

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE
DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT**

**FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE**



Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de MAGISTER dans le cadre de

L'ECOLE DOCTORALE

EN : SCIENCES DE LA NATURE

Spécialité : Ecologie Végétale

Option : Dynamique Des Ecosystèmes Et Environnement

Par : BOUBRIMA Aridj

Thème :

**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.**

Soutenu publiquement, le : 02/11/2014, devant le jury composé de :

M. OUINTEN M. , Maître de Conférence A à l'UATL,	Président
Mme SMAÏL-SAADOUN N. , Professeur à l'UMMTO,	Rapporteur
Mme KADI-HANIFI H. , Professeur à l'USTHB,	Examinatrice
Mme BENHOUHOU S. , Professeur à l'ENSA,	Examinatrice

Promotion : 2011/2012

Résumé

Pistacia atlantica est un assez grand arbre spontané très massif et spectaculaire appartenant à la famille des Anacardiaceae. En Algérie, il triomphe à la bordure du Sahara dans des dépressions alluvionnaires non salées parsemées dans le Plateau saharien constituant ainsi une bande qu'on appelle « région des dayas ». Dans ces dayas à *Ziziphetum*, le pistachier de l'Atlas grandit dans les touffes de jujubier sauvage. Dans le but de caractériser le système racinaire de cette essence en fonction des propriétés physico-chimiques du sol sous-jacent, deux populations du Plateau Saharien ont été étudiées, une dans la région de Hassi Delâa (dayate Saadi), une autre dans la région de Timzerth (dayate Aïat). L'évolution du système racinaire reste en fonction de l'âge dans l'ensemble très similaire dans les deux dayas. Le comportement souterrain du pistachier de l'Atlas s'exprime à l'âge jeune par un pivot orthogéotrope rectiligne portant plusieurs racines latérales et fines, il évolue par la suite en un système racinaire vigoureux à enracinement superficiel et profond. Entre les deux stades de développement, le pistachier de l'Atlas adopte un comportement intermédiaire, le pivot dégénère et se fourche en racines moyennement épaisses. Les différences qu'existent entre les deux populations étudiées sont dues au sol qui conditionne le développement racinaire. A dayate Saadi, le sol, plus limoneux et argileux qu'à dayate Aïat, reste moite, les racines des sujets jeunes dans ce cas sont plus épaisses, peu ramifiées, moins longues et colonisent plutôt les niveaux superficiels du sol, l'enracinement est ainsi qualifié de superficiel. A dayate Aïat, le sol est meuble à texture sablo-limoneuse, il favorise l'enracinement profond et superficiel chez les jeunes sujets, car moins humide, les racines sont moyennement épaisses à extension latérale et verticale considérables et très ramifiées. Concernant les sujets âgés dans les deux dayas, la croissance radiale est favorisée par rapport à l'allongement racinaire, les racines sont vigoureuses et superficielles, mais plongent en profondeur, l'enracinement est alors mixte : superficiel et profond. Le pistachier de l'Atlas adopte une stratégie d'occupation du milieu souterrain adaptée à la nature du sol et à son espèce nurse (*Ziziphus lotus*). Cette plasticité souterraine permet à cet arbre de vaincre les milieux les plus arides.

Mots clés : *Pistacia atlantica*, système racinaire, sol, adaptation à l'aridité, plante nurse, compétition, facilitation, daya, nebkha, Laghouat, Algérie.

Summary

Pistacia atlantica is a very massive and spectacular spontaneous tree that belongs to the family of Anacardiaceae. In Algeria, it triumphs at the edge of the Sahara in an unsalted alluvial depressions scattered in the Saharian Plateau forming a band called "Dayas region", where it grows in wild jujube's tufts. In order to characterize the root system of this species in relation with the physicochemical properties of the underlying soil, two wild populations of Atlas pistachio were studied, in the region of Hassi Delâa (dayate Saadi), and Timzerth (dayate Aïat). The root system evolution remains similar according to the age in both Dayas. At the early age, Atlas pistachio's underground behaviour is expressed by a rectilinear orthotropic pivot supporting several lateral and fine roots. Subsequently, it evolved into a vigorous shallow and deep rooting system. Between these two development stages, the pivot degenerates and forks medium thick roots. However, some differences were found among the study populations due to soil that guides root development. At dayate Saadi, the soil, more silty and clay than dayate Aïat soil, retains moisture, in this case, young trees roots are thicker, shorter and slightly branched, they colonize the upper soil layers, the rooting system is qualified as superficial. At dayate Aïat, the soil is sandy-loam, so less wet moist, it promotes deep and shallow rooting in young trees, the roots highly branched have a medium thickness and a large lateral and vertical expansion. For older trees in both Dayas, radial growth is more favored than root elongation, the roots are vigorous and superficial but reach the depth, thus, rooting is mixed, it has two dimensions: shallow and deep. The Atlas pistachio adopts an underground occupation strategy suited to the nature of the soil and to a nurse species (*Ziziphus lotus*). This underground plasticity allows this tree to overcome the harshest environments.

Keywords: *Pistacia atlantica*, root system, soil, adaptation to drought, plant-nurse, competition, facilitation, daya, nebkha, Laghouat, Algeria.

ملخص

Pistacia atlantica شجرة عفوية ضخمة جدا تنتمي الى عائلة Anacardiaceae. تحتل في الجزائر المنخفضات الرسوبية الغير مالحة و المنتشرة في هضبة الصحراء مشكلة شريطا يسمى "منطقة الضايات" أين بنمو في تكتلات العناب البري. تمت دراسة النظام الجذري لهذا النوع حسب الخصائص الفيزيائية للتربة الضمنية لفئتين من هذه المنطقة جنوب ولاية الأغواط، الأولى في ضواحي حاسي الدلاعة (ضاية السعدي)، أما الأخرى ضاحية تيمزغت (ضاية عياط). تطور النظام الجذري حسب العمر مشابه جدا في كلتا الضايتين. يتم التعبير عن السلوك تحت الأرضي للبطم منذ الصغر من خلال جذر عمودي محوري حامل للعديد من الجذور الجانبية الرفيعة، يتطور لاحقا إلى نظام جذري قوي سطحي و عميق. بين هاتين المرحلتين وأطلس الفستق يتبنى سلوكا بسيطا، يضمحل الجذر المحوري متفردا إلى جذور متوسطة السمك. أوجه اللا تشابه في النمو الجذري بين الشجيرات تعود إلى ظروف التربة. تمتاز التربة في ضاية السعدي بوجود الطمي والطين أكثر من أترية ضاية عياط ، فتبقى رطبة مما يجعل الجذور أكثر سمكا و أقل تشعبا و طولا عند الأشجار الصغيرة محتلة المستويات العليا للتربة، في هذه الحالة يعتبر النظام سطحيًا. أما فيما يخص ضاية عياط ، فالتربة الرملية الفضفاضة تشجع الجذور العميقة والسطحية عند الأشجار الصغيرة بسبب قلة الرطوبة، الجذور تبقى متوسطة السمك، ذات مدى أفقي وعمودي كبيرين و ذات تشعب كثيف. بالنسبة للأشجار البالغة في كل من الضايات المدروسة، النمو الجذري العرضي يداري الاستطالة الجذرية، الجذور قوية و سطحية ولكنها تغوص في الأعماق، التجذير يعتبر اذا مختلطا: سطحي وعميق. البطم يعتمد في استعمار البيئة تحت الأرضية على استراتيجية تتناسب مع طبيعة التربة و سدره اللوتس (*Z. lotus*). النوع *Pistacia atlantica* يملك لدونة سرية تسمح له بالتغلب على أقسى البيئات.

كلمات السر:

Pistacia atlantica، النظام الجذري، التربة، التكيف مع الجفاف، المنافسة، التسهيل، ضاية، نبخة، الأغواط، الجزائر.

«Les arbres aux racines profondes sont ceux qui montent haut »

Frédéric Mistral

Remerciements

Je remercie Dieu le Miséricordieux de m'avoir donnée Foi, volonté, et courage pour atteindre mon objectif.

La présente étude n'aurait pas été possible sans le bienveillant soutien de certaines personnes, et je ne suis pas non plus capable de dire dans les mots qui conviennent, le rôle qu'elles ont pu jouer à mes côtés pour en arriver là. Cependant, je voudrais les prier d'accueillir ici tous mes sentiments de gratitude qui viennent du fond de mon cœur, en acceptant mes remerciements.

Mes premiers remerciements vont d'abord à ma directrice de thèse, le professeur SMAÏL-SAADOUN Noria à l'Université Mouloud Maameri qui a accepté de m'encadrer, et qui m'a accompagné tout le long de ma formation, je la remercie pour son savoir, sa patience, ses conseils, ses encouragements et son énergie qui m'ont guidé, motivé et entraîné dans cette aventure fort sympathique sur le terrain et au laboratoire; pour son enthousiasme de la recherche scientifique qu'elle a su me transmettre tout au long de la période du travail afin que ce travail puisse aboutir à ce qu'il est aujourd'hui. Sa disponibilité et ses généreux secours au cours de certains de mes moments difficiles ont été d'une très grande qualité, et d'un immense réconfort.

J'adresse un retentissant hommage à mon père BOUBRIMA Youcef Enseignant à l'Université de Laghouat, pour qui entre autres, j'ai spécialement porté cette tenue aujourd'hui, et à ma mère, pour avoir pu cimenter ma vie dans un douillet cocon familial, fait d'amour, de bravoure et de zèle au travail. Leur aide, leur présence et leurs incessantes prières ont joué un rôle très important afin que je puisse accomplir mon travail. Hommage, respect et sincères remerciements.

Je réserve une pensée spéciale à mon fiancé pour sa compréhension, ses encouragements, sa patience, son assistance, et ses sacrifices le long de ma formation. Ce travail a aussi été réalisé grâce à toi, tes précieux conseils, ton aide, ta générosité et ton soutien ont été toujours

pour moi une source de courage et de confiance. Que tu trouves ici le témoignage de ma profonde et sincère reconnaissance.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à M. OUINTEN Mohamed, maître de conférence A à l'Université Ammar Telidji de Laghouat (l'UATL) d'avoir accepté de présider mon jury. Je le remercie aussi pour sa collaboration et tout l'effort fourni afin d'assurer le bon déroulement de l'école doctorale. Ses conseils utiles m'ont aidé dans mon parcours et méritent d'être soulignés.

Je remercie profondément Mme. KADI-HANIFI Halima, professeur à l'Université des Sciences et Technologies Houari Boumedienne (l'USTHB), Alger, d'avoir accepté de siéger à mon jury et d'évaluer mon travail. Mes remerciements vont aussi à Mme. BENHOUGHOU Salima, professeur à l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie (l'ENSA), Alger, qui a accepté d'examiner mon travail. Je vous remercie infiniment pour l'honneur que vous me faites d'évaluer ce mémoire, et d'avoir accepté de parcourir des kilomètres afin que mon travail s'achève. Veuillez trouver ici l'expression de ma sincère reconnaissance.

Je remercie sincèrement Mme KADIK Lila, professeur à l'Université de Sciences et Technologies Houari Boumedienne (l'USTHB) ainsi que tous les enseignants qui ont intervenu et contribué dans l'école doctorale : écologie végétale. Je remercie également mes enseignants du département de biologie de Laghouat qui, à chaque étape de mon cursus de formation universitaire, m'ont prodigué d'utiles conseils et m'ont aidé à évoluer: il s'agit de M. OUINTEN Mohamed, M. KHADIR Habib, M. GUENANE Hamid, et Mme FERMELI-BENDAOUZ Zohra, qui, non seulement ont été parmi mes premiers professeurs à l'Université de Laghouat, mais encore m'ont toujours marqué par leur rigueur au travail, ceux sont un exemple pour moi.

Mon travail de recherche a été particulièrement facilité par la coopération de plusieurs établissements, je tiens à exprimer tout particulièrement mes vifs remerciements et ma reconnaissance :

 *à Monsieur le conservateur des forêts de Laghouat pour tous les moyens qu'il a mis à ma disposition lors de la réalisation de ce travail; sans son aide précieuse je n'aurai jamais pu réaliser ce travail;*

- 🇩🇿 aux ingénieurs de Laboratoire « Ressources Naturelles » de l'Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou pour leur aide, sympathie, et complicité pendant que j'effectuais mes expérimentations, Mme SEKHI Lila, Mme BELKEBIR Amel et Mme FALI Liza, je vous remercie énormément. Et à cet égard, mes sincères remerciements vont particulièrement aux enseignants chercheurs intégrés dans ce laboratoire qui n'ont pas cessé de m'encourager, il s'agit de M. LIMANE, Mme NAÏT-KACI Malika, Mme ZEROUKI Nacéra, ainsi que Mme et M. LARBI;
- 🇩🇿 à l'ingénieur de laboratoire « Physique du sol », faculté des sciences agronomiques à l'Université Hadj Lakhdar de Batna pour le temps qu'il a mis à me transmettre ses connaissances en analyses pédologiques, votre aide est inestimable pour moi;
- 🇩🇿 aux bibliothécaires de la bibliothèque centrale de l'USTHB, et spécialement à Monsieur SAHNOUN, le bibliothécaire du laboratoire de recherche sur les zones arides (LRZA) à la Fac Centrale d'Alger.

Mes remerciements seraient incomplets, si je ne fais pas mention de ma chère sœur, je t'adresse mes chaleureux remerciements, Imène, sans toi je n'en serais pas là aujourd'hui. De même, je remercie tous les membres de ma famille, qu'ils trouvent ici toute ma reconnaissance pour le soutien que chacun d'eux a pu apporter pour faire aboutir ce rêve.

Je suis profondément reconnaissante à ma copine ZAREB Amina qui m'a accompagné sur le terrain et m'a aidé lors de ma pratique au laboratoire, ses conseils et encouragements m'ont toujours réconforté.

Je n'oublie pas ma chère ACI Louiza qui m'a supporté de toute son énergie, qui a été un soutien déterminant pour moi et avec qui j'avais passé des moments inoubliables, agréables et fructueux; merci pour ta complicité, ton aide, tes encouragements et surtout ta présence, j'ai eu beaucoup de plaisir à te reconnaître et à travailler avec toi ; le cadre de travail était idéal, merci infiniment pour tous les moments que tu m'as accordé.

Je désire en outre remercier mes amies Sabra et Mira, Myriam et Nour El Houda, , Milène et Chaveha pour leur encouragements, leur sympathie et leur amitié.

Mes remerciements vont aussi à tous mes amis de l'école doctorale, qu'ils soient à Laghouat, à Djelfa ou à Alger, je sais qu'ils sont nombreux, je cite particulièrement : BENMEBAREK Hadjira, SAADI Saïda, MOULAI Zoulikha, BELLALA Fahima, BENTALEB Amina, MELOUANI Naziha, CHOKRI Karima, KADDOUR Saïd, LABIAD Redouane, BOUMEDIENNE Abdelmadjid et KHOUDJA Saad; vous m'avez tous soutenu par votre encouragement.

Au demeurant, que tous ceux dont les noms ne figurent pas sur cette liste et qui m'ont soutenu d'une manière ou d'une autre sachent que leur apport spirituel et matériel n'a pas été vain; trouvez ici le témoignage de ma sincère gratitude, je vous adresse tous mes sentiments de reconnaissance renouvelée.

À tous ceux qui ont voulu me voir, un jour, progresser !

Liste des figures

Liste des figures

Figure 01. Carte de distribution de <i>Pistacia atlantica</i> Desf. dans le monde (modifié d'après Alyafi (1979) ; Browicz (1988) ; Khaldi (comm.pers. in Zohary, 1996) et Belhadj (2007)).....	09
Figure 02. Aire de répartition schématique du pistachier de l'Atlas (<i>Pistacia atlantica</i> Desf.) en région méditerranéenne (Quézel & Médail, 2003).....	10
Figure 03. Répartition de <i>Pistacia atlantica</i> au nord algéro-tunisien (Monjauze, 1968).....	11
Figure 04. Pistachier de l'Atlas de la région de Timzerth (Laghouat).....	12
Figure 05. Hypertrophie du système racinaire du pistachier de l'Atlas à Béni Ounif (Aït Slimane, 2004).....	13
Figure 06. Feuilles de pistachier de l'Atlas de la région de Hassi Delâa (Laghouat).....	14
Figure 07. Morphologie de la feuille de <i>Pistacia atlantica</i> (Zohary, 1952).....	14
Figure 08. Inflorescences mâles (à gauche) et fruits en maturation (à droite) du pistachier de l'Atlas (région de Hassi Delâa, Laghouat).....	16
Figure 09. Fruits mûrs du pistachier de l'Atlas (Limane, 2009).....	16
Figure 10. Limites géographiques et subdivisions administratives de la wilaya de Laghouat (Anonyme 3, nd).....	24
Figure 11. Zones naturelles de la wilaya de Laghouat (Anonyme 5, 2006).....	25
Figure 12. Etagement bioclimatique de la wilaya de Laghouat (Silaâ, 2012).....	27
Figure 13. Genèse et végétation des dayas (Taïbi et <i>al.</i> , 1999).....	31
Figure 14. Image satellite montrant la localisation des stations d'étude par rapport à la ville de Laghouat (GoogleEarth 2014).....	33
Figure 15. Sujet 01, dayate Saadi, Hassi Delâa.....	34
Figure 16. Sujet 02, dayate Saadi, Hassi Delâa.....	35

Liste des figures

Figure 17. Sujet 03, dayate Saadi, Hassi Delâa.....	36
Figure 18. Sujet 04, dayate Saadi, Hassi Delâa.....	36
Figure 19. Sujet 05, dayate Saadi, Hassi Delâa.....	37
Figure 20. Sujet 06, dayate Saadi, Hassi Delâa.....	38
Figure 21. Sujet 01, dayate Aïat, Timzerth.....	39
Figure 22. Sujet 02, dayate Aïat, Timzerth.....	40
Figure 23. Sujet 03 et sujet 04, dayate Aïat, Timzerth.....	41
Figure 24. Illustration du tronc du sujet 04, dayate Aïat, Timzerth.....	42
Figure 25. Sujet 05, dayate Aïat, Timzerth.....	43
Figure 26. Illustration de la partie aérienne du sujet 05, dayate Aïat, Timzerth.....	43
Figure 27. Sujet 06, dayate Aïat, Timzerth.....	44
Figure 28. Aires d'influence des stations météorologiques de la wilaya de Laghouat (Mahi, 2014).....	46
Figure 29. Histogramme des moyennes mensuelles de précipitations des régions d'étude (2002-2012) (ONM-Alger).....	47
Figure 30. Histogramme des moyennes mensuelles des températures des régions d'étude (2002-2012) (ONM-Alger).....	49
Figure 31. Situation des stations d'étude sur l'abaque de l'indice d'aridité de De Martonne.....	51
Figure 32. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen des deux stations d'étude (2002-2012) (ONM-Alger).....	53

Liste des figures

Figure 33. Zonation écoclimatique des stations d'étude selon la méthode de Le Houérou (1995).....	55
Figure 34. Zonation écoclimatique de Laghouat dans l'hypothèse d'une augmentation de la température de 3°C à l'horizon de 2050 (Le Houérou, 1995).....	57
Figure 35. Différents stades de développement chronologique du système racinaire chez la majorité des ligneux (Raimbault, 2003).....	64
Figure 36. Schéma général du système racinaire d'un arbre adulte (Drénou, 2006).....	66
Figure 37. Variation d'expressions d'une architecture racinaire (Drénou, 2006).....	69
Figure 38. Quelques architectures racinaires (d'après Kölster et <i>al.</i> , 1968 <i>in</i> Drénou, 1999).....	72
Figure 39. Système racinaire intensif (Pouget, 1980).....	75
Figure 40. Système racinaire à extension horizontale (Pouget, 1980).....	75
Figure 41. Système racinaire à extension verticale : <i>Armeria plantagine</i> (Lemée, 1978)	76
Figure 42. Système racinaire à extension horizontale et verticale (Pouget, 1980).....	77
Figure 43. Hiérarchisation racinaires chez les ligneux des zones arides (Hellmers et <i>al.</i> , 1955 ; Hairiah & Van Noordwijk 1986).....	78
Figure 44. Stades d'évolution du système racinaire chez le pistachier de l'Atlas (Limane, 2009).....	80
Figure 45. Étapes d'une greffe racinaire naturelle (Drénou, 2006).....	82
Figure 46. Concurrence racinaire entre arbres (Drénou, 2006).....	84
Figure 47. Profil racinaire et croquis du premier sujet (dayate Saadi, Hassi Delâa).....	86
Figure 48. Profil racinaire et croquis du deuxième sujet (dayate Saadi, Hassi Delâa).....	89

Liste des figures

Figure 49. Profil racinaire et croquis du troisième sujet (dayate Saadi, Hassi Delâa).....	91
Figure 50. Profil racinaire et croquis du quatrième sujet (dayate Saadi, Hassi Delâa).....	93
Figure 51. Profil racinaire et croquis du cinquième sujet (dayate Saadi, Hassi Delâa).....	96
Figure 52. Profil racinaire et croquis du sixième sujet (dayate Saadi, Hassi Delâa).....	98
Figure 53. Profil racinaire et croquis du premier sujet (dayate Aïat, Timzerth).....	100
Figure 54. Détail du premier lot de racines du premier sujet (dayate Aïat, Timzerth).....	101
Figure 55. Détail du premier lot de racines du premier sujet (dayate Aïat, Timzerth).....	102
Figure 56. Détail du premier lot de racines du premier sujet (dayate Aïat, Timzerth).....	103
Figure 57. Détail du deuxième lot de racines du premier sujet (dayate Aïat, Timzerth).....	104
Figure 58. Profil racinaire et croquis du deuxième sujet (dayate Aïat, Timzerth).....	106
Figure 59. Profil racinaire et croquis du deuxième sujet, vue postérieure (dayate Aïat, Timzerth).....	107
Figure 60. Profil racinaire et croquis du troisième sujet (dayate Aïat, Timzerth).....	110
Figure 61. Détails de la racine R1-1 et de la racine R1-4 du troisième sujet (dayate Aïat, Timzerth).....	111
Figure 62. Profil racinaire et croquis du quatrième sujet (dayate Aïat, Timzerth).....	113
Figure 63. Profil racinaire et croquis du cinquième sujet (dayate Aïat, Timzerth).....	115
Figure 64. Profil racinaire et croquis du premier sujet, vue de profil (dayate Aïat, Timzerth).....	116
Figure 65. Profil racinaire et croquis du sixième sujet (dayate Aïat, Timzerth).....	118
Figure 66. Profil racinaire et croquis du sixième sujet (dayate Aïat, Timzerth).....	119

Liste des figures

Figure 67. Histogramme de distribution des longueurs racinaires (dayate Saadi, Hassi Delâa)....	121
Figure 68. Histogramme de distribution des longueurs racinaires (dayate Aïat, Timzerth).....	123
Figure 69. Histogramme de distribution des circonférences moyennes racinaires (dayate Saadi, Hassi Delâa).....	125
Figure 70. Histogramme de distribution des circonférences moyennes racinaires (dayate Aïat, Timzerth).....	127
Figure 71. Histogramme de distribution du nombre de ramifications racinaires (dayate Saadi, Hassi Delâa).....	128
Figure 72. Histogramme de distribution du nombre de ramifications racinaire (dayate Aïat, Timzerth).....	130
Figure 73. ACP concernant les différentes variables racinaires étudiées à dayate Saadi, Hassi Delâa.....	136
Figure 74. ACP concernant les différentes variables racinaires étudiées à dayate Aïat, Timzerth.....	139
Figure 75. ACP concernant les différentes variables racinaires étudiées pour les deux dayas	142
Figure 76. Carte des régions arides du globe (Unesco, 1979 in Rognon, 1994b).....	151
Figure 77. Sols des dayas (Pouget, 1980a).....	160
Figure 78. Procédé pour la détermination de la capacité de rétention du sol (Limane, 2009).....	163
Figure 79. Proportion des fractions granulométriques par niveau dans chaque sol étudié, dayate Saadi, Hassi Delâa.....	167
Figure 80. Fractions granulométriques par niveau dans chaque sol étudié à dayate Aïat, Timzerth.....	170

Liste des figures

Figure 81. Humidités hygroscopiques des différents niveaux des profils 1, 2, 3, 4.5 et 6, dayate Saadi, Hassi Delâa.....	176
Figure 82. Capacités de rétention des différents niveaux de dayate Saadi, Hassi Delâa.....	178
Figure 83. Humidités hygroscopiques des différents niveaux des profils de dayate Aïat, Timzerth.....	180
Figure 84. Capacités de rétention des différents niveaux des profils de dayate Aïat, Timzerth.....	182
Figure 85. ACP concernant les différentes variables édaphiques étudiées à dayate Saadi, Hassi Delâa	209
Figure 86. ACP concernant les différentes variables édaphiques étudiées à dayate Aïat, Timzerth.....	212
Figure 87. ACP comparative concernant les différentes variables édaphiques étudiées pour les deux dayas	215
Figure 88. ACP concernant les différentes variables racinaires et édaphiques étudiées à dayate Saadi, Hassi Delâa.....	223
Figure 89. ACP concernant les différentes variables racinaires et édaphiques étudiées à dayate Aïat, Timzerth	226
Figure 90. ACP concernant les variables étudiées pour les populations d'El Mergueb, Timzerth et Hassi Delâa.....	231

Liste des figures

Tableau 01. Caractéristiques des stations de référence (Mahi, 2014).....	45
Tableau 02. Précipitations mensuelles moyennes (mm) des stations d'étude (2002-2012) (ONM-Alger)	47
Tableau 03. Températures (°C) des stations d'étude (2002-2012) (ONM-Alger).....	49
Tableau 04. Données et variables calculées utilisés dans la classification écoclimatique de Le Houérou (1995) des deux stations d'étude.....	54
Tableau 05. Données et variables utilisés dans la classification écoclimatique de Laghouat selon Le Houérou (1990)	54
Tableau 06. Classification des architectures racinaires adultes de quelques espèces ligneuses (Drénou, 2006).....	68
Tableau 07. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du premier profil, dayate Saadi, Hassi Delâa	87
Tableau 08. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du deuxième profil, dayate Saadi, Hassi delâa	88
Tableau 09. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du troisième profil, dayate Saadi, Hassi Delâa.....	90
Tableau 10. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du quatrième profil, dayate Saadi, Hassi Delâa.....	94
Tableau 11. Mesuresdes différentes caractéristiques racinaires du cinquième profil, dayate Saadi, Hassi Delâa.....	95
Tableau 12. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du sixième profil, dayate Saadi, Hassi Delâa.....	97
Tableau 13. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du premier profil, dayate Aïat, Timzerth.....	105

Liste des tableaux

Tableau 14. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du deuxième profil, dayate Aïat, Timzerth.....	108
Tableau 15. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du troisième profil racinaire, dayate Aïat, Timzerth.....	109
Tableau 16. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du quatrième profil, dayate Aïat, Timzerth.....	112
Tableau 17. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du cinquième profil racinaire, dayate Aïat, Timzerth.....	117
Tableau 18. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du sixième profil, dayate Aïat, Timzerth.....	120
Tableau 19. Répartition des racines par classe de longueur, dayate Saadi, Hassi Delâa.....	121
Tableau 20. Paramètres de normalité des longueurs racinaires, dayate Saadi, Hassi Delâa.....	122
Tableau 21. Répartition des racines par classe de longueur, dayate Aïat, Timzerth.....	123
Tableau 22. Paramètres de normalité des longueurs racinaires, dayate Aïat, Timzerth.....	124
Tableau 23. Répartition des racines par classe de circonférences moyennes, dayate Saadi, Hassi Delâa.	125
Tableau 24. Paramètres de dispersion des circonférences moyennes racinaires, dayate Saadi, Hassi Delâa.	126
Tableau 25. Répartition des racines par classe de circonférences moyennes, dayate Aïat, Timzerth.....	126
Tableau 26. Paramètres de dispersion des circonférences moyennes racinaires, dayate Aïat, Timzerth.....	127

Liste des tableaux

Tableau 27. Répartition des racines par classe de nombre de ramifications totales racinaires, dayate Saadi, Hassi Delâa.....	128
Tableau 28. Paramètres de dispersion des ramifications totales racinaires, dayate Saadi, Hassi Delâa.	129
Tableau 29. Répartition des racines par classe de nombre de ramifications totales racinaires, dayate Aïat, Timzerth.	129
Tableau 30. Paramètres de dispersion des ramifications totales racinaires, dayate Aïat, Timzerth.....	130
Tableau 31. Résultats de l'ANOVA appliquée aux paramètres racinaires de dayate Saadi, Hassi Delâa.....	132
Tableau 32. Résultats de l'ANOVA appliquée aux paramètres racinaires de dayate Aïat, Timzerth.....	132
Tableau 33. Résultats de l'ANOVA appliquée aux paramètres racinaires des deux dayas d'étude.....	133
Tableau 34. Données de l'ACP 01.....	134
Tableau 35. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres racinaires étudiés à dayate Saadi, Hassi Delâa.....	134
Tableau 36. Données de l'ACP 02.....	137
Tableau 37. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres racinaires étudiés à dayate Aïat, Timzerth.....	138
Tableau 38. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres racinaires dans les deux dayas étudiées.....	140
Tableau 39. Fractions granulométriques des niveaux des sols étudiés et leur texture correspondantes, dayate Saadi, Hassi Delâa.....	166

Liste des tableaux

Tableau 40. Fractions granulométriques des niveaux des sols étudiés et leur texture correspondantes, dayate Aïat, Timzerth.....	169
Tableau 41. Texture des profils de dayate Saadi, Hassi Delâa.....	171
Tableau 42. Texture des profils de dayate Aïat, Timzerth.....	171
Tableau 43. Texture des sols sous pistachier précédemment étudiés.....	173
Tableau 44. Humidité hygroscopique (H.H) et texture correspondante des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate Saadi, Hassi Delâa.....	174
Tableau 45. Capacité de rétention (CR) et texture correspondante des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate Saadi, Hassi Delâa.....	175
Tableau 46. Humidité hygroscopique (H.H) et texture correspondante des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate Aïat, Timzerth.....	179
Tableau 47. Capacité de rétention (CR) et texture correspondante des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate Aïat, Timzerth.....	181
Tableau 48. Moyennes des humidités hygroscopiques (H.H) et textures correspondantes des profils de dayate Saadi, Hassi Delâa.....	183
Tableau 49. Moyennes des humidités hygroscopiques (H.H) et textures correspondantes des profils de dayate Aïat, Timzerth.....	183
Tableau 50. Intervalles des humidités hygroscopiques des sols sous pistachier de l'Atlas des travaux précédents.....	184
Tableau 51. Moyennes des capacités de rétention (CR) et textures correspondantes des profils de dayate Saadi, Hassi Delâa.....	184
Tableau 52. Moyennes des capacités de rétention (CR) et textures correspondantes des profils de dayate Aïat, Timzerth.....	185
Tableau 53. Humidités des sols en fonction de la texture d'après quelques auteurs.....	186

Liste des tableaux

Tableau 54. Moyennes des humidités obtenues pour chaque texture de sol étudié.....	186
Tableau 55. Capacités de rétention des sols sous pistachier de l'Atlas des travaux précédents.....	187
Tableau 56. Normes d'appréciation du pH du sol (Baize, 2000).....	188
Tableau 57. pH des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate Saadi, Hassi Delâa.....	189
Tableau 58. pH des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate Aïat, Timzerth.....	190
Tableau 59. Moyennes des pH des sols de dayate Saadi, Hassi Delâa.....	190
Tableau 60. Moyennes des pH des sols de dayate Aïat, Timzerth.....	190
Tableau 61. Intervalles de pH des sols sous pistachier de l'Atlas des travaux précédents.....	191
Tableau 62. Normes d'appréciation du calcaire total du sol (Baize, 2000).....	191
Tableau 63. Taux de calcaire total (CaCO_3) et pH des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate Saadi, Hassi Delâa.....	192
Tableau 64. Taux de calcaire total (CaCO_3) et pH des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate Aïat, Timzerth.....	193
Tableau 65. Moyennes des taux de calcaire total et pH des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate Saadi, Hassi Delâa.....	193
Tableau 66. Moyennes des taux de calcaire total et pH des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate Aïat, Timzerth.....	194
Tableau 67. Taux de calcaire total des sols sous pistachier de l'Atlas des travaux précédents.....	196
Tableau 68. Normes d'appréciation de la matière organique de sol (Soltner, 1982).....	197

Liste des tableaux

Tableau 69. Taux de carbone (C), de matière organique (M.O), de CaCO_3 total et pH des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate Saadi, Hassi Delâa.....	198
Tableau 70. Taux de carbone (C), de matière organique (M.O), de CaCO_3 total et pH des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate Aïat, Timzerth.....	199
Tableau 71. Moyenne des taux de matière organique (M.O) des profils de dayate Saadi, Hassi Delâa.....	199
Tableau 72. Moyenne des taux de matière organique (M.O) des profils de dayate Aïat, Timzerth.....	200
Tableau 73. Taux de matière organique (MO) des sols sous pistachiers de l'Atlas précédemment étudiés.....	201
Tableau 74. Paramètres de forme des différentes variables édaphiques étudiées.....	204
Tableau 75. Résultats de l'ANOVA appliquée sur les paramètres physico-chimiques des niveaux de sols de dayate Saadi, Hassi Delâa.....	205
Tableau 76. Résultats de l'ANOVA appliquée sur les paramètres physico-chimiques des niveaux de sols de dayate Aïat, Timzerth.....	206
Tableau 77. Résultats de l'ANOVA appliquée sur les paramètres physico-chimiques des niveaux de sols des deux dayas d'étude.....	206
Tableau 78. Données de l'ACP 04.....	207
Tableau 79. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres physico-chimiques des sols étudiés à dayate Saadi, Hassi Delâa.....	208
Tableau 80. Données de l'ACP 05.....	210
Tableau 81. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres physico-chimiques des sols étudiés à dayate Aïat, Timzerth.....	211

Liste des tableaux

Tableau 82. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres physico-chimiques des sols étudiés dans les deux dayas étudiées.....	214
Tableau 83. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres racinaires et édaphiques étudiés à dayate Saadi, Hassi Delâa.....	221
Tableau 84. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres racinaires et édaphiques étudiés à dayate Saadi, Hassi Delâa.....	225
Tableau 85. Données de l'ACP 09.....	228
Tableau 86. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres racinaires et édaphiques étudiés lors de l'ACP 09.....	230

Sommaire

Introduction générale :

Contexte de l'étude et

problématique

Introduction générale : contexte de l'étude et problématique	01
Chapitre 1. Le pistachier de l'Atlas	07
1. Introduction	08
2. Systématique	08
3. Répartition	08
4. Description	11
5. Ecologie	17
6. Utilisation	20
7. Conclusion	21
Chapitre 2. Région d'étude	22
1. Introduction	23
2. Région de Laghouat	23
3. Région d'étude	28
3.1. Plateau des dayas	28
3.2. Stations d'étude	32
3.2.1. Positionnement des dayas	32
3.2.2. Description des sujets	32
3.2.2.1. Dayate Saadi, Hassi Delâa	32
3.2.2.2. Dayate Aïat, Timzerth	38
3.3. Bioclimat	44
3.3.1. Précipitations	45
3.3.2. Températures	48
3.3.3. Synthèse bioclimatique	50
3.3.3.1. Indice de continentalité	50
3.3.3.2. Indice d'aridité de De Martonne	50
3.3.3.3. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953)	52
3.3.3.4. Zonation écoclimatique de Le Houérou (1995)	53
4. Conclusion	58

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas	59
1. Introduction	60
2. Racines	61
3. Systèmes racinaires	62
3.1. Mise en place d'un système racinaire	62
3.2. Architecture racinaire	65
3.3. Variation d'expression d'une architecture racinaire	66
3.4. Typologie racinaire	69
3.5. Systèmes racinaires chez les végétaux des zones arides	74
4. Architecture racinaire du pistachier de l'Atlas	79
5. Interactions racinaires	81
5.1. Interactions positives	81
5.2. Interactions négatives	82
6. Matériel et méthodes	83
7. Résultats et discussion	85
7.1. Description et caractérisation des profils racinaires étudiés	85
7.1.1. Dayate Saadi, Hassi Delâa	85
7.1.1.1. Sujet 1	85
7.1.1.2. Sujet 2	88
7.1.1.3. Sujet 3	90
7.1.1.4. Sujet 4	92
7.1.1.5. Sujet 5	94
7.1.1.6. Sujet 6	97
7.1.2. Dayate Aïat, Timzerth	99
7.1.2.1. Sujet 1	99
7.1.2.2. Sujet 2	105
7.1.2.3. Sujet 3	109
7.1.2.4. Sujet 4	112
7.1.2.5. Sujet 5	114
7.1.2.6. Sujet 6	117
7.2. Analyse statistique	120
7.2.1. Etude de la distribution des paramètres de morphométrie racinaire	120
7.2.1.1. Longueurs totales racinaires	121

7.2.1.1.1. Dayate Saadi, Hassi Delâa	121
7.2.1.1.2. Dayate Aïat, Timzerth	122
7.2.1.2. Circonférences moyennes racinaires	124
7.2.1.2.1. Dayate Saadi, Hassi Delâa	124
7.2.1.2.2. Dayate Aïat, Timzerth	126
7.2.1.3. Ramifications totales racinaires	128
7.2.1.3.1. Dayate Saadi, Hassi Delâa	128
7.2.1.3.2. Dayate Aïat, Timzerth	129
7.2.1.4. Conclusion	131
7.2.2. Analyse de la variance (ANOVA)	131
7.2.3. Analyse en composantes principales (ACP)	133
7.2.3.1. Relation entre l'ensemble de variables racinaires étudiées à dayate Saadi, Hassi Delâa : ACP 01	134
7.2.3.2. Relation entre l'ensemble de variables racinaires étudiées à dayate Aïat, Timzerth : ACP 02	137
7.2.3.3. Analyse des paramètres racinaires entre les deux dayas d'étude : ACP 03	140
7.3. Discussion	143
8. Conclusion	147
Chapitre 4. Sol sous-pistachier de l'Atlas	149
1. Introduction	150
2. Sols des zones arides	150
3. Sols des dayas	158
4. Sols sous-pistachier de l'Atlas	161
5. Matériel et méthodes	162
5.1. Analyse granulométrique	162
5.2. Indices d'humidité	162
5.2.1. Humidité hygroscopique	162
5.2.2. Capacité de rétention	163
5.3. pH eau de sol	164
5.4. Dosage du calcaire	164
5.5. Dosage du carbone organique	164

5.6. Analyse statistique	165
6. Résultats et discussion	165
6.1. Analyse granulométrique	165
6.1.1. Dayate Saadi, Hassi Delâa	165
6.1.2. Dayate Aïat, Timzerth	168
6.1.3. Discussion	171
6.2. Paramètres hydriques du sol	174
6.2.1. Dayate Saadi, Hassi Delâa	174
6.2.1.1. Humidité hygroscopique	174
6.2.1.2. Capacité de rétention	175
6.2.2. Dayate Aïat, Timzerth	177
6.2.2.1. Humidité hygroscopique	177
6.2.2.2. Capacité de rétention	179
6.2.3. Discussion des paramètres hydriques	183
6.2.3.1. Humidité hygroscopique	183
6.2.3.2. Capacité de rétention	184
6.2.3.3. Discussion	185
6.3. pH eau du sol	188
6.3.1. Dayate Saadi, Hassi Delâa	188
6.3.2. Dayate Aïat, Timzerth	189
6.3.3. Discussion	190
6.4. Calcaire total	191
6.4.1. Dayate Saadi, Hassi Delâa	192
6.4.2. Dayate Aïat, Timzerth	192
6.4.3. Discussion	193
6.5. Matière organique	197
6.5.1. Dayate Saadi, Hassi Delâa	197
6.5.2. Dayate Aïat, Timzerth	198
6.5.3. Discussion	199
7. Analyse statistique	203
7.1. Normalité des variables édaphiques étudiées	203
7.2. Analyse de la variance (ANOVA)	204
7.3. Analyses en composantes principales	207

7.3.1. Analyse en composantes principales à dayate Saadi, Hassi Delaâ : ACP 04	207
7.3.2. Analyse en composantes principales à dayate Aïat, Timzerth : ACP 05 ...	210
7.3.3. Analyse en composantes principales des sols étudiés : ACP 06.....	213
8. Conclusion	216
Chapitre 5. Interactions Racines-Sol sous pistachier de l'Atlas	218
1. Introduction	219
2. Interactions Racines-Sol sous-jacent	220
2.1. Relation entre l'ensemble de variables racinaires et les propriétés physicochimiques du sol sous-jacent à dayate Saadi, Hassi Delâa : ACP 07 ...	220
2.2. Relation entre l'ensemble de variables racinaires et les propriétés physicochimiques du sol sous-jacent à dayate Aïat, Timzerth : ACP 08	224
2.3. Etude Synthétique : ACP 09	229
3. Conclusion	240
Conclusion générale et Perspectives	242
Références bibliographiques	245

Introduction générale : contexte de l'étude et problématique

Les steppes du Nord de l'Afrique évoquent toujours de grandes étendues de plus de 60 millions d'hectares, couvertes d'une végétation basse et clairsemée (Le Houérou, 1995). Constituées par une bande littorale plus ou moins étroite en Égypte et en Libye, ces steppes prennent leur extension au Maghreb (Tunisie, Algérie et Maroc). Elles ont été soumises à une exploitation humaine plurimillénaire, sous forme de pratiques diverses variant en intensité en fonction du niveau d'aridité climatique, de la densité de population et de l'histoire locale des usages (Aïdoud et *al.*, 2006).

