2010 ; Haboul, 2011, Boubrima, 2014 et Limane et *al.*, 2014a.) (Fig. 39)

Pour différentes raisons, le pivot perd sa dominance et se ramifie, des racines horizontales et de nouvelles racines obliques accélèrent leur croissance et forment ensemble le système fasciculé : stade D de Rimbault, (2003). Les racines restent longilignes (Rimbault, 1999). Ainsi, Il s'ensuit une concurrence pour l'espace et les ressources hydrominérales. L'aptitude des espèces à coloniser le sol n'est pas semblable. Celles qui réitèrent en surface en produisant plusieurs fourches racinaires dans toutes les directions sont plutôt privilégiées par rapport aux espèces incapables de réitérer (Atger & Edelin, 1994).

Avec l'augmentation de l'aridité climatique et édaphique, le pistachier de l'Atlas adopte une stratégie phréatophytique, en accroissant la longueur et l'épaisseur des racines profondes, en contact avec les niveaux d'humidité profonds, protégés de l'évapotranspiration durant les saisons sèches (Limane et *al.*, 2014a).

Avec un système racinaire qui est flexible et évolutif dans le temps et l'espace, le pistachier de l'Atlas d'après Limane et *al.* (2014a) peut réussir à coloniser les milieux

inhospitaliers. Il a évolué pour réussir dans des biotopes difficiles tels que les dayas et les oueds, en maximisant l'accès aux ressources hydrominérales qui lui permettent de prospérer pendant la saison sèche.

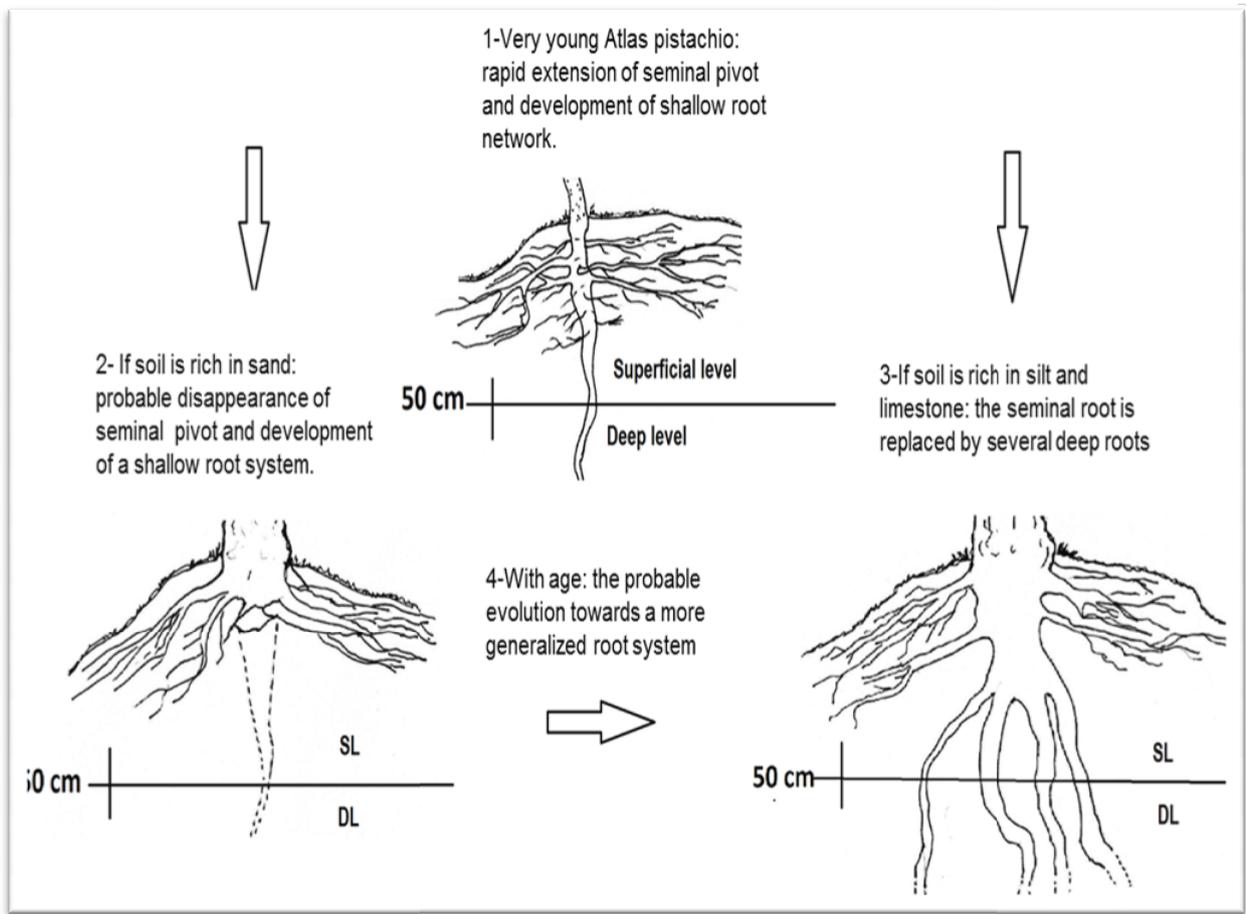


Fig. 39. Evolution du système racinaire du pistachier de l'Atlas par rapport aux sols sous-jacents dans la Réserve naturelle d'El-Mergueb, M'sila, Algérie (Limane et *al.*, 2014a).

Au terme des chapitres 3 et 4, où nous avons caractérisé les propriétés physico-chimiques et l'architecture racinaire du pistachier de son sol sous-jacent, nous allons essayer dans ce chapitre 5, d'expliquer les interactions entre les paramètres édaphiques et racinaires étudiés. Pour ce faire, nous avons fait des analyses en composantes principales dans le but de déterminer quels sont les paramètres édaphiques pesant sur l'architecture souterraine du pistachier de l'Atlas ?

2. Interactions sol sous-jacent et racines

2.1. Relation entre l'ensemble de variables des propriétés physico-chimiques du sol sous-jacent et celles du système racinaire à dayate El Gouffa : ACP 05

Le tableau 42 regroupe l'ensemble des corrélations obtenues pour les variables testées.

Tableau 42. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres édaphiques et racinaires étudiés à dayate El Gouffa.

	LT (cm)	Crmoy/P	NRmC	NRS	NRP	NTRm	pH	CaCO ₃	MO	CR	A	LF	LG	SF	SG	H.H
LT (cm)	1															
Crmoy/P	0,27	1														
NRmC	0,36	0,97	1													
NRS	0,37	-0,36	-0,32	1												
NRP	0,11	-0,17	-0,19	-0,59	1											
NTRm	0,55	-0,60	-0,57	0,62	0,26	1										
pH	-0,28	-0,27	-0,25	-0,08	-0,06	-0,16	1									
CaCO ₃	-0,27	0,75	0,76	-0,46	-0,34	-0,88	-0,27	1								
MO	0,05	-0,47	-0,40	0,67	-0,51	0,30	0,68	-0,49	1							
CR	0,50	0,92	0,97	-0,32	-0,03	-0,42	-0,36	0,66	-0,48	1						
A	0,38	0,84	0,94	-0,23	-0,26	-0,53	-0,18	0,73	-0,24	0,93	1					
LF	-0,14	0,19	0,37	-0,07	-0,46	-0,53	0,16	0,58	0,18	0,31	0,62	1				
LG	0,79	0,72	0,81	-0,12	0,13	-0,02	-0,45	0,33	-0,40	0,91	0,80	0,16	1			
SF	-0,59	-0,76	-0,89	0,07	0,21	0,29	0,30	-0,57	0,21	-0,92	-0,96	-0,54	-0,90	1		
SG	0,52	-0,20	-0,28	0,71	-0,08	0,78	-0,30	-0,62	0,21	-0,22	-0,40	-0,71	0,04	0,21	1	
H.H	0,19	0,92	0,97	-0,40	-0,25	-0,71	-0,08	0,82	-0,31	0,91	0,95	0,53	0,69	-0,85	-0,48	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0,05 (test bilatéral)

De ce tableau la matrice de corrélation montre une corrélation significative positive entre le nombre de ramifications moyen dès le collet et la circonférence moyenne par profil (R= 0.97).