Actuellement, la superficie de ces terres immenses a connu une réduction causée principalement par la dégradation de la végétation et du sol (Benmohammadi et *al.*, 2000). Cette situation alarmante que subissent les parcours steppiques n'est pas récente et a été rapportée depuis plus d'un siècle (Le Houérou, 1969 ; Benmohammadi et *al.*, 2000), tout simplement à cause de la vocation historique des steppes : « le pastoralisme », dont les pratiques, assez voisines à travers toute la région steppique nord-africaine, s'écourtent à l'élevage extensif d'ovins et de caprins et aux cultures itinérantes (Vignet-Zunz, 1979). Ce mode de vie nomade obéissait à des règles strictes dictées par les fluctuations du climat dont dépendait pratiquement la totalité des ressources. L'Homme nomade ne cessait depuis lors à exploiter ces ressources dans l'espace et dans le temps (Aïdoud et *al.*, 2006).

Jusqu'à l'heure actuelle, l'homme a atténué l'exploitation des ressources steppiques, mais des changements particulièrement rapides et intenses se sont perpétués dans ces milieux, à cause des sécheresses récurrentes qui ont marqué cet écosystème au cours des quatre dernières décennies, et des politiques de gestion adoptées ainsi que les pratiques d'élevage et l'usage de la steppe (Khaloun, 2000 ; Bourbouze, 2006 ; Aïdoud et *al.*, 2006). Le Houérou (1995) attribue à l'Afrique du Nord et à elle seule, une avancée de la désertisation avec une proportion de 100.000 ha par année.

L'Algérie, quant à elle a vécu une multitude d'événements historiques pendant lesquels la diversité biologique a connu des atteintes et des agressions qui ne cessent de régresser. Les menaces de désertification qui entament chaque année des centaines d'hectares, l'explosion démographique, le développement socio-économique qui engendrent des besoins nouveaux de plus en plus croissants réduisent d'année en année les espaces naturels et les habitats. Ces écosystèmes naturels, réputés par la diversité, l'abondance et la variabilité des habitats, traversent actuellement une phase de dépeuplement causée par plusieurs agressions liées aux activités humaines. Les conséquences de ses agressions sur les milieux naturels a été

Introduction générale : contexte de l'étude et problématique

la disparition d'espèces ou la diminution alarmante de leurs effectifs (Abdelguerfi & Ramdane, 2003). Tel est le cas du pistachier de l'Atlas, qui se présente comme un pôle d'attrait les plus remarquables en Afrique du Nord et spécialement en Algérie. L'énorme masse végétale et la puissance d'implantation que ce phanérophyte représente ne permettent pas de le considérer comme un accessoire ou un acteur épisodique (Monjauze, 1968) ; son état de dégradation nécessite une prise en charge effective et immédiate (Monjauze, 1968 ; Belhadj, 1999 ; Benhassaini & Belkhodja, 2004 ; Benhassaini et *al.*, 2007 ; Limane et *al.*, 2014a et b).

Doté d'une remarquable ubiquité, le pistachier de l'Atlas est une essence de grande taille, de forme massive, de couvert puissant ; son enracinement est profond ; sa longévité est considérable. Toutes ces conditions sont propres à permettre partout, où la régénération de l'arbre est assurée, sa domination et sa permanence. Une résistance aux injures environnementales affermit cette prépondérance. Cet avantage n'est acquis que difficilement, car l'installation du pistachier de l'Atlas demande des conditions délicates depuis la germination, le jeune plant est sensible à toutes les atteintes malgré l'existence d'une strate protectrice lui assurant ainsi un microclimat très amorti. Comme bien des essences arborescentes adaptées aux climats arides, le pistachier de l'Atlas fait preuve d'un équilibre parcimonieux et proportionne sa végétation aux possibilités qui lui sont offertes. Privé de subsistance, il est susceptible de rester pendant des années à l'état de léthargie dans les stations relictuelles (Monjauze, 1968).

Monjauze (1968) assigne que la répartition de *Pistacia atlantica* fait ressentir qu'il occupait une grande place dans le passé. A cette époque, l'auteur remarqua déjà la disparition du bétoum dans les endroits où cette essence prospérait. Cependant cette élimination, dont l'homme est le premier responsable, a tardé, parce que ce destructeur contribuait par les labours et le défrichement à l'atteinte d'un certain équilibre responsable d'isoler l'essence dans des refuges, mais cela n'a fait qu'accélérer sa dégradation. Malgré les destructions, la permanence du pistachier de l'Atlas témoigne d'aptitudes de choix de cet arbre qui tient dans les milieux les plus chauds.

Le pistachier de l'Atlas révélait un meilleur équilibre dans l'étage aride, spécialement dans le pays des dayas au sud de Laghouat (Monjauze, 1968). Ces dépressions alluvionnaires qui accueillent des populations le pistachier de l'Atlas sont affectées de plus en plus par la

Introduction générale : contexte de l'étude et problématique

pression anthropique et le climat en lisière du Sahara, le désert avance et le pistachier s'éteint !

Il est connu qu'en zones arides, la dégradation des terres et la désertification commencent souvent par la réduction ou la destruction du couvert des plantes pérennes (Aïdoud et *al.*, 2006). Cette dégradation du patrimoine végétal est le résultat de la conjugaison de nombreux facteurs anthropiques et écophysiologiques (Quézel et *al.*, 1999). Le couvert végétal s'éteint, le sol est alors affecté par le vent et les eaux de ruissellement, et les conditions d'aridité s'amplifient (Floret & Pontanier, 1982 ; Le Houérou, 1995).

Dans ces zones arides, la rigueur climatique oblige les végétaux à des adaptations indispensables à leur survie (Pouget, 1980 et 2007) en réponse au changement des facteurs environnementaux.

Parmi ces adaptations, celles du système racinaire qui joue un rôle important dans la nutrition minérale, mais aussi dans la formation et l'évolution des sols, compte-tenu de son développement considérable par rapport à la partie aérienne des espèces végétales de ces régions. 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). A leur tour, les arbres dans ces écosystèmes arides jouent un rôle essentiel, ils interviennent dans le maintien de la fertilité des sols. Ils sont aussi source de résilience. Dans l'utilisation d'un élément donné du milieu, de nombreuses interactions peuvent soit favoriser des relations de complémentarité et de coopération entre les individus de la même espèce ou d'espèces différentes, soit provoquer des relations de compétition interspécifique (Caldwell, 1987). Dans ces milieux, l'utilisation de l'eau et des éléments minéraux est fortement liée au modèle d'enracinement et au développement foliaire. L'installation des individus d'une espèce donnée sera fonction essentiellement du système racinaire, qui alimente la plante tant en eau qu'en éléments nutritifs. C'est dans ce cadre que la présence d'une ou de plusieurs espèces voisines mettra en place des conditions de compétition ou de synergie pour l'utilisation de la ressource (Logbo et *al.*, 2006). D'après ces auteurs, les stratégies d'occupation du milieu qu'ils développent

Introduction générale : contexte de l'étude et problématique

tiennent compte à la fois du mode de distribution, de la forme et de l'évolution des racines dans le sol.

Dans cette optique, le pistachier de l'Atlas mérite une réflexion sur son système racinaire afin de comprendre ses stratégies d'occupation du milieu et les mécanismes d'adaptation de cette essence si caractéristique des dayas. En effet, très peu d'études traitent l'architecture souterraine de cet arbre hors forêt en relation avec les propriétés du sol en Algérie. Nous ne pouvons pratiquement citer que les études menées au « Laboratoire Ressources Naturelles » à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, sur des populations naturelles distribuées selon un gradient d'aridité croissant, en l'occurrence : Aït Slimane (2004) ; Belharet et Rekkeb (2004) ; Tahrou (2005) ; Deguiche (2008) ; Chebieb (2008) ; Kebci (2008) ; Bounceur (2009) ; Limane (2009) ; Tisgouine (2010) ; Abdous (2010) ; Bentaleb (2011) ; Haboul (2011) ; Limane et *al.* (2014 a et b) et Ziamni (en cours). Cela incite à un travail de fond qui consiste en une bonne connaissance du comportement racinaire chez cette espèce, ce qui permettrait de mieux la connaître.

C'est dans ce contexte que nous tentons d'apporter une contribution en mettant l'accent sur l'adaptation du pistachier de l'Atlas à un milieu où l'eau peut manquer. Notre problématique consiste à décrire en fonction du sol sous-jacent l'architecture racinaire de cette espèce, pour mieux comprendre son adaptation, par le biais de la partie souterraine censée puiser l'eau si précieuse dans ces régions. Notre choix s'est porté sur deux dayas du Plateau Saharien au sud de Laghouat: dayate Saadi dans la région de Hassi Delâa et dayate Aïat dans la région de Timzerth. Notre travail concerne les différentes architectures du système racinaire du pistachier de l'Atlas en fonction des différentes variations physico-chimiques des sols environnants. Nous avons scindé le mémoire en cinq 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, ainsi que son aire de répartition méditerranéenne et nationale ;
- 📌 dans le second chapitre, nous nous sommes intéressés à la description de la zone d'étude, avec son cadre géographique, géologique, pédologique et surtout climatique. Les sujets échantillonnés dans les deux dayas y sont décrits. Ce chapitre replace le pistachier de l'Atlas décrit dans le premier chapitre dans l'environnement dans lequel il vit ;

Introduction générale : contexte de l'étude et problématique

- 📖 le troisième chapitre concerne le système racinaire du pistachier de l'Atlas, avec d'abord une synthèse bibliographique sur le sujet. Il donne ensuite la méthodologie de travail et les résultats traités par le biais d'analyses statistiques graphiques, puis par des analyses de variance et en composantes principales, qui établissent les éventuelles corrélations qui existent entre les différentes caractéristiques racinaires étudiées ;
- 📖 le quatrième chapitre de cette étude concerne une approche des sols sous-pistachier de l'Atlas dans le but d'expliquer la variabilité du système racinaire au sein des individus échantillonnés. Une synthèse bibliographique des principales caractéristiques des sols arides est donnée. La méthodologie de travail est ensuite expliquée. Les résultats obtenus sont traités statistiquement et comparés aux résultats d'autres auteurs travaillant sur la même problématique ;
- 📖 le dernier chapitre est consacré à l'interaction des résultats obtenus pour l'architecture racinaire du pistachier de l'Atlas et le sol sous-jacent. Une analyse en composantes principales comparatives entre les deux dayas étudiées et les précédents travaux du laboratoire Ressources Naturelles de l'UMMTO sera exécutée afin de montrer le comportement racinaire en fonction des propriétés édaphiques d'une daya à une autre.

Le mémoire se termine par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre 1 :

Le pistachier de l'Atlas

1. Introduction

Bien distribué au sud de la Méditerranée et dans le Moyen-Orient, 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).

Appelé « tiseumlal » en langue berbère, « el botma », « betouma », « el boutma », ou encore « el boutmaïa » en arabe substantif, dont le nom collectif est dit « b'toum » en Afrique du Nord et « boutmela » au Proche-Orient, le pistachier de l'Atlas est un assez grand arbre très massif et très spectaculaire (Monjauze, 1968 et 1980).

2. Systématique

Le pistachier de l'Atlas appartient à l'ordre des Sapindales, à la famille des Anacardiaceae, et au genre *Pistacia* (Nègre, 1962).

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.

3. Répartition

Vers la fin du Paléogène, première époque de l'ère Tertiaire, précisément à l'Oligocène, il y a 23,8 Ma, le genre *Pistacia* est apparu dans la végétation méditerranéenne. L'espèce *Pistacia atlantica* y est apparue pendant la même ère, au début du Néogène, exactement au Miocène (il y a 5,33 Ma) (Médail, 2001 in Quézel & Médail, 2003).

Le pistachier de l'Atlas colonise de façon diffuse un territoire considérable centré sur les pays méditerranéens, à saison sèche et chaude bien marquée. Il est le plus ubiquiste des arbres du nord de l'Afrique et du Proche-Orient (Monjauze, 1980). Il est considéré parmi les éléments forestiers de souche méditerranéenne, appartenant à la région sud-circum-

Chapitre 1. Le pistachier de l'Atlas

méditerranéenne et irano-touranienne. Il est présent surtout en bioclimat semi-aride (Barbéro et *al.*, 2001). Le type de l'espèce selon Zohary (1952) est l'habitat occidental. On le rencontre depuis les Atlantides jusqu'à la Syrie en passant par les trois pays de l'Afrique du Nord.

Pistacia atlantica est répandu depuis les Canaries (Gomera, Tenerife) jusqu'au Pamir, en passant par (Monjauze, 1968 et 1980 ; Seigue, 1985 ; Zohary, 1996) (Figure 01) :

- l'Afrique du Nord, le Sahara septentrional et Tripolitaine, en relique au Hoggar ;
- Chypre, Chio, Rhodès, la Grèce, la Turquie, la Bulgarie, la Crimée, le Caucase, la Transcaucasie et l'Arménie ;
- la Palestine, la Syrie, la Transjordanie, l'Irak et l'Iran ;
- l'Arabie, le Baloutchistan et l'Afghanistan.

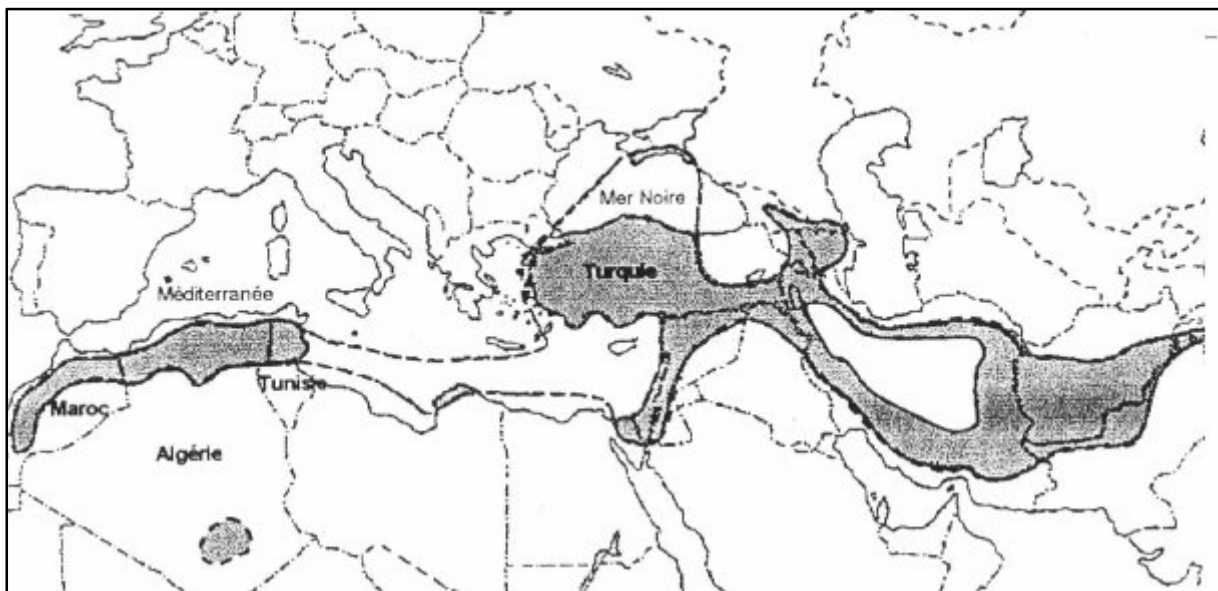


Figure 01. Carte de distribution de *Pistacia atlantica* Desf. dans le monde (modifié d'après Alyafi (1979) ; Browicz (1988) ; Khaldi (comm.pers. in Zohary, 1996) et Belhadj (2007)).

La carte de répartition de *Pistacia atlantica* Desf. dans le monde affirme la constatation de Monjauze (1980) : « le bétoum n'est pas une endémique nord-africaine exclusive, car l'espèce existe des Canaries au Pamir ».

Emberger (1938) présente le pistachier de l'Atlas comme étant un arbre surtout caractéristique des régions arides du sud de la Méditerranée, essentiellement présent au Maghreb, mais aussi en Cyrénaïque, à Chypre, au Proche-Orient et aux Canaries. C'est ainsi

que Quézel & Médail (2003) localisent l'aire de répartition de cette essence en Méditerranée (Figure 02).

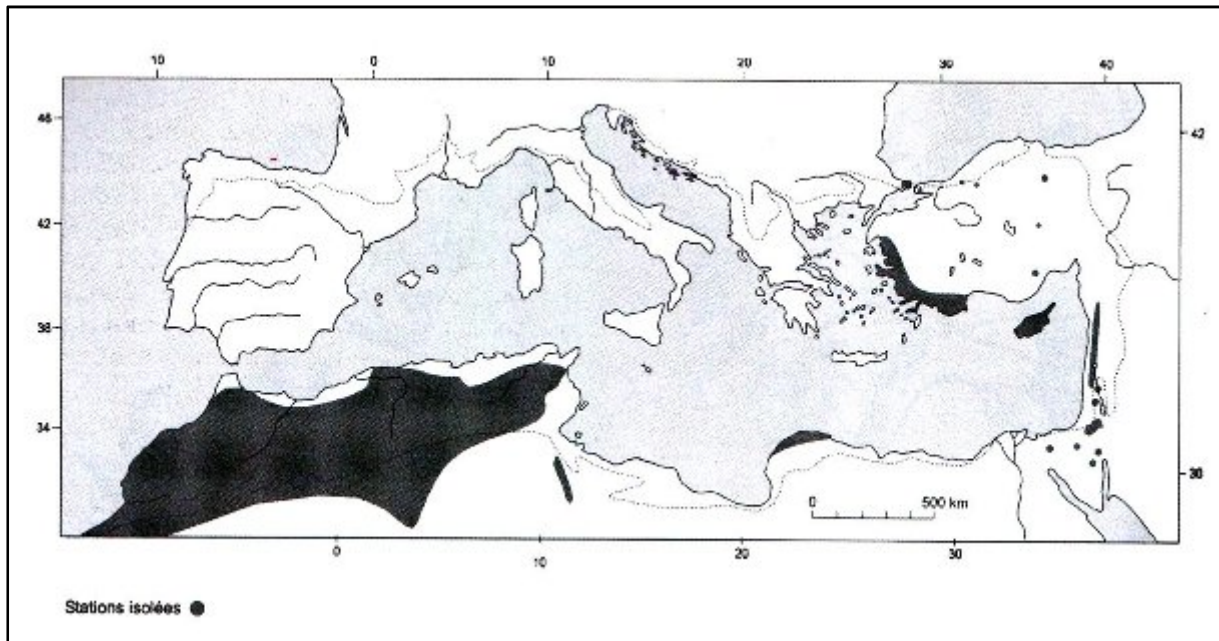


Figure 02. Aire de répartition schématisée du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) en région méditerranéenne (Quézel & Médail, 2003).

Pistacia atlantica est une essence forestière qui remonte dans les forêts de chênes xérophiles jusqu'à 2000 m à l'ouest, et jusqu'à 3000 m à l'est de son aire de répartition. Elle est fréquente à l'état de forêts-parcs dans les plaines et les steppes subdésertiques (Zohary, 1952, 1996 ; Monjauze, 1968). Au Moyen-Orient, on peut le retrouver à moins de 50 m au-dessous du niveau de la mer en Palestine et jusqu'à plus de 3000 m en Iran (Zohary, 1996). En Afrique du Nord, on le rencontre à 100 m l'altitude à El Kala jusqu'à une élévation de 3000 m d'altitude aux Aurès (Seigue, 1985 ; Khaldi & Khouja, 1996).

Monjauze (1968) qualifie le pistachier de l'Atlas comme l'arbre des Hautes Plaines centrales du Maghreb et des dayas du piémont sud de l'Atlas Saharien, où il détermine à lui seul des paysages très caractéristiques. En 1955, le même auteur assigna à l'espèce pour limite méridionale le 32^e degré de latitude, en plein Sahara septentrional, découverte déjà en 1867, par Reboud, qui avait signalé le bétoum dans l'oued M'zab, près de Ghardaïa sous 32°27' de latitude.

Un peu plus au sud du Sahara algérien, le pistachier de l'Atlas se retrouve en relique dans le Hoggar, où il témoigne cependant de l'influence méditerranéenne de cette région (Quézel & Santa, 1963 ; Monjauze, 1968 et 1980).

La carte ci-après (Figure 03) illustre la distribution nord algéro-tunisienne du pistachier de l'Atlas établie par Monjauze (1968).

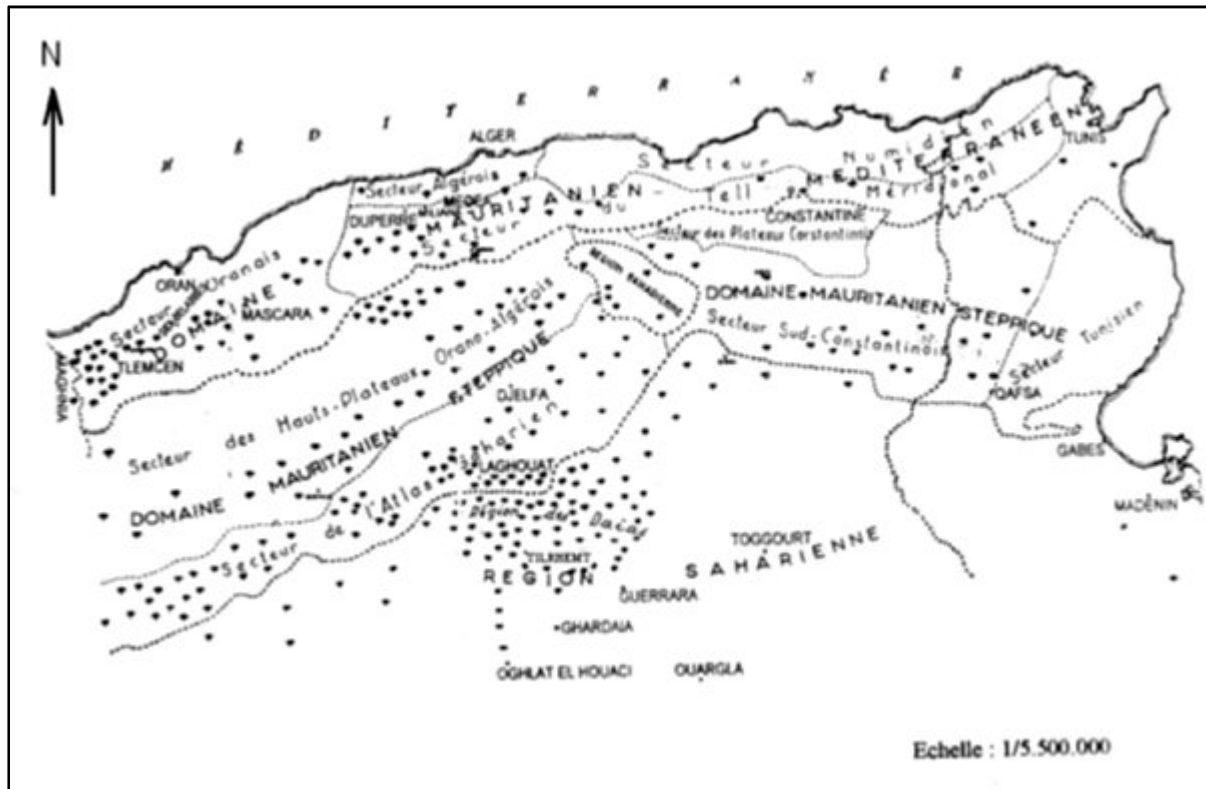


Figure 03. Répartition de *Pistacia atlantica* au nord algéro-tunisien (Monjauze, 1968).

Le bétoum, là où il prospérait jadis (Emberger, 1939; Quézel & Santa, 1963 ; Monjauze, 1968 et 1980 ; Quézel & Médail, 2003 ; Ozenda, 2004), n'existe aujourd'hui qu'à l'état disséminé et isolé. Il ne reste que quelques vestiges garantissant son existence (Monjauze, 1968 ; Seigue, 1985 ; Quézel & Médail, 2003).

4. Description

Le bétoum est un arbre parfaitement adapté au climat méditerranéen, dont il constitue d'ailleurs l'arbre climacique sud-méditerranéen (Nègre, 1962).

Le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) est un bel arbre qui ressemble à un frêne (Monjauze, 1968, 1980 ; Seigue, 1985 ; Ozenda, 2004) (Figure 04). Cette essence peut atteindre 25 m de haut (Emberger, 1938 ; Nègre, 1962 ; Monjauze, 1968 et 1980 ; Seigue, 1985 ; Khaldi & Khouja, 1996 ; Belhadj, 2001) ; cette hauteur est variable suivant les conditions éco-géographiques (Khaldi & Khouja, 1996). Le tronc de cet arbre peut mesurer communément ou dépasser 1 m de diamètre (Monjauze, 1968 ; Seigue, 1985 ; Khaldi &

Khouja, 1996). Nègre (1962) indique qu'il peut surpasser 2 m de diamètre. Belhadj (2001) rappelle que le tronc du pistachier peut mesurer 4,5 à 5 m de circonférence.



Figure 04. Pistachier de l'Atlas de la région de Timzerth (Laghouat).

Le pistachier de l'Atlas est un phanérophyste doté d'une longévité importante (Nègre, 1962). Selon Monjauze (1968), les individus de 2.5 m de circonférence de tronc ont un âge voisin de 200 ans et les plus vieux pieds connus atteignent environ 300 ans. Les plus gros bétoums rencontrés en Algérie se trouvaient à S'fise¹. Ces arbres avaient de 18 à 20 m de haut et leur tige atteignait 2 m de diamètre sous branches, à hauteur de poitrine, pour un âge qui ne devait pas dépasser 300 ans, ou peut-être bien moins. Leur houppier, surbaissé comme sur tous les vieux sujets, atteignait 25 m de diamètre (Monjauze, 1980), soit 75 m de circonférence (Monjauze, 1968).

L'écorce du bétoum est d'abord rouge, puis grisâtre assez clair avant de devenir rhytidome² dur et crevassé, disposé en damier et noirâtre comme celui du frêne oxyphylle (Monjauze, 1980). Elle contient des stries longitudinales (Khaldi & Khoudja, 1996). L'un de ses caractères tient à la production de résine (Quézel & Santa, 1963 ; Monjauze, 1968). Cette résine coule naturellement par temps chaud, et elle est d'autant plus abondante que la station est plus favorable par sa température (Monjauze, 1968).

¹ Village situé en plein Tell oranais non loin de Sidi bel Abbés, et dans une région qui en comptait jadis des milliers, entre Mascara, Sidi bel Abbés et Saïda (Monjauze, 1968).

² Partie externe d'une tige ou d'une racine rejetée chaque année par le fonctionnement d'un tissu spécial (Nègre, 1962).

Cet arbre puissant a la couronne en boule dans la jeunesse (Nègre, 1962) qui s'étale plus tard en une dense et volumineuse frondaison hémisphérique (Emberger, 1938 ; Nègre, 1962 ; Quézel & Santa, 1962 ; Khaldi & Khouja, 1996). Benhassaini et *al.* (2007) montrent une superficie des couronnes (sous canopée) d'environ 150 m² de certains bétoums adultes centenaires dans le nord-ouest algérien. Ils constituent un effet oasis pour les êtres vivants situés sous leur canopée.

Contrairement à la partie aérienne du pistachier de l'Atlas, la partie souterraine, cachée et moins accessible, constitue un système à part. Le système racinaire du pistachier de l'Atlas est vigoureux (Figure 05), les racines du pistachier à lui seul peuvent en une seule saison s'allonger de 1,5 m (Ozenda, 1977), et atteignent 5 à 6 m de profondeur (Germana, 1997).



Figure 05. Hypertrophie du système racinaire du pistachier de l'Atlas à Béni Ounif (Aït Slimane, 2004).

Les feuilles du pistachier de l'Atlas sont caduques (Nègre, 1962 ; Seigue, 1985 ; Khaldi & Khouja, 1996), composées (Quézel & Santa, 1962 ; Seigue, 1985), astipulées (Quézel & Santa, 1962), imparipennées (Nègre, 1962 ; Seigue, 1985), alternes, à paires de folioles ovales et une terminale à rachis non ou à peine ailé (Nègre, 1962).

Nègre (1962) affirme que les feuilles du pistachier de l'Atlas possèdent 2 à 4 paires de folioles mesurant (0.5-2) X (2-5) cm. Quézel & Santa (1962) indiquent qu'elles sont finement ailées à folioles lancéolées de (3-5) x (1-1,5) cm. Ozenda (1983) les décrit à 7-9 folioles, et à pétiole un peu ailé.



Figure 06. Feuilles de pistachier de l'Atlas de la région de Hassi Delâa (Laghouat).

Monjauze (1980) attribue aux feuilles et aux folioles de *Pistacia atlantica* une taille moyenne. Il note qu'elles sont un peu coriaces, à 7 à 11 folioles de (2,5-6) x (0,5-1,5) cm, et mesurent rarement plus de 12 cm de longueur totale. Zohary (1996) les décrit aussi comme peu coriaces, composées de 3 à 5 paires de folioles. Khaldi & Khouja (1996) signalent que les feuilles du pistachier de l'Atlas portent communément 9 folioles mesurant entre 2 et 6 cm de long et 0.5 à 1.5 cm de large. Leur couleur varie du vert foncé sur la face supérieure au vert clair sur la face inférieure (Figures 06 et 07).

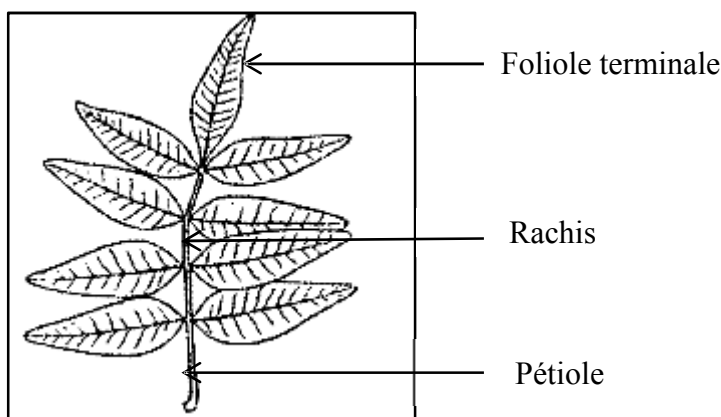


Figure 07. Morphologie de la feuille de *Pistacia atlantica* (Zohary, 1952).

Seigue (1985) montre que la feuille du pistachier de l'Atlas est plus large que dans les autres espèces de son genre. La largeur des folioles est plus grande au tiers inférieur du limbe. Elles ont une bordure dépourvue de toute dentelure, mais obscurément obtuses, avec le mucron apical très petit, voire en position surbaissée ou tout à fait absent. L'axe et le pétiole sont étroitement ailés. Une ligne de poils presque microscopiques, courbés vers l'apex et parallèles entre eux entoure la marge de chaque foliole (Monjauze, 1980). El Oqlah (1996) indique que les bordures des feuilles de *P. atlantica* sont ciliées avec des poils unicellulaires.

Chapitre 1. Le pistachier de l'Atlas

Les feuilles du bétoum sont adaptées à la sécheresse. Dans les régions où l'eau peut manquer, les stomates au niveau de la face supérieure des feuilles sont totalement absents, tandis qu'ils sont présents au niveau de la face inférieure de la feuille (Smail-Saadoun, 2005). Cette essence est polytypique ; l'épiderme foliaire renferme des stomates à potentialités évolutives accusées. Son adaptation aux milieux arides se traduit par une forte densité stomatique (Kadi-Bennane et *al.*, 2005). Belhadj et *al.* (2008) ont mis en évidence de nouvelles caractéristiques chez cette essence, telles que la présence de cire sur les feuilles, et l'existence de poils glandulaires. Les mêmes auteurs affirment qu'en Algérie, les feuilles de *Pistacia atlantica* présentent une variabilité morphologique inter et intra-individuelle originale, due aux conditions écologiques et à des mécanismes physiologiques spéciaux.

Le pistachier de l'Atlas fleurit en février-mars (Nègre, 1962). C'est une espèce dioïque (Monjauze, 1968, 1980 ; Ozenda, 1983 ; Seigue, 1985 ; Khaldi & Khouja, 1996). Les fleurs sont en grappes lâches (Ozenda, 2004) et rameuses (Quézel & Santa, 1962), sans corolle (Nègre, 1962). Elles sont apétales et rougeâtres en grappes terminales pour les mâles et axillaires pour les femelles (Monjauze, 1980).

Les fleurs mâles sont regroupées en inflorescences sous forme de thyse (type d'inflorescence composée correspondant à une grappe de cymes), jointe à la base et portant à leurs extrémités les sacs de pollen de couleur jaune (Khaldi & Khouja, 1996) (Figure 08). Elles sont à 5 étamines insérées au fond du calice (Nègre, 1962). El Oqlah (1996) mentionne qu'elles sont composées de 5 étamines, dont les anthères sont souvent larges avec un court bec au niveau de l'apex.

Les fleurs femelles sont groupées en courtes panicules, de couleur jaune dégradé de vert. Elles comportent des ovaires portant chacun un seul ovule (Khaldi & Khouja, 1996). Elles sont à 3 stigmates arqués au dehors (Nègre, 1962).

Les grappes de fleurs mâles sont généralement compactes et plus petites que celles des fleurs femelles qui sont toujours lâches, dressées ou dispersées latéralement sur les rameaux. (Seigue, 1985).



Figure 08. Inflorescences mâles (à gauche) et fruits en maturation (à droite) du pistachier de l'Atlas (région de Hassi Delâa, Laghouat).

La fécondation des inflorescences femelles par le pollen des pieds mâles disséminé par le vent donne naissance à des fruits globuleux, utilisés depuis l'antiquité par la population locale qui les appelle « El-khodhiri ». Les fruits du *Pistacia atlantica* sont drupacés (Quézel & Santa, 1962 ; Monjauze, 1980 ; Seigue, 1985) de la grosseur d'un pois (Figure 09), légèrement ovales quelquefois plutôt allongés, plus rarement trapus ou un peu aplatis, à épiderme qui se ride en séchant sur un endocarpe induré, mais très mince, abritant deux cotylédons exalbuminés, riches en huile et comestibles (Monjauze, 1980).



Figure 09. Fruits mûrs du pistachier de l'Atlas (Limane, 2009).

Les drupes sont de petite taille (Khaldi & Khouja, 1996), elles mesurent environ 6 à 8 mm de long (Monjauze, 1980) sur 5 à 6 mm de large (Monjauze, 1980 ; Seigue, 1985). Ces fruits, jamais plus longs que 0.5 cm sont ovoïdes, verts dès leur formation et tournant au bleu foncé ou au noir selon les individus. Chaque fruit contient une seule graine, de maturité atteinte en fin d'été (fin août début septembre) (Khaldi & Khouja, 1996).

5. Ecologie

P. atlantica est une essence qui occupe une large variété de sols. Dans le Moyen-Orient, elle domine les maquis et matorrals, forme une savanne et pénètre souvent jusqu'aux régions présahariennes. Dans le bassin méditerranéen, *P. atlantica* borde fréquemment les formations végétales méditerranéennes jusqu'à la bordure du désert, où elle se mélange avec d'autres espèces xérophytiques, forêts à pin d'Alep et forêts à genévrier (Monjauze, 1968).

La distribution altitudinale de *P. atlantica* est ample (Monjauze, 1980). En Afrique du Nord, il peut se retrouver jusqu'à 1500 à 2000 m d'altitude en mélange avec le chêne afarès et le cèdre, franchir le chêne zeen et le chêne-liège, se confondre sur les bordures humides avec le frêne oxyphylle. Dans les régions chaudes, il accompagnait l'arganier et le thuya de Berbérie. Le climat du pin d'Alep ne lui est pas hostile. Il peut s'infiltrer dans les massifs de chêne vert. Il dépasse au sud le genévrier rouge et ne trouve finalement à lutter, à proximité du désert que contre les broussailles, où il prospère dans les dayas parsemées au sud de Laghouat (Monjauze, 1968).

En général, il semble fuir le plein de ces groupements, mais ce n'est que pour des raisons conjoncturelles. Il triomphe, à l'inverse, dans les terrains malmenés et y joue un rôle de liaison entre les divers types de forêts. Toujours mêlé à d'autres essences dans les parties les plus fraîches de son aire, on n'y percevra guère sa présence (Monjauze, 1980). Actuellement, la plus grande présence des pistachiers de l'Atlas est dans la région des dayas, au sud de l'Atlas Saharien (Khaldi & Khouja, 1996). Cet arbre possède une amplitude écologique et une plasticité remarquables, puisqu'il se rencontre depuis le cœur du Sahara au Hoggar jusqu'aux marges du bioclimat humide (Quézel & Médail, 2003).

Au sud-oranais, près de la région de Maghnia et Tlemcen, des populations isolées sont sur de faibles pentes. Dans ces régions, *P. atlantica* est en association avec *Rhus pentaphylla*, *Ziziphus lotus*, *Withania frutescens*, *Lavatera maritima*, *Helianthemum pilosum pergamaceum* et *Stipa tenacissima*. Sur les côtes de la Méditerranée, et sur le versant nord de Djebel Filaoussene à 20 km de la mer, *P. atlantica* peut être retrouvé isolé en relique dans les forêts de *Quercus mirbeckii* à 1050 m du niveau de la mer. Entre Sidi Bel Abbès et Mascara, *P. atlantica* ne forme jamais de denses populations, souvent rencontré avec les aires du thuya (*Tetraclinis articulata*), alors qu'il n'est pas intimement associé à cette espèce. Au Tell oranais et algérois, le pistachier de l'Atlas est associé au jujubier sur les bords marginaux des routes (Khaldi & Khouja, 1996).

Chapitre 1. Le pistachier de l'Atlas

En bioclimat subhumide, le pistachier n'apparaît que de façon très discrète, par individus isolés dans les communautés végétales dominées par les chênes sclérophylles (Quézel & Médail, 2003).

En bioclimat semi-aride, il participe de façon épisodique à des groupements s'organisant le plus souvent autour d'*Olea europea*, *Ceratonia siliqua* ou *Tetraclinis articulata* et *Juniperus turbinata*. Au Maroc, il s'intègre très généralement aux groupements du *Tetraclinis articulatae-Pistacia atlanticae*, où il reste toutefois relativement rare (Barbéro et al., 1982).

En revanche, il détermine à lui seul des paysages très caractéristiques au sud des Hauts-Plateaux algériens ou sur la marge nord du Sahara (Monjauze, 1968). Il se rencontre souvent à l'état résiduel dans les falaises épargnées de la forte pression pastorale (Quézel & Médail, 2003). En bioclimat aride, les peuplements de pistachier de l'Atlas se répartissent le plus souvent selon un mode contracté en bordure des lits d'oueds ou dans les dépressions épisodiquement mises en eau lors de la saison froide, et où s'accumulent d'importantes couches d'alluvions fins. Il s'agit généralement de dayas, parfois de grandes dimensions, où l'eau stagne suivant des années de 1 à 4-5 mois ; la sécheresse estivale est importante et persiste selon les années, de 3 à 9 mois en moyenne. Ce type de structure géomorphologique est bien connu et peut exister sur d'importantes surfaces (pays des dayas dans le sud-algérois, dayas de la plaine de Tamlelt dans l'Oriental marocain). Dans ces dayas, les pistachiers de l'Atlas sont en général de belle venue, atteignant jusqu'à 10-15 m de hauteur, et ils constituent des peuplements assez denses. Le cortège floristique des pérennes est assez pauvre, mais *Ziziphus lotus* est toutefois souvent bien développé en sous-strate, avec parfois *Artemisia herba-alba* ; en revanche, un riche cortège d'annuelles, en général méso-hygrophiles, se développe en période humide (Quézel & Médail, 2003).

A l'état adulte, le pistachier de l'Atlas est impressionnant. Son feuillage semble plus serré quand il est dans des stations où l'indice d'évapotranspiration est faible, c'est-à-dire où la contrainte de l'eau est la plus forte. Cette plasticité exceptionnelle vis-à-vis de la sécheresse atmosphérique pourrait être son caractère principal, mais il n'est pas moins indifférent à la nature du sol et il peut occuper dans son aire botanique les situations les plus extrêmes, franchissant les limites octroyées aux groupements forestiers classiques (Monjauze, 1980).

Cette essence se comporte bien dans les isohyètes 200-400 mm, mais s'accommode de 150 mm. L'essence pousse sur une variété de sols, mais préfère généralement les terrains

argileux ou limoneux et les alluvions de plaines, et prospère aussi sur des roches calcaires où les racines pénètrent les fissurations (Seigue, 1985 ; Khaldi & Khouja, 1996). Il peut occuper les fentes de rochers et les falaises (dans ce cas, sous forme d'individus prostrés et plaqués aux rochers), les terrains plats sur sols profonds ou très rocailleux, les lits d'oueds ou les grandes dépressions temporairement humides (Quézel & Médail, 2003).

Monjauze (1968) affirme que le bétoum n'est pas « un occupateur de places vides » comme les résineux, il se manifeste toujours sous une plante abri qui le protège, rarement il persévère à l'absence d'abri, quand le sol est aéré et moite la plantule réagit aisément. Cette loi a été depuis longtemps vérifiée par l'expérience des reboisements nord-africains, où le bétoum tenait devant les rigueurs climatiques et l'action du défricheur. Dans la steppe, on ne le rencontre que dans les dayas du sud où le sol est souvent excellent, les sols steppiques étant compactés, ne possédant pas de couche meuble, et sont piétinés par le cheptel et les pluies orageuses, ce qui ne conditionne pas la pousse du bétoum. Cependant, en dehors de la steppe et des régions arides, dans les forêts de l'étage semi-aride en particulier, le bétoum peut se régénérer aussi bien à découvert que sous abri, si le sol est meuble.

La graine de bétoum est incluse dans une drupe à endocarpe osseux et mésocarpe sec plus ou moins plissé. En milieu convenable, elle germe dans les huit à quinze jours. La germination exige chaleur et moiteur constantes. Une humidité un peu forte, un abaissement de température au cours de la germination sont rapidement fatales à la radicule, ce qui entraîne rapidement la fonte du semis. Dans la nature, la présence d'un sol friable et humide, la protection d'un couvert végétal et d'un peu de litière sont indispensables à la régénération convenable (Monjauze, 1968). Le plus souvent, seules les régénérations à l'abri d'épineux (*Ziziphus lotus* notamment) par « effet nurserie³ » ou dans les infractuosités de falaises ont quelques chances d'aboutir à un individu adulte. Les peuplements de *Pistacia atlantica* sont en effet utilisés par les nomades depuis une haute antiquité et, à l'heure actuelle, il n'en subsiste que de rares vestiges, du moins en relativement bon état (Quézel & Médail, 2003).

L'abri du pistachier de l'Atlas peut être offert par n'importe quelle végétation broussailleuse suffisamment dense (*Asparagus stipularis*, *Asparagus albus*, *Lycium intricatum*, *Calycotome intermedia*, *Ziziphus lotus*, *Lycium europeum*, *Chamaerops humilis*,

³ L'effet nurserie (*nurse effect*) se réfère aux diverses conséquences positives induites par la présence de buissons souvent de taille réduite, denses et peu appétants (toxiques ou épineux) qui facilitent la germination et le développement d'autres végétaux ; ces derniers sont alors généralement soustraits des pressions d'herbivorie fortes, mais aussi soumis à des conditions microclimatiques et édaphiques plus favorables que dans les zones ouvertes adjacentes (Quézel & Médail, 2003).

Phyllerea media ssp. *angustifolia*). Dans les forêts du Tell, le bétoum régénère absolument dans toutes les broussailles un peu basses précitées, mais aussi dans le ciste (notamment *Cistus heterophyllus*), les cytises (*Cytisus arboreus* et *Cytisus triflorus*), la lavande (*Lavandula stoechas*), et même dans les ronces. A Hennaya près de Tlemcen, il a été trouvé dans les vignes. Dans les forêts de l'Atlas saharien, des régénérations excellentes ont été notés dans des drageons trainants de *Quercus ilex*. Dans le sud, c'est la touffe du jujubier qui assure la régénération du bétoum. C'est ainsi que la présence du pistachier est subordonnée à l'abondance de jujubier dans la bordure sud-atlasique (Monjauze, 1968).

Ces exigences que manifeste le pistachier de l'Atlas en matière de conservation de la graine et de germination, et le caractère fragile de sa plantule le situent au sein des cortèges végétaux les plus évolués, et le classent parmi les essences climaciques (Monjauze, 1968). Bien que la valeur dynamique de *Pistacia atlantica* a été différemment estimée selon les phytoécologues, Monjauze (1968) et Achhal et al. (1980) insistent sur l'importance écologique majeure de cette essence dans la constitution de groupements pré-forestiers climaciques, en bioclimat semi-aride et aride.

6. Utilisation

Pistacia atlantica est une espèce multi-usage, la population locale l'utilise comme (Khaldi & Khouja, 1996) :

- porte-greffe du pistachier vrai (*P. vera*), puisqu'elle résiste aux conditions édaphiques extrêmes ;
- source de fruits comestibles : la population locale en extrait une huile très appréciée ;
- ses graines et feuilles sont consommées par le cheptel ;
- abri de beaucoup d'animaux : le pistachier de l'Atlas étant le seul arbre de la steppe, il sert de refuge à beaucoup d'animaux contre la chaleur et les radiations solaires ;
- source d'énergie : par l'utilisation de son bois pour le chauffage et la cuisine.

Monjauze (1968) indique que les populations locales exploitaient la résine de l'écorce du pistachier de l'Atlas dans la fabrication d'onguents en pharmacie traditionnelle. Bachir Raho & Benali (2010) indiquent que l'huile essentielle de la résine du pistachier de l'Atlas a montré une action inhibitrice de deux germes pathogènes : *B. aureus* et *E. coli*. Ils recommandent la commercialisation des antibiotiques contenus dans cette résine contre les

maladies causées par ces deux germes, ainsi son utilisation en tant qu'agent conservateur dans l'agroalimentaire.

7. Conclusion

Le pistachier de l'Atlas est une espèce dotée d'une plasticité remarquable. L'espèce est actuellement réduite en minuscules populations âgées, localisées principalement dans les dépressions (Khaldi & Khouja, 1996). En Algérie, si la régénération de l'espèce dans certains massifs forestiers pouvait être protégée longtemps, elle se traduirait certainement par la constitution de boisements très semblables à ceux que donnent chêne-liège et chêne vert d'âge adulte. Cette régénération peut aussi être protégée par le jujubier sauvage, si abondant partout sur les terres négligées d'Afrique du Nord, ainsi que dans les thalwegs⁴ du pré-Sahara et dans les dayas du sud. Dans ces terres marginales ou subdésertiques, le bétoum a longtemps prospéré mieux qu'ailleurs (Monjauze, 1980).

Comme le remarquait déjà Emberger (1939), « cette végétation est très dégradée et il est très difficile de connaître sa composition primitive ». Quézel & Médail (2003) mettent l'accent sur la prise de conscience sur la valeur écologique de cette espèce, et sur son intégration dans l'état actuel des recherches. Ils soulignent qu'il est bien hasardeux de savoir si bon nombre de peuplements clairsemés et isolés de *Pistacia atlantica*, présents en bioclimats arides et semi-arides, constituent les derniers vestiges de formations de savanes arborées assez denses, encore présentes il y a seulement 50 ou 100 ans, ou si la rétraction de ces peuplements reste finalement assez réduite.

La préservation et la conservation de cette ressource phytogénétique unique dans son genre semblerait cruciale. La nécessité d'établir des programmes de reboisement de pistachiers de l'Atlas dans les terres sensibles à la désertisation est une étape primordiale pour lutter contre l'ensablement et accélérer les processus pédogénétiques. Le lien qui existe entre le bétoum et le jujubier assistera cette régénération dans la marge sud-atlasique et subdésertique du pays.

⁴ Terme d'origine allemande formé de deux substantifs : *Thal*, signifiant « vallée », et *Weg*, signifiant « chemin » ; il signifie littéralement « chemin de vallée », et en français « ligne de collecte des eaux ». Ce sont des modelés d'érosion fluviale surtout et fréquemment occupés par le réseau hydrographique (Brunet, 1993).

Chapitre 2 :

Zone d'étude

1. Introduction

Le sud-algérois appartient à l'ensemble de l'Algérie steppique, dont l'extension est limitée au nord par les chaînes telliennes et au sud par les vastes espaces sahariens. C'est au piémont sud de la chaîne atlasique méridionale de l'Algérie, que l'Atlas Saharien marque la fin des structures géologiques du domaine tellien et assure la transition avec les structures beaucoup plus simples et calmes du domaine saharien. Le relief important est absent, la topographie générale sensiblement plane, reste d'une grande monotonie. Sur ces vastes surfaces s'étend le Plateau saharien indiquant le début du désert (Pouget, 1980).

Parsemé de petites dépressions endoréiques, le plateau saharien est désigné sous le nom de région des dayas. Ces formations spécifiques sont particulièrement bien développées dans le sud algérois, exactement à l'est (Bassin de l'Oued Djedi) et à l'ouest (jusqu'à la région d'El Abiod Sidi Cheikh) de Laghouat (Monjauze, 1968 et 1980).

Dans le pays des dayas, cette surprenante étendue qui longe le désert, le climat continue à se dégrader jusqu'à atteindre les vastes surfaces sahariennes, et rend encore plus difficiles les conditions de survie des plantes et des animaux. Ces petites cuvettes où s'accumulent les eaux de ruissellement, qui peuvent se maintenir quelques jours à plusieurs semaines, favorisent une végétation colonisatrice arborée : le pistachier de l'Atlas, et arbustive : le jujubier sauvage, ainsi que les espèces végétales adaptées à la texture et au régime de submersion temporaire. Cette végétation offre aux dayas un effet oasis faisant d'elles un refuge d'une biodiversité importante (Pouget, 1980).

Par leur diversité, les dayas du plateau des L'Arbaâ attirent notre attention. La présentation de la région de Laghouat et du plateau saharien nous semble primordiale, avant de décrire ces petites taches vertes de la Hammada Ras Ech'Chaab.

2. Région de Laghouat

Au sud du pays, dans la partie méridionale des Hauts Plateaux Centre se trouve la wilaya de Laghouat située au piémont de l'Atlas Saharien du côté nord, et s'étendant sur le plateau saharien du côté sud. De nature mixte entre les hautes et les basses terres, Laghouat constitue ainsi une zone tampon reliant le nord et le sud du pays (Anonyme 1, 1995).

La ville de Laghouat est éloignée de la capitale Alger de 400 km. Entre la latitude Nord de 33° 48' et la longitude Est de 02°35', elle prend l'altitude de 752 m (Anonyme 2,

1998). Elle regroupe actuellement 10 daïras et 24 communes, et est limitée géographiquement comme suit (Anonyme 3, nd) (Figure 10) :

- au nord et à l'est par la wilaya de Djelfa ;
- à l'ouest par les wilayas de Tiaret et El Bayadh ;
- au sud par la wilaya de Ghardaïa.

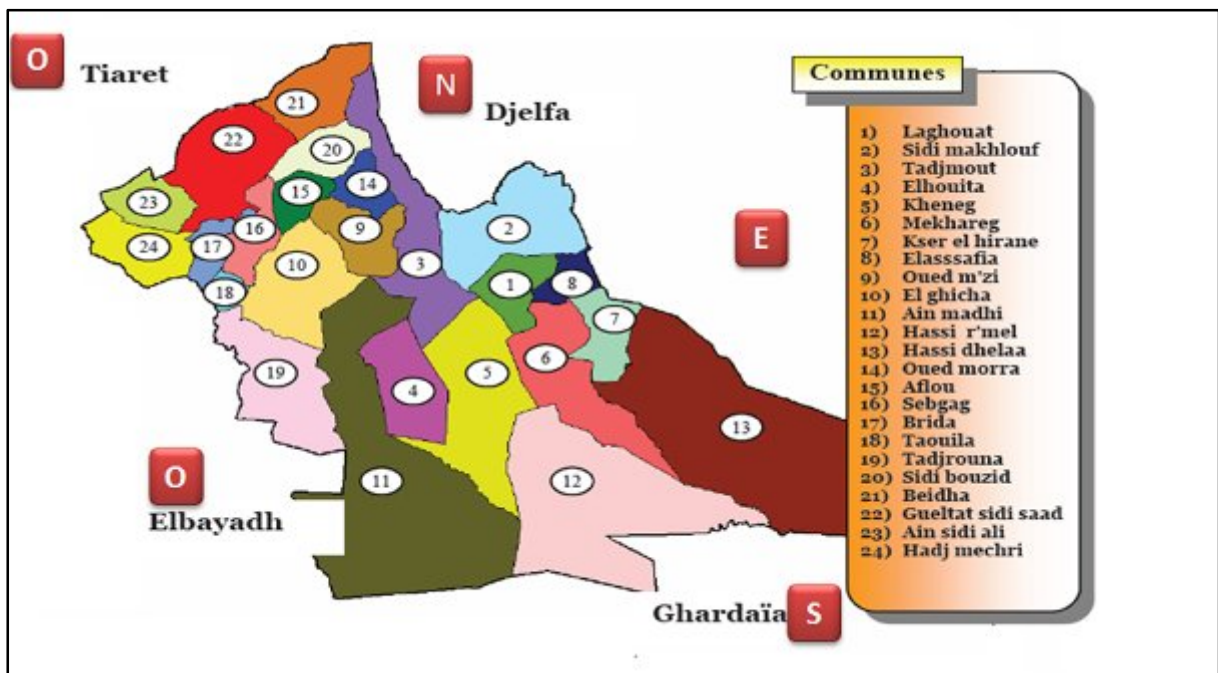


Figure 10. Limites géographiques et subdivisions administratives de la wilaya de Laghouat (Anonyme 3, nd).

Sur le plan naturel, la wilaya est constituée de trois zones (Figure 11) (Anonyme 4, 2010) :

- une zone nord constituée par les Hautes Plaines Steppiques agro-pastorales de superficie totale égale à 464.500 ha ;
- une zone centrale de piémonts et montagnes agro-sylvo pastorale ;
- une zone du plateau saharien au sud de la wilaya.

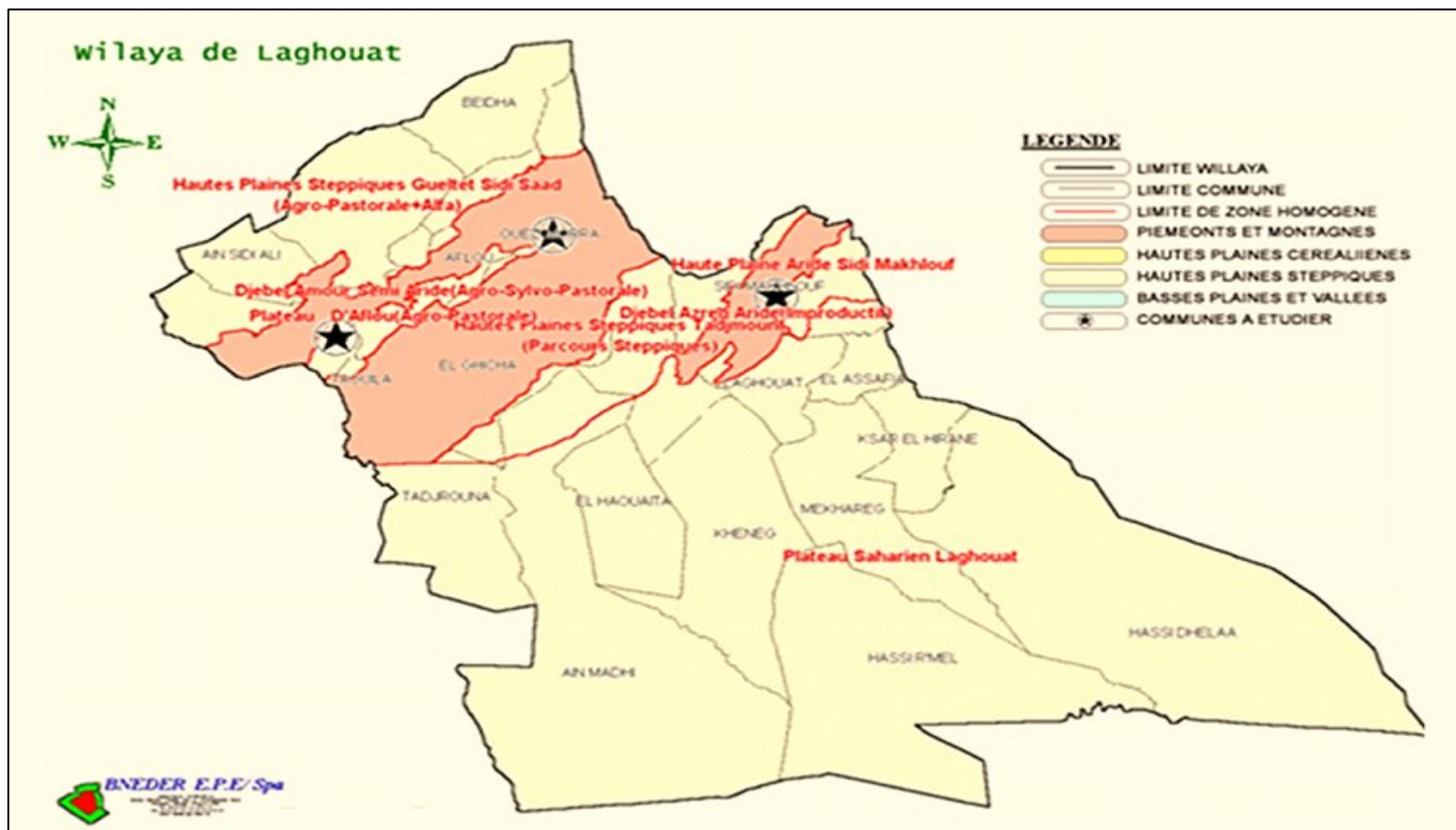


Figure 11. Zones naturelles de la wilaya de Laghouat (Anonyme 5, 2006).

La diversité morphologique de ces trois zones naturelles est dotée d'une nuance climatique remarquable. Silaâ (2012) a établi une carte de distribution climatique de la région de Laghouat illustrée par la figure 12. Du nord-ouest au sud-est, le climat passe de l'étage semi-aride à l'étage saharien en passant par l'étage aride.

Le territoire de la wilaya de Laghouat s'étend sur deux domaines géologiques nettement différents, notamment sur le plan de la structure et de l'évolution géologique, ce sont l'Atlas Saharien au nord et la plate-forme saharienne au Sud. La wilaya a un soubassement de roches sédimentaires datant du secondaire, du tertiaire et du quaternaire (Anonyme 6, 2007).

- L'ère secondaire : représentée par le jurassique qui affleure au niveau des Djebels et des kefs de la partie nord de la wilaya, il est visible sous forme de chainons d'orientation sud-ouest - nord-est.
- L'ère tertiaire : formée surtout par le Crétacé qui couvre la majeure partie de la wilaya.
- L'ère quaternaire : elle est constituée par des dépôts alluviaux et colluviaux récents à anciens, ils occupent quelques dépressions et les terrasses d'oueds ainsi que les dayas.

La géomorphologie est considérée comme une expression synthétique de l'interaction entre les facteurs climatiques et géologiques (Aïdoud-Lounis, 1984). Les formes géomorphologiques rencontrées sont les suivantes :

- les monts du Djebel Amour : orientées généralement du sud-ouest au nord-ouest ;
- les piémonts bas de l'Atlas Saharien et la vallée de l'oued Djedi ;
- les formations éoliennes et les voiles sableux : il s'agit de recouvrement généralement discontinu peu épais de quelques centimètres, plus ou moins fixés par des psammophytes vivaces et annuelles ;
- des terrasses : ce sont des formes alluviales, localisées dans les bas-fonds ;
- des glacis : surface d'érosion en pente douce, développés dans les régions semi-arides au pied des reliefs ;
- zone de dayas : formée pratiquement d'un plateau plus ou moins ondulé ; ce sont des dépressions fermées aux bords faiblement inclinés, de formes grossièrement circulaires, parfois elliptiques, mais toujours globuleuses et arrondies de diamètre très variables.

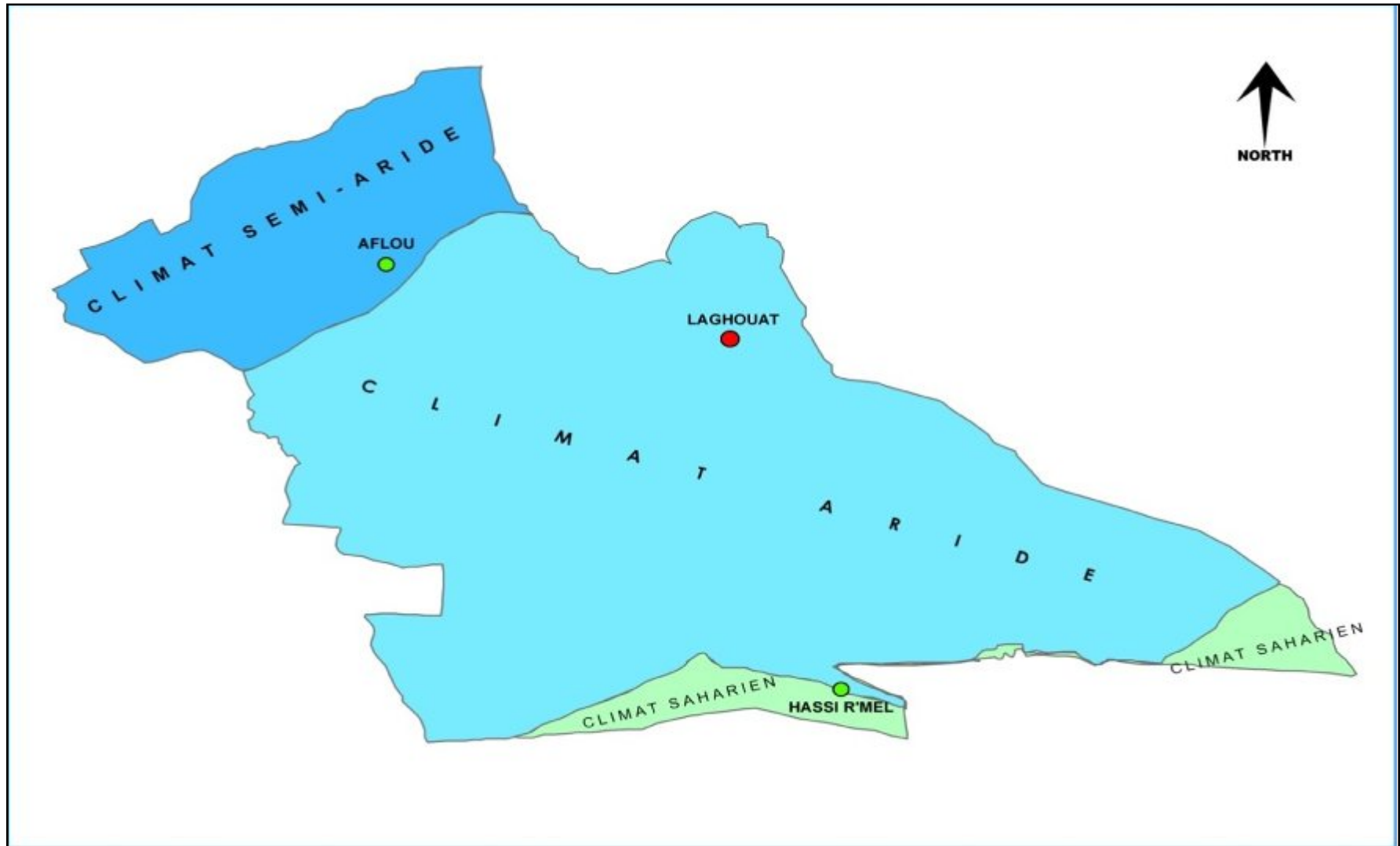


Figure 12. Etagement bioclimatique de la wilaya de Laghouat (Silaâ, 2012).

Du point de vue hydrologique, la wilaya de Laghouat est drainée par un réseau hydrographique assez dense. Les zones nord-ouest et sud-est de la wilaya sont traversées par trois oueds principaux : l'oued M'zi, l'oued Touil, et l'oued Madsous. Ces oueds mènent les eaux de pluies généralement hors de la wilaya, excepté le bassin fermé de l'oued Messaad, et oued M'zi qui se déverse dans le chott Melguir (Anonyme 2, 1998).

3. Région d'étude

Au cœur du pays des dayas, au sud de la wilaya de Laghouat, se localisent nos stations d'étude, plus exactement dans les régions de Timzerth (commune de Khenag) et de Hassi Delâa.

D'abord, nous décrivons cette région dite des dayas. Par la suite, nous montrons sur une carte les limites des stations d'étude, ainsi que les populations échantillonnées. Enfin, nous établissons une synthèse climatique, afin de caractériser le climat des stations étudiées.

3.1. Plateau des Dayas

Le pays des Dayas est un haut plateau d'altitude allant de 500 à 1000 m de l'ouest à l'est. C'est un rectangle de 300 km de long et 100 km de large, ce qui fait environ 30 000 km² (Monjauze, 1982). C'est une épaisse accumulation d'alluvions continentaux remplissant l'espace compris entre l'Atlas saharien au nord des monts Ouled-Naïl et le dôme mozabite (Monjauze, 1980). Il longe l'Atlas Saharien central par son grand côté, s'appuie au sud sur la dorsale turonienne de la Chebka du M'zab, à l'ouest sur des plateaux descendant vers le Grand Erg occidental, qui presque le confronte, et à l'est s'atténue en pente douce en direction des grands oueds fossiles quaternaires issus du Sahara central et, plus loin, de la dépression du Grand Erg Oriental, qui commence 500 km au-delà (Monjauze, 1982).

Le plateau est isolé de l'Atlas Saharien par une faille très importante appelée l'accident sud-atlasique, qui le déborde à peine au nord-ouest et prend régulièrement de l'ampleur à l'est en direction de cette subsidence. Cette flexure saharienne empêche le plateau de recevoir les eaux de l'Atlas saharien (Monjauze, 1980 et 1982).

Le plateau est vaguement bombé dans son tiers antérieur (côté Atlas Saharien), et bien que souvent très plat et insignifiant à l'œil, cette courbure constitue une ligne principale de partage des eaux de ruissellement. Au nord de cette ligne, le modelé hydrographique est

irrégulier, mais tout de même partout sensible. Au sud, il est assez peu perceptible en général ou même apparemment absent (Monjauze, 1982).

Bien que les précipitations n'y excèdent pas 150 mm de pluie par an, le pays des Dayas perd de l'eau, une faible fraction, sur son bord septentrional par les oueds qui empruntent la flexure, et un peu également sur sa partie sud-orientale par les oueds qui rejoignent le lit quaternaire de l'oued Mya. La plus grande partie toutefois de l'eau reçue s'infiltré sur place, soit par des fissures, soit en cheminant le long de faibles thalwegs qui se terminent par des bassins fermés, soit dans les dayas (Monjauze, 1968 et 1982).

Ces précipitations de l'ordre de 100 mm par an, le parcours des troupeaux et la très faible pente nord-sud puissamment encroûtée fossilisent en quelque sorte le plateau sous sa carapace. Ceci réduit sa végétation à une steppe claire quasiment monospécifique *d'Arthrophytum scoparium*. Ces cuvettes peu profondes mais très bien marquées, à fond plat, constituent une grande partie du plateau et sont naturellement colonisées par le pistachier de l'Atlas et toute biocénose ayant peu de rapport avec celle de l'environnement steppique (Monjauze, 1968 et 1980).

La carapace¹ calcaire qui tapisse l'intégralité du plateau est de quelques mètres d'épaisseur (3 à 5 m en moyenne). Elle est composée essentiellement de quatre couches alternativement tufeuses et indurées. La plus dure appelée « croûte grise » ou « deuxième croûte », recouvre toute la surface du plateau. Elle est recouverte d'une très faible épaisseur zonée : la croûte zonaire, formée à ses dépens. Entre ces deux épaisseurs de calcaire pulvérulent siège un mètre de croûte nodulaire appelée « croûte à dragées », c'est la première croûte. L'ensemble constitue un banc impressionnant de calcaire que le réseau hydrographique n'a pas percé, mais que les dayas ont au contraire complètement défoncé. La nature du substratum se reconnaît et s'analyse facilement par les faibles corniches qui longent certains tracés d'érosion, mais que l'on n'aperçoit qu'exceptionnellement dans les dayas (Monjauze, 1982).

Telle est la définition d'une daya donnée par Capot-Rey (1937) : « Les dayas sont des dépressions fermées généralement peu profondes, à fond argilo-sableux, qui troue la carapace calcaire de la Hammada, et où les eaux de pluie viennent s'accumuler à la suite des orages. L'humidité relative de leur sol permet le développement d'une végétation particulière, absente

¹ L'ensemble des croûtes et du calcaire pulvérulent (Monjauze, 1982).

de la Hammada elle-même, dont l'élément caractéristique est un arbre, le pistachier de l'Atlas. Elle permet même, dans quelques cas, l'ensemencement de petits champs d'orge, dont le développement reste toujours extrêmement aléatoire».

Les dayas sont généralement circulaires ou ovales et montrent des bords en pentes douces. Leur profondeur ne dépasse généralement pas quelques mètres, mais leur diamètre peut varier de la dizaine à la centaine et même au millier de mètres (Flandrin, 1952). Capot-Rey (1937) était le premier à montrer l'analogie entre les « dayas » et les « dolines », ce serait donc une forme karstique. Il énonce que leur génèse est liée à un certain nombre de facteurs dont les principaux sont le défaut de drainage superficiel des eaux météoriques et la nature du sous-sol. En l'absence de pentes suffisantes, qui permettraient le ruissellement des eaux superficielles et le creusement des vallées, une fraction importante des eaux de pluie tombant sur la Hammada s'y infiltre et atteint la croûte calcaire pliocène, dont la dissolution locale provoque de légers effondrements superficiels et donne naissance à de petites dépressions fermées qui marquent le début des dayas. Une fois amorcé, le phénomène se développe par l'action combinée des eaux superficielles, qui convergent vers ces dépressions, en y rongant les bords et en y apportant des alluvions fins, du vent qui déblaie ces alluvions et des eaux d'infiltration, qui poursuivent et étendent la dissolution et l'entablement calcaire pliocène sous-jacent.

De même, Estorges (1959 et 1961) constate que le façonnement des dépressions est le résultat conjugué de trois processus d'érosion :

- la dissolution chimique (formation karstique) ;
- l'élargissement par ruissellement ;
- approfondissement par récurage éolien.

Conrad et *al.* (1967) distingue trois types principaux de dayas en fonction de leur taille, et surtout de leur profondeur.

- **Type peu déprimé** : 15 à 20 m de diamètre et quelques centimètres de dénivellation ; ce type de daya est reconnu par le changement de la végétation et de la surface du sol.
- **Type un peu déprimé** : 60 à 150 m de diamètre pour une dénivellation ne dépassant pas un mètre. De forme généralement circulaire, leurs bordures sont incisées par des chenaux de ruissellement bien individualisées et profonds. Ce type de daya ressemble à « une assiette creuse » selon Capot-Rey (1937).

➤ **Type très déprimé** : diamètre de l'ordre hectométrique sinon kilométrique pour une dénivellation de plusieurs mètres, le fond de la daya est plat.