La circonférence moyenne présente des corrélations positives avec l'humidité hygroscopique et la capacité de rétention (R=0,92), mais aussi avec les argiles (R= 0,84). Même le nombre de ramifications moyen dès le collet est positivement corrélé avec l'humidité hygroscopique et la capacité de rétention (R= 0.97) et la présence des argiles (R=0,94). Les ramifications dès le collet sont corrélées négativement avec

les sables fins ($R=-0,89$) et le nombre total de ramifications est corrélé négativement avec le calcaire total ($R=-0,88$). L'humidité hygroscopique est corrélée positivement avec plusieurs variables édaphiques telles que le calcaire total ($R=0,82$), la capacité de rétention ($R=0,91$) et les argiles ($R=0,95$), par contre elle négativement corrélée avec les sables fins. En plus de la corrélation positive qui la relie avec l'humidité hygroscopique, la capacité de rétention est aussi positivement corrélée avec les argiles ($R=0,93$) et les limons grossiers ($R=0,91$) et présente une corrélation négative avec les sables fins ($R=-0,92$). Les sables fins sont corrélés négativement à la capacité de rétention ($R=-0,92$), aux argiles ($R=-0,96$) et aux limons grossiers ($R=-0,90$).

L'ACP 05 a fait ressortir la carte de contribution de variables illustrée par la figure 40. Le plan factoriel $\frac{1}{2}$ explique 72% de l'interaction entre les variables testées, dont 51% dépend de l'axe F1 et 22% de l'axe F2. Nous remarquons l'individualisation de deux groupes : A et B.

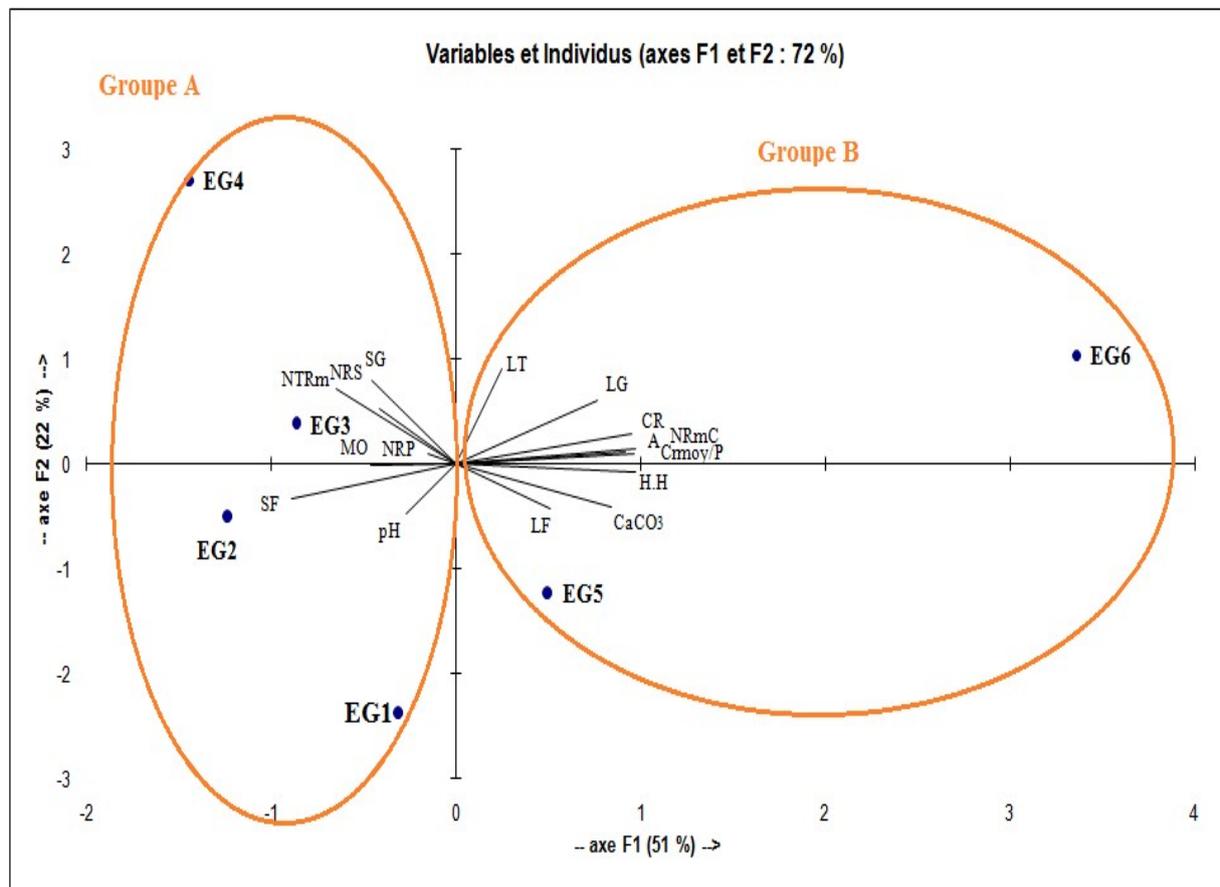


Fig. 40. ACP 05 concernant les différentes variables racinaires et édaphiques étudiées à dayate El Gouffa.

Le groupe A : rassemble les sujets 1, 2 immature et jeune, et les sujets 3 et 4 d'âge moyen. Ils se retrouvent dans des sols riches en sables fins et grossiers, présentent des pH élevés, montrant les teneurs les plus élevées en matière organique. Ceci a favorisé le développement d'un nombre important de ramifications superficielles et de racines profondes, Le système est généralisé ou mixte, il est formé d'un système vertical comprenant généralement plusieurs racines importantes et profondes qui se double d'un système horizontal plus superficiel.

Le groupe B : renferme les sujets 5 et 6 âgés. Ces sujets se retrouvent dans des sols limoneux relativement riches en argiles et présentant des teneurs en calcaire total relativement importantes qui sont corrélées positivement aux humidités hygroscopiques et capacités de rétention.

Les propriétés édaphiques de ces sols compactes ont plutôt favorisé les développements en épaisseur, de grosses racines primaires horizontales qui se ramifient à partir du collet en plusieurs racines verticales s'engouffrant en profondeur pour un meilleur ancrage et maximisant l'accès aux ressources hydrominérales.

De cette ACP, nous constatons que le pistachier de l'Atlas adopte une stratégie d'enracinement variable, selon les propriétés du sol sous-jacent et selon l'âge. Le système racinaire du pistachier de l'Atlas tend à se ramifier dans les couches superficielles du sol de la nebkha riche en sables fins et grossiers et en matière organique. Ceci est le cas pour les pistachiers immatures et moyens. Dans les sols limoneux contenant des proportions non négligeables d'argiles, augmentant leur humidité et leur capacité de rétention les pistachiers âgés développent des racines épaisses à extension latérale considérable avant de s'enfoncer en profondeur à la recherche d'eau et de nutriments. Le pivot disparaît et les ramifications dès le collet sont importantes.

2.2. Etude Synthétique : ACP 06

Dans le but de comparer les interactions entre sol sous-jacent et racines de pistachiers de l'Atlas étudiées à dayate El Gouffa, nous avons établi une analyse globale en composantes principales, à laquelle nous avons intégré les résultats de l'étude analogue de Limane (2009) à dayate El Guersa, dans la wilaya de M'sila et ceux de Boubrima (2014) à dayate Aïat, région de Timzerth et dayate Saadi, Hassi Delâa dans la wilaya de Laghouat. Le principe de cette étude synthétique est de montrer la variation d'enracinement du pistachier en fonction du sol, selon un gradient d'aridité croissant. Les trois dayas s'organisent du nord au sud respectivement :

- ✓ dayate El Guersa dans la réserve d'El Mergueb, wilaya de M'sila située, entre l'étage bioclimatique aride moyen et aride inférieur à hiver tempéré (Limane, 2009) ;
- ✓ dayate El Gouffa dans la commune d'Ain Madhi se place dans l'étage bioclimatique aride inférieur à hiver frais ou selon Le Houérou (1995) appelé aussi aride accentué ou présaharien ou subdésertique à hiver frais dans la wilaya de Laghouat ;
- ✓ dayate Aïat, région de Timzerth et dayate Saadi, Hassi Delâa se situent dans l'étage bioclimatique aride inférieur à hiver frais, toutes les deux dans la wilaya de Laghouat ; mais la première est plus au nord par rapport à la deuxième.

Le tableau 43 regroupe l'ensemble des corrélations obtenues pour les variables testées lors de l'ACP 06.

Tableau 43. Ensemble des corrélations obtenues pour les variables testées lors de l'ACP 06.

	LT (cm)	Crmoyp/P	NRmC	NRS	NRP	NTRm	pH	CaCO3	MO	CR	A	LF	LG	SF	SG	H.H
LT (cm)	1															
Crmoyp/P	0,09	1														
NRmC	-0,09	0,20	1													
NRS	0,58	-0,36	-0,13	1												
NRP	0,38	-0,13	-0,32	-0,08	1											
NTRm	0,40	-0,57	0,03	0,65	0,35	1										
pH	0,28	-0,11	-0,17	0,08	0,18	0,11	1									
CaCO3	-0,20	0,20	0,45	-0,22	-0,35	-0,34	-0,31	1								
MO	-0,64	0,01	0,28	-0,40	-0,36	-0,19	-0,13	0,13	1							
CR	-0,04	0,47	0,01	-0,14	-0,13	-0,46	-0,64	0,37	0,03	1						
A	-0,11	0,35	0,25	-0,19	-0,31	-0,39	-0,28	0,42	0,30	0,65	1					
LF	-0,20	0,41	0,20	-0,18	-0,26	-0,37	-0,58	0,42	0,36	0,82	0,61	1				
LG	0,58	-0,07	-0,09	0,21	0,20	0,07	0,73	-0,14	-0,46	-0,40	-0,19	-0,41	1			
SF	-0,14	-0,13	-0,32	0,14	0,17	0,14	-0,41	-0,20	-0,30	0,00	-0,44	-0,25	-0,55	1		
SG	-0,46	-0,28	0,31	-0,27	-0,16	0,24	0,18	-0,11	0,69	-0,51	-0,15	-0,28	-0,25	-0,16	1	
H.H	0,01	0,54	0,07	-0,25	-0,15	-0,53	-0,22	0,45	0,16	0,76	0,60	0,77	0,03	-0,48	-0,39	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0,05 (test bilatéral)

- ✓ Ce tableau montre que la longueur totale des racines est corrélée positivement avec le nombre de racines superficielles (R=0,58) et les limons grossiers (R=0,58) et négativement avec la matière organique (R=-0,64) et les sables grossiers (R=-0,46) ;
- ✓ l'épaisseur des racines est corrélée positivement avec la capacité de rétention (R=0,47), l'humidité hygroscopique (R=0,54) et les limons fins (R=0,41) et négativement avec le nombre total de ramifications (R=-0,57) ;

- ✓ les ramifications dès le collet sont corrélées positivement avec le calcaire total ($R=0,45$); et les racines superficielles sont corrélées positivement avec le nombre total de ramification ($R=0,65$);
- ✓ le nombre total de ramification est corrélé négativement avec la capacité de rétention ($R=-0,46$) et l'humidité hygroscopique ($R=-0,53$);
- ✓ le pH est corrélée positivement aux limons grossiers ($R=0,73$), et négativement à la capacité de rétention ($R=-0,64$), aux limons fins ($R=-0,58$) et aux sables fins ($R=-0,41$);
- ✓ le calcaire total est corrélé positivement avec les argiles ($R=0,42$), les limons fins ($R=0,42$) et l'humidité hygroscopique ($R=0,45$);
- ✓ la matière organique est corrélée positivement avec les sables grossiers ($R=0,65$) et négativement aux limons grossiers ($R=-0,46$);
- ✓ la capacité de rétention est corrélée positivement avec les argiles ($R=0,65$), les limons fins ($R=0,82$) et l'humidité hygroscopique ($R=0,76$) et négativement avec les sables grossiers ($R=-0,51$);
- ✓ les argiles sont corrélés positivement aux limons fins ($R=0,61$) et à l'humidité hygroscopique ($R=0,60$) et négativement aux sables fins ($R=-0,44$);
- ✓ les limons fins sont corrélés positivement à l'humidité hygroscopique ($R=0,77$) et négativement aux limons grossiers ($R=-0,41$);
- ✓ les limons grossiers sont corrélés négativement aux sables fins ($R=-0,55$);
- ✓ les sables fins sont corrélés négativement à l'humidité hygroscopique ($R=-0,48$).

Le plan factoriel $\frac{1}{2}$ explique 651% de l'inertie totale, l'axe F1 apporte 32% de l'information, et l'axe F2 en contribue par 18%, Ces corrélations ont été visualisées dans la figure 41.

Cette ACP globale comparative nous permet de déceler que la structure souterraine du pistachier de l'Atlas se comporte différemment, en fonction des propriétés édaphiques.

Le groupe A regroupe tous les sujets étudiés à El Gouffa qui montrent plus d'affinité avec les sujets de dayate Aïat à Timzerth, qui se caractérise par la présence d'un édifice racinaire très ramifié et allongé. L'enracinement est plutôt superficiel, un grand nombre de racines périphériques est noté. Ceci est favorisé par la présence de sables fins. Les sols sous-jacents montrent les pH les plus élevés.

Le groupe B : rassemble les sujets d'El Guersa dont les sols sous-jacents sont particulièrement riches en matière organique et sables grossiers, contrairement aux sols étudiés à El Gouffa et Timzerth.

Pour le groupe C, les sols sous pistachier de ce groupe se distinguent par leur capacité de rétention et une humidité hygroscopique importante, l'étanchéité de ces sols est assurée par la présence de calcaire (CaCO_3) et de limons fins. Les racines de ce groupe investissent en croissance radiale. Ce groupe concerne les sujets de Hassi Delâa (Laghouat).