Conrad et *al.* (1967) affirme l'existence d'intermédiaires entre ces trois types principaux, il se posait la question de savoir si « ces divisions arbitraires ne seraient pas en fait des étapes différentes d'un même processus ». Il semblerait que Taïbi et *al.* (1999) ont confirmé cette hypothèse. En se référant à la télédétection satellitaire, ces auteurs ont proposé un schéma évolutif des dayas du plateau saharien, du stade naissant jusqu'au stade adulte en fonction de leur morphologie et de leur végétation (Figure 13).

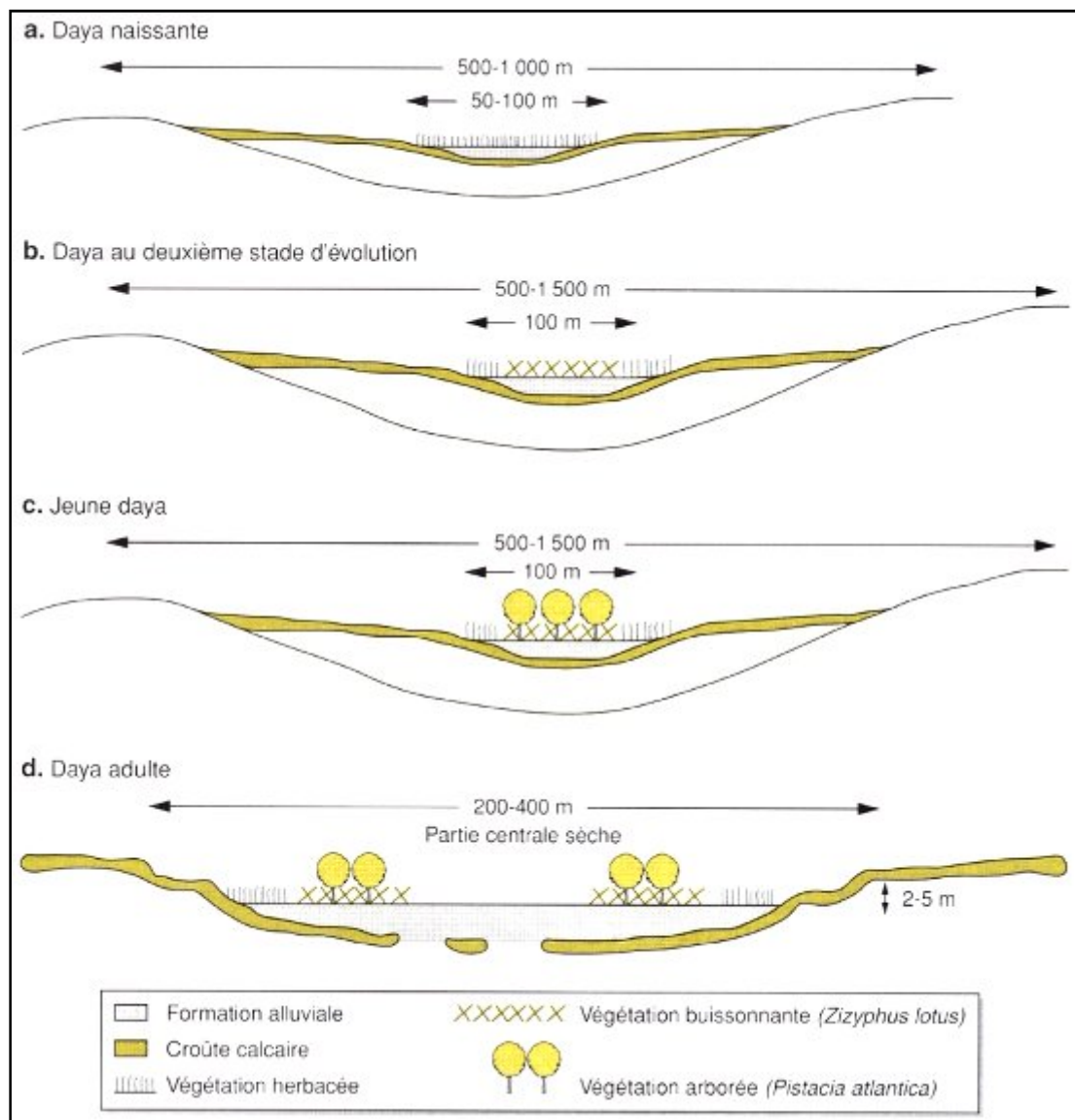


Figure 13. Génèse et végétation des dayas (Taïbi et *al.*, 1999).

A cette irrégularité de forme et de dispersion des dayas, le trait le plus remarquable du plateau Larbaa est aussi l'existence de bétoums strictement inféodés aux buissons de jujubier, faisant de ces dayas des petites oasis et conférant au plateau un paysage classique certes, mais le plus spectaculaire de la région sud-atlasique (Monjauze, 1968).

3.2. Stations d'étude

Situées dans la région de Timzerth (à 50 km du chef-lieu de la wilaya) et dans celle de Hassi Delâa (70 km du chef-lieu de la wilaya), dayate Aïat et dayate Saadi se retrouvent respectivement entre 864 et 883 m et entre 805 et 818 m d'altitude

3.2.1. Positionnement des dayas

Dans le but de montrer la situation de nos dayas par rapport à la ville de Laghouat, nous avons extrait une image satellite de GoogleEarth (Figure 14).

3.2.2. Description des sujets

Les sujets ont été choisis aléatoirement dans les deux dayas en périphérie et au centre des dayas, en tenant en compte à dayate Timzerth les sujets précédemment étudiés. Dans chaque daya, un nombre de 06 individus appartenant à différentes classes d'âge a été examiné.

3.2.2.1. Dayate Saadi, Hassi Delâa

➤ Sujet 01

Il s'agit d'un pied immature de 3.26 m de hauteur et de 14 cm de circonférence de tronc à 1,30 m du collet. Au-dessus de 150 cm du collet, nous comptons 38 branches. Cet individu est entouré de plusieurs touffes de *Ziziphus lotus* et d'une touffe de *Gymnosporia senegalensis*, Celastracées qui selon Ozenda (1996) se retrouve dans les zones tropicales (Figure 15).

Coordonnées GPS	Latitude	Longitude	Altitude
du sujet 01	33°29.696 N	3°28.141 E	808,61 m

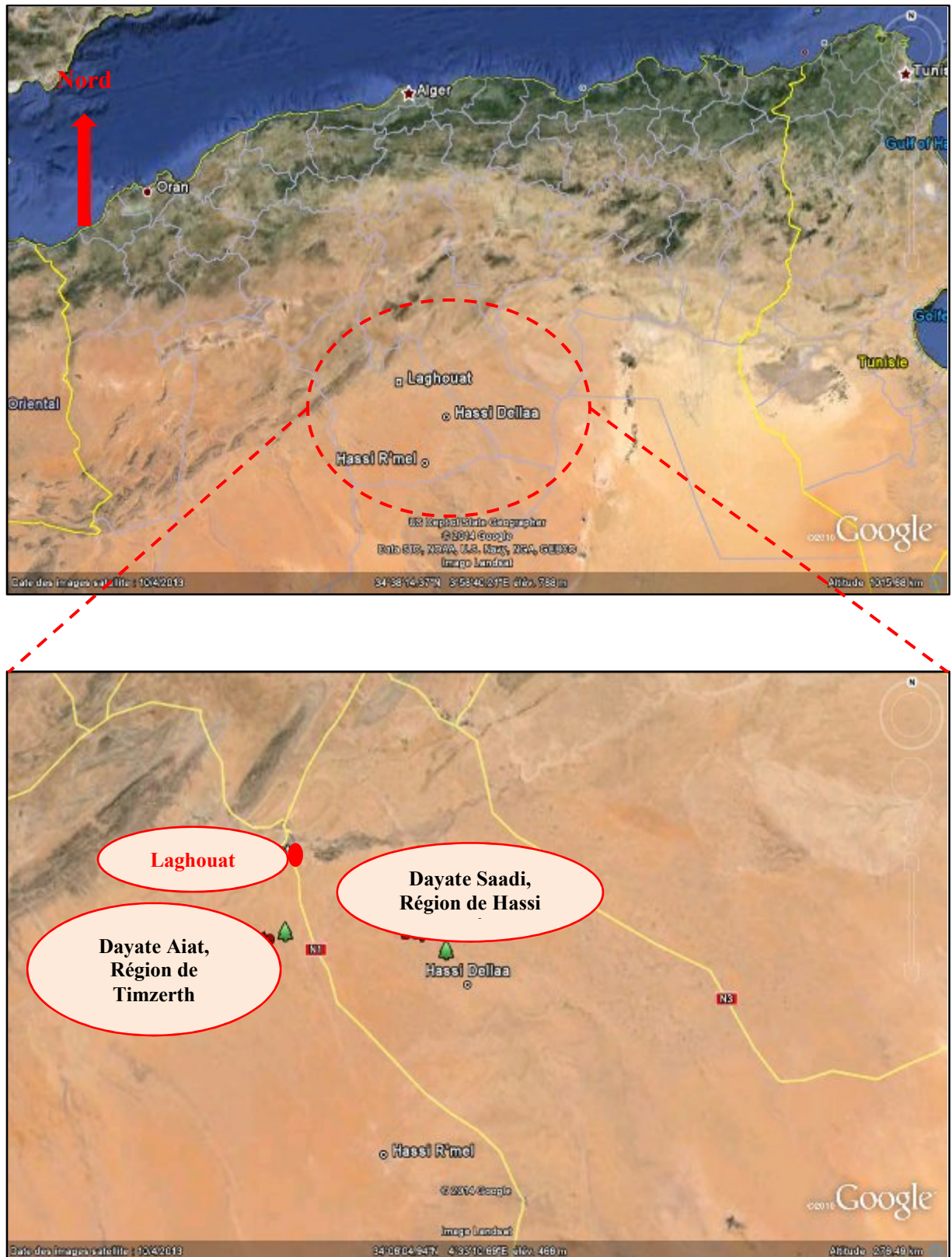


Figure 14. Image satellite montrant la localisation des stations d'étude par rapport à la ville de Laghouat (GoogleEarth 2014).

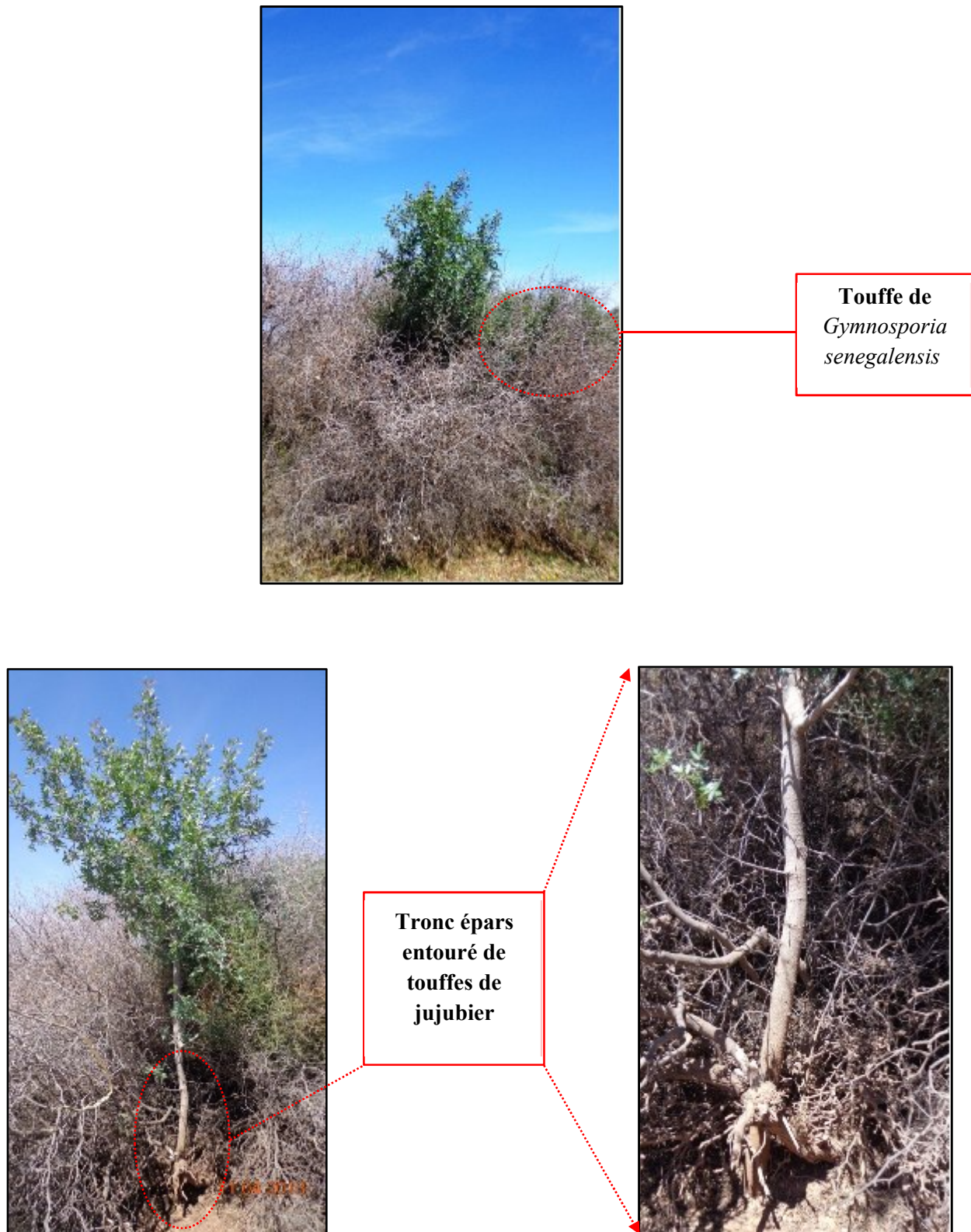


Figure 15. Sujet 01, dayate Saadi, Hassi Delâa.

➤ Sujet 02

C'est un individu immature. Il présente un seul tronc de 3 m de haut et 15.5 cm de circonférence, épars en dessus de 75 cm du collet. Des touffes de jujubier entourent intensément ce sujet (Figure 16).

Coordonnées GPS	Latitude	Longitude	Altitude
du sujet 02	33°29. 675N	3°28.118 E	818,07 m



Figure 16. Sujet 02, dayate Saadi, Hassi Delâa.

➤ Sujet 03

Il s'agit d'un arbre adulte femelle de 5.63 m de haut, ancrée dans une nebkha de jujubier. Le tronc principal présente une circonférence égale à 125.9 cm à 1.30 m du collet, il se ramifie ensuite en six branches (Figure 17).

Coordonnées GPS	Latitude	Longitude	Altitude
du sujet 03	33°29.655 N	3°28.140 E	827,21 m



Figure 17. Sujet 03, dayate Saadi, Hassi Delâa.

➤ **Sujet 04**

C'est un pied mâle adulte de 11.5 m de haut et 154.9 cm de circonférence, comportant deux troncs, chacun se ramifie en trois branches. L'individu est entouré de jujubier (Figure 18).

Coordonnées GPS	Latitude	Longitude	Altitude
du sujet 04	33°29.621 N	3°28.127 E	817,76 m



Sujet 04

Figure 18. Sujet 04, dayate Saadi, Hassi Delâa.

➤ Sujet 05

Il s'agit d'un sujet mâle âgé, de 17 m de haut et 275 cm de circonférence à 1.30 m. Il est localisé dans une partie anthropisée de la daya (céréaliculture). Le tronc commence à se ramifier en 13 branches à partir de 271 cm du collet (Figure 19).

Coordonnées GPS	Latitude	Longitude	Altitude
du sujet 05	33°29.664 N	3°28.84 E	813,19 m

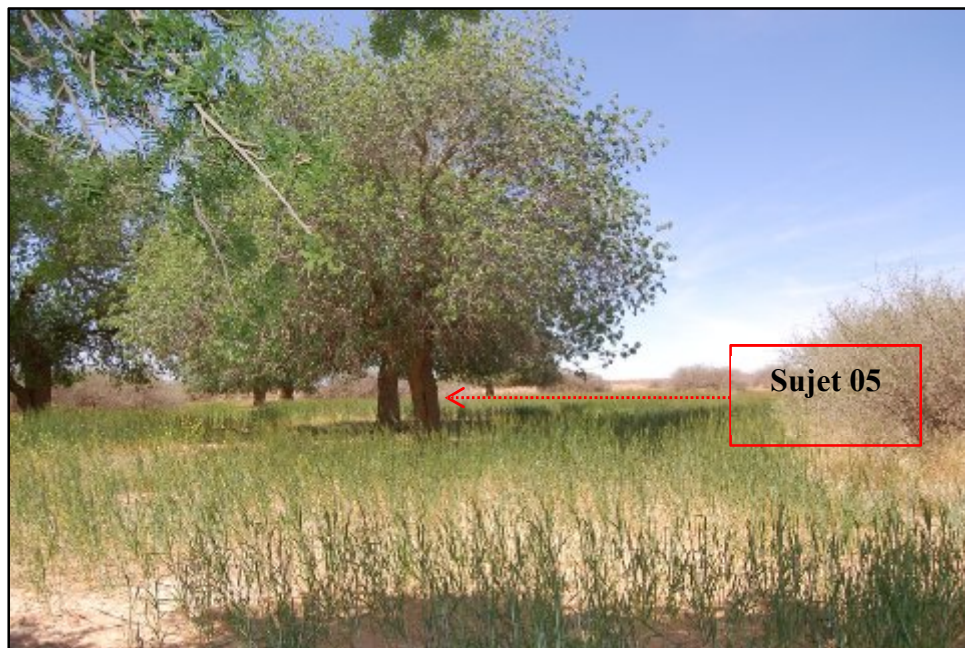


Figure 19. Sujet 05, dayate Saadi, Hassi Delâa.

➤ Sujet 06

C'est un arbre femelle âgé de 20 m de haut environ. Il se ramifie en sept branches à partir de 2.08 m du collet et montre 300 cm de circonférence à 1.30 m (Figure 20).

Coordonnées GPS	Latitude	Longitude	Altitude
du sujet 06	33°29.660N	3°28.119 E	813,19 m

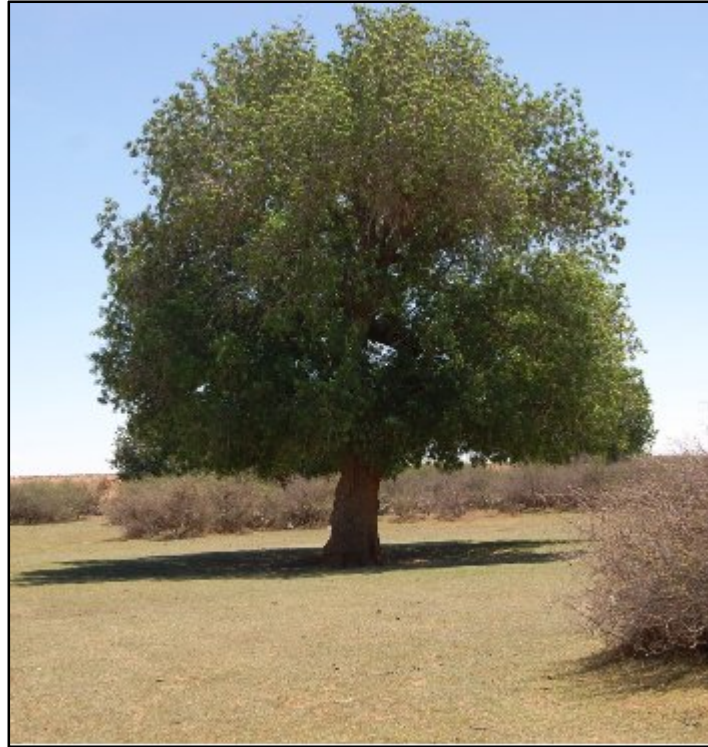


Figure 20. Sujet 06, dayate Saadi, Hassi Delâa.

3.2.2.2. Dayate Aïat, Timzerth

➤ **Sujet 01**

Il s'agit d'un jeune pied immature de 2.5 m de haut ancré sur une nebkha. Le collet, d'une circonférence égale à 49.2 cm est ramifié en deux branches principales, il est entouré de plusieurs touffes de jujubier (Figure 21).

Coordonnées GPS	Latitude	Longitude	Altitude
du sujet 01	33°31.147 N	2°56.374 E	880,24 m



Figure 21. Sujet 01, dayate Aïat, Timzerth.

➤ **Sujet 02**

C'est un pied jeune immature de 3 m de haut et 154.9 cm de circonférence, entouré de touffes de jujubier. Le tronc ayant 36.5 cm de circonférence se ramifie à 59 cm du collet pour donner la première branche. À 34 cm au-dessus de cette dernière, nous rencontrons la deuxième branche (Figure 22).

Coordonnées GPS	Latitude	Longitude	Altitude
du sujet 02	33°31.148 N	2°56.466 E	879,33 m



Figure 22. Sujet 02, dayate Aïat, Timzerth.

➤ **Sujet 03**

Ce pied est limitrophe au sujet 04. Il s'agit d'une femelle adulte, de 3 m de hauteur environ, ancrée dans une nebkha pleine de terriers. Le tronc de 51 cm de circonférence porte de nombreuses ramifications à 67.5 cm du collet (Figure 23).

Coordonnées GPS	Latitude	Longitude	Altitude
du sujet 03	33°31.197N	2°56.460 E	880,24 m

➤ **Sujet 04**

Il s'agit d'un sujet femelle adulte de 3 m de haut, ancré dans une nebkha (Figure 23). Le collet de 115.4 cm de circonférence, se ramifie en deux troncs entremêlés à partir de 15.7 cm de haut pour donner le tronc A et le tronc B, ayant respectivement des circonférences égales à 64.5 cm et 104 cm. A 90 cm de haut, le tronc B se ramifie en deux branches : Br-B-1 et Br-B-2, leurs circonférences sont respectivement de 60.7 cm, et 98.2 cm. L'individu est intimement lié à des touffes de jujubier. L'illustration est portée sur la figure 24.

Coordonnées GPS	Latitude	Longitude	Altitude
du sujet 04	33°31. 195 N	2°56.450 E	878,72 m

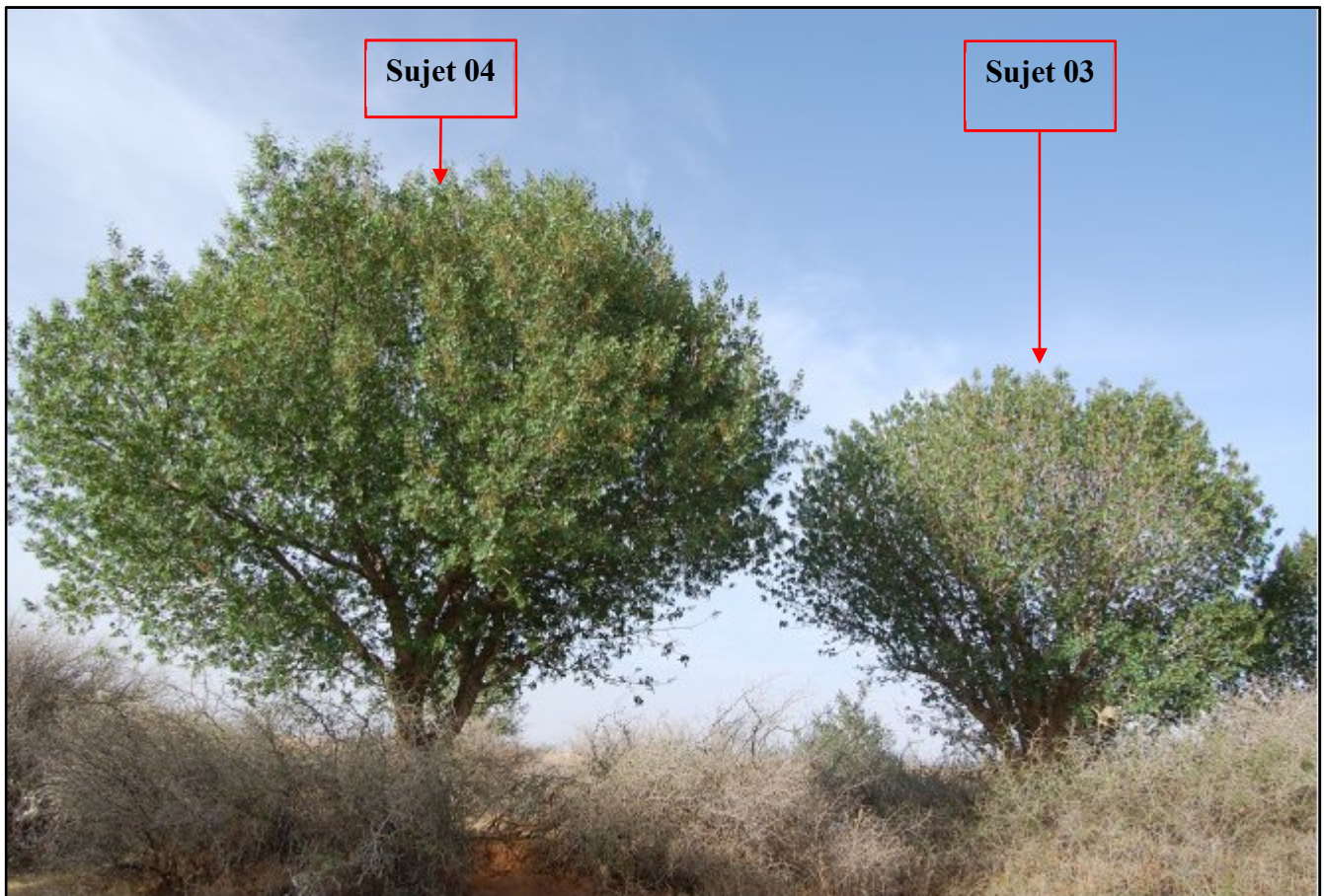


Figure 23. Sujet 03, et sujet 04, dayate Aïat, Timzerth.

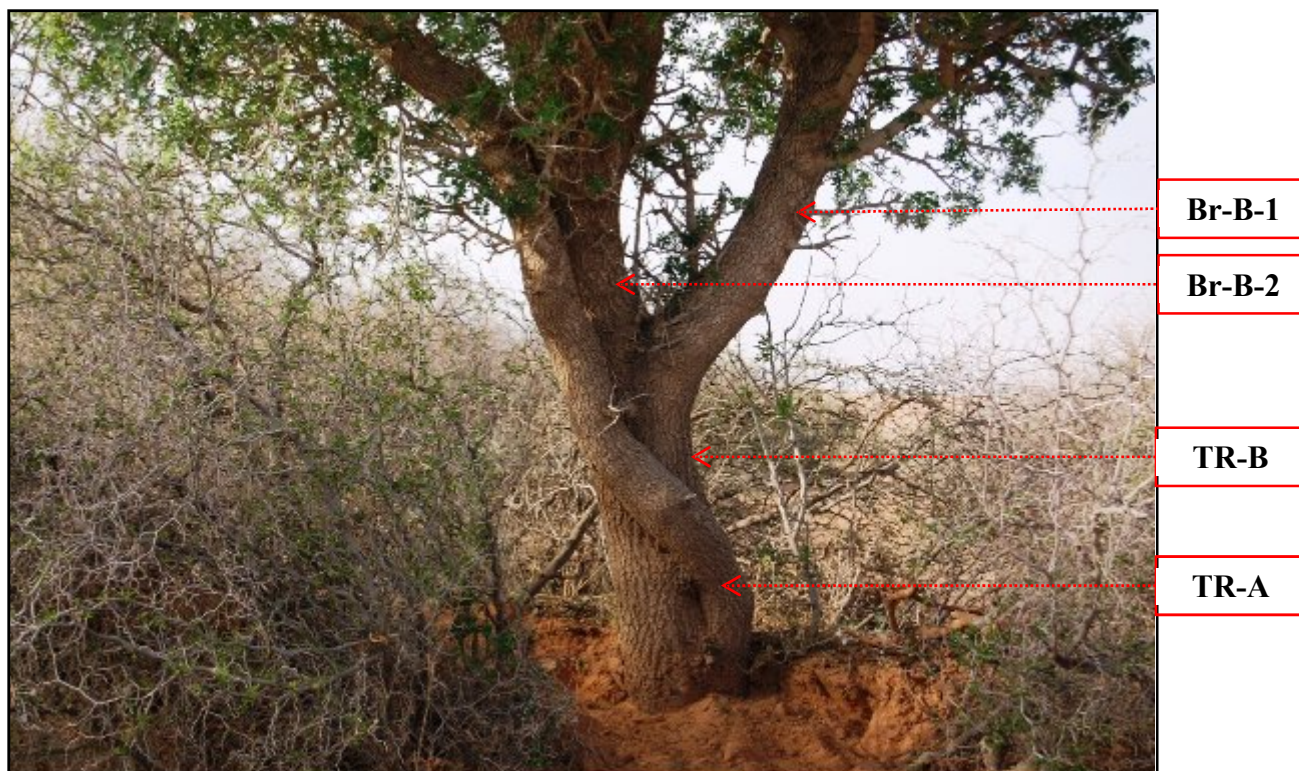


Figure 24. Illustration du tronc du sujet 04, dayate Aïat, Timzerth : **TR-A** : tronc A ; **TR-B** : tronc B ; **Br-B-1** : Première branche du tronc B ; **Br-B-2** : Deuxième branche du tronc B

➤ **Sujet 05**

Il s'agit d'un sujet mâle âgé de 10 m de haut, muni d'un seul tronc de 339.5 cm de circonférence qui se ramifie en quatre branches à 3.19 m en dessus du collet (Figure 25). Nous comptons huit ramifications principales dont trois coupées, et une jeune ramification à 1.61 m du collet comme le montre la figure 26.

Coordonnées GPS	Latitude	Longitude	Altitude
du sujet 05	33°31.203 N	2°56.428 E	866,83 m



Figure 25. Sujet 05, dayate Aïat, Timzerth.



Figure 26. Illustration de la partie aérienne du sujet 05, dayate Aïat, Timzerth.

➤ Sujet 06

Il s'agit d'un arbre mâle âgé de 8 m de haut, muni d'un seul tronc ayant une circonférence égale à 231 cm, qui commence à se ramifier en 04 branches, à partir de 3.5 m du collet. Il montre des inflorescences sur la majorité des tiges inférieures et supérieures (Figure 27).

Coordonnées GPS	Latitude	Longitude	Altitude
du sujet 06	33°31.117 N	2°56.388 E	882,38 m



Figure 27. Sujet 06, dayate Aïat, Timzerth.

3. 3. Bioclimat

L'interaction sol-végétation est conditionnée par le climat, facteur prépondérant sur le développement des plantes et sur les processus pédogénétiques ; son rôle est aussi apparent dans le façonnement du relief, surtout en zones arides et désertiques.

Pour caractériser le climat d'une région donnée, pluviosité et température sont les principaux paramètres pris en considération, car les plus disponibles des paramètres météorologiques, mais aussi au vu de l'importante influence qu'ils exercent sur la distribution

de la végétation. De plus, d'autres paramètres météorologiques tels que : le vent, le nombre de jours de gelée, l'évapotranspiration, l'humidité peuvent aussi renseigner sur le climat.

En l'absence de stations météorologiques dans les deux zones échantillonnées, nous avons pris les données climatiques sur dix années² des stations les plus proches, en l'occurrence la station de Laghouat pour la daya de Timzerth, et la station de Hassi R'mel pour la daya de Hassi Delâa. Ces deux stations encadrent les deux sites d'étude. En conséquence, leur caractérisation bioclimatologique est plus précise. En effet, la carte ci-après montre les zones d'influence des stations météorologiques de la wilaya de Laghouat (Figure 28).

Les deux stations sont professionnelles (ONM, 2012), leurs caractéristiques sont portées ci-après.

Tableau 01. Caractéristiques des stations de référence (Mahi, 2014).

Stations de référence	Stations d'étude	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Localisation
Hassi R'mel	Hassi Delâa (Dayate Saadi)	32° 56° N	03° 56° E	764	Base aérienne
Laghouat	Timzerth (Dayate Aïat)	33° 53° N	02° 31° E	777	Route de Khenag

D'après les résultats obtenus, une synthèse climatique a été effectuée.

3.3.1. Précipitations

Les précipitations sont pratiquement toujours des pluies, qui dans les zones arides et hyperarides, sont très faibles, rarement les pluies torrentielles se manifestent (Dubief, 1953). Ce manque de pluies est dû à l'irrégularité très marquée du régime pluviométrique et à la variabilité interannuelle considérable, ce qui accentue la sécheresse de ces régions (Ozenda, 1983).

Pour étayer les caractéristiques de précipitation des zones d'étude, une synthèse des

² Nous n'avons pas pu avoir les données de plus de 10 ans auprès de l'ONM, précautions dictées par l'établissement.

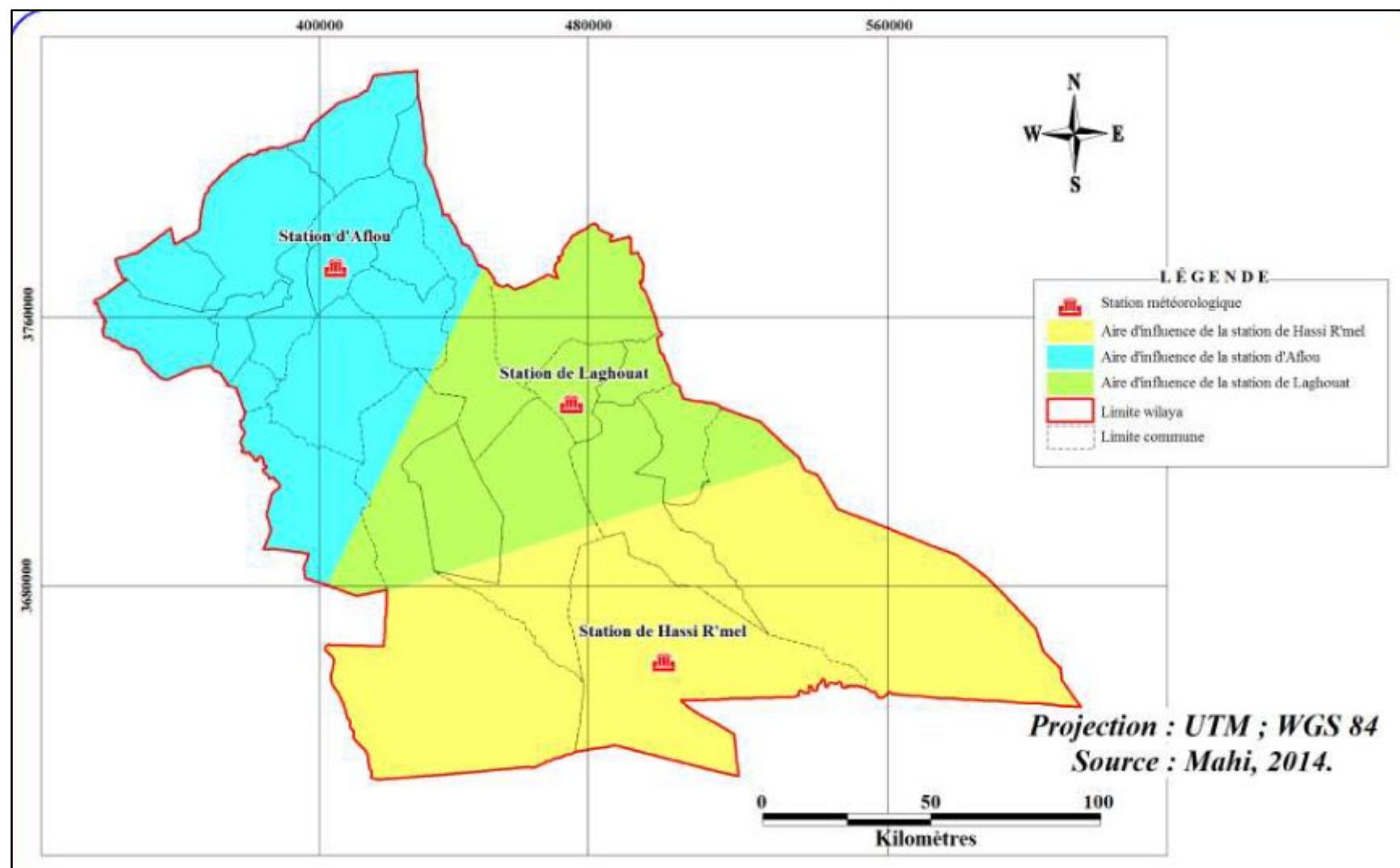


Figure 28. Aires d'influence des stations météorologiques de la wilaya de Laghouat (Mahi, 2014).

données de précipitations des deux stations représentatives (Hassi R'mel et Laghouat) a été portée sur le tableau 02.

Tableau 02. Précipitations mensuelles moyennes (mm) des stations d'étude (2002-2012) (ONM-Alger).

Année	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Cumul annuel (mm)
Hassi R'mel	16,79	5,99	7,8	12,07	5,93	9,91	2,79	12,78	32,43	18,41	7,59	8,89	141,38
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

La station de Laghouat a montré la valeur la plus élevée des moyennes de cumuls de précipitations annuelles (181.42 mm) comparé à Hassi R'mel (141.38 mm). Les deux stations d'étude peuvent être classées dans la région aride inférieure, appelée aussi zone présaharienne ou subdésertique selon Le Houérou (1995). Cet auteur donne une pluviosité moyenne annuelle pour cette zone comprise entre 100 et 200 mm.

L'analyse des moyennes mensuelles de pluie dans les deux stations fait ressortir un maximum en septembre (32,43 mm) à Hassi R'mel, et en septembre (27,48 mm) et octobre (27,63 mm) à Laghouat. En effet, ces valeurs mensuelles régressent, le minimum a été enregistré en juillet (2,79 mm), mai (5.93 mm) et février (5,99 mm) à Hassi R'mel, et en juillet (5,56 mm) et février (7,75 mm) à Laghouat (Figure 29).

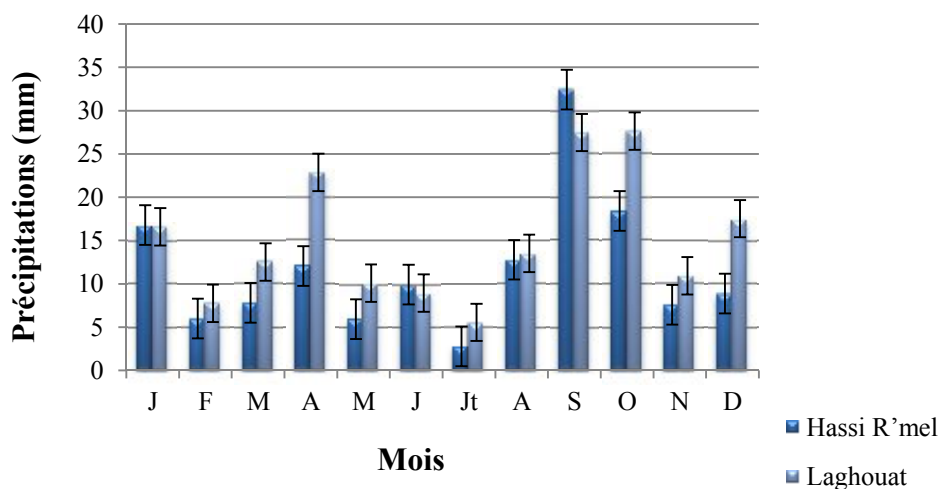


Figure 29. Histogramme des moyennes mensuelles de précipitations des régions d'étude (2002-2012) (ONM-Alger).

D'après l'histogramme ci-dessus, les maxima et le minima des précipitations moyennes mensuelles (sur une période de dix ans) dans les deux stations ne s'enregistrent pas dans le même mois, les pluies se concentrent surtout de septembre à janvier et exceptionnellement en avril ; elles décroissent progressivement en juillet. Ce minimum estival est l'une des caractéristiques essentielles du climat méditerranéen d'après Emberger (1955) et Daget (1977). La période pluviale se concentre en automne et au printemps, ceci favorise d'abord la germination des graines et accélère par la suite le développement de la végétation.

En effet, l'irrégulière distribution pluviométrique mensuelle dans les deux régions d'étude pourrait être expliqué, selon Pouget (1980), d'une part, par le régime pluviométrique que l'Atlas saharien bénéficie davantage, et d'une autre part, par les pluies orageuses dues aux perturbations atmosphériques provenant des régions sahariennes, surtout à la fin du printemps et même en période estivale, en août notamment. De plus, la variation notée entre les deux régions d'étude est liée à leur situation géographique, Laghouat se situe au nord par rapport à Hassi R'mel. Ce gradient nord-sud d'après Pouget (1980) fait diminuer nettement la pluviosité, l'influence orographique de l'Atlas saharien étant à l'origine de ce changement.

3.3.2. Températures

La température est un paramètre fondamental dans la caractérisation climatique, car elle influence le régime hydrique. Ce facteur augmente progressivement du nord au sud, et régit la répartition de la végétation.

Le climat thermique des régions présahariennes et sahariennes est relativement uniforme dont l'été est brûlant (Ozenda, 1991). Les températures moyennes annuelles sont élevées, avec des maxima absolus pouvant atteindre et dépasser 50°C, et des minima de janvier variant de 2 à 9 °C (Le Houérou, 1990a). La température du sol en surface peut dépasser 70°C. Cependant en profondeur, les températures vont diminuer rapidement et s'équilibrer.

De la même façon que les précipitations, une synthèse des données de températures pour les deux stations représentatives de notre région d'étude a été établie (Tableau 03).

Tableau 03. Températures (°C) des stations d'étude (2002-2012) (ONM-Alger).

Stations	T	J	F	M	A	M	J	Jlt	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
Hassi R'mel	M	15,38	17,69	22,33	26,87	30,93	35,08	38,22	35,99	29,89	26,21	19,33	15,19	26,1
	m	2,82	4,94	8,72	12,94	16,87	20,87	23,96	22,59	17,52	14,8	7,14	3,28	13,04
	M+m/2	8,97	11,31	15,52	19,9	23,9	27,97	31,69	29,29	23,7	20,5	13,23	9,23	19,57
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

L'analyse de ces valeurs nous permet de remarquer que les températures maximales ont leur plus fortes valeurs de juin à août, avec un maximum en juillet (38,22°C) à Hassi R'mel, et en août (40,89°C) à Laghouat, tandis que les plus faibles valeurs se produisent en janvier, avec 2,82°C à Hassi R'mel, et 2,03°C à Laghouat (Figure 30).

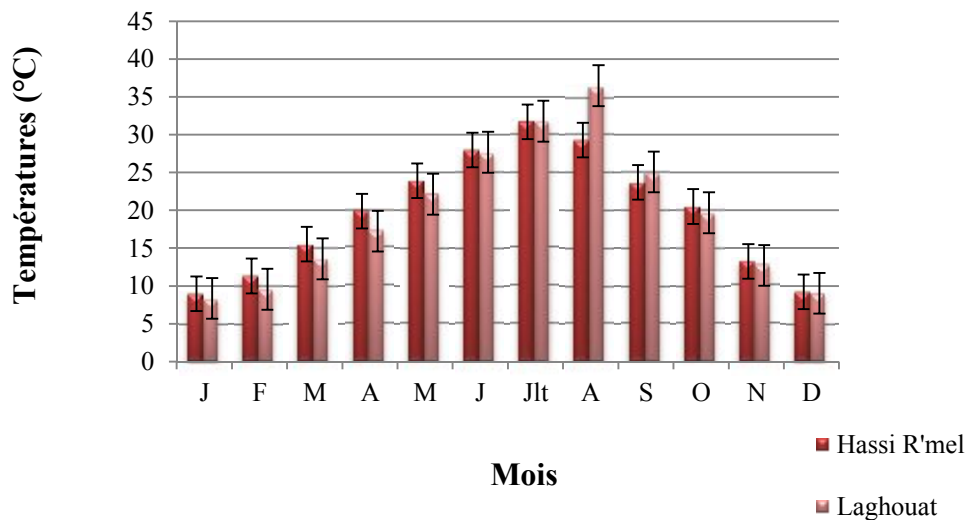


Figure 30. Histogramme des moyennes mensuelles des températures des régions d'étude (2002-2012) (ONM-Alger).

Selon la figure 30, les températures moyennes mensuelles dans les deux stations ont tendance à augmenter progressivement du mois de janvier pour atteindre le maximum en juillet et août, et régresser jusqu'au mois de décembre. L'histogramme renseigne sur une période chaude longue et une période froide courte.

3.3. 3.Synthèse bioclimatique

3.3.3.1. Indice de continentalité

C'est l'amplitude annuelle maximale des températures moyennes (minima et maxima) d'une région. Elle correspond à la différence entre la température moyenne maximale du mois le plus chaud et la température minimale du mois le plus froid (Emberger, 1971). De façon générale, cette amplitude exprime selon la continentalité, l'humidité atmosphérique et l'intensité de l'évaporation (Emberger, 1938).

Debrach (M'hirit, 1982) définit deux types de climat en utilisant l'amplitude annuelle maximale ($M-m$) et la température moyenne annuelle ($(M+m) / 2$).

➤ Climat de type $M - m$

- $M-m < 15\text{ °C}$: climat insulaire ;
- $15\text{ °C} < M-m < 25\text{ °C}$: climat littoral ;
- $25\text{ °C} < M-m < 35\text{ °C}$: climat semi- continental ;
- $M-m > 35\text{ °C}$: climat continental.

➤ Climat de type $M + m / 2$

- $M+m/2 > 20\text{ °C}$: climat chaud ;
- $15\text{ °C} < M+m/2 < 20\text{ °C}$: climat modéré ;
- $10\text{ °C} < M+m/2 < 15\text{ °C}$: climat froid ;
- $M+m/2 < 10\text{ °C}$: climat très froid.

Selon cette classification, le climat des deux stations de références est de type continental modéré, l'amplitude thermique annuelle maximale ($M-m$) et l'indice $M+m/2$ sont respectivement de $35,4\text{ °C}$, et $19,57\text{ °C}$, pour la station de Hassi R'mel, et de $38,86\text{ °C}$, et $19,43\text{ °C}$ pour la station de Laghouat.

3.3.3.2. Indice d'aridité de De Martonne (1927)

L'indice d'aridité de De Martonne estime l'intensité de la sécheresse d'une région donnée. Il est calculé d'après la formule :

$$A = P/T + 10$$

où :

P : Précipitation totale annuelle (mm)

T : Température moyenne annuelle (°C)

L'indice de De Martonne pour la station de Hassi R'mel est de 4,78, et pour la station de Laghouat, il est équivalent à 6,16. Après l'extrapolation de ces indices sur l'abaque d'aridité de De Martonne (Figure 31), la région de Hassi R'mel est classée dans un régime désertique à écoulement temporaire et drainage intérieur, tandis que la région de Laghouat est plutôt classée dans le régime semi-aride à écoulement temporaire et à formation herbacée.

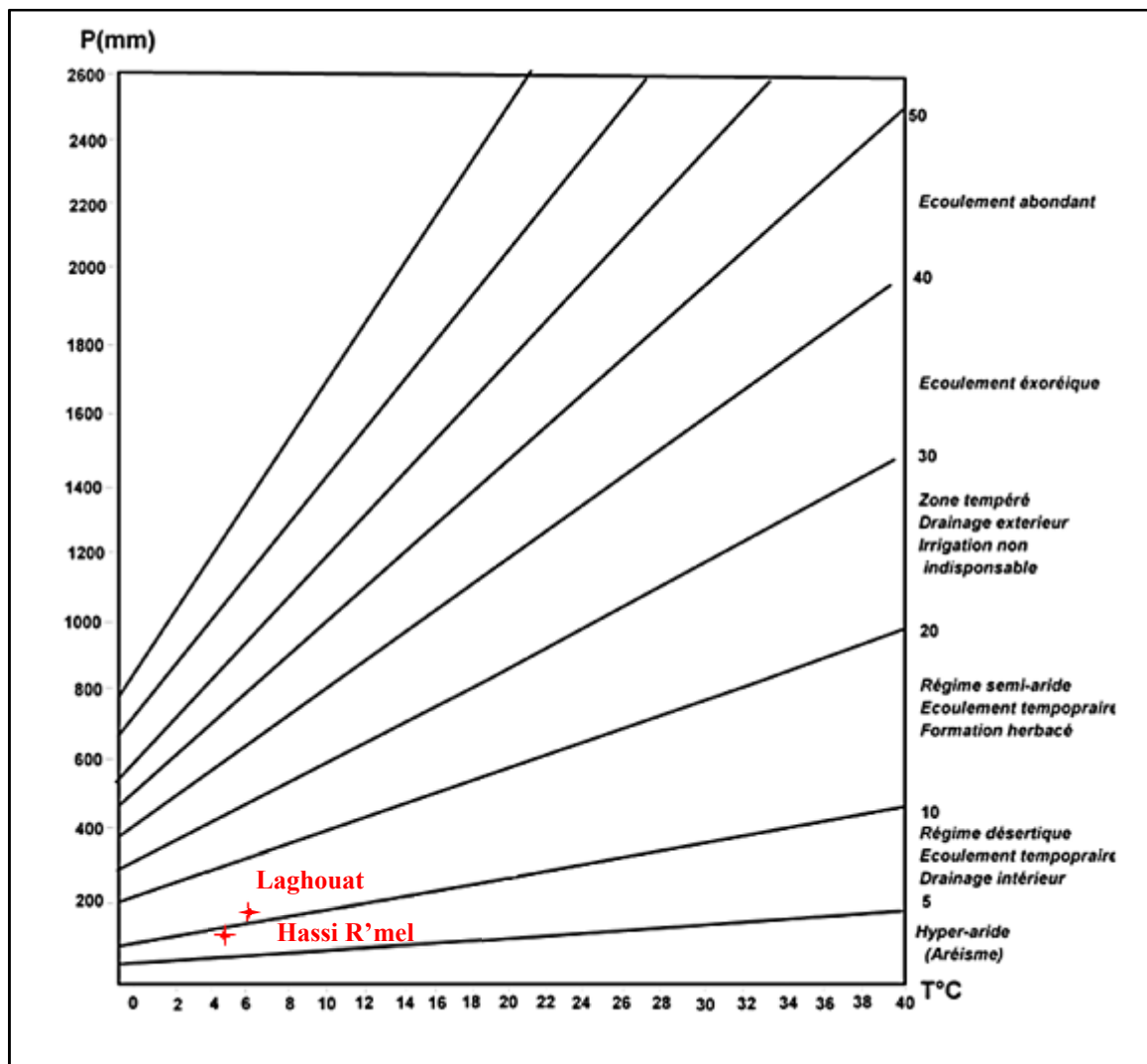


Figure 31. Situation des stations d'étude sur l'abaque de l'indice d'aridité de De Martonne (1927).

3.3.3.3. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953)

Le diagramme de Bagnouls et Gaussen correspond à la combinaison dans une figure de deux courbes : celle des cumuls mensuels de précipitations et celle des températures moyennes mensuelles, afin de déterminer la période sèche de l'année, l'échelle concorde 1°C de température à 2 mm de pluie (Bagnouls & Gaussen, 1957). Selon ces auteurs, un mois est défini comme étant sec lorsque la pluviosité mensuelle totale est égale ou inférieure au double de la température moyenne mensuelle ($P \leq 2T$). La période sèche apparaît ainsi (graphiquement) quand la courbe de pluviosité est en dessous de la courbe de températures.

D'après les moyennes mensuelles de température et le total des précipitations mensuelles sur dix années au niveau des deux stations, les diagrammes ombrothermiques ont été tracés ci-après (Figure 32).

Les diagrammes montrent pour les deux stations d'étude une longue période sèche étalée presque sur toute l'année. Pour la station de Hassi R'mel, cette période sèche est de onze mois et demi, tandis qu'à la station de Laghouat, elle dure onze mois.

Il faut rappeler que la saison sèche est par définition celle où se manifeste, pour la plupart des plantes, des conditions de stress hydrique plus ou moins intense et plus ou moins continues (Le Houérou, 1995).

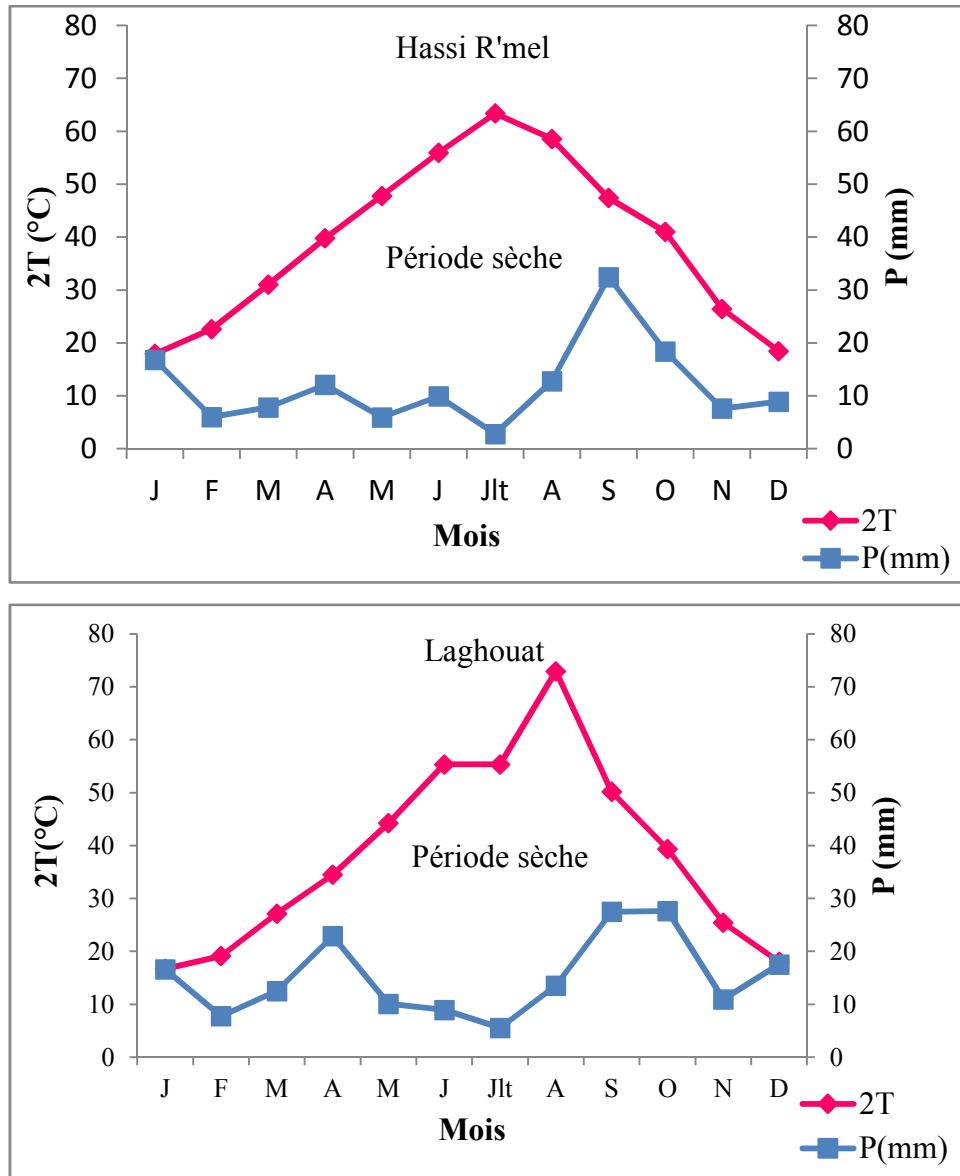


Figure 32. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen des deux stations d'étude (2002-2012) (ONM-Alger).

3.3.3.4. Zonation éoclimatique de Le Houérou (1995)

La zonation éoclimatique de Le Houérou (1995) concerne spécialement les régions de l'Afrique du Nord. Elle consiste à tracer un diagramme qui porte sur les ordonnées le quotient pluvio-évapotranspiratoire (P/ETP)³, et sur les abscisses les moyennes des températures minimales du mois le plus froid. Le croisement de ces deux variables donne l'étagement bioclimatique de la région étudiée.

³ ETP correspond à l'évapotranspiration calculée à partir de la formule de Penman : $ETP = [(M+m)/2] \times 68,64$ (Le Houérou, 1995).

Chapitre 2. Région d'étude

Pour les zones étudiées, les données nécessaires pour la zonation éoclimatique selon la méthode de Le Houérou (1995) sont portées sur le tableau 04. Leurs positions respectives sont désignées sur le diagramme de Le Houérou (1990b *in* Le Houérou, 1995) (Figure 33).

Tableau 04. Données et variables calculées utilisés dans la classification éoclimatique de Le Houérou (1995) des deux stations d'étude.

Stations de référence	Altitude (m)	P (mm)	M	m	M+m/2	ETPp [(M+m)/2]×68,64 (mm)	P/ETPp	(P/ETPp)×100	Classification
Hassi R'mel	764	141,38	38,22	2,82	20,52	1408.5	0,10	10	Aride inférieur à hiver frais
Laghouat	777	181,42	40,89	2,03	21,46	1473	0,12	12	Aride inférieur à hiver frais

L'analyse du climat des deux stations sur une période de dix ans (2002-2012) révèle que les deux régions se situent dans l'étage aride inférieur à hiver frais. Le Houérou (1995) a classé la wilaya de Laghouat dans le même étage bioclimatique aride inférieur à hiver frais (Tableau 05).

Tableau 05. Données et variables utilisées dans la classification éoclimatique de Laghouat selon Le Houérou (1990b).

Stations de référence	Altitude (m)	P (mm)	M	m	M+m/2	ETPp [(M+m)/2]×68,64 (mm)	P/ETP	(P/ETP)×100	Classification
Laghouat	796	167	36	2,3	19,15	1314	0,13	13	Aride inférieur à hiver frais

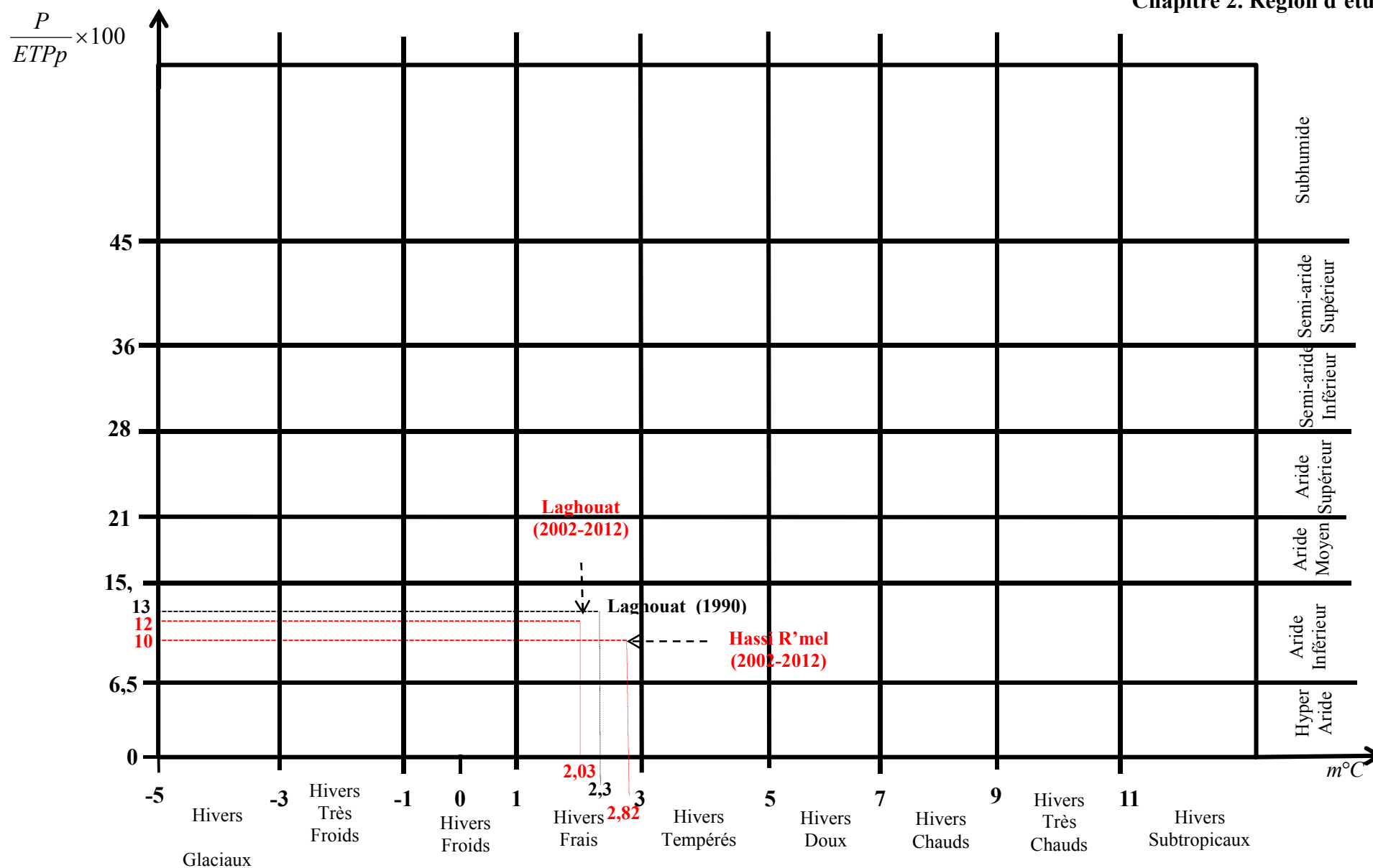


Figure 33. Zonation éoclimatique des stations d'étude selon la méthode de Le Houérou (1995).

Le Houérou (1990b) avait émis une hypothèse d'accroissement de 3°C de la température moyenne annuelle à l'horizon des années 2050 dans les régions arides du Nord de l'Afrique, basée sur le quotient pluvio-évapotranspiratoire et la moyenne des températures minimales journalières (m) du mois le plus froid. A cette issue, il classe Laghouat toujours dans l'étage aride inférieur, mais il estime que l'hiver changera de frais à doux avec un m= 5,3°C (Figure 34).

D'après l'analyse éoclimatique de Le Houérou (1990b), nous remarquons que la température moyenne annuelle de la station de Laghouat a augmenté certes de 2,31°C, mais les températures moyennes minimales du mois le plus froid ont au contraire diminué de 0,27°C, les températures moyennes maximales du mois le plus chaud ont augmenté de 4,89°C, et les précipitations annuelles aussi ont augmenté de 13 mm, ce qui a induit l'abaissement du quotient pluvio-évapotranspiratoire de 13 à 12, suite à l'accroissement de l'écart thermique et du taux de précipitations annuelles de la station de Laghouat.

Ceci nous conduit à confirmer l'hypothèse de cet auteur sur la tendance à l'élévation de la température moyenne annuelle. D'un autre côté, nous constatons que la moyenne des températures minimales journalières du mois le plus froid tend à diminuer, tandis que la moyenne des températures maximales tend à augmenter. Nous assistons plutôt à une divergence des extrêmes thermiques (M et m).

Le Houérou (1995) n'a pas spécifié une zonation éoclimatique pour la région de Hassi R'mel. Le manque de données climatiques dans la période qui précède 1994, année où la station de Hassi R'mel a été installée, l'a empêché et nous empêche actuellement de comparer nos résultats.

Il semble crucial de compléter les données climatiques manquantes, afin de mieux analyser le climat de la région de Laghouat, à nuance bi-climatique variable et de voir la tendance du climat sur plusieurs années (30 ans au minimum).

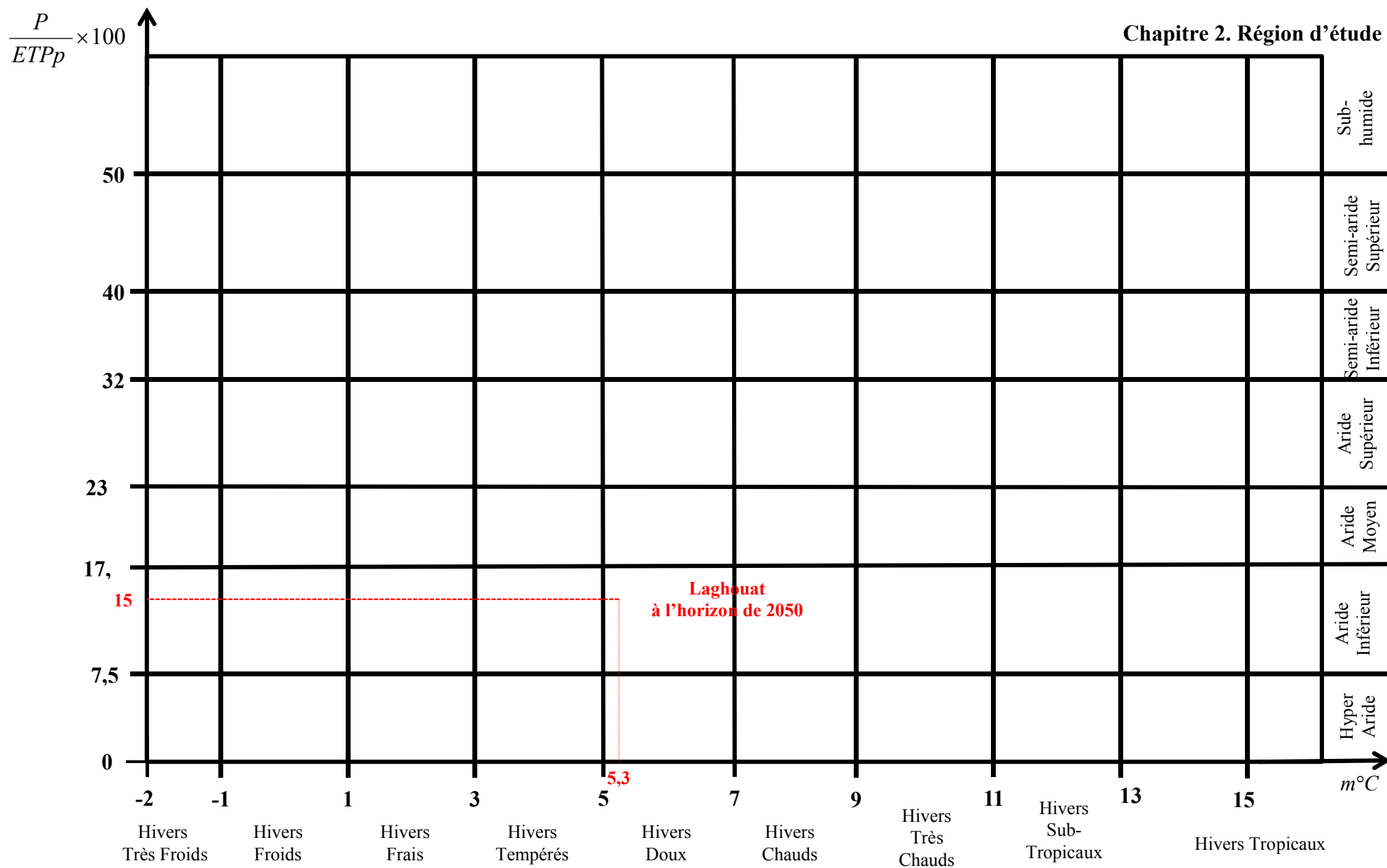


Figure 34. Zonation écoclimatique de Laghouat dans l'hypothèse d'une augmentation de la température de 3°C à l'horizon de 2050 (Le Houérou, 1995).

4. Conclusion

A la lisière du Sahara, une zone aride inférieure ou aride accentuée, encore appelée présaharienne ou subdésertique est distinguée. Elle se caractérise sur le plan écologique par la présence et la dominance d'espèces steppiques strictes, l'infiltration de certaines d'espèces sahariennes et la quasi-inexistence d'espèces d'affinité forestière en dehors des zones favorisées par le ruissellement ou les inféro-flux. Cette zone peut se délimiter schématiquement par les isohyètes de 100 et 200 mm, ou mieux par un quotient évapotranspiratoire de 0,065 à 0,15. Cette zone se caractérise encore sur le plan faunistique par l'extension d'un certain nombre d'espèces, dont le centre de distribution se trouve au Sahara, associées à des espèces plus typiquement steppiques. Le parallélisme entre les affinités floristiques et faunistiques est donc apparent (Le Houérou, 1995).

L'étude bioclimatique de notre zone d'étude confirme les travaux de Le Houérou (1995) pour la bordure du Sahara, bien que les dayas constituent un milieu unique et apparent par rapport à la Hammada environnante, puisqu'elles recueillent les eaux de ruissellement qui se maintiennent plusieurs jours à plusieurs semaines, grâce à la texture fine des alluvions déposés, ressource rare sur les vastes étendues du plateau. Ceci confère à ces dépressions un microclimat complètement différent de l'environnement externe et conviendrait à une étude microclimatique ultérieure pour mieux caractériser ces cuvettes vertes.

Chapitre 3 :
Système racinaire du
pistachier de l'Atlas

1. Introduction

Face cachée des arbres¹, le système racinaire a toujours été considéré comme une «mystérieuse boîte noire». Servant à ancrer et à nourrir les arbres, nous manquons de connaissances sur leur morphologie et physiologie approfondies. À l'avenir pourtant, leurs rôles dans la protection des ressources naturelles et de l'environnement auront une importance croissante (Drénou, 2006). Les racines sont mal connues, car peu accessibles et donc difficiles à étudier. Invisible et important, le système racinaire a toujours été sous-estimé (Raimbault, 2003).

La prise en compte de l'architecture du système racinaire (c'est-à-dire sa forme et sa structure) est essentielle pour décrire ses principales fonctions d'absorption et d'ancrage. Dans les sols, l'absorption de l'eau et des sels minéraux est généralement limitée par les transferts sol-racines, qui sont directement liés à la configuration spatiale du système racinaire. De plus, la dynamique de cette configuration détermine l'absorption des éléments les moins mobiles. La structure du système racinaire qui définit les caractéristiques des différentes racines et leur agencement mutuel, permet de mieux comprendre la distribution des potentialités d'absorption et les phénomènes de transport au sein du système racinaire. L'architecture racinaire peut être considérée comme le résultat global, vu sous un angle dynamique et spatial, des phénomènes de développement. La description de l'architecture racinaire aboutit à sa modélisation. Ceci repose tout d'abord sur une analyse des caractéristiques morphogénétiques des différents axes du système racinaire. Par la suite, cette analyse conduit à une typologie des axes racinaires, établie selon différents critères morphologiques et anatomiques, ainsi qu'une caractérisation de leur position d'apparition dans le temps et dans l'espace. Le système racinaire au cours de son développement met en place des axes à comportement morphogénétique bien typés, suivant une organisation relativement stable, que l'on retrouve dans des milieux très divers. Cette mise en place ouvre la voie à une modélisation quantitative, qui consiste en la formalisation de ces règles. Les modèles proposés permettent ainsi de synthétiser les différents éléments observés lors de l'analyse de l'architecture, et de produire des simulations que l'on peut confronter à différents types d'observations (Pagès, 1995).

L'espèce étudiée possède un système racinaire vigoureux (Monjauze 1968 et 1980). Le pistachier de l'Atlas, signe de longévité et de vigueur, seul arbre spectaculaire de la steppe

¹ Exceptée dans certaines situations particulières, où les racines sont aériennes.

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

qui a rarement tenté les chercheurs, suggère l'urgence d'étudier son adaptation dans ces régions où la rigueur climatique et l'action anthropozoïque prévalaient amplement au fil du temps. Mettre la lumière sur son important système racinaire serait une originalité.

Comment se manifestent les formes et les structures racinaires dans ces dayas à bétoums ?

2. Racines

Vers le milieu de l'ère Primaire, il y a environ 400 millions d'années, les racines vraies sont apparues en même temps que les plantes vasculaires (Selosse & le Tacon, 1998). La racine est donc un organe propre aux végétaux les plus évolués : Ptéridophytes, Gymnospermes et Angiospermes (Drénou, 2006).

Généralement souterrain, cet organe cylindrique des végétaux ne porte pas de feuilles (Lüttge et *al.*, 1992). Il est de géotropisme positif et explore le sol à l'opposé de la tige qui croît vers le haut (Drénou, 2006). Des espèces vivaces peuvent se maintenir plusieurs mois sans tige, tandis que rares sont les plantes dont les tiges peuvent survivre plus de quelques jours sans racines (Raimbault, 2003).

Elément de jonction entre le sol, l'eau et la partie aérienne de l'arbre, la racine joue de nombreux rôles ; Drénou (2006) distingue trois grandes catégories de fonctions :

- la fixation au sol est assurée par les grosses racines ligneuses, dont la configuration s'adapte aux contraintes de l'environnement ;
- le stockage et l'accumulation des réserves nécessaires à la reprise de la végétation au printemps ;
- la nutrition hydrominérale de l'arbre à partir des ressources du sol est offerte par les racines fines.

Fines et grosses, organisées en réseau, les racines forment le système racinaire d'un arbre et assurent le fonctionnement harmonieux de l'ensemble ; à chaque type est attribuée une fonction particulière (Drénou, 2006).

- **Les racines ligneuses** : elles constituent le squelette pérenne de l'ensemble ; leur diamètre peut aller de quelques millimètres à plusieurs décimètres ; leur croissance annuelle en longueur et en diamètre, ainsi que leur ramification continue assurent l'accroissement du volume de sol utilisé par l'arbre. Elles

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

portent les racines fines absorbantes, conduisent les deux flux de sèves, et stockent des réserves glucidiques et lipidiques qui peuvent être utilisées en partie pour assurer la respiration et l'entretien des divers tissus pendant la saison défavorable.

- **Les racines fines** : éphémères, leur diamètre varie entre un dixième et un millimètre. Elles sont très nombreuses mais fragiles. Pendant leur courte durée de vie, elles gardent une structure primaire, sauf pour le petit nombre d'entre elles qui donneront naissance à de nouvelles grosses racines, ligneuses et pérennes, contribuant à l'accroissement du squelette racinaire.

3. Systèmes racinaires

Le développement et le fonctionnement de l'arbre sont en grande partie conditionnés par la morphologie du système racinaire (Raimbault, 2003).

Les systèmes racinaires des arbres expriment au premier abord un profond désordre imposé par les conditions du milieu souterrain (Drénou, 2006). Du point de vue morphologique et fonctionnel, couramment, on distingue la charpente et le chevelu racinaires : la charpente est constitué de racines grosses, ligneuses, pérennes, non mycorhizées, ayant comme rôle la conduction et le stockage des réserves ; le chevelu par contre est un réseau de racines de faible diamètre (quelques dixièmes de millimètres au plus) mycorhizées et de courte durée de vie (quelques semaines à quelques mois), leur rôle principal est l'absorption. Il existe aussi des racines intermédiaires conductrices caduques, elles sont renouvelées une ou plusieurs fois par an pendant plusieurs années à peu près aux mêmes points que la charpente racinaire. Leur décomposition enrichit et maintient le taux de matière organique dans le sol (Raimbault, 2003).

3.1. Mise en place d'un système racinaire

Suivant un ordre de développement chronologique, Raimbault (1991) présente les grandes étapes de développement racinaire, qui, toutefois, peuvent être inversées ou absentes (Figure 35).

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

➤ Ramification diffuse du pivot primaire

A la germination, la plantule met en place une racicule à croissance verticale et abondamment ramifiée. Parmi tous les axes portés par ce pivot primaire dominant, seuls quelques-uns participeront ultérieurement à la charpente racinaire, les autres sont caducs à plus ou moins court terme (stades A, B et C).