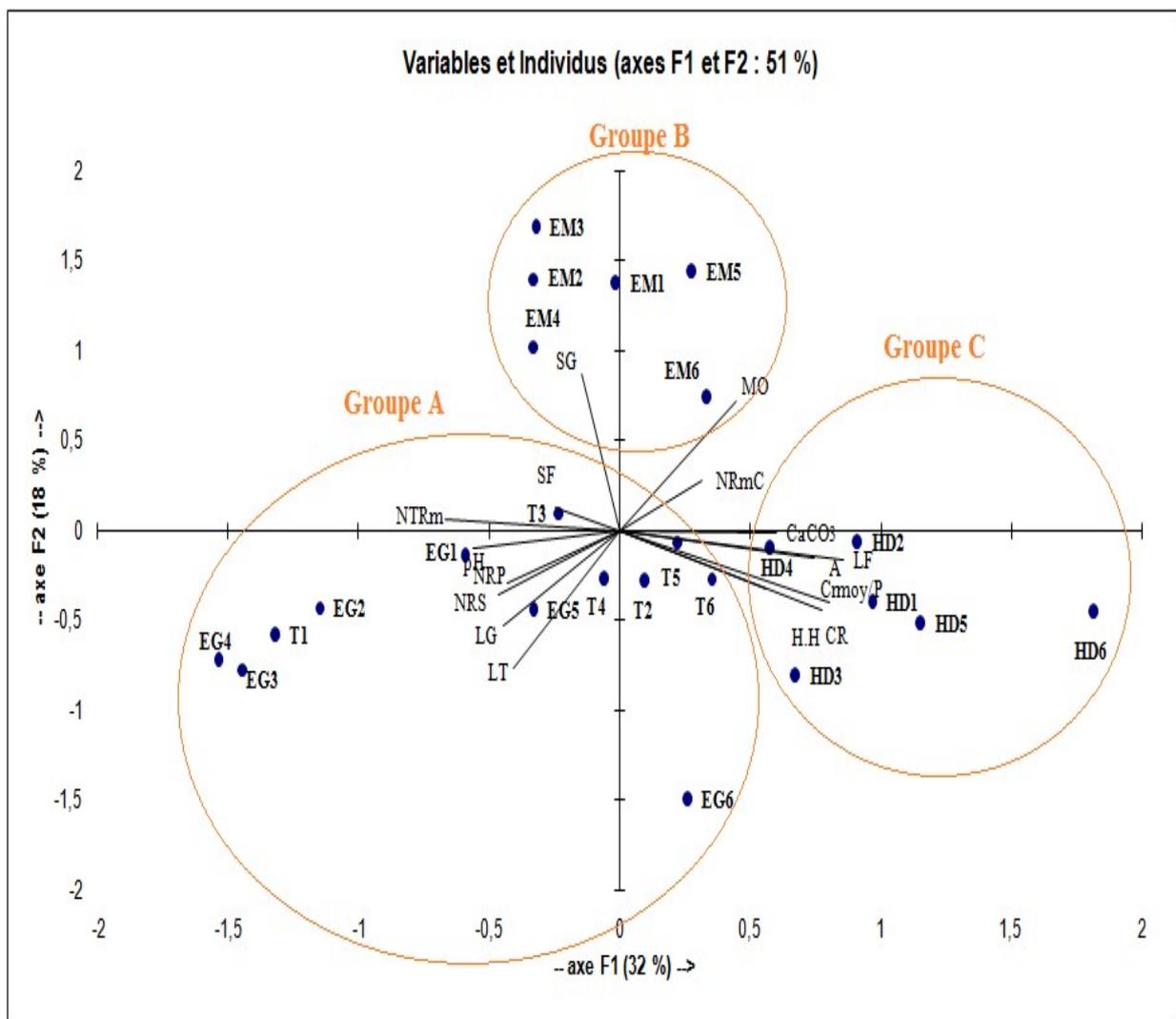


Fig. 41. ACP 06 concernant les variables étudiées pour les populations d'El Mergueb, Timzerth, Hassi Delâa et El Gouffa.

3. Conclusion

Les caractéristiques physico-chimiques des sols sous-jacents influencent de manière significative l'architecture de base du système racinaire du pistachier de l'Atlas.

Une corrélation positive est notée entre la longueur totale racinaire et la teneur plus élevée en sables qui diminue le tassement du sol et l'impédance mécanique, et ainsi facilite le développement de racines superficielles. Ceci est observé chez les sujets immatures et jeunes des nebkhas.

Dans les sols des sujets âgés où les couches profondes sont riches en limons, qui peuvent constituer un réservoir d'eau pendant la saison sèche, le pistachier de l'Atlas développe un système racinaire plus complexe avec de fortes racines profondes capables de l'exploitation de ces niveaux inférieurs.

Alors que la plupart de la flore de ces biomes arides a des stratégies de survie visant la suppression de la perte d'eau pendant la saison sèche, le pistachier de l'Atlas utilise une stratégie d'endurance. Avec un système racinaire qui est flexible et évolutive dans le temps et l'espace, le pistachier de l'Atlas peut réussir à coloniser les milieux inhospitaliers, contrairement aux autres phanérophytes de sa taille. Il a évolué pour réussir dans des biotopes généralement difficiles tels que dayas et les oueds, en maximisant l'accès aux ressources hydrominérales qui lui permettent de prospérer pendant la saison sèche (Limane et *al.*, 2014b).

Le pistachier de l'Atlas réussit à occuper des niches écologiques inaccessibles pour les concurrents potentiels, augmentant ainsi à la fois sa propre valeur sélective et la résilience des biotopes qu'il colonise. Elle suggère, que dans le contexte du réchauffement climatique, le pistachier est l'une des meilleures plantes adaptées pour survivre grâce à la plasticité phénotypique de son système racinaire (Boubrima, 2014).

Conclusion générale



A la lumière de ce travail et à la mesure de nos moyens, nous confirmons que le pistachier de l'Atlas possède une adaptabilité étonnante aux conditions édaphiques extrêmes.

Le bétoum d'El Gouffa présente des systèmes racinaires caractérisés par un pivot vertical chez les sujets immatures et moyens localisés dans des nebkhas. Du pivot émergent des racines latérales de dimensions et de densité variables. Sa localisation, sa direction verticale, son état orthogéotrope lui confèrent un rôle essentiel d'ancrage et d'exploration des horizons profonds du sol, puis chez les sujets âgés le pivot disparaît. Les propriétés édaphiques de ces sols compacts des sujets âgés étudiés ont plutôt favorisé les développements en épaisseur, de grosses racines horizontales se ramifient à partir du collet en plusieurs racines verticales s'engouffrant en profondeur pour un meilleur ancrage et maximisant l'accès aux ressources hydrominérales.

Le système racinaire du pistachier de l'Atlas est robuste. Il contribue énormément à sa stabilité et à son ancrage, et constitue un lieu de stockage de réserves importantes, lui permettant de persévérer quand les conditions du milieu sont défavorables.

Les sols échantillonnés à dayate El Gouffa sont à pH basiques, peu à modérément calcaires et présentent majoritairement une texture à dominante limoneuse fine à limoneuse fine argileuse, la fraction sableuse est signalée au niveau des nebkhas. Les taux de calcaire total modérés combinés avec la fraction limoneuse fine appellent la rétention d'eau dans ces sols. Cette capacité de rétention est augmentée par la présence des argiles.

Les sols sous pistachier de l'Atlas étudiés montrent des valeurs très faibles à extrêmement faibles de matière organique. Selon Belhadj (2008), la rusticité du pistachier ainsi que la possibilité de sa croissance sur des sols pauvres sont des caractéristiques qui le rendent particulièrement intéressant quant à son utilisation dans les programmes de reforestation et de sylviculture dans les zones semi-arides et arides, notamment au niveau du barrage vert, et en tant que porte-greffe et polinisateur pour *Pistachia vera*.

Dans ces sols limoneux plus ou moins humides et relativement pauvres en matière organique, les relations entre l'ensemble des propriétés physicochimiques du sol sous-jacent et celles du système racinaire à dayate El Gouffa analysées par ACP, nous ont montrés que la croissance racinaire en épaisseur dépend des paramètres hydriques et la présence des argiles, de même que la circonférence moyenne par profil et le nombre de ramifications moyen dès le collet. Ceci a déjà été remarqué par Boubrima (2014) et Limane (2009).

D'après Boubrima (2014) et Limane *et al.* (2014a), le pistachier de l'Atlas adopte une stratégie phréatophytique par l'augmentation de la longueur et l'épaisseur de ses racines profondes, en contact avec les niveaux profonds humides.

En fonction des caractéristiques physico-chimiques des sols sous-jacents qu'il colonise, le pistachier de l'Atlas développe une architecture racinaire. Dans les sols avec une texture sableuse, le pistachier de l'Atlas développe un système racinaire superficiel. Dans les couches de limon calcaire profondes qui peuvent retenir un réservoir d'eau pendant la saison sèche, le pistachier de l'Atlas établit un système racinaire plus complexe avec de fortes racines profondes capables de l'exploitation des eaux des nappes aquifères des niveaux inférieurs. Il emploie une stratégie d'endurance. Avec un système racinaire qui est flexible et évolutive dans le temps et l'espace, le pistachier de l'Atlas peut réussir à coloniser les milieux inhospitaliers pour les phanérophtes de sa taille. Il a évolué pour réussir dans des biotopes autrement difficiles tels que dayas et les oueds, en maximisant l'accès aux ressources hydro- minérales qui lui permettent de prospérer pendant la saison sèche.