➤ Mise en place des charpentières

Issues de la différenciation d'un petit nombre d'axes racinaires portés par la racicule initiale, les charpentières peuvent être réparties de façon plus ou moins étagées le long du pivot primaire ou être uniquement situées à proximité du collet (stade D).

➤ Apparition des pivots secondaires

Localisés dans la partie centrale de l'appareil racinaire (rayon de 1 à 3 m autour du collet), les pivots secondaires ont une apparition centrifuge, les premiers naissent près du collet, les suivants s'en éloignent. Les pivots secondaires ne se forment que lorsque l'arbre a acquis une certaine dimension. La direction de croissance des pivots secondaires n'est pas toujours strictement verticale ; elle peut aussi être oblique (stades E et F).

➤ Perte de dominance du pivot primaire

L'extrémité de celui-ci finit par mourir ou se courber. Son exploration du sol en profondeur prend fin (stade G).

➤ Renforcement du réseau traçant

Les charpentières grossissent de façon importante et chez certaines essences (pin maritime, hêtre, platane hybride...), elles se soudent entre elles aux points de croisement. Par ailleurs, certaines espèces, mais pas toutes, ont la capacité de produire à proximité du collet une deuxième génération de charpentières. Il y a même parfois plusieurs générations successives de charpentières (hêtre, douglas vert, platane hybride...). Cette stratégie permet d'optimiser l'occupation du sol par l'ajout de racines dans les espaces laissés vacants par le système racinaire initial (stade H).

➤ Sénescence du système racinaire

Celle-ci débute par la mort des extrémités des pivots secondaires dans le compartiment central de l'appareil racinaire. On observe également un déclin de l'aptitude à renouveler les racines fines. Selon certains auteurs, la sénescence puis la mort de l'arbre seraient dues à une mauvaise circulation de la sève entre les racines et les feuilles (Kazarjan, 1969 ; Chouard, 1977) (stade J).

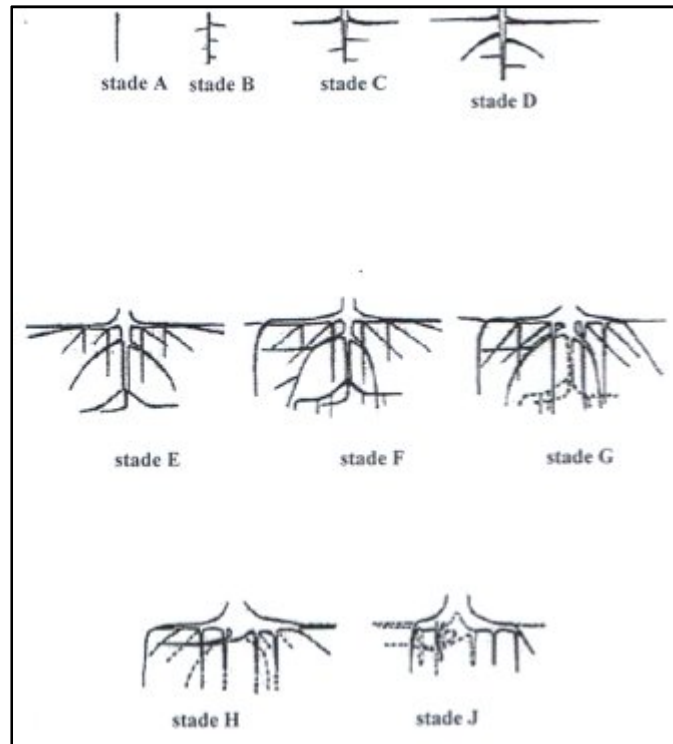


Figure 35. Différents stades de développement chronologique du système racinaire chez la majorité des ligneux (Raimbault, 2003).

La mise en place et la morphologie d'une plante ou d'un système racinaire peuvent être regardés selon deux points de vue complémentaires : la forme et la structure, qui sont les deux notions fondamentales contenues dans le terme architecture (Larousse, 1970).

La forme du système racinaire qui relève de la distribution spatiale de ses éléments, a souvent été décrite à l'aide d'une multitude de critères, comme par exemple le caractère plus ou moins traçant ou pivotant, l'extension latérale ou en profondeur, la densité de racines par unité de volume de sol. La forme du système racinaire et sa dynamique sont particulièrement importantes pour comprendre son rôle de capteur d'eau et d'éléments minéraux, car elles définissent les capacités d'accès du système racinaires aux ressources du sol (Pagès, 1995).

3.2. Architecture racinaire

L'architecture d'une plante résulte avant tout de processus de croissance et de différenciation qui se déroulent au cours de l'ontogénèse. Ces processus se déroulent selon un programme ordonné et aboutissent à la mise en place d'organes ou de structures suivant une séquence caractéristique de l'individu (Pagès, 1995).

Le rôle de l'architecture sur la fonction d'ancrage a été démontré sur des plantes extrêmement diverses (Coutts, 1983 ; Ennos & Fitter, 1992). C'est le nombre, la répartition et l'épaisseur des racines constituant l'ossature du système racinaire qui sont les critères primordiaux dans l'accomplissement de cette fonction d'ancrage (Coutts, 1983).

Globalement, les arbres adultes possèdent une architecture du système racinaire comparable, caractérisée par deux réseaux de racines ligneuses : un réseau plongeant et un réseau traçant, et deux compartiments distincts issus de l'agencement après différenciations de ces deux réseaux : compartiment central autour du collet et compartiment périphérique (Wilson, 1964 ; Lyford, 1980 ; Raimbault, 1991 ; Atger, 1992 ; Lucot, 1994). Drénou (2006) définit ces appellations comme suit (Figure 36):

1. **le réseau plongeant** est constitué d'un ensemble de pivots verticaux et parfois oblique chez certaines espèces ; il est issu de l'allongement très rapide de la radicule (le pivot primaire), émise par la graine à la germination, qui excède, en fin de première année la longueur de la tige ; d'autres axes analogues au pivot initial, appelés pivots secondaires, apparaîtront sous les grosses racines horizontales ; ce réseau plongeant dépasse rarement 1.50 m de profondeur ;
2. **le réseau traçant** regroupe les racines ligneuses portées par les pivots ou le collet et ayant une direction de croissance horizontale ; ces racines charpentières peuvent être particulièrement longues, souvent bien plus que l'arbre n'est haut ; l'entrecroisement du réseau traçant et du réseau plongeant peuvent conduire à des soudures racinaires : les anastomoses ;
3. **le compartiment central** correspond à une ou plusieurs couronnes de grosses charpentières horizontales étagées et disposées autour du collet, de rayon variant de 1 à 3 m ; ces charpentières portent l'ensemble des pivots de l'arbre, elles sont coniques et leur section s'aplatit suivant la verticale ; Wilson (1964) indique que des racines ligneuses particulières en forme de corde pouvant être plus âgées que les grosses charpentières, caractérisées par un diamètre constant et petit (1 à 4 cm) sur toute leur

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

longueur et portant un chevelu racinaire abondant, sont susceptibles de s'ajouter au compartiment central ;

4. **le compartiment périphérique** est essentiellement composé de racines horizontales superficielles cylindriques et de section circulaire ; elles ne portent pas ou très peu de pivots et sont rarement disposées en couronnes étagées.

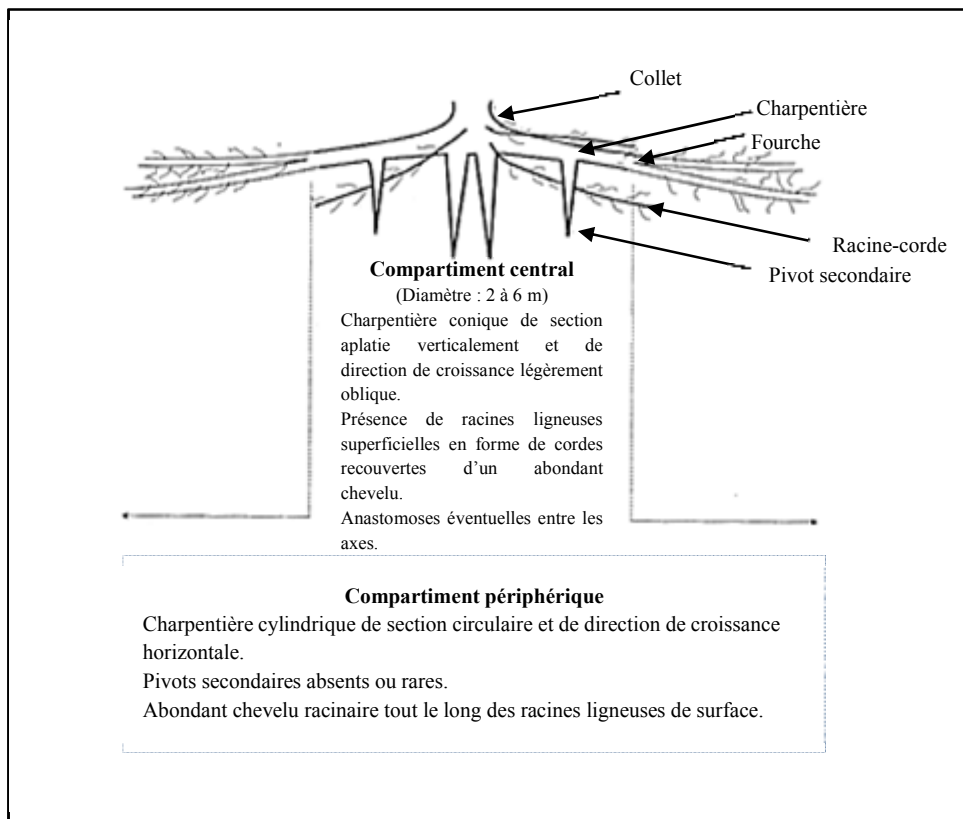


Figure 36. Schéma général du système racinaire d'un arbre adulte (Drénou, 2006).

3.3. Variations d'expression d'une architecture racinaire

Au sein d'un type d'enracinement donné, chaque espèce et chaque individu exprime son architecture d'une manière qui lui est propre. L'ampleur des variations possibles dépend de nombreux facteurs. Certains sont liés à la physiologie de l'arbre (génétique, âge), d'autres dépendent majoritairement du sol (hauteur de la nappe phréatique, pente, contraintes mécaniques, etc..). Les différences obtenues bien que parfois importantes, sont de nature quantitative : longueur et nombre de pivots secondaires, diamètre et conicité des racines, angle d'inclinaison, etc....

Drénou (2006) a obtenu 12 combinaisons théoriques en croisant les caractères relatifs à l'architecture racinaire en surface, avec la direction de croissance des racines en profondeur.

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

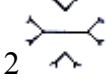
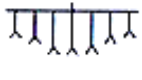
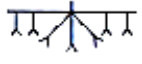
Portées sur le tableau 6, les architectures en profondeur sont notées a, b et c, celles en surface sont désignées par des chiffres de 1 à 4 (Tableau 06), ceci concerne spécialement l'architecture racinaire des arbres adultes.

La série des variations d'expression d'une architecture racinaire est très grande. Cependant, il existe un certain équilibre entre l'exploration du sol en profondeur par les racines et leur déploiement en surface. La simple description des charpentières superficielles (nombre, conicité, longueur,...) donne généralement de très bonnes indications sur les caractéristiques de l'enracinement en profondeur (nombre de pivots secondaires, diamètre, profondeur...). Fraser & Gardiner (1967), Coutts *et al.* (1999) et Mauer & Palatova (2002) confirment largement cette constatation. Ainsi, les enracinements profonds sont généralement associés à des charpentières courtes et en petit nombre. A l'inverse, les enracinements superficiels se caractérisent par des charpentières nombreuses et longues. En guise d'illustration, Drénou (2006) considère des variations d'un même type d'enracinement qui se trouve à chaque fois sous forme d'une trame commune ; il envisage trois variantes (Figure 37):

- **variante profonde (1)** : les charpentières sont courtes et ne se prolongent pas au-delà de l'insertion des pivots secondaires ; en réalité, du collet semblent partir un petit nombre de racines plongeantes ; une telle physionomie implique des sols épais et bien drainés ;
- **variante intermédiaire (2)** : les pivots secondaires et les charpentières seront plus nombreux, les premiers moins profonds, mais les secondes plus longues ; la limite entre la partie centrale incluant les pivots et la partie périphérique est alors marquée par une baisse brutale du diamètre des charpentières ;
- **variante superficielle (3)** : cette variante se reconnaît au grand nombre de charpentières rayonnant autour du collet ; celles-ci sont faiblement coniques et ne présentent pas de réduction brutale de diamètre ; elles peuvent se croiser et s'anastomoser ; quant aux pivots secondaires, ils sont très nombreux mais restent superficiels, on rencontre souvent ce type d'architecture dans les sols à engorgement en eau temporaire.

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

Tableau 06. Classification des architectures racinaires adultes de quelques espèces ligneuses (Drénou, 2006).

			Architecture en surface			
			Une seule génération de charpentière		Plusieurs générations de charpentières	
					—— Ramification initiale du pivot	 Production tardive
			Sans fourche	Avec fourche	Sans fourche	Avec fourche
			1 	2 	3 	4 
Architecture en profondeur	A racines verticales		<i>Picea abies</i> (Drénou, 2003a) <i>Pinus pinaster</i> (Maugé, 1987 ; Drénou, 2003a) <i>Peupliers Beaupré</i> (Drénou et <i>al.</i> , 2004)	<i>Abies alba</i> (Lucot, 1994)	<i>Acer rubrum</i> (Lyford & Wilson, 1964) <i>Fraxinus excelsior</i>	<i>Platanus hybrida</i> (Atger, 1992) <i>Sorbus aucuparis</i> (Mauer & Palatova, 2002)
	A racines verticales et obliques		<i>Quercus rubra</i> (Lyford, 1980) <i>Peupliers Raspalje</i> (Drénou et <i>al.</i> , 2004)	<i>Juniperus virginiana</i> (Raimbault, 1991)	<i>Pseudotsuga minziesii</i> (Eis, 1974 ; Drénou, 2003a) <i>Cuperessus macrocarpa</i> (Raimbault, 1991)	<i>Quercus robur</i> (Lucot, 1994) <i>Quercus petraea</i> (Lucot, 1994) <i>Robinia pseudoacacia</i> (Keresztesi, 1968)
	A racines obliques		<i>Peuplier Dorskamp</i> (Drénou et <i>al.</i> , 2004)	<i>Sequoiadendron giganteum</i> (Raimbault, 1991)	<i>Alnus incana</i> (Berben, 1968)	<i>Fagus sylvatica</i> (Drénou, 2003a) <i>Tilia cordata</i> (Raimbault, 1991 ; Köstler et <i>al.</i> , 1968)

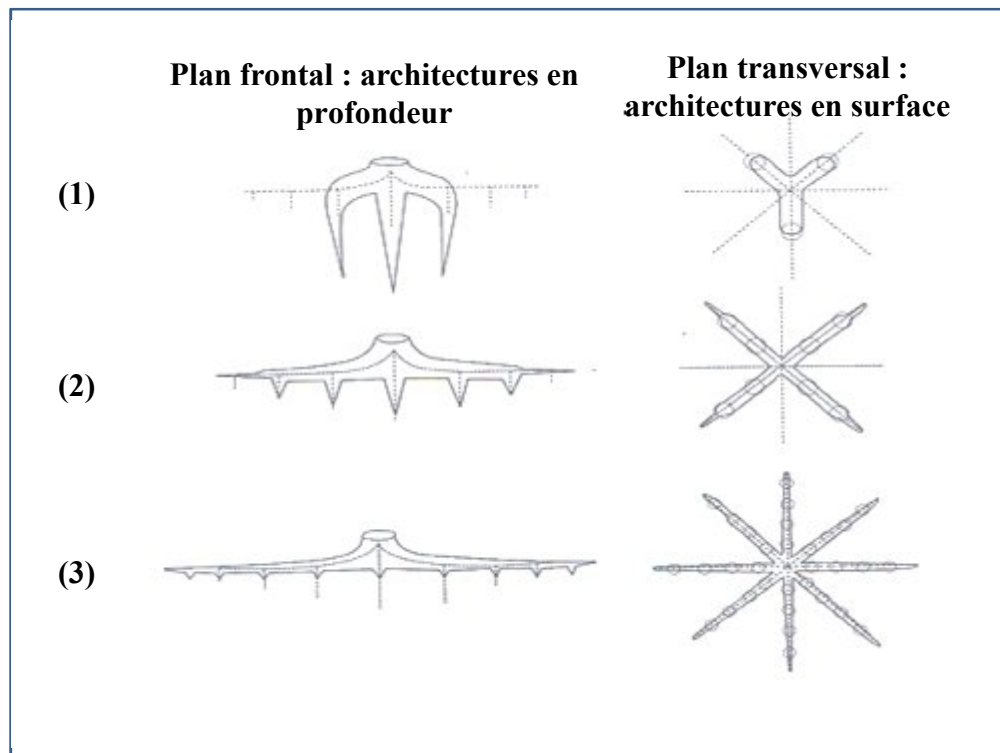


Figure 37. Variations d'expression d'une architecture racinaire (Drénou, 2006) : (1) Variante profonde du type racinaire ; (2) Variante intermédiaire du type racinaire ; (3) Variante superficielle du type racinaire ; en tirets la trame commune d'une architecture du type 1a (Cf. tableau 06, page 09) ; Il faut noter l'interdépendance entre les architectures à gauche et à droite.

3.4. Typologies racinaires

La première étape de cette démarche est une étape d'analyse de l'architecture racinaire. Elle consiste en la formalisation et la quantification des processus de mise en place d'un système racinaire qui sont les étapes de typologie racinaire, aboutissant après à une modélisation quantitative opérationnelle, dans une perspective de prévision. Il convient alors d'extraire les lois qui semblent les plus générales et les schématiser pour parfaire un ensemble de règles de production (Prusinkiewicz & Lindenmayer, 1990). La mise en œuvre de ces règles de production permettrait la génération d'une structure. L'attachement d'une forme à cette structure suppose d'introduire une couche d'information supplémentaire, grâce à un ensemble de paramètres quantitatifs, qui vont définir les caractéristiques spatiales et temporelles de l'édifice (Pagès, 1995).

Dans une analyse de l'architecture racinaire, on cherche à identifier parmi l'ensemble des axes constitutifs du système racinaire, des groupes ayant des morphologies et des

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

comportements homogènes sur le plan morphogénétique essentiellement. Les différents axes du système doivent donc être caractérisés quant à leur capacité morphogénétique, grâce à un ensemble de critères. Les critères de choix concernant cette homogénéité sont *a priori* nombreux. Ils concernent (Pagès, 1995) :

- l'initiation et l'émergence tout d'abord, qui peut se faire suivant différents processus ;
- la croissance axiale (ou primaire) de la racine et sa description, qui peut être faite grâce à un cortège de critères permettant de définir l'élongation (croissance indéfinie ou définie, vitesse de croissance, durée de croissance) et sa direction (gravitropisme principalement) ;
- la croissance radiale (existence, quantification) ;
- la caractérisation de la ramification des axes, en spécifiant et quantifiant le processus de ramification par la densité de ramification par exemple.

Il est à noter que des critères morphologiques et anatomiques simples (longueur, diamètre, nombre de pôles vasculaires, couleur, etc) permettent de compléter cette panoplie, et de mieux cerner la spécialisation fonctionnelle des différentes racines (Pagès, 1995).

Les différents critères précités nécessitent obligatoirement une observation dynamique et non destructive pour être évalués, et renvoient donc spécialement aux difficultés d'observation (Riedacker, 1974 ; Pagès, 1992). Cette dernière contraindre ces démarches dans des milieux divers et à des stades variables de développement des plantes. Seule l'observation de l'expression du génotype permet d'en extraire les caractéristiques essentielles et de mesurer la stabilité de tel ou tel processus morphogénétique, mais elle reste également très coûteuse, c'est pour cela que Pagès (1995) privilégie en général l'observation dans des milieux sub-optimaux², où les contraintes fortes sont éliminées.

Le Roux (1994) et Le Roux & Pagès (1994) présentent la typologie racinaire fondée sur la notion de l'ordre de ramification. L'ordre I est issu de la radicule et constitue le pivot. Il porte les racines d'ordre 2 (ou secondaires), qui elles-mêmes se ramifient en tertiaires et quaternaires. L'ordre de ramification est une clé de classification intéressante, car facile à utiliser et permettant d'emblée de constituer des groupes relativement homogènes, par rapport aux critères précités.

² En conditions expérimentales.

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

Les classifications des systèmes racinaires proposées par divers auteurs semblent similaires. La plus connue est celle de Köstler et *al.* (1968), qui spécifient trois principaux types (Figure 38) :

- ✚ enracinement pivotant : un pivot primaire prédomine ;
- ✚ enracinement traçant : dominance des charpentières ;
- ✚ enracinement fasciculé : bouquet de racines obliques issues du collet.

Cette classification statique est insuffisante car un même arbre, au cours de son développement, peut passer d'une catégorie à l'autre. C'est le cas, par exemple, d'*Abies alba*, d'abord pivotant, puis devenant traçant par mortalité naturelle du pivot (Lucot, 1995 ; Raimbault, 1991).

La typologie russe de Krasinlikov établie dans la même année (1968) est généralement préférée par les scientifiques. L'auteur propose 19 modèles qui englobent les arbres et les arbustes des régions tant tropicales que tempérées.

Si Köstler et *al.* (1968) et Krasinlikov (1968) ont chacun contribué à une meilleure représentation en coupe verticale de la partie centrale des systèmes racinaires, aucun d'entre eux ne décrit ces derniers en surface. En 1977, Kahn considère deux états de différenciation des axes racinaires : l'axe vertical et l'axe horizontal ou oblique, c'est-à-dire l'état orthotrope et l'état plagiotrope. L'état orthotrope se caractérise par un axe primaire. C'est une racine verticale qui apparaît comme un organe dynamique, dont le rôle essentiel est d'établir un système latéral plagiotrope. La différenciation orthotrope s'exprime spontanément et semble nécessaire à la réalisation de la phase plagiotrope racinaire (Kahn, 1977).

Chez les Dicotylédones, l'état plagiotrope présente plusieurs niveaux de différenciation. Ce phénomène a été décrit très tôt par les morphologistes sous la notion "d'hétérorhizie (en 1905 par Tschirch et en 1910 par Noelle, selon Kubikova, 1967), à savoir que le système racinaire est constitué de plusieurs types de racines. Il en résulte des tentatives de classification des éléments racinaires. Ainsi des distinctions entre "feeding roots" et "anchorage roots" ou entre "long roots" et "short roots" ou encore "feeding roots" et "pioneer roots" ont été proposées successivement par différents auteurs. L'hétérorhizie, notion variable selon les auteurs depuis le début du vingtième siècle a été définie par Kubikova (1967): "Heterorhizis of woody plants is the ability of their root system to form two qualitatively types of end roots : macrorrhizae and brachyrhizae". Les termes de "**brachyrhize**" et de

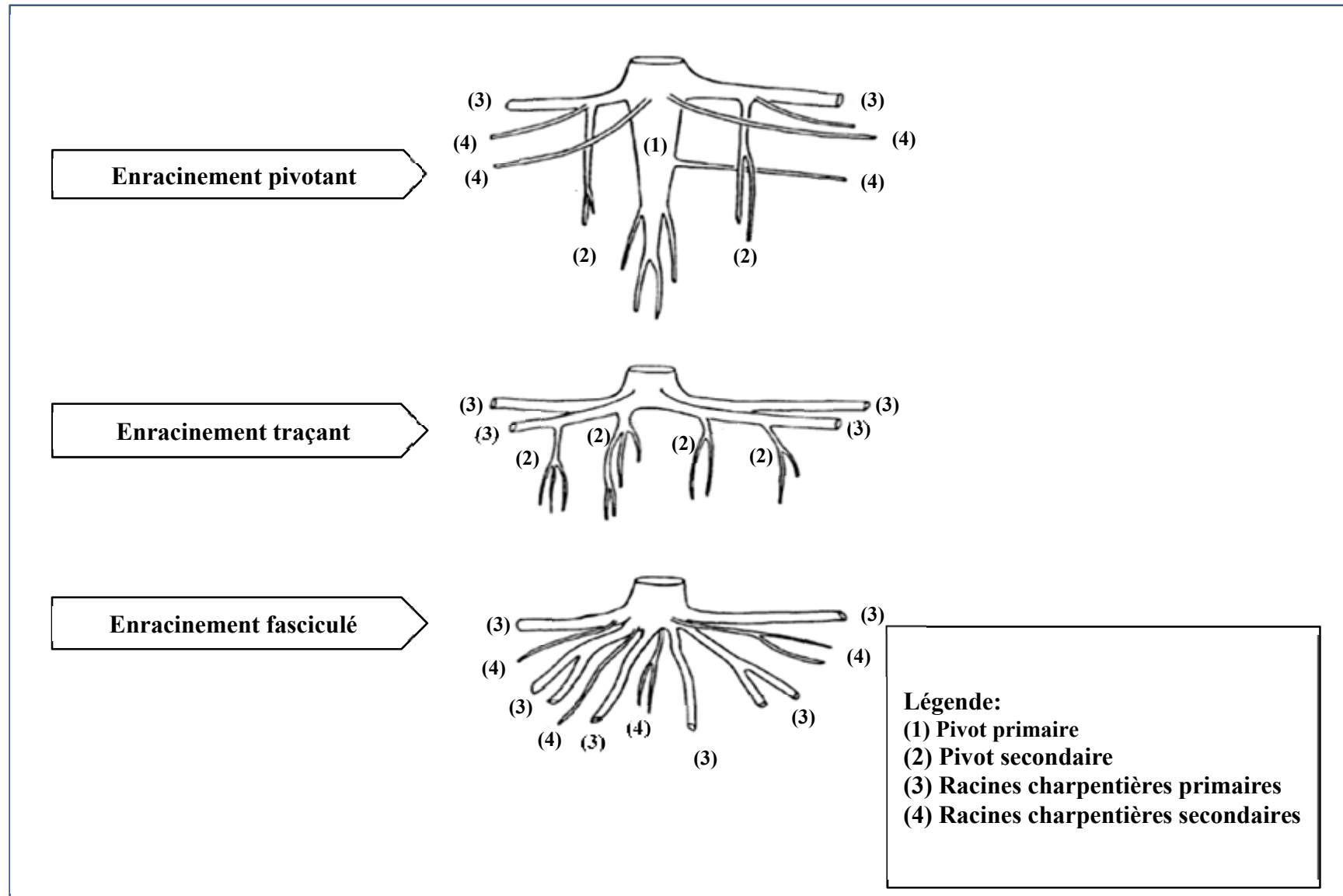


Figure 38. Quelques architectures racinaires (d'après Kölster et *al.*, 1968 in Drénou, 1999).

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

“**macrorhize**” dont le contenu est discuté et précisé par l’auteur, ont été proposés par Jenik & Sen (1964).

Lyford & Wilson (1964) et Kubikova (1967) affirment que le système racinaire plagiotrope se compose de macrorhizes et de brachyrhizes. Les premiers constituant la charpente du système (“skeleton root”) réunissent des racines plagiotropes et des racines orthotropes, dont souvent un pivot axial ; ce sont des racines épaisses dont la croissance est importante et qui étendent la rhizosphère. Les seconds, par contre sont essentiellement plagiotropes. Ils constituent le stade ultime de la différenciation plagiotrope, issus de macrorhizes à croissance horizontale oblique. Ils sont spécialisés dans l’absorption, ce sont des racines minces, à croissance réduite qui n’interviennent pas dans la constitution de la charpente racinaire. Leur durée de vie s’étend de quelques jours à quelques années et, lorsque l’apex de la racine meurt, le brachyrhize dégénère sur toute sa longueur, ce qui n’est jamais le cas chez le macrorhize.

Au niveau du système racinaire, on peut retrouver des modèles architecturaux définis sur les parties aériennes (Kahn, 1980), à travers la classification des stratégies de mise en place proposée par Cannon (1949), qui aboutit à la définition de trois grands types : primaire, adventif, et mixte. Le système racinaire de type primaire est mis en place à partir du pivot (organe issu de la radicule) par la ramification progressive de celui-ci depuis sa base vers sa pointe (ramification acropète). Le système adventif (ou secondaire) résulte au contraire de la mise en place progressive et ordonnée de racines principales adventives issues de la partie aérienne. Le système racinaire mixte est la combinaison des deux précédents, avec un système primaire dominant les phases juvéniles, et un système adventif devenant prépondérant dans les stades âgés. Cette classification, si elle dresse les très grandes lignes de la dynamique de mise en place, reste tout de même peu détaillée pour servir de base à une modélisation quantitative (Kahn, 1980).

Une nouvelle typologie racinaire en trois dimensions basée sur l’utilisation de trois caractères morphologiques appliqués aux grosses racines ligneuses a été proposée par Drénou (2006).

- a)- La direction de croissance des racines explorant le sol en profondeur avec trois cas de figure :** des racines toutes verticales qui peuvent changer de direction en cas d’obstacles, mais qui reviennent à la verticale dès la disparition

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

des contraintes ; des racines obliques dans la partie centrale, puis verticales au-delà, et enfin des racines toutes obliques.

b)- L'aspect linéaire ou fourchu des charpentières : des fourches d'origine traumatique peuvent se former à tout moment sur n'importe quelle racine. Certaines espèces montrent systématiquement, quel que soit le type de sol, des séries de fourches successives sur l'ensemble de leurs charpentières.

c)- Le nombre de générations de charpentières : certaines espèces produisent des charpentières uniquement au moment du processus de ramification du pivot primaire et, dans ce cas, le nombre de charpentières est fixé dès l'installation du jeune plant. Ce nombre varie selon la nature de la station. D'autres essences ont la capacité de donner au cours du temps plusieurs générations de charpentières, prenant naissance à proximité du collet et venant s'intercaler entre les charpentières initiales. Aussi, le nombre de charpentières ne cesse de s'accroître avec l'âge de l'arbre.

3.5. Systèmes racinaire chez les végétaux des zones arides

En zones arides, les végétaux s'adaptent aux rigueurs climatiques afin de pouvoir survivre dans ces milieux. Le développement considérable du système racinaire par rapport à la partie aérienne en est un caractère spécifique et apparent, qui contribue aussi à la genèse et à l'évolution du sol (Pouget, 1980).

Kerfoot (1963) et Whitmore (1990) attribuent une représentation schématique bioclimatique des systèmes racinaires dans les régions arides, semi-arides et tropicales. Dans les régions semi-arides, les plantes ligneuses ont généralement des systèmes racinaires bien développés : pénétration profonde des racines primaires et faibles ramifications secondaires superficielles. Chez les espèces forestières des régions tropicales humides, presque toutes les racines fines se concentrent pratiquement dans la couche supérieure du sol, à une profondeur ne dépassant pas 30 cm ; peu de racines s'enfoncent dans les couches plus profondes du sol.

Lemée (1978) spécifie différents types de systèmes racinaires des végétaux des zones arides, plus spécialement les espèces vivaces.

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

- a) **Le système intensif (fasciculé) :** de type graminée (comme l'alfa : *Stipa tenacissima*) avec un réseau très dense de racines et radicelles atteignant 30 à 50 cm de profondeur pour un diamètre d'environ 1 m, il peut être aussi plus superficiel, moins dense et moins important (comme l'armoise blanche : *Artemisia herba alba*) (Figure 39).

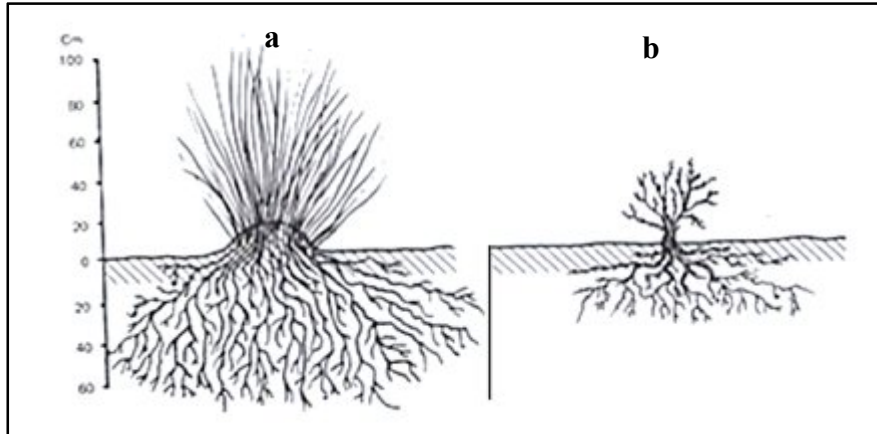


Figure 39. Système racinaire intensif : **a:** *Stipa tenacissima* ; **b:** *Artemisia herba alba*.
(Pouget, 1980)

- b) **Le système à extension horizontale :** caractéristique des espèces psammophiles ; c'est un réseau horizontal de racines riches en radicelles colonisant la surface du sol pour bénéficier des moindres millimètres de pluie ou de rosée (racines de rosée). Présent généralement chez les psammophiles vivaces, toutefois de solides racines verticales qui se maintiennent, s'ancrent et puisent l'humidité en profondeur sont distinguées (Figure 40).

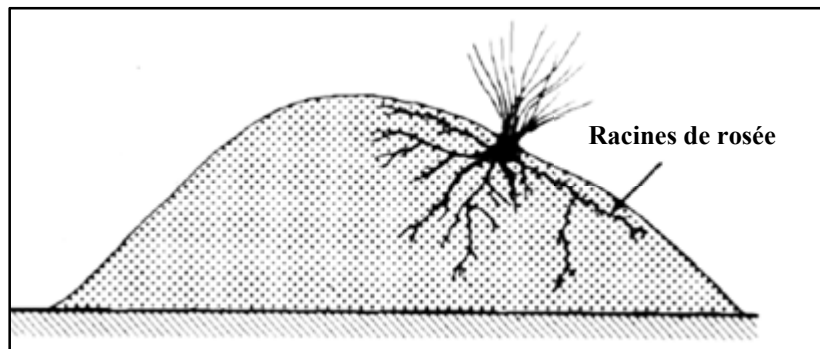


Figure 40. Système racinaire à extension horizontale : *Aristida pungens* sur une microdune
(Pouget, 1980).

- c) **Le système à extension verticale :** le pivot orthogéotrope constitue le système racinaire de la majorité des espèces vivaces (Ombellifères, Composées, Légumineuses, etc.....) et même les espèces annuelles les plus modestes, assurant ainsi l'absorption, très rapide en profondeur, de l'eau nécessaire à leur croissance et développement (Figure 41).

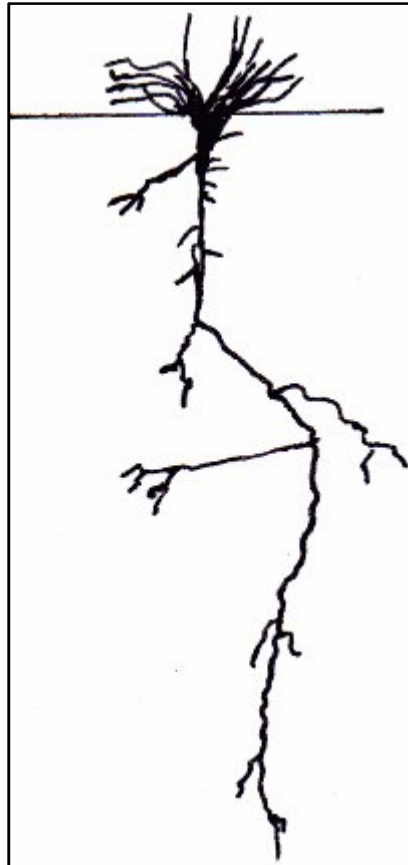


Figure 41. Système racinaire à extension verticale : *Armeria plantagine* (Lemée, 1978).

- d) **Le système mixte à extension horizontale et verticale :** il correspond à l'enchevêtrement du système vertical à plusieurs racines importantes et profondes, et du système horizontal à racines plus superficielles. Ce système horizontal chez les vivaces développe un réseau étendu et ramifié de racines et de radicelles explorant l'humidité des couches les plus superficielles du sol (Nègre, 1959 *in* Pouget, 1980). Ces espèces vivaces peuvent présenter des racines profondes allant jusqu'à plusieurs mètres en profondeur et atteignant la nappe phréatique (Figure 42).

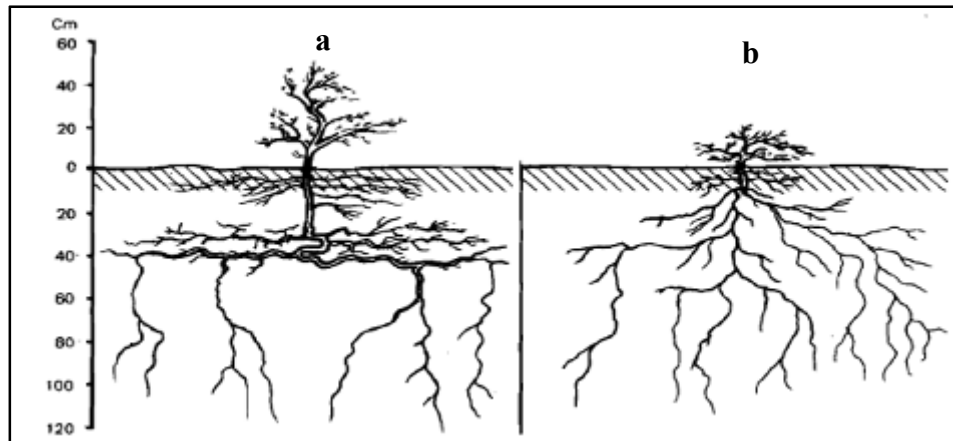


Figure 42. Système racinaire à extension horizontale et verticale :

a : *Arthrophytum scoparium* ; **b :** *Helianthemum hirtum* ssp *ruficomum* (Pouget, 1980).

Pouget (1980) propose une autre hiérarchisation schématique en fonction de trois grands types de végétation.