Soulignons enfin, que le pistachier de l'Atlas représente une des essences particulièrement bien adaptées aux conditions climatiques des zones arides et en particulier au stress hydrique.

Le déclin du pistachier est dû d'abord à des raisons économiques et à des budgets investis très limités dans la production, la régénération et l'entretien des pistacheraies naturelles des dayas. Sa conservation et sa multiplication est une nécessité absolue. Les gestionnaires forestiers et les administrateurs doivent répondre à la question de l'évaluation des ressources génétiques végétales et lui donner plus d'importance (Belhadj, 2001).

Mais pour que cette espèce puisse jouer pleinement ces multiples rôles, dans ces zones sauvages à importants réservoirs de biodiversité écologiques et socio-économiques, il est nécessaire de recenser toutes les dayas. Pour cela, nous préconisons un système d'information géographique (SIG) qui est un système conçu pour recueillir, stocker, traiter, analyser, gérer et présenter tous les types de données spatiales et géographiques.

La menace provient essentiellement de la conjonction de plusieurs phénomènes :

- ✓ la dégradation par le surpâturage (ébranchage excessif, tassement du sol), les pressions démographiques et les systèmes d'utilisation des terres mettent en danger les dayas et les

- parcours naturels ; les effets généralement apparents de ce danger comprennent la perte de biodiversité, la détérioration rapide de la couverture terrestre et la diminution de la disponibilité de l'eau en raison de la destruction de ces bassins naturels hydromorphes ;
- ✓ suite au changement climatique mondial, des périodes de sécheresse de plus en plus longues compromettent sa régénération naturelle ; d'après les moyennes mensuelles de température et le total des précipitations mensuelles calculées sur dix années au niveau de Laghouat, le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen nous a dévoilés que la période sèche s'étale sur toute l'année.

Menacé de disparition, le pistachier de l'Atlas doit recevoir tous les soins particuliers. Il faudra donc approfondir les études relatives aux stratégies adaptatives vis-à-vis des stress environnementaux et élucider si en tant qu'espèce rare, elle a des caractéristiques écologiques, physiologiques et reproductrices qui lui sont propres.

Il faudra s'intéresser aussi à son cortège floristique lui servant de nurserie qui est très rudimentaire. Il est soumis à de très fortes pressions biotiques et abiotiques qui limitent énormément son expansion et son développement. Les touffes épineuses de *Ziziphus lotus* fournissent une protection et un abri aux jeunes plants contre les pâturages excessifs, qui sont un exemple de facilitation par nurserie (Seigue, 1985 et Monjauze, 1968b).

Enfin, plus encore que d'estimer cette ressource à un moment donné, il est essentiel pour le gestionnaire, le planificateur et le scientifique d'évaluer son évolution dans le temps et de définir des dispositifs adaptés. Organiser des communications portant sur la mise en œuvre d'un "plan d'action" pour la réhabilitation et l'extension des aires écologiques de cet arbre millénaire, connu pour sa résilience face à la sécheresse et à l'avancée du désert, ainsi que pour son importance économique.

Références bibliographiques



- ABDOUS O., 2010.** Approche de l'adaptation de l'architecture racinaire du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) à la sécheresse : cas des populations de Theniet El Had (Tissemsilt) et de la daya de Tirlhemt (Laghout). Mémoire d'ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 132 p.
- AIT SLIMANE L., 2004.** Architecture racinaire et adaptation du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf. subsp.*atlantica*) à la sécheresse : cas de la population de Béni-Ounif (Wilaya de Béchar). Mémoire d'ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 107 p.
- AIT-SAID S., 2011.** Stratégie adaptatives de deux espèces du genre *Pistacia* (*P. lentiscus* et *P. atlantica* Desf.) aux conditions d'altitude de salinité et d'aridité, thèse Doctorat option Biologie, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 160 p.
- ATGER C., 1994.** Les systèmes racinaires des arbres – *Revue bibliographique*. Séquoia, Châteauneuf-du-Rhône, 150 p.
- AUBERT G., 1962.** Les sols de la zone aride. Etude de leur formation, de leurs caractères, de leur utilisation et de leur conservation. Les problèmes de la zone aride, Acte du Colloque de Paris, UNESCO, 127-150.
- AUBERT G., 1978.** Méthodes d'analyses des sols. Ed Centre National de Documentation Pédologique, 188 p.
- BAIZE D., 2000.** Guide des analyses courantes en pédologie. INRA, Paris, 172 p.
- BAMOUEH A., 2002** - Lutte chimique contre le jujubier. Bulletin mensuel d'information et de liaison du pnnta, 4 p.
- BARTHÉLÉMY D., CARAGLIO Y., 2007.** Plant architecture: a dynamic, multilevel and comprehensive approach to plant form, structure and ontogeny. *Annals of Botany*, 99: 375-407.
- BELHADJ S., 1999.** Pistachio situation in Algeria. *Nucis Newsletter* , 8; 29-30 .
- BELHADJ S., 2001.** Les pistacheraies algériennes : état actuel et dégradation. *Cahiers Options Méditerranéennes*, 56 : 107-109.
- BELHADJ S., 2007.** Etude éco-botanique de *Pistacia atlantica* Desf. (Anacardiaceae) en Algérie préalable à la conservation des ressources génétiques de l'espèce et sa valorisation. Thèse Doctorat d'Etat option Ecologie végétale, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 185 p.

BELHARRET O., REKKEB S., 2004. Architecture racinaire et adaptation du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf. subsp. *atlantica*) à la sécheresse : cas de la population de Ain Oussara (Wilaya de Djelfa). Mémoire d'ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 75 p.

BELLAKHDAR J., 1997. La pharmacopée marocaine traditionnelle ; Medecine arabe ancienne et savoirs populaires. IBIS Press, 764 p.

BENABDERRAHMANE M, BENALI M., JORDAN BUESO M.J., 2009. Activité antimicrobienne des huiles essentielles de *Pistacia atlantica* Desf. De l'Algérie, pharmacognosie, 7, 304-308.

BENARADJ A., BOUAZA M. et BOUCHERIT H., 2012. Diversité floristique du peuplement à *Pistacia atlantica* Desf. Dans la région de Bechar (Sud-ouest algérien) MEDITERRANEA, série de Estudios Biologicos, Epoca II n°23: 66-89.

BENHASSAINI H et BELKHODJA M., 2004. Le pistachier de l'Atlas en Algérie : entre survie et disparition. *La feuille et l'aiguille* ; pp : 54 : 1-2.

BENTALEB T., 2011. Caractérisation physique et chimique des sols sous pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) dans la daya de Boucédraia (wilaya de Djelfa). Mémoire Ing. Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 62 p.

BLANGUERNON C., 1955. Le Hoggar. Arthaud. SNED Algérie : 223-224.

BONNEAU M., et SOUCHIER B. , 1994. Constituants et propriétés du sol : 618- 654.

BOUBRIMA A., 2014. Diversité architecturale du système racinaire du pistachier de l'Atlas en fonction du sol sous-jacent dans deux dayas de la région de Laghouat (Algérie) : dayate Saadi, Hassi Delâa et dayate Aïat, Timzerth, Mémoire de Magister, Université AMAR TELIDJI LAGHOUAT, 244 p.

BOUDY P., 1952. Guide du forestier. Ed. La maison rustique, Paris, 505 p.

BOUNCEUR D., 2009. Contribution à l'étude de caractéristiques physiques et chimiques des sols sous pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf. Sub-sp *atlantica*) : cas de la daya de Tilrhemt (wilaya de Laghouat). Mémoire Ing. Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 85 p.

BOURNINE K., 2007. Contribution à l'étude des sols rhizosphériques et non rhizosphériques sous le pistachier de l'Atlas dans la région de Ain Oussara (Wilaya de Djelfa) et Béni Ounif

(Wilaya de Béchar). Mémoire d'ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 96 p.

BROWN P.H., ZHANG Q., FERGUSON L., 1994 - Influence of rootstock on nutrient. Aquisition by Pistachio. Journal of plant nutrition, 17: 1137-1148.

BUI HUU TRI, MONNIER G., 1973a. Etude quantitative de la granulation des sols sous prairies de graminées. 1. Paramètres définissant la structure granulaire et leur relation avec la porosité du sol. Ann. agron., 24 : 401-424.

BUI HUU TRI, MONNIER G., 1973b. Etude quantitative de la granulation des sols sous prairies de graminées. II. Les paramètres de granulation en relation avec la constitution physique du sol, et le système racinaire. Ann. agron., 24: 651-677.

CALLOT G., CHAMAYOU H., MAERTENS C., SALSAC L., 1982. Les interactions sol-racine, incidence sur la nutrition minérale. Collection mieux comprendre, Ed. I.N.R.A, Paris, 325 p.

CALVET R., 1988. Analyse du concept de biodisponibilité d'une substance. Science du sol. Vol, 26 (3): 183-201.

CAMEFORT H., 1977. Morphologie des végétaux vasculaires. Cytologie, anatomie, adaptations. Éd. Doin, Paris. 1 vol. 432 p.

CAMEFORT H., 1996. Morphologie des végétaux vasculaires : cytologie, anatomie, adaptation. 2ème Edition Doin, Paris, 432 p.

CAMEFORT H., 1997. Reproduction et biologie des végétaux supérieurs, 2ème Edition, Edition Doin, 436 p.

CANADELL J., JACKSON R.B., EHLERINGER J.R., MOONEY H.A., SALA O.E. ET SCHULZE E.D., 1996. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. Oecologia, 108: 583–595.

CHAILLOU S., 2008. Développement racinaire, fonctionnement de la rhizosphère et nutrition minérale. [www. Afidoltek. org.](http://www.Afidoltek.org) (www. Dunod. Com).

CHEBIEB N., 2008. Approche de l'adaptation de l'architecture racinaire du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf. subsp. *atlantica*) à la sécheresse : cas de la daya de Timzerth (Wilaya de Laghouat, Algérie). Mémoire d'ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 118 p.

CHEBOUTI –MEZIOU N., BOUKEROUI N., DOUMANDJI S. E., 2011. Entomofaune du pistachier (*Pistacia*) dans la Mitidja, 3p.

CONRAD B. E., NEAL E. M. , RIGG J. K., 1967. Guar meal for beef cattle. *J. Anim. Sci.*, 26 (1): 219 p.

DAGNELIE P., 2011. Statistique théorique et appliquée. Tome 2. Interférence statistique à une et à deux dimensions. De Boeck, Bruxelles, 736 p.

DAGNELIE P., 2013. Statistique théorique et appliquée. Tome 1. Statistiques descriptives et bases de l'interférence statistique. De Boeck, Bruxelles, 517 p.

DANESHRAH A. , AYNEHCHI Y., 1980. Chemical Studies of the Oil *Pistacia* Nuts Growing Wild in Iran. *Oil Chem. Soc.*, 57: 248-249.

DANJON F., FOURCAUD T., 2009. L'arbre et son enracinement, *Innovation Agronomiques* 6 : 17-37.

DANJON F., REUBENS B., 2008. Assessing and analyzing 3D architecture of woody root systems, a review of methods and applications in tree and soil stability, resource acquisition and allocation. *Plant Soil*, n°: 303: 1-34.

DAOUD, Y. et HALITIM, A. 1994. Irrigation et salinisation au Sahara Algérien. *Sècheresse* 5(3): 151-160.

DAOUDI A., BOUTOU H., IBIJBIJEN J., ZAIR T, NASSIRI L., 2013. Étude ethnobotanique du pistachier de l'atlas, *pistacia atlantica*, dans la ville de Meknes-Maroc, Science Lib Editions Mersenne : 131113(5), 22 p.

DEGUICHE M., 2008. Caractérisation des sols sous pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) : cas de la daya de Timzerth (wilaya de Laghouat). Mémoire Ing Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 88 p.

DOBSON M.C., MOFFAT A. 1995. A Re-Evaluation objections to tree planting on containment Landfills. *Waste Management and Research* 13 (6): 579-600.

DOGA DERNEGI, 2010. Hot-spot de la biodiversité du bassin méditerranéen, BIRDLIFE INTERNATIONAL, 267 p.

DOMMERGUES Y.R., DUHOUE. , HOANG G.D., 1999. Les arbres fixateurs d'azote : caractéristiques fondamentales et rôle dans l'aménagement des écosystèmes méditerranéens et tropicaux. Édition espaces, Paris, 475 p.

DRENOU C., 1999. Étude des relations entre systèmes racinaires et stabilité des arbres. Dossier de l'environnement de l'INRA n°20.

DRENOU C., 2006. Les racines. Face cachée des arbres. Edition CNPPF, Paris, 335 p.

EMBERGER L., 1938. Matériaux pour l'étude de la flore et de la végétation du Maroc. Bull. Soc. Hist. Nat. Nord. Afr; Fasc 7, 17 (7-8): 209 -219.

FAO., 2015. Indicateurs de croissance verte pour l'agriculture, Éditions OCDE, 104 p.

FENNANE M., IBN TATTOU M., OUYAHYA A., EL OUALIDI., J. 2007. Flore pratique du Maroc. Manuel de détermination des plantes vasculaires. Vol : 2 Eds : Institut Scientifique. Rabat, 636 p.

FLORET C., MTIMET A. PONTANIER R. 1989. Régime hydrique et sensibilité à l'érosion de systèmes écologiques de la zone aride (Tunisie). Cahier ORSTOM, série Pédologie, XXV, (1-2): 53-69.

GERMANA C., 1997. The response of pistachio trees to water stress as affected by two different root stochns. Acta Horticulturae (ISHS), 449 : 513-519 .

GHALEM B.R., et BENHASSAINI H, 2007. Etude des phytostérols et des acides gras de *Pistachia atlantica*. Afrique SCIENCE, 03(3): 405 – 412.

GIRARD M.C., VIELLEFON J., 1980. Glossaire pour la description des sols de la Tunisie et de leur environnement, ORSTOM.

GOBAT J.M., ARAGO M., MATTEY W., 2003. Le sol vivant. Bases de pédologie, biologie des sols. 2^e Edition Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 519 p.

GOBAT J.M., ARAGO M., MATTEY W., 2010. Le sol vivant. Bases de pédologie, biologie des sols.3^e Edition Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 817 p.

GODIN C., COSTES E., SINOQUET H., 1999. A method for describing plant architecture which integrates topology and geometry. *Annals of Botany*, 84: 343–357.

GOENFLO de FOUCAULT B., 2005, Biologie Végétale. Les Cormophytes 7^{ème} éd. Ed. DUNOD, 594p.

GREENLAND D. J., 1971. Interaction between humic and fulvic acids and clays. *Soil Sci.*, 111: 34-41.