- a) Les phanérophytes** pourvus d'un système racinaire profond et puissant. Leurs racines ne présentent que 20 à 30% de la biomasse totale dans les forêts et matorrals.
- b) Les espèces steppiques vivaces** Graminées et chamaephytes, leurs systèmes racinaires sont très développés et ramifiés, ils colonisent les horizons de surface et les horizons de profondeur, y compris les horizons d'accumulation calcaire, et présentent 50 à 80% de la biomasse totale. L'importance de ce système racinaire comme sa biomasse diminuent avec l'aridité croissante du climat ou la dégradation du couvert végétal.
- c) Les cultures et les espèces annuelles** qui possèdent un système racinaire très ramifié, mais généralement plus superficiel.

Une autre hiérarchisation racinaire des ligneux des zones arides proposée par Hellmers et *al.* (1955) et affirmée Hairiah et Van Noordwijk (1986) exhibe trois types architecturaux (Figure 43) :

- 1) pénétration profonde des racines primaires et faibles ramifications secondaires superficielles (Type 1);
- 2) pénétration profonde des racines primaires et fortes ramifications secondaires superficielles (Type 2) ;

3) racines horizontalement étalées, à faible profondeur dans le sol (Type 3).

Menaut (1983) affirme que, dans les régions semi-arides, les racines sont le plus souvent peu profondes.

Breman & Kessler (2005) suivent la typologie citée ci-dessus. Ils rajoutent qu'en régions semi-arides, la biomasse racinaire peut être distribuée en racines fines et grosses racines.

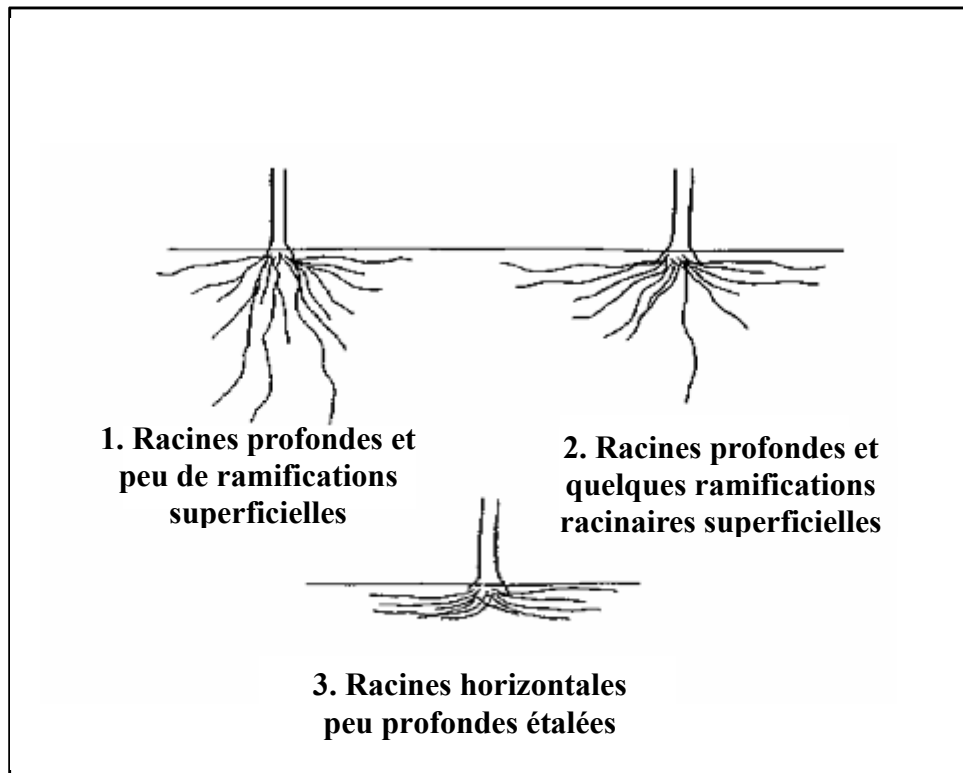


Figure 43. Hiérarchisation racinaires chez les ligneux des zones arides
(Hellmers & *al.*, 1955 ; Hairiah & Van Noordwijk, 1986).

Bien que les racines fines ne représentent qu'une petite fraction de la biomasse racinaire totale, elles constituent la surface d'absorption la plus importante du système. Ces dernières absorbent l'eau et les éléments nutritifs, et sont associées au transfert mycorhizien et à l'incorporation des nutriments. Ils participent aussi à l'enrichissement du sol en matière organique et en nutriments lors de leur renouvellement (Berish & Ewel, 1988). Les grosses racines supportent les plantes ligneuses. Elles peuvent atteindre les couches profondes du sol. Les racines fines se développent plus particulièrement aux extrémités des grosses racines (Breman & Kessler, 2005). Ces mêmes auteurs soulignent, que dans les régions semi-arides,

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

les systèmes racinaires de plantes ligneuses indigènes montrent une prédominance des types 2 ou 3 seulement, quelle que soit la profondeur du sol.

4. Architecture racinaire du pistachier de l'Atlas

Le système racinaire du pistachier de l'Atlas a été peu étudié. En Algérie, les travaux menés sur le polymorphisme racinaire de cette essence concernent des essais de plantations en pépinière (Kichane, 1988 ; Chaba et *al.*, 1991) et une caractérisation sur des populations naturelles effectuée au niveau du laboratoire "Ressources Naturelles" de l'Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou par les auteurs suivants : Ait Slimane (2004) ; Belharret & Rekkeb (2004) ; Tahrouz (2005) ; Kebci (2008) ; Chebieb, (2008) ; Limane (2009) ; Abdous (2010) ; Haboul (2011) et enfin Limane et *al.* (2014a) et (2014b).

Chaba et *al.*, (1991) en étudiant la germination, les rythmes de croissance et la morphogenèse racinaire de jeunes plants de pistachier de l'Atlas, ont montré que l'activité racinaire en hiver (mois de janvier) est faible. Cependant, elle se prononce au printemps (du mois de février au mois de mai). Au bout de sept mois environ, le semis dévoile un pivot de 50 cm de long. Chez un semis non traumatisé, le pivot est orthogéotrope à croissance indéfinie, portant des racines latérales fines obliques à croissance limitée. Par contre, un plant ayant subi un traumatisme à 10 cm de la coiffe, a enregistré les observations suivantes :

- transformation rapide de 4 à 5 racines latérales les plus proches du traumatisme ;
- accroissement de leur diamètre jusqu'à ce qu'il atteigne celui du pivot initial ;
- leur vitesse d'allongement est de 5 cm/ semaine environ ;
- les racines prennent une direction verticale et remplacent le pivot ; nous observons également dans ce cas, l'apparition de racines de deuxième ordre horizontales.

Les travaux du Laboratoire Ressources Naturelles ont mis en évidence pour le pistachier de l'Atlas un système racinaire à extension horizontale et verticale. Les individus jeunes immatures présentent un pivot vertical se ramifiant profondément dans le sol, qui avec le temps dégénère, et offre par la suite un système racinaire mixte à extension verticale profonde et horizontale superficielle. Limane (2009) schématise les stades de développement du système racinaire du pistachier de l'Atlas de la réserve d'El Mergueb (Figure 44). Il montre que le jeune individu possède un pivot important duquel dérivent de nombreuses

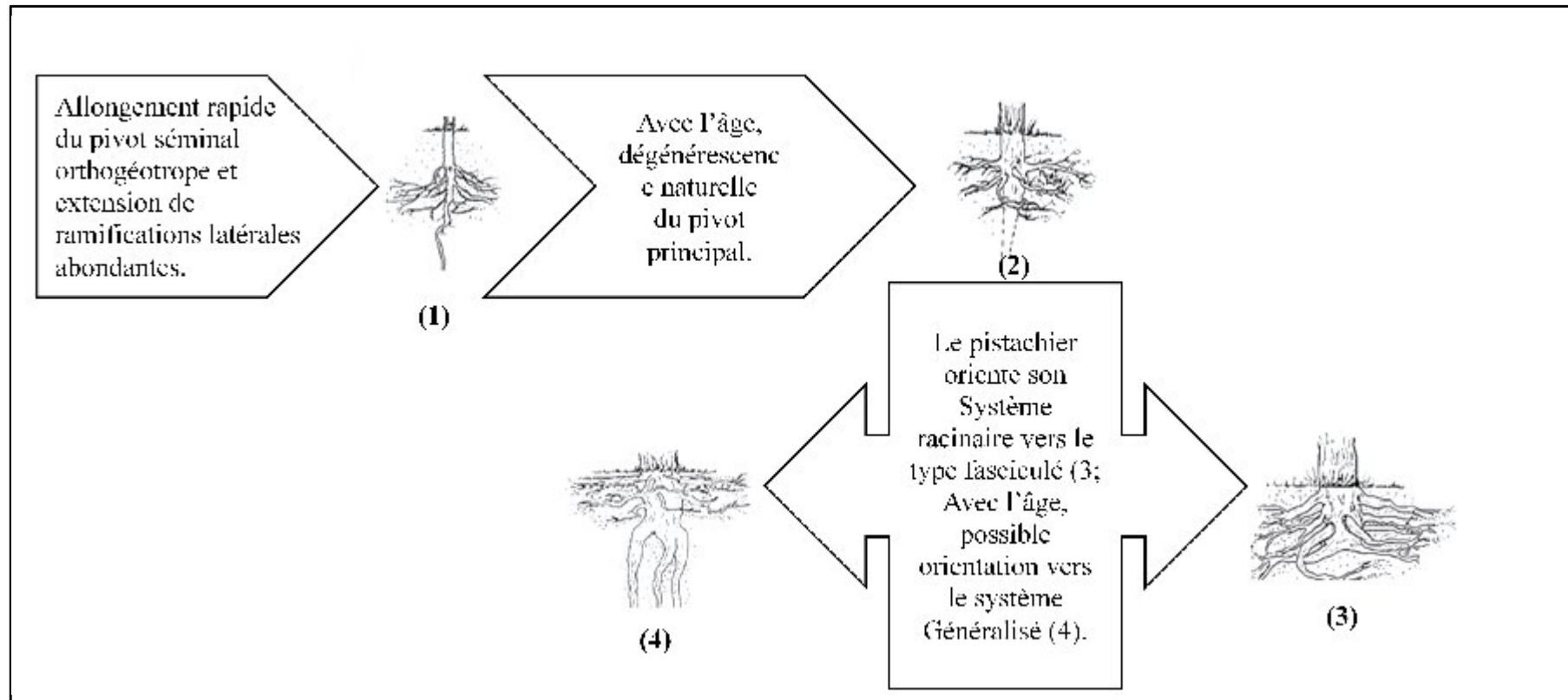


Figure 44. Stades d'évolution du système racinaire chez le pistachier de l'Atlas (Limane, 2009).

ramifications secondaires. Le système racinaire continu à se développer, il émet soit des racines horizontales étalées à faible profondeur dans le sol, ou bien des racines primaires à pénétration profonde et fortes ramification secondaires superficielles.

5. Interactions racinaires

Au sein d'une communauté végétale, il existe des phénomènes d'entraide et/ou de compétition. Le système racinaire y contribue amplement. Drénou (2006) rappelle deux interactions racinaires majeures : les interactions positives protégeant ou favorisant les végétaux existants, et à l'inverse, les interactions négatives les menaçant ou les affaiblissant. Elles sont directes ou indirectes, le sol pourrait toujours servir d'intermédiaire.

5.1. Interactions positives

En peuplements mélangés, l'exploitation racinaire du sol est complémentaire, les racines des individus n'explorent pas les mêmes horizons de sol ; ceci permet à l'ensemble de bénéficier des ressources, surtout le recyclage de la litière. Ces racines ont la capacité de se souder entre elles (les racines d'un même arbre, entre individus de la même espèce, ou entre essences différentes). Soudures ou anastomoses en sont le résultat. Ce sont de véritables greffes naturelles se développant en plusieurs étapes (Drénou, 2006) (Figure 45) :

1. contact mécanique entre deux racines ;
2. écrasement et altération de l'écorce ;
3. élargissement de la zone de contact ;
4. formation de cernes communs et jonction complète.

Il est à signaler que lorsque les racines de deux arbres sont connectées, les deux partagent les mêmes processus physiologiques liés à l'alimentation, à la constitution des réserves et à leur migration. Par conséquent, les voies de passage utilisées par l'eau, les éléments minéraux et les sucres peuvent être empruntées par des bactéries et des champignons bénéfiques ou phytopathogènes, et éventuellement par des éléments chimiques toxiques, d'où le risque de faciliter les transmissions de maladies entre individus.

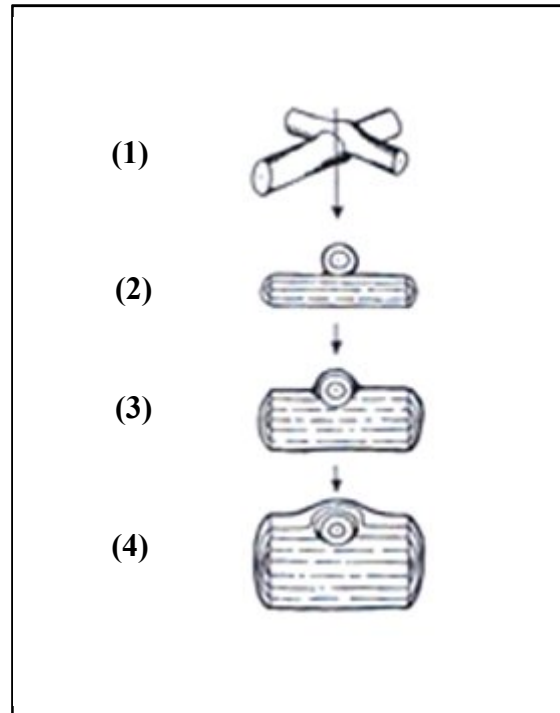


Figure 45. Étapes d'une greffe racinaire naturelle (Drénou, 2006).

5.2. Interactions racinaires négatives

L'occupation de l'espace souterrain par les racines se concentre généralement dans les horizons superficiels plus ou moins riches en nutriments que la profondeur. 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).

En conséquence, la concurrence souterraine conduit à la déformation des systèmes racinaires en surface et même en profondeur. Ceux-ci sont rarement symétriques, même si les houppiers le sont. La compétition souterraine est particulièrement marquée chez les peuplements monospécifiques, dans la mesure où l'utilisation des ressources est identique entre les individus de la même espèce. Elle est alors liée directement à la densité du peuplement et débute bien avant que les houppiers n'entrent en contact (Drénou, 2006).

Maugé (1987) émet l'hypothèse suivante : « l'essentiel de la concurrence se situerait en périphérie des systèmes racinaires et en surface, c'est-à-dire là où se trouvent la majorité des racines fines. Selon cette supposition en effet, les surfaces d'intersection entre deux couronnes racinaires circulaires qui se coupent sont à peu près indépendantes de la distance

entre les arbres ». Drénou (2006) trouve qu'une telle simplification semble très difficile à généraliser, même dans le cas d'un peuplement pur, parfaitement homogène et sur terrain plat. La concurrence racinaire peut, dans le cas extrême où deux arbres de la même espèce sont particulièrement proches, passer à un système d'interactions positives, suite à la soudure des racines des deux individus qui s'unissent en un seul appareil racinaire.

La figure ci-après illustre les deux hypothèses des auteurs (Maugé, 1987 et Drénou, 2006).

A ces interactions négatives s'ajoute l'allélopathie³ racinaire à effet négatif. C'est un phénomène complexe mettant en jeu l'espèce productrice, l'espèce cible, les molécules, et le sol. Les propriétés de ce dernier, biotiques et abiotiques (nature du sol, état hydrique, pH, activité biologique...), sont fondamentales pour exprimer ce potentiel allélopathique. La synthèse de composés allélopathiques semble être particulièrement stimulée en conditions de stress : attaque de pathogènes, stress hydrique...(Gallet & Pelissier, 2002).

6. Matériel et méthodes

Lors de notre échantillonnage, nous avons examiné les morphologies des systèmes racinaires des pistachiers de l'Atlas choisis au niveau de dayate Saadi dans la région de Hassi Delâa et dayate Aïat dans la région de Timzerth.

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 respectivement les 20-50 cm du sol sous-jacent, ou bien celles-ci vont à plus de 50 cm de profondeur. Nous avons estimé l'envergure latérale (EL) pour chaque profil (+++ : importante ; ++ : moyenne ; + : réduite).

De plus, grâce à un appareil photos 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

³ Définit, selon Rice (1984) comme "tout effet direct ou indirect, positif ou négatif, d'une plante sur une autre par le biais de composés biochimiques libérés dans l'environnement (atmosphère et sol)".

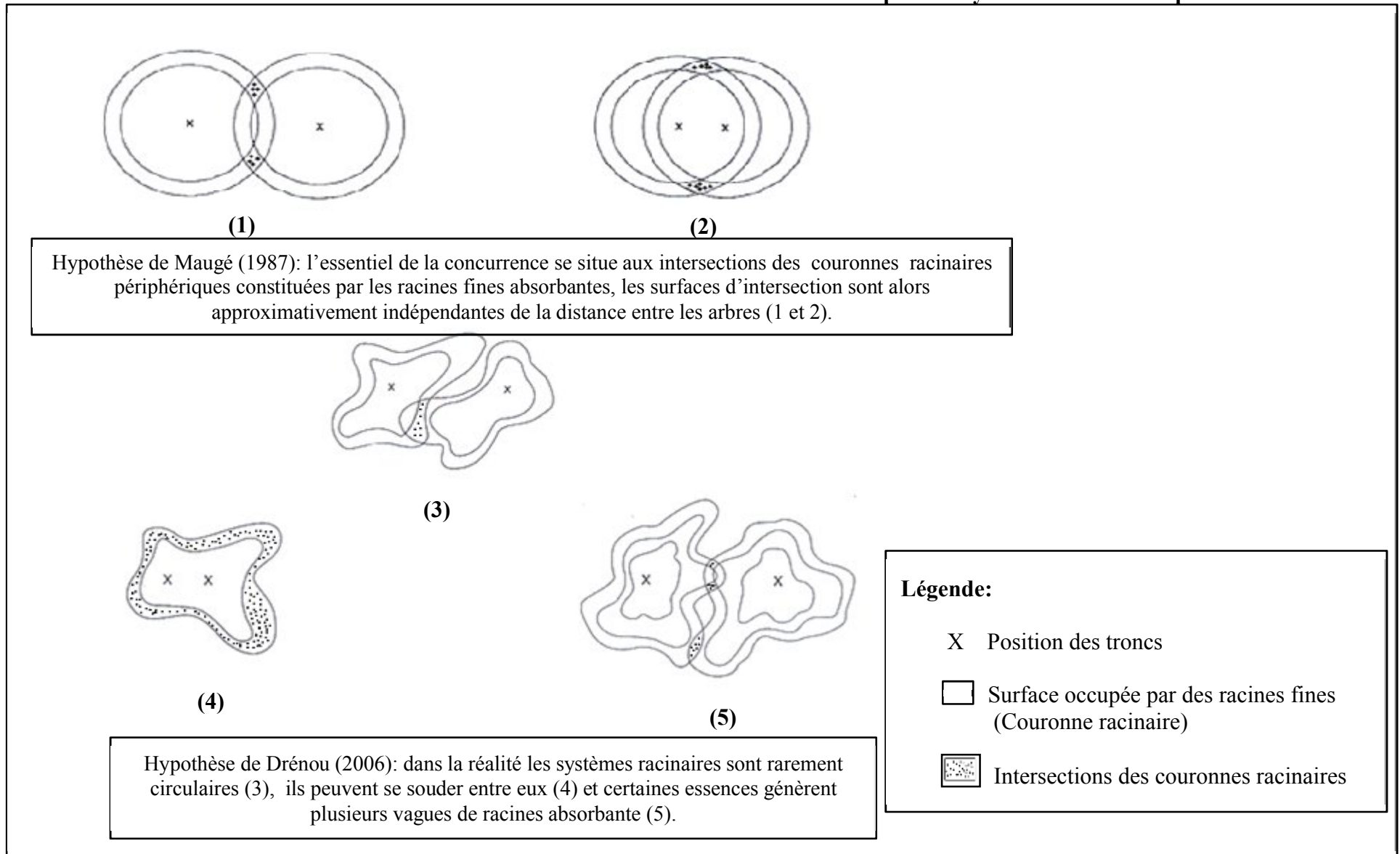


Figure 46. Concurrence racinaire entre arbres (Drénou, 2006).

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

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 discussion

7.1. Description et caractérisation des profils racinaires étudiés

7.1.1. Dayate Saadi, Hassi Delâa

7.1.1.1. Sujet 1

Pour le premier profil illustré par la figure 47, nous avons dégagé le système racinaire sur une profondeur de 80 cm qui correspond à la longueur du pivot dévoilé. De forme conique et de position orthogéotrope, le pivot présente une circonférence maximale (Cr_{max}) de 13 cm et une circonférence minimale (Cr_{min}) de 8 cm. A sa partie supérieure, nous comptons 4 racines secondaires assez fines qui se ramifient. Ce sont les racines R1-1, R1-2, R1-3 et R1-4. À 20 cm de la surface du sol, nous relevons deux racines se ramifiant horizontalement, ce sont la racine R1-5 et la racine R1-6. A 50 cm, apparaissent la racine R1-7, R1-8 et R1-9. La racine R1-8 se plie en formant deux coudes, puis remonte par 20 cm et se maintient parallèle à la racine R1-6, pour gagner par la suite le second niveau (entre 20-40 cm). La racine R1-8 porte cinq racines tertiaires assez fines et longues, à l'exception de la racine R1-8-1 qui apparaît plus courte et plus épaisse. La racine R1-10 prend naissance à l'extrémité terminale du pivot pour aller après en profondeur (Tableau 07).

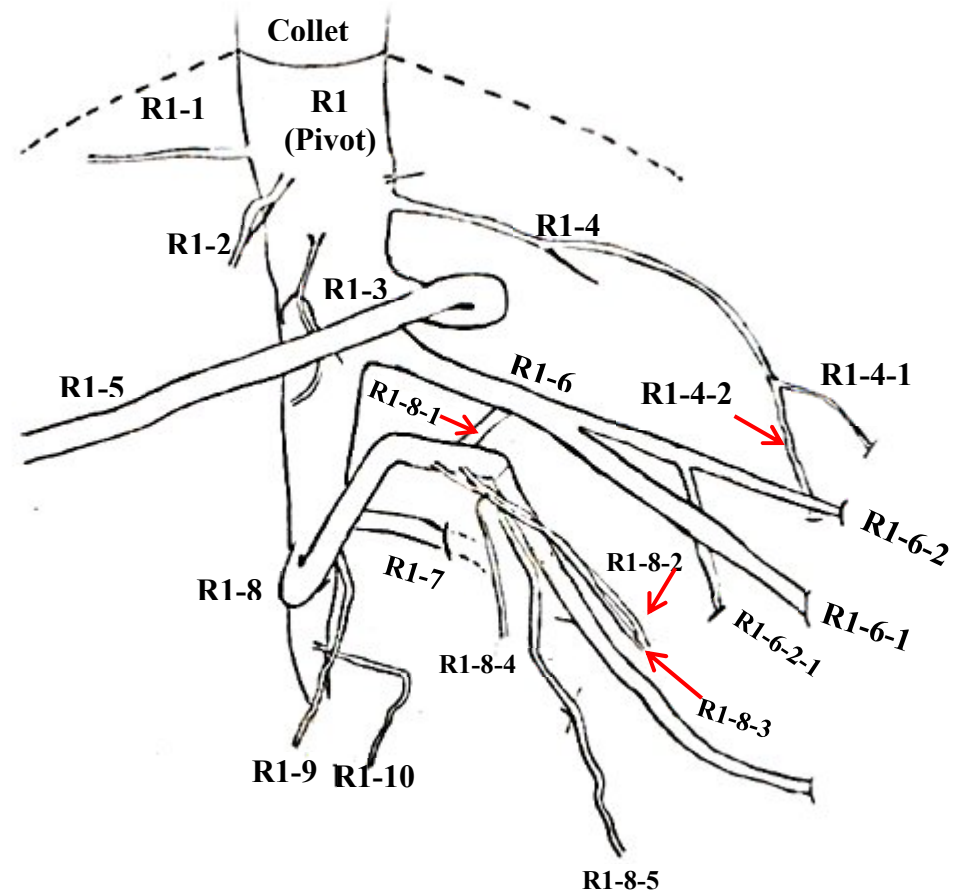


Figure 47. Profil racinaire et croquis du premier sujet (dayate Saadi, Hassi Delâa).

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

Tableau 07. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du premier profil, dayate Saadi, Hassi Delâa.

Racines	L (cm)	Cr _{moy} (cm)	NRmR	NRS	NRP	NRmC	NTRm
R1	80	10,5	10	16	3	1	19
R1-1	20	1,5	0				
R1-2	13	1,7	0				
R1-3	15	1,3	0				
R1-4	28	1,4	0				
R1-5	37	6,5	0				
R1-6	61,5	4,36	3				
R1-7	10	6,4	0				
R1-8	178,3	2,79	5				
R1-9	28	1,3	0				
R1-10	20	1,3	0				
/	T=490,8	/	/				

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;

Du tableau 07, il ressort que le nombre de ramifications total (NTRm) est égal à 19. Dans l'ensemble, les racines sont plutôt superficielles que profondes. La racine principale ou pivot présente la longueur et l'épaisseur les plus importantes du profil, et supporte 10 ramifications secondaires, qui se ramifient à leur tour en racines tertiaires.

Nous relevons que la racine R1-5 est la plus épaisse des racines secondaires, sa circonférence moyenne (Cr_{moy}) s'approche de celles des racines R1-6 et R1-7. Le reste des racines secondaires présente des Cr_{moy} très proches de la minimale.

La racine R1-8 est la racine secondaire la plus longue et la plus ramifiée de ce profil, les Cr_{moy} de ses ramifications tertiaires sont de l'ordre de quelques cm à l'exception de la Cr_{moy} de la racine R1-8-1 qui s'approche de la Cr_{moy} de la racine R1-8. Mêmes remarques pour la racine R1-6, qui bifurque en deux racines tertiaires. Ce sont la racine R1-6-1, de Cr_{moy} proche de celle de la racine R1-6, et la racine R1-6-2 de Cr_{moy} s'approchant de celle de son unique bifurcation R1-6-2-1.

De l'analyse du tableau ci-dessus, nous décelons que le système racinaire de ce jeune arbre est dans les premiers stades de développement. Ses racines secondaires sont plutôt

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

longues. Cet individu investit plus en longueur qu'en épaisseur racinaire. Son envergure latérale est moyenne.

7.1.1.2. Sujet 2

Le second profil racinaire creusé dévoile des racines colonisant les premiers 60 cm du sol. Contrairement au premier, il ne révèle pas de ramifications tertiaires. Cet arbre est ancré par un pivot rectiligne de Cr_{max} de 11.5 cm et Cr_{min} de 7.6 cm, il se ramifie en racines secondaires étendues horizontalement et occupant les premiers 50 cm du sol. Nous distinguons à ce niveau les racines R1-1, R1-2, R1-3, R1-4, R1-5, R1-6 et la racine R1-8. Les racines R1-7 et R1-9 sont les seules qui apparaissent au-delà de 50 cm du pivot. Toutes les racines de ce profil s'étendent horizontalement, puis s'inclinent. La plus remarquable d'entre elles est la racine R1-2 qui présente un coude à partir de 18 cm de son point d'émission (Figure 48).

Le tableau 08 comporte les mesures des caractéristiques racinaires de ce profil.

Tableau 08. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du deuxième profil, dayate Saadi, Hassi Delâa.

Racines	L (cm)	$Cr_{moy}(cm)$	NRmR	NRS	NRP	NRmC	NTRm
R1	65	9,55	9	7	3	1	10
R1-1	10.1	4.4	0				
R1-2	38	4.6	0				
R1-3	16.9	5.5	0				
R1-4	27	8.4	0				
R1-5	19.5	4.5	0				
R1-6	26.1	4.8	0				
R1-7	23.5	4.1	0				
R1-8	14	2.9	0				
R1-9	18	2.4	0				
/	T=258,1	/	/				

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.

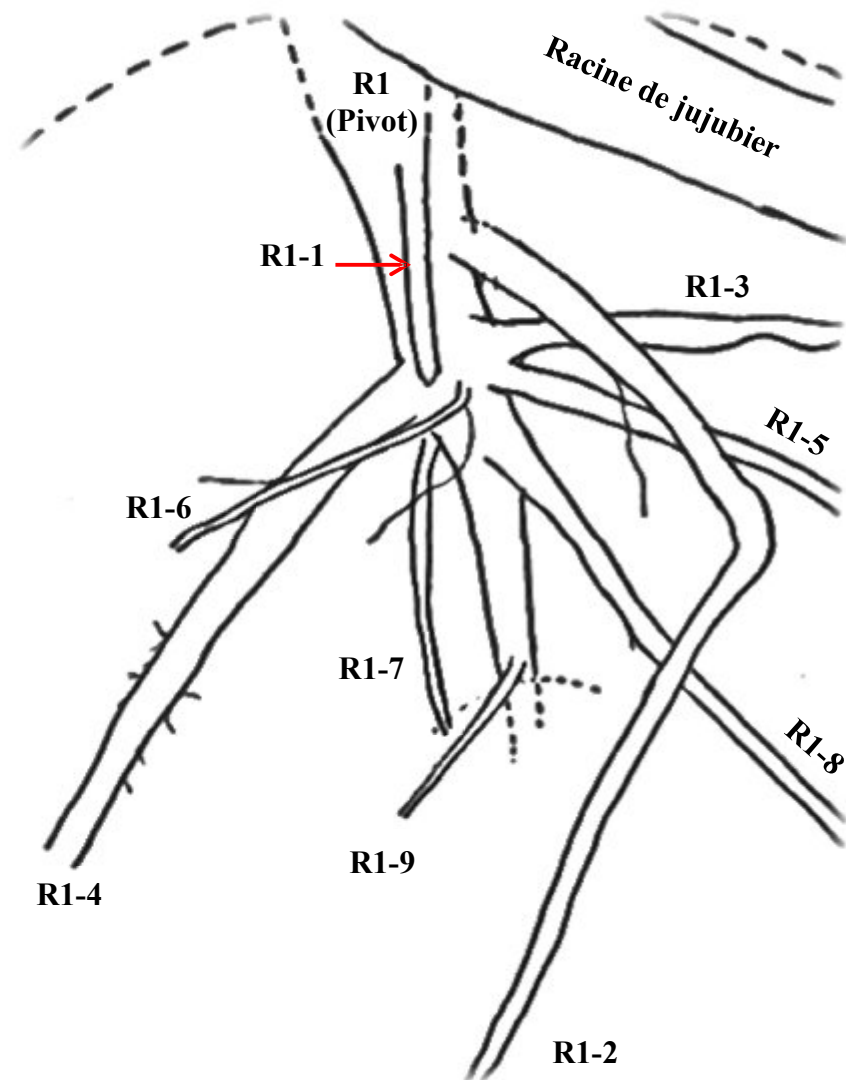
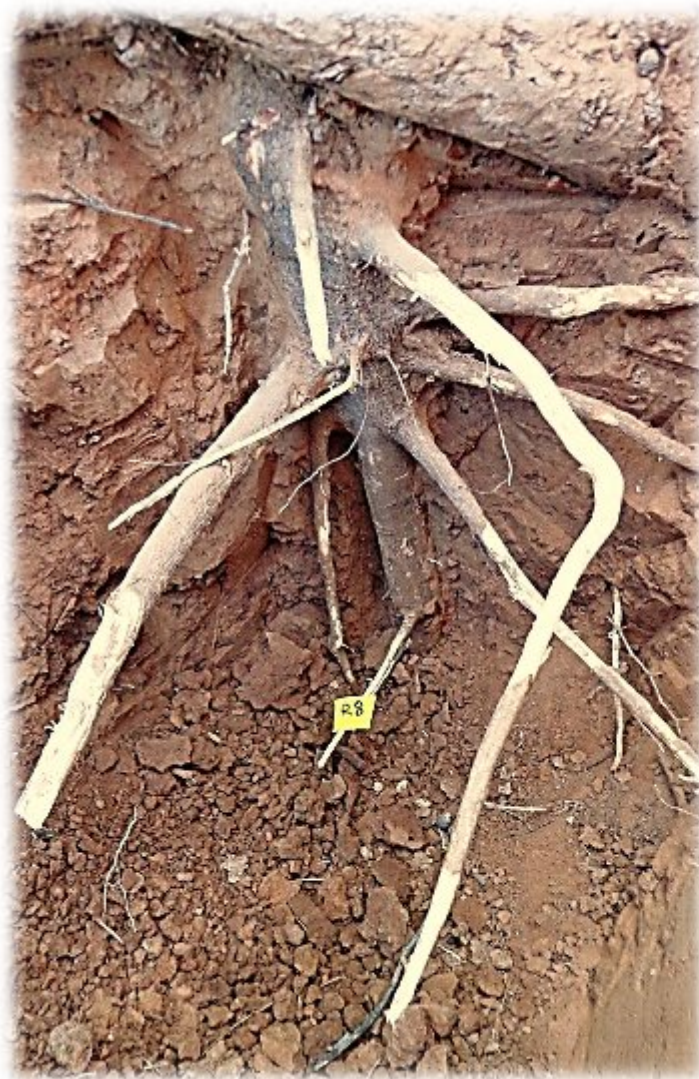


Figure 48. Profil racinaire et croquis du deuxième sujet (dayate Saadi, Hassi Delâa).

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

La racine R1-4 est la racine secondaire la plus épaisse de ce profil. Quant à la racine R1-9, la Cr_{moy} est la plus faible, c'est la racine la plus fine de ce profil racinaire. En terme de longueur, la racine R1-2 est la plus longue des racines secondaires, par contre la racine R1-1 est la plus courte du schéma architectural secondaire. Le reste des racines présente des longueurs variant de 14 à 27 cm.

De même que le premier sujet, cet individu possède un système racinaire qui investit en longueur. Son envergure latérale est moyenne.

7.1.1.3. Sujet 3

Le sujet 3 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 (Figure 49).

Le tableau 9 comporte les mesures des différentes caractéristiques racinaires du sujet 3.

Tableau 09. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du troisième profil, dayate Saadi, Hassi Delâa.

Racines	L (cm)	$Cr_{moy}(cm)$	NRmR	NRS	NRP	NRmC	NTRm
R1	23	70	7	20	11	1	31
R1-1	96	12,24	4				
R1-2	168,6	25,56	4				
R1-3	56	6,56	2				
R1-4	90	8,5	0				
R1-5	266,8	14,35	6				
R1-6	131,5	13,25	1				
R1-7	147,5	15,96	5				
R1-8	27,5	3,5	0				
/	T=1006,9	/	/				

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.

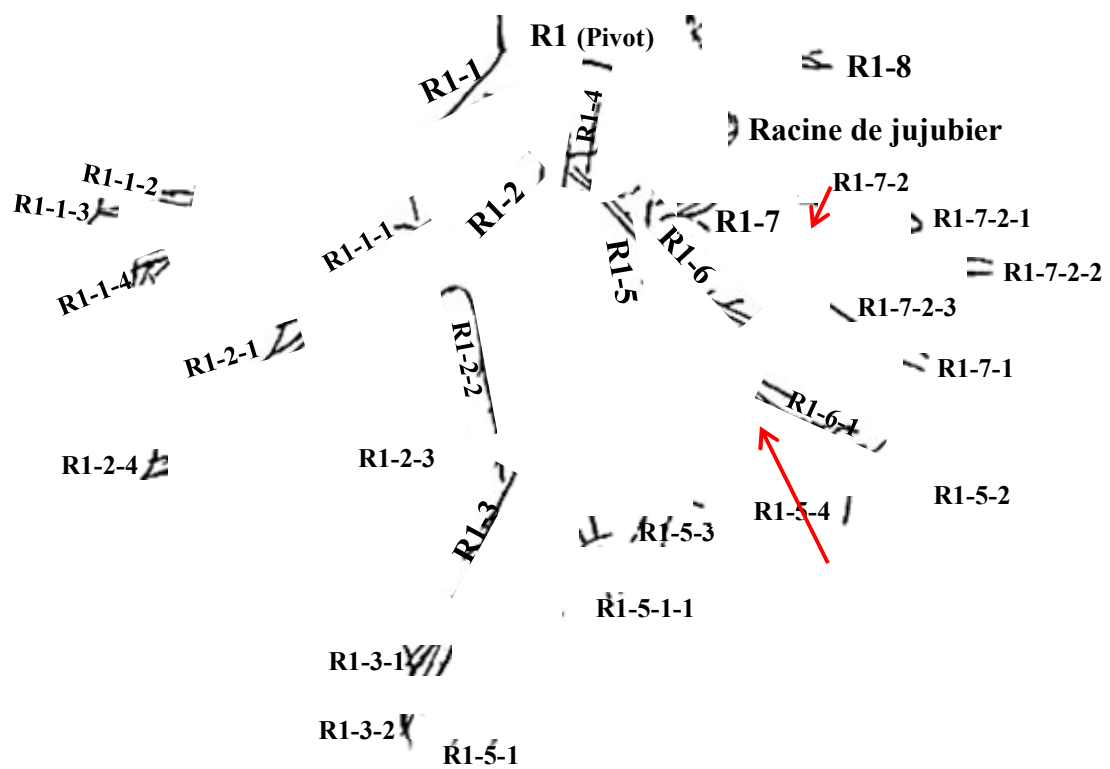


Figure 49. Profil racinaire et croquis du troisième sujet (dayate Saadi, Hassi Delâa).