- GREGORY P.J., 2006. **Roots, rhizosphere and soil: the route to a better understanding of soil science?** European Journal of Soil Science Volume 57, Issue 1, 2–12.
- GRIFFITHS E., BURNS R. G., 1972. Interaction between phenolic substances and microbial polysaccharides in soil aggregation. *Plant Soil*: 599-612.
- GROUZIS M., LE FLOC'H E., 2003. Un arbre au désert *Acacia raddiana*. Ed. I.R.D, Paris, 313 p.
- GYSSSELS G., POESEN J., BOCHET E., LI Y., 2005. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. *Prog Phys Geogr*, 29: 189 -217.
- HABOUL CH., 2011. Approche de l'adaptation d l'architecture racinaire du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf. ssp. *atlantica*) à la sécheresse : cas de la population de la daya de Boucédraia (wilaya de Djelfa). Mémoire d'ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 121 p.
- HALITIM A., 1988. Les sols des régions arides d'Algérie. Ed. O.P.U., Alger, 384 p.
- HUBERT F., 2008. Modélisation des diffractogrammes de minéraux argileux en assemblages complexes dans deux sols de climat tempéré. Implications minéralogique et pédologique, thèse de docteur de l'université de Poitiers, France.
- JACQUIN F., 1978. Influence de la matière organique sur la structure du sol. 11th Int. Cong. Soil Sci., Edmonton pp: 369-382.
- KAABACHE M., 2003 - Conservation de la biodiversité et gestion durable des ressources naturelles : étude sur la réhabilitation de la flore locale au niveau de la réserve « El-Mergueb » (Wilaya de M'sila, Algérie). Rapport PNUD, projet : ALG/00/G35/A/1G/99.
- KADI-HANIFI H., AMGHAR F., 2002. Effet de la mise en défens sur la biodiversité et le sol dans les formations à *Stipa tenacissima* de l'Algérie. 11^{ème} réunion du sous réseau méditerranéen FAO – CIHAM « Réhabilitation des pâturages et des parcours en milieux méditerranéens » du 29 Octobre au 1 Novembre 2002, Djerba (Tunisie).
- KADI-BENNANE S., AIT SAID S., SMAIL-SAADOUN N., 2005, Adaptation s tudy of three *Pistacia atlantica* Des f. subsp. *atlantica* populations (Ain Oussera - Messaad - Taissa) through s tomatal complex, Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens,63: 365- 368.
- KAZARJAN V.O., 1969. Le vieillissement des végétaux supérieurs. Navka, Moscou, traduction A. Riedacker, photocopié, 229 p.

KEBCI S., 2008 - Approche de l'architecture racinaire et adaptation du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) cas de la daya de Tirlhemt (Wilaya de Laghouat). Mémoire Ing. Agro. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 116 p.

KHALDI A., KHOUJA M.K., 1996. Atlas pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) in North Africa: taxonomy, geographical distribution, utilization and conservation. In Padulosi, Caruso and Barone, Project on underutilized mediterranean species: Taxonomy, distribution, conservation and uses of *Pistacia* genetic resources. Report of a workshop IPGRI, palermo, Italy: 57-62.

KOESTLER J.N., BRUECKNER E., BIBELRIETHER H., 1968. Die Würseln der Waldbäume. Paul Parey, Hamburg, 284 p.

LAVELLE P., SPAIN A.V., 2002. Soil Ecology, Springer Netherlands, 654 p.

LEHOUEIROU H.N., 1995. Bioclimat et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. Diversité biologique, développement durable et désertisation. Options Méditerranéennes, série B, 396 p.

LE ROUX Y., 1994. Mise en place de l'architecture racinaire d'*Hevea brasiliensis*. Etude comparée du semis et de la micro-bouture. Thèse de Doctorat, Université Aix-Marseille III, 295 p.

LIMANE A., 2009. Architecture racinaire du pistachier de l'Atlas en relation avec les propriétés physico-chimiques du sol sous jacent : cas de la population de la réserve nationale d' "El-Mergueb" (Wilaya de M'sila), Algérie, Magister : Biologie et Ecologie des populations et des communautés, Option : Ecologie des populations et des peuplements, 149 p.

LIMANE A., SMAIL-SAADOUN N., and GRADZIEL T., 2014a. Root architecture of Atlas pistachio in relation to underlying soil properties under arid conditions. African Journal of Agricultural Research, 9 (6): 622-625.

LIMANE A., SMAIL-SAADOUN N., BELKEBIR-BOUKAIS A., KISSOUM-HAMDINI K., 2014b. Root architecture adaptation of *Pistacia atlantica* subsp. *atlantica* according to an increasing climatic and edaphic gradient: case of a north-south transect in Algeria, Turkish Journal of Botany, 38: 536-549

LUCOT E., 1994. Influence des caractéristiques de la piérosité des sols sur la prospection racinaire et l'alimentation hydrique des arbres. Application à l'estimation de la valeur des sols forestiers. Thèse de l'Université de Franche-Comté, France.

LYFORD W.H., 1980. Development of the root system of northern red oak (*Quercus rubra*).

Harvard Forest Paper, 21: 1-29.

LYNCH J., 1995. Root Architecture and Plant Productivity. *Plant Physiology*, 109: 7-13.

MAAMRI S., 2008. Etude de *Pistacia atlantica* de deux régions de sud algérien : dosage des lipides, dosage des polyphénols, essais antileishmaniens. Mémoire de magister, Option Biochimie et Microbiologie appliquées, Faculté Des Sciences Département de Biologie, Université M'HAMED BOUGARA Boumerdes, 139 p.

MAHI B., 2014. Apport de la géomatique dans l'identification des zones d'agriculture. Cas des zones à haut potentiel céréalier de la wilaya de Laghouat. Mémoire de mater en amélioration et production des plantes, département d'Agronomie, Université Ziane Achour Djelfa., 152 p.

MAIGNIEN R. 1980. Manuel pour la description des sols sur le terrain. ORSTOM, Paris, 112 p.

MAINGUET M., 1995. L'homme et la sécheresse. Ed Masson, 335 p.

MARTIN J. P., 1971. Decomposition and binding action of polysaccharides in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 3: 33-41.

MÉDAIL F., QUÉZEL P., 1999. Biodiversity hotspots in the Mediterranean Basin: setting global conservation priorities. *Cons. Biol.* 13: 1510-1513.

MÉDAIL F., MYERS N., 2004. *Mediterranean Basin. Hotspots revisited: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions*, (ed. by R.A. Mittermeier, P. Robles Gil, M. Hoffmann, J. Pilgrim, T. Brooks, C.G. Mittermeier, J. Lamoreaux and G.A.B. da Fonseca). CEMEX, Monterrey, Conservation International, Washington and Agrupacioén Sierra Madre, Mexico : 144–147

MEDAIL F., ALEX B., DIADEMA K., MIGLIORE J., 2012. La biodiversité végétale méditerranéenne organisation et évolution, La Société Française d'Ecologie (SFE), *Regards et débats sur la biodiversité*, n°38.

MEYER S., REEB C., BOSDEVEIX R., 2004 – Botanique Biologie et physiologie végétales. Ed. Maloine, Paris, 173 p.

MIRZAIE M., NODOUSHAN H., ARIFI H.M., 2001. Variability in seed blankness in *Pistacia atlantica* Desf. in a natural habitat. *Bull. Res.*, 127: 46-48.

MITTERMEIER RUSSEL A., GIL P.R., HOFFMAN M., PILGRIM J., 2007, « Hotspots et régions sauvages », in Pierre Jacquet et Laurence Tubiana, *Regards sur la Terre, 2008*, Presses de Sciences Po, Presses de Sciences Po « Annuels »: 131-133.

- MOREL J. L. MENCH M., GUCKERT A., 1986.** Measurement of Pb^{2+} , Cu^{2+} and Cd^{2+} binding with mucilage exudates from maize (*Zea mays* L.) roots. *Biology and Fertility of Soils*, 2: 29-34.
- MONJAUZE A., 1980a.** Connaissance du bétoum *Pistacia atlantica* Desf., Biologie et forêt. *Revue Forestière Française*, 4: 356-363.
- MONJAUZE A., 1980b.** Note sur la régénération du bétoum par semis naturels dans la place d'essais de Kef Lefaa. *Bull Soc d'histoire naturelles de l'Afrique du Nord*, Tome 58, (3-4) : 2-8
- MONJAUZE A., 1982.** Le pays des dayas et *Pistacia atlantica* Desf. dans le Sahara algérien. *Revue Forestière Française*, XXXIV(4): 277-291.
- NEGRE R., 1962.** Petite flore des régions arides du Maroc occidental. Tome II. Ed.,C.N.R.S., 55 p.
- NGUYEN C., FROUX F., RECOUS S., MORVAN T., ROBIN C., 2007.** N immobilization and mineralization during the biodegradation of mucilage as affected by repeated fertilization with pig manure. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 80: 39–47
- OUKABLI A., 2005.** Le Pistachier, un arbre fruitier et forestier. *Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA (programme national de transfert de technologie en agriculture)* : 01-04 .
- OZENDA P., 1977.** Flore du Sahara. Ed .C.N.R.S, 622 p.
- OZENDA P., 1983.** Flore du Sahara. Deuxième édition. C.N.R.S. 566 p.
- PAGLIANI M., 2001.** Les forêts de méditerranée, une nouvelle stratégie de conservation. WWF-Programme Méditerranée.
- POUGET M., 1980.** Les relations sol-végétation dans les steppes sud-algéroises. ORSTOM. Paris, 569 p.
- QUEZEL P., MEDAIL F., 2003.** Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Ed. Elsevier (Collection Environnement), Paris, 571 p.
- RAIMBAULT P., 1999.** La colonisation des sols urbains par les racines des arbres. In : « Le sol, support de nos plantations ». Livre blanc du Colloque de l'Union Nationale des Entrepreneurs du Paysages, 2 juin 1999, 322 p.
- RAIMBAULT, P., 2003.** La physiologie et l'architecture des racines. 9ème Congrès de l'APEVC, Institut National d'Horticulture d'Angers: 22-29.

- REID J. B., GOSS M. J., 1981.** Effect of living roots of different plant species on the aggregate stability of two arable soils. *J. Soil Sci.*, 32: 521-541.
- RICHER DE FORGES A., FELLER C., JAMAGNE M., ARROUAYS D., 2008.** Perdus dans le triangle des textures. *Etude et Gestion des Sols, Soil Science*, 15, (2) : 97-111.
- ROGNON P., 1994_a.** La sécheresse édaphique. *Géodynamique des milieux continentaux. Sécheresse*, 3, (5) : 141-142.
- ROGNON P., 1994_b.** Les conséquences de la sécheresse sur la pédogenèse. *Géodynamique des milieux continentaux. Sécheresse*, 3, (5): 173-184.
- RUELLAN A., 1970.** Contribution à la connaissance des sols des régions méditerranéennes: les sols à profil calcaire différencié des plaines de la Basse Moulouya (Maroc Oriental), 482 p.
- SILAA A., 2012.** Durabilité des systèmes de production : cas de l'élevage ovin de la wilaya de Laghouat. Mémoire d'ingénieur d'état en agronomie ; département d'Agronomie, Université Ammar Telidji, Laghouat, 112 p.
- SOLTNER D., 1982.** Les bases de la production végétale. Tome I. Le sol. 1^{ère} édition. Sciences et techniques agricoles, Angers, 472 p.
- SWINCER G., OADES J., GREENLAND D. J., 1969.** The extraction, characterization and significance of soil polysaccharides. *Adv. Agron.*, 21: 195-235.
- SZOTA C., VENEKLAAS E J., KOCH J M., LAMBERS H., 2007.** Root Architecture of Jarrah (*Eucalyptus marginata*) Trees in Relation to Post-Mining Deep Ripping in Western Australia. *Restoration Ecology*, 15: 65-73.
- TAHROUR A., 2005.** Architecture racinaire et adaptation du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*) à la sécheresse. Cas de la population d'Oued Besbès (Wilaya de Médéa). Mémoire d'ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 101 p.
- TAÏBI A.N., KEMMOUCHE A., PARROT J.F., 1999.** Détermination des dynamiques d'évolution morphologique et végétale combinées des « dayas » du piémont sud de l'Atlas saharien (Algérie) par télédétection. *Sécheresse*, 10, (1) : 63-70.
- TARDIEU F., 1987.** Etat structural, enracinement et alimentation hydrique du maïs. III. Disponibilité et réserves en eau du sol. *Agronomie*, 7, pp: 279-288.

- TESSIER D., 1994.** Rôle de l'eau sur les propriétés physiques des sols. *Sécheresse*, 3, (5): 143-150.
- TISDALL J. M., OADES J. M., 1979.** Stabilization of soil aggregates by the root systems of rye-grass. *Aust. J. Soil Res.*, 17: 429-441.
- TISGOUINE Z., 2010.** Approche de caractéristiques physiques et chimiques des sols sous pistachier de l'Atlas de la forêt de Theniet El Had (wilaya de Tissemsilt). Mémoire Ing. Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 68 p.
- VERHEYE W., 1990.** Une approche agro-pédologique de la désertification. *Sécheresse*, 2(1) : 94-97.
- VELA E., S. BENHOUHOU, 2007.** Evaluation d'un nouveau point chaud de biodiversité végétale dans le bassin méditerranéen, *C. R. Biologies*, 330 :589-605.
- WAISSSEN F., 1991.** Le fichier écologique des essences. Groupe interuniversitaire F.S.A.Gx-UCL-ULB-ULG. Définition de l'aptitude des stations forestières, 45 p.
- ZOHARY D., 1952.** A monographical study of the genus *Pistacia*. *Palestine Journ. Bot. J.*, 5, (4): 187- 228.
- ZOHARY D., 1987.** *Pistacia* L. In: Flora Palistina. Platanaceae to Umbelliferae, 2nd. Israel Academy of sciences and Humanities, Jerusalem. 2: 296-300.
- ZOHARY D., 1996.** The genus *Pistacia* L. In: Taxonomy, distribution, conservation and uses of *Pistacia* genetic resources. Report of workshop, 29-30. Palermo, Italy: 1-11.

Résumé :

Le pistachier de l'Atlas est un arbre caractéristique des régions arides du sud de la Méditerranée. L'objectif de notre travail est la caractérisation de propriétés physico-chimiques du sol et leur influence sur l'architecture racinaire du pistachier de l'Atlas à dayate El Gouffa (Laghouat, Algérie), afin de comprendre l'adaptation de cette espèce à son milieu naturel. Les sols sous jacents montrent des pH basiques, Ils sont peu à modérément calcaires. Les taux de matière organique sont extrêmement faibles à très faibles. Sur le plan physique les textures sont limoneuse fine à limoneuse fine argileuse.

La capacité de rétention varie de 22,12% à 32,77% et des taux d'humidité hygroscopique (variant de 0,76 à 3,62). L'architecture racinaire est influencée essentiellement par les paramètres physiques du sol. Les pistachiers de l'Atlas jeunes et moyens montrent des pivots bien individualisés, à pénétration assez profonde. Les racines superficielles sont aussi bien développés. Les sujets âgés possèdent un système racinaire mixte. Les taux élevés de sable influencent l'architecture racinaire, en réduisant la compaction et facilitent ainsi la pénétration profonde des pivots et le développement important des racines superficielles.

Mots-clés : *Pistacia atlantica* Desf. ; Propriétés physico-chimiques du sol ; architecture racinaire ; Dayate El Gouffa, Laghouat ; Algérie.

Summary

Atlas pistachio is a tree characteristic of arid regions of the southern Mediterranean. The aim of our work is the characterization of physical and chemical soil properties and their influence on root architecture of pistachio Atlas to dayate El Gouffa (Laghouat, Algeria), to understand the adaptation of this species its arid environment. The underlying soils show basic pH, they are low to moderate limestone. Organic matter levels are extremely low to low. Physically textures are fine silty fine to silty clay. The retention capacity ranges from 22.29% to 32.77% and hygroscopic humidity (varying from 0.76 to 3.62). The root architecture is essentially influenced by the physical parameters of the soil. The pistachio Atlas youth and show how well individual pivots, with fairly deep penetration. The shallow roots are also well developed. The elderly have a mixed root system. High rates of sand influence root architecture, reducing compaction and thus facilitate deep penetration of the pivots and the significant development of superficial roots.

Keywords: *Pistacia atlantica* Desf. ; Physical and chemical properties of the soil; root architecture; Dayate El Gouffa, Laghouat; Algeria.