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

A partir du tableau précédent, le système racinaire se révèle très ramifié. La plupart des racines sont superficielles. Nous notons la présence d'un court pivot (R1) qui révèle la Cr_{moy} la plus importante du profil. Depuis cette racine, bifurquent huit racines secondaires, chacune d'entre elles supporte des ramifications tertiaires et quaternaires.

Toutes les racines secondaires sont ramifiées, sauf la racine R1-4 et R1-8. Les racines R1-5 et R1-7 sont les plus ramifiées de ce profil. La racine R1-5 est la plus longue, la R1-1 présente l'épaisseur la plus importante. La racine R1-8 a enregistré la plus faible épaisseur.

Le sujet 3 possède des racines très ramifiées, allongées plutôt qu'épaisses ; son envergure latérale est importante. Nous décelons alors que son système racinaire est plagiotrope ; les racines occupent les couches superficielles du sol tout en suivant un plan horizontal.

7.1.1.4. Sujet 4

Pour le quatrième sujet, nous avons creusé un profil de 60 cm de profondeur. Le système racinaire de cet arbre ne montre que des racines superficielles. Le pivot est absent. D'apparence, les racines sont de tailles très proches, elles s'allongent obliquement (Figure 50).

Le tableau 10 illustre les mesures des différentes caractéristiques racinaires de ce profil.

De ce tableau, nous remarquons que le système racinaire de ce sujet est très ramifié. Sur un total de 27 ramifications, nous comptons 13 racines principales démarrant du collet dont 3 présentant des ramifications secondaires : ce sont la racine R1, R9 et R11. Cette dernière étant la plus ramifiée de tout le profil racinaire, elle présente 7 ramifications secondaires, 3 ramifications tertiaires et 2 quaternaires.

Parmi les racines principales, la racine R11 est la plus longue, la moins épaisse et la plus ramifiée ; la racine R13 est la plus courte et la plus épaisse. Concernant les racines secondaires, la racine R11-1 est la plus allongée.

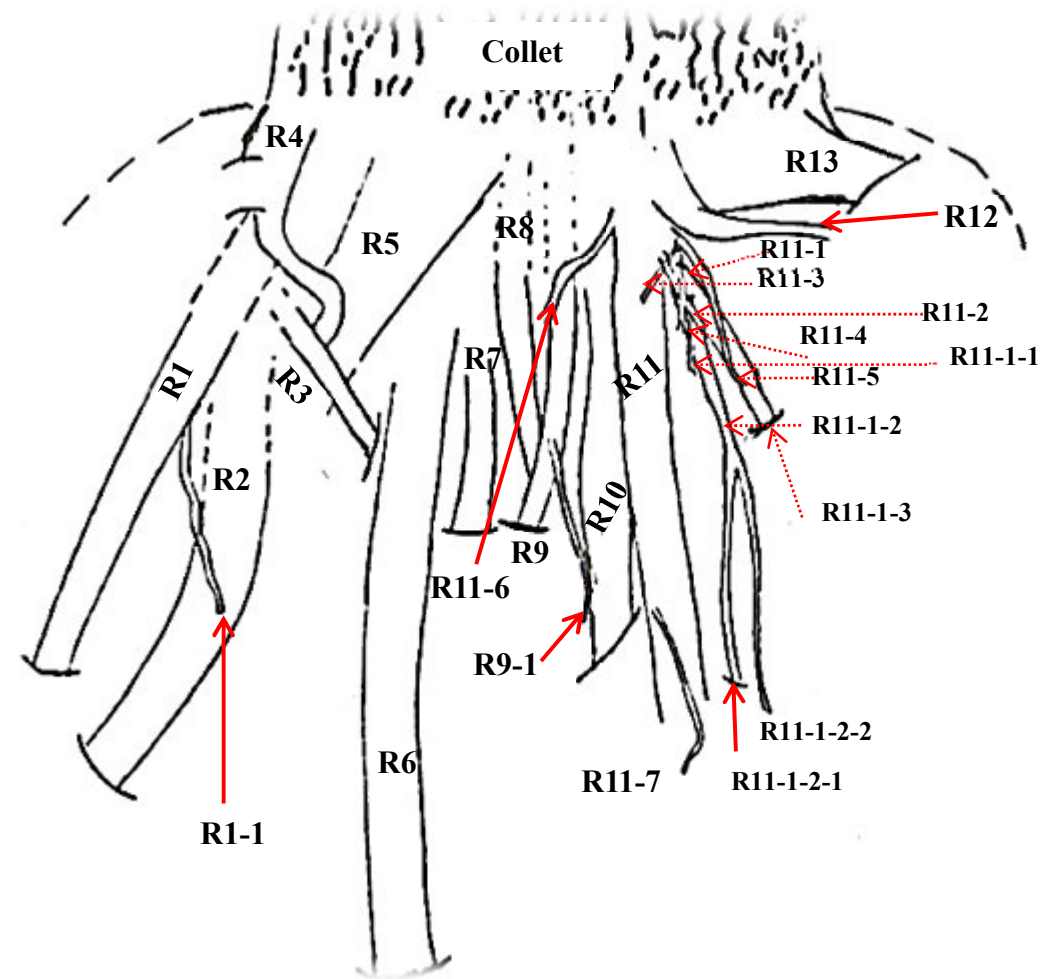


Figure 50. Profil racinaire et croquis du quatrième sujet (dayate Saadi, Hassi Delâa).

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

Tableau 10. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du quatrième profil, dayate Saadi, Hassi Delâa.

Racines	L (cm)	Cr _{moy} (cm)	NRmR	NRS	NRP	NRmC	NTRm
R1	73	11,8	1	27	0	13	27
R2	45	32	0				
R3	21,1	7,6	0				
R4	30,6	6,7	0				
R5	33	29	0				
R6	75,6	18	0				
R7	17,4	12,8	0				
R8	21	14,4	0				
R9	57,3	8,1	1				
R10	38	18,4	0				
R11	155,1	3,65	7				
R11-1	116,4	5,21	5				
R12	17	6,1	0				
R13	15	39,3	0				
/	T= 715,5	/	/				

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.

En analysant le tableau 10, nous remarquons des racines peu ramifiées et allongées. L'envergure latérale est importante. Ceci nous permet de dire que le système racinaire de cet individu comme celui du sujet 3 est plagiotrope, les racines occupent les couches superficielles du sol selon un plan horizontal.

7.1.1.5. Sujet 5

D'une profondeur de 60 cm de la surface du sol, ce profil présente un système racinaire différent des sujets précédents. Toutes les racines démarrent du collet. Quelques-unes s'allongent horizontalement avant de gagner la profondeur, d'autres plongent directement. La racine R1, en s'étendant latéralement sur 143 cm parallèlement à la surface du sol, s'amincit graduellement et descend en changeant de trajectoire, pour s'enfoncer verticalement dans le sol. La racine R2 émet une seule ramification à 40 cm du collet. Par la suite elle, se courbe et s'enfonce en profondeur. La racine R3 plonge directement dans le sol à partir du collet. A 35 cm de long, elle émet une ramification assez fine, qui remonte et atteint les 20 premiers cm du sol. Latéralement, à 56 cm de profondeur apparaît la racine R4 portant une seule ramification

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

secondaire qui à son tour supporte deux ramifications tertiaires d'épaisseurs très réduites (Figure 51).

Le tableau 11 rassemble les mesures des différentes caractéristiques racinaires de cet individu.

Tableau 11. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du cinquième profil, dayate Saadi, Hassi Delâa.

Racines	L (cm)	Cr _{moy} (cm)	NRmR	NRS	NRP	NRmC	NTRm
R1	143	82,7	0	7	2	4	9
R2	155	27,35	1				
R3	74,5	33,5	1				
R4	226	9,55	3				
/	T=598,5	/	/				

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, nous comptons un nombre total de ramifications égal à 9 racines, dont 4 sont primaires, 3 secondaires et 2 tertiaires. Globalement, l'enracinement est superficiel. Sur le nombre total de racines, 4 démarrent du collet.

La racine R4 est la plus longue et la moins épaisse des racines de ce profil. Les racines primaires (R1, R2 et R3) investissent aussi en longueur mais aussi en épaisseur, la plus volumineuse d'entre elles est la racine R1 qui présente une Cr_{moy} importante.

Les racines secondaires (R2-1, R2-3 et R4-1) investissent plus en longueur qu'en épaisseur : R4-1 est la plus longue, R3-1 est la plus courte et la moins épaisse, et R2-1 est la plus épaisse.

Le système racinaire de ce sujet s'allonge horizontalement pour s'implanter profondément au-delà de 50 cm de la surface du sol. Nous pouvons le qualifier de plagiotrope, peu ramifié, d'envergure latérale importante qui investit en longueur et en épaisseur.

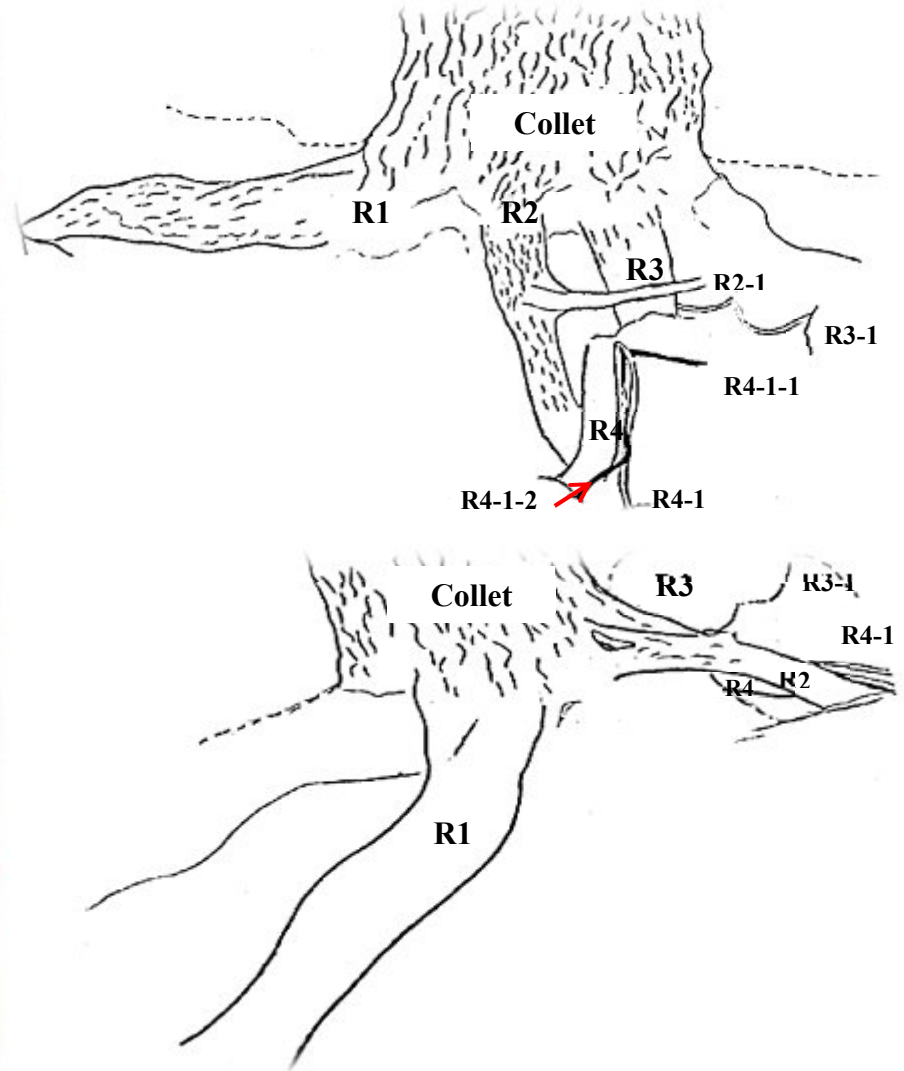


Figure 51. Profil racinaire et croquis du cinquième sujet (Dayate Saadi, Hassi Delâa).

7.1.1.6. Sujet 6

Suite au sol sous-jacent très compact et de peur de nuire à l'arbre, nous avons dégagé un profil d'une profondeur de 40 cm. Ceci a rendu le suivi des racines un peu délicat.

Le système racinaire de cet individu est vigoureux. Il est composé de sept racines volumineuses qui apparaissent dès le collet. Cet entrelacement présente des elongations qui apparaissent d'abord superficielles, puis s'enfoncent au-delà de 40 cm de la surface du sol à l'exception de la racine R4 qui plonge directement du collet (Figure 52).

Le tableau 12 répertorie les différentes caractéristiques racinaires de ce sujet.

Tableau 12. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du sixième profil, Dayate Saadi, Hassi Delâa.

Racines	L (cm)	Cr _{moy} (cm)	NRmR	NRS	NRP	NRmC	NTRm
R1	83	36,2	0	6	1	7	7
R2	36	30	0				
R3	86	55	0				
R4	57	86	0				
R5	50	32.8	0				
R6	64	58.5	0				
R7	54	79.5	0				
/	T=430	/	/				

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.

Du tableau 12, il apparaît que toutes les racines apparaissent dès le collet. Elles sont plutôt superficielles. Aucune d'entre elles ne présente de ramifications secondaires.

Nous avons enregistré la longueur la plus importante pour la racine R3, et la Cr_{moy} la plus élevée pour la racine R4. Par contre, la racine R2 est la plus courte et la moins épaisse de ce profil. Quant à la racine R1, elle présente une Cr_{moy} s'approchant de la Cr_{moy} minimale de ce profil (celle de la R2), et une longueur proche de la longueur maximale du profil.

Pour le reste des racines, nous remarquons différentes valeurs de Cr_{moy} allant de 32.8 cm à 79.5 cm. Leurs longueurs sont considérables, elles varient de 50 à 64 cm.

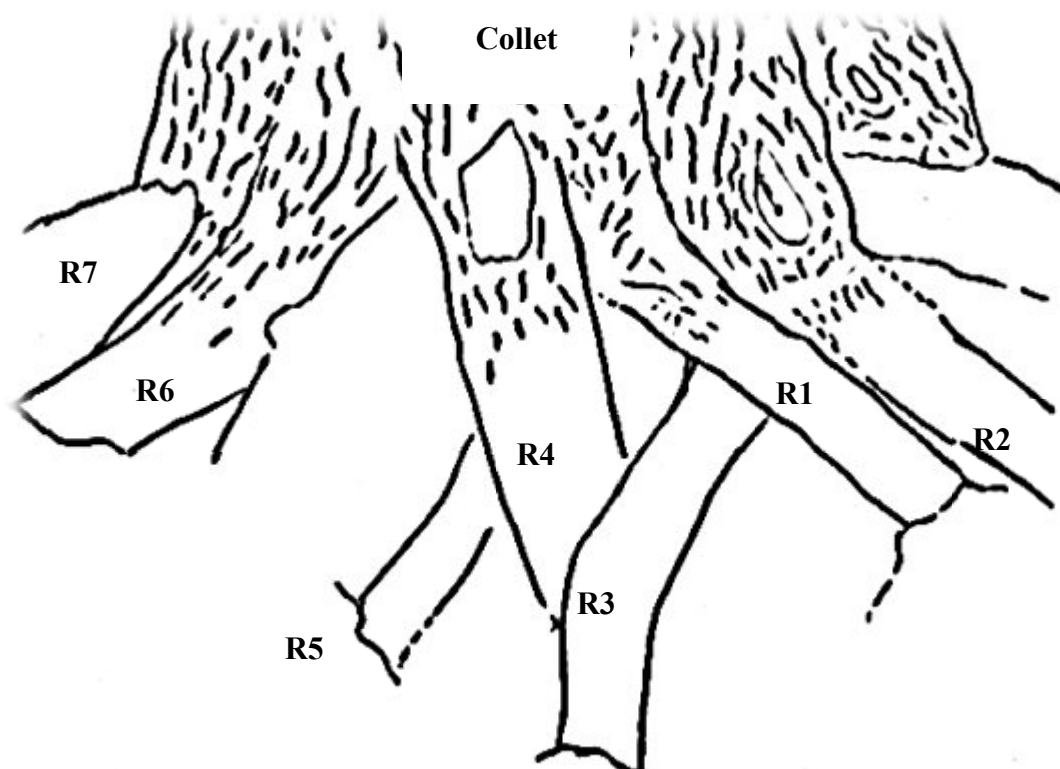


Figure 52. Profil racinaire et croquis du sixième sujet (Dayate Saadi, Hassi Delâa).

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

L'analyse de ce tableau montre que cet individu émet un système racinaire peu ramifié, et qu'une importante fraction racinaire est en surface. Il est constitué de racines volumineuses, longues et épaisses, qui s'allongent d'abord avant de gagner la profondeur.

7.1.2. Dayate Aïat, Timzerth

7.1.2.1. Sujet 1

De 60 cm de profondeur, le profil réalisé montre un édifice racinaire formé d'un pivot conique orthogéotrope de 58 cm de long, 46 cm de Cr_{max} et 33.4 cm de Cr_{moy} , portant deux racines secondaires R1-1 et R1-2 respectivement à 37 cm et 49 cm du collet.

La racine R1-1 remonte par 22 cm vers le haut en s'entrelaçant avec le pivot, pour enfin coloniser les couches superficielles du sol. La racine R1-2 s'enfonce obliquement dans le sol en émettant des ramifications tertiaires et quaternaires. L'envergure latérale de ce sujet est réduite. Ce profil est illustré en détail dans les figures 53, 54, 55, 56.

Le tableau 13 contient les mesures des différentes caractéristiques racinaires de ce sujet.

Le sujet 01 semble montrer le système racinaire le plus ramifié de tous les individus de dayate Aïat, nous comptons un total de 67 ramifications, dont 21 profondes et 46 superficielles.

La seule ramification dès le collet est un pivot de 29.7 cm de Cr_{moy} et 58 cm de long. Ce dernier supporte deux racines, R1-1 et R1-2 qui respectivement comportent 46 et 20 ramifications d'ordre secondaire, tertiaire, quaternaire et pentamère de longueurs variables allant de 4 à 55.5 cm, et d'épaisseur variant entre 0.4 et 24.7 cm. Les Cr_{moy} les plus importantes ont été observées chez les racines R1, R1-1, R1-2, et R1-2-2. Les racines les plus longues sont la racine R1-1-3-3-9 qui comporte le nombre le plus élevé de ramifications (16), et la racine R1-1-3-3 qui en comporte 14. Les autres racines ont montré des longueurs totales variant de 5.5 à 84.3 cm, et des Cr_{moy} peu importantes.

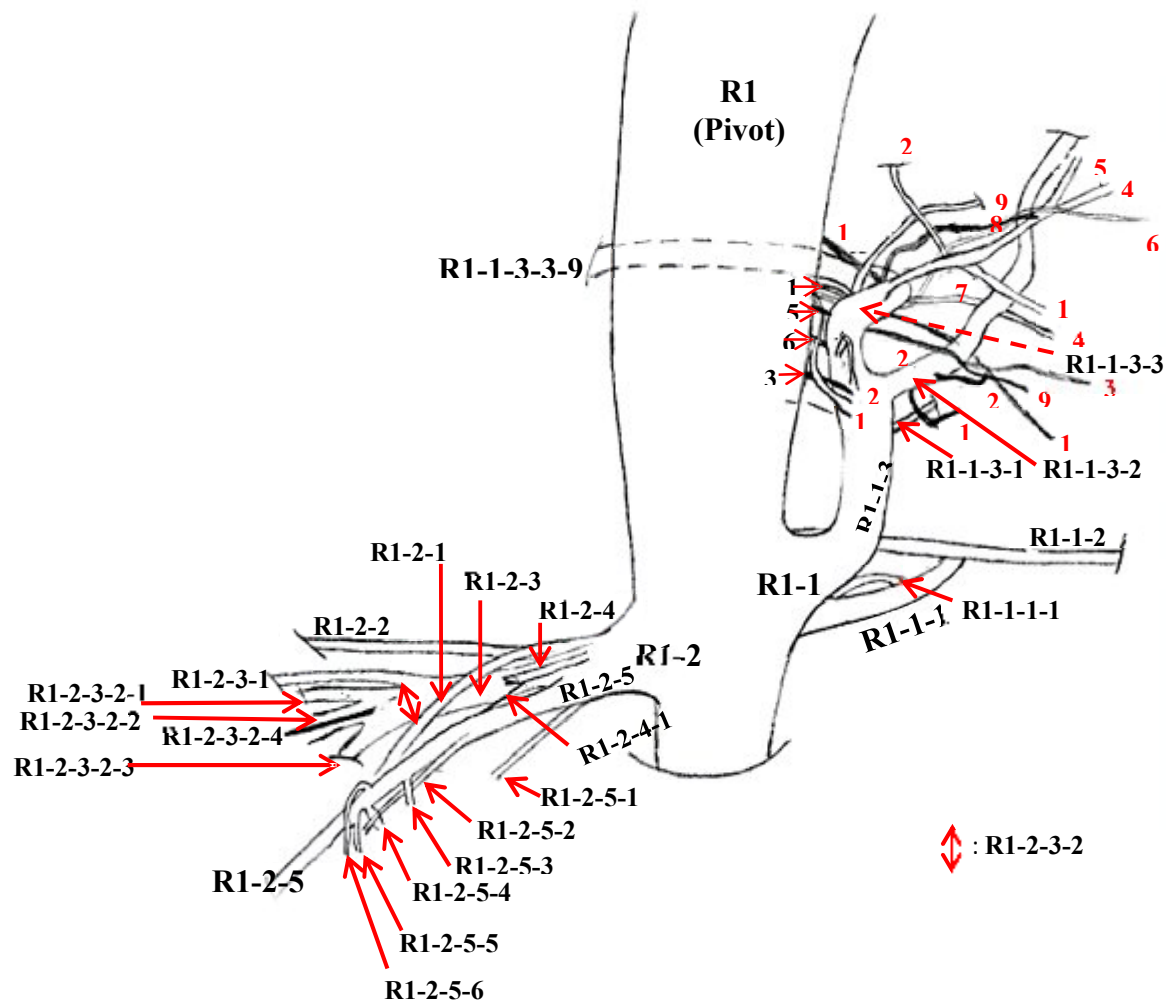


Figure 53. Profil racinaire et croquis du premier sujet (dayate Aïat, Timzerth).

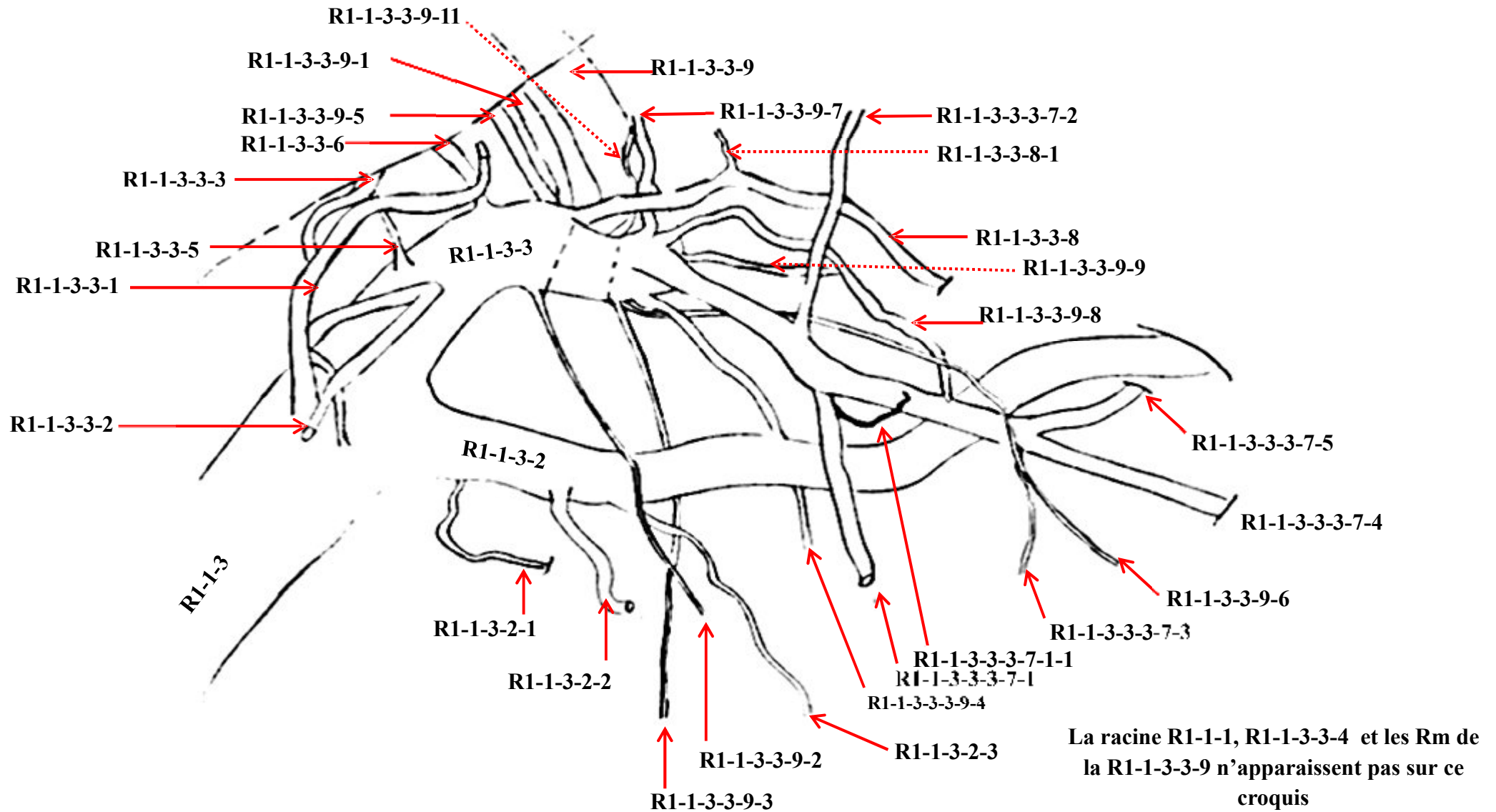


Figure 54. Détail du premier lot de racines du premier sujet (dayate Aïat, Timzerth).

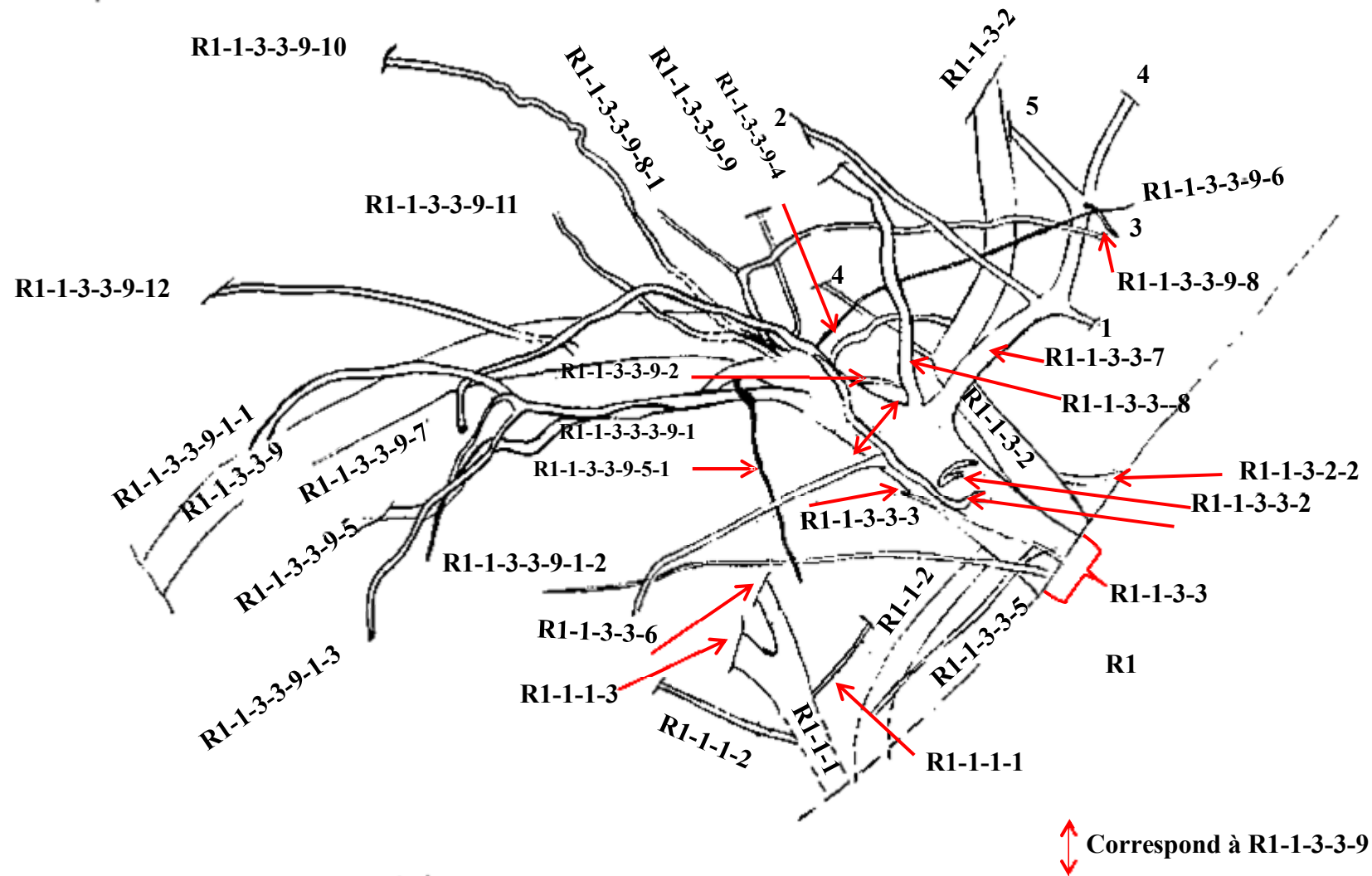


Figure 55. Détail du premier lot de racines du premier sujet (dayate Aïat, Timzerth).

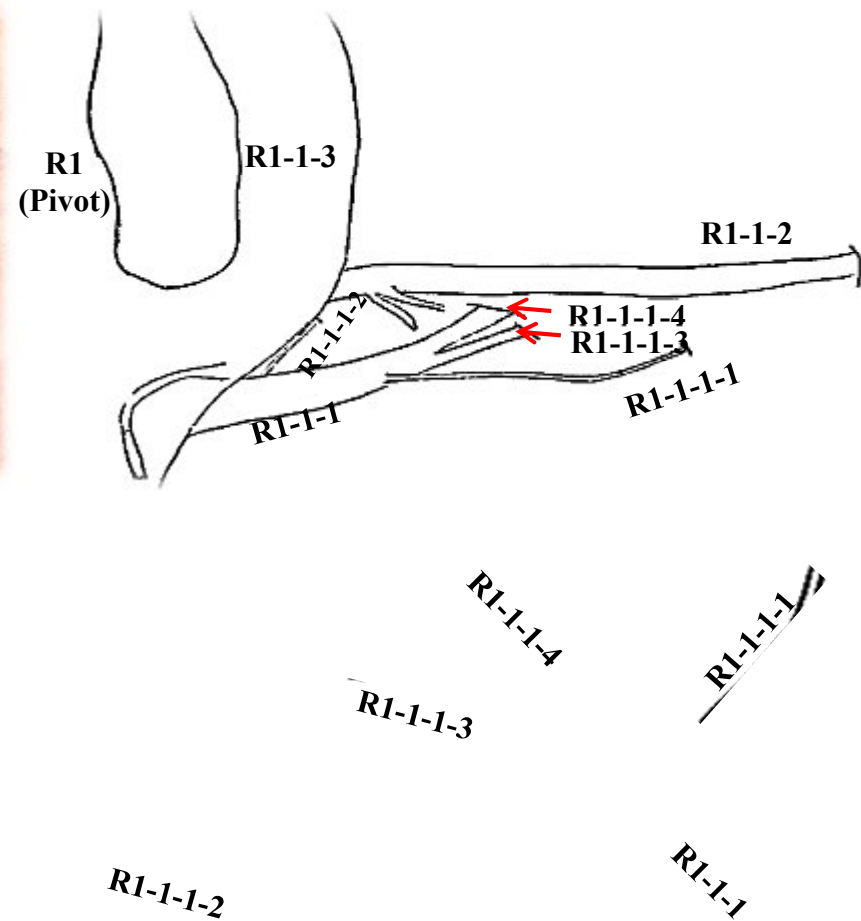


Figure 56. Détail du premier lot de racines du premier sujet (dayate Aïat, Timzerth).

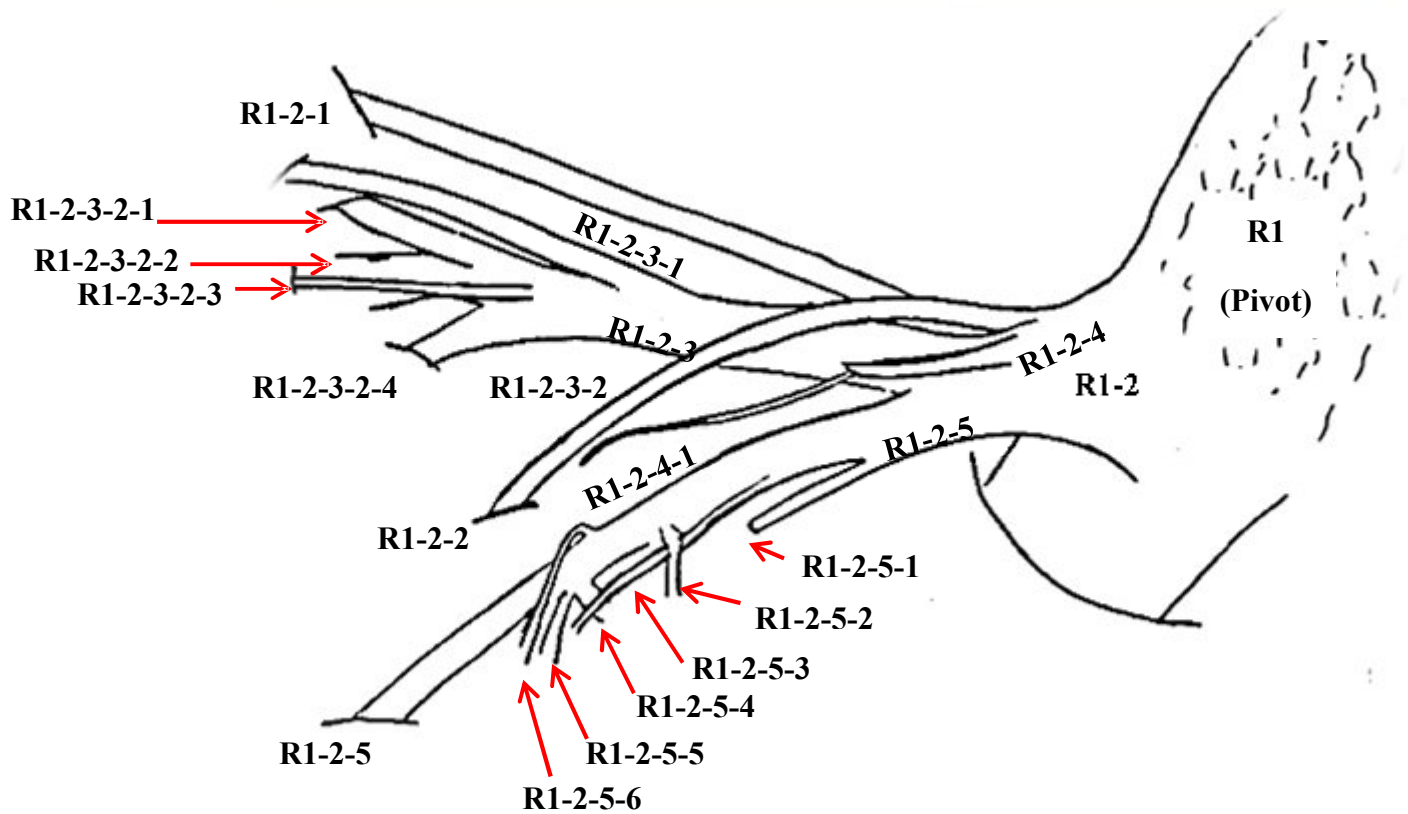


Figure 57. Détail du deuxième lot de racines du premier sujet (dayate Aïat, Timzerth).

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

Tableau 13. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du premier profil, dayate Aïat, Timzerth.

Racines	L (cm)	Cr _{moy} (cm)	NRmR	NRS	NRP	NRmC	NTRm
R1	58	29,7	2	46	21	1	67
R1-1	5,5	24,7	3				
R1-1-1	67,9	1,89	4				
R1-1-2	19,5	7,6	3				
R1-1-3	32,5	8,05	3				
R1-1-3-2	84,3	1,56	4				
R1-1-3-3	236,6	2,31	14				
R1-1-3-3-9	362,1	1,33	16				
R1-2	55,5	14,5	5				
R1-2-1	26,5	3,75	0				
R1-2-2	23	18,8	0				
R1-2-3	65,4	3,89	6				
R1-2-4	21	1	1				
R1-2-5	67,2	1,107	6				
/	T=1125	/	/				

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.

Ces données montrent que ce profil racinaire est mixte. Le pivot important s'enfonce en profondeur et émet des segments superficiels et profonds, afin d'assurer la stabilité et l'ancrage de l'arbre. Ce sujet investit en longueur et en ramifications, ainsi qu'en épaisseur racinaire et possède une envergure latérale réduite.

7.1.2.2. Sujet 2

Nous avons dégagé un profil racinaire de 40 cm de profondeur. Ce pied jeune et immature émet un système racinaire impressionnant ; il est fixé par un pivot orthogéotrope cylindrique, qui s'affine en s'enfonçant dans le sol et devient oblique à 40 cm de profondeur. A 18 cm en dessous du collet apparait la première racine secondaire, et en descendant de 6.3 cm nous observons les autres ramifications (Figures 58 et 59).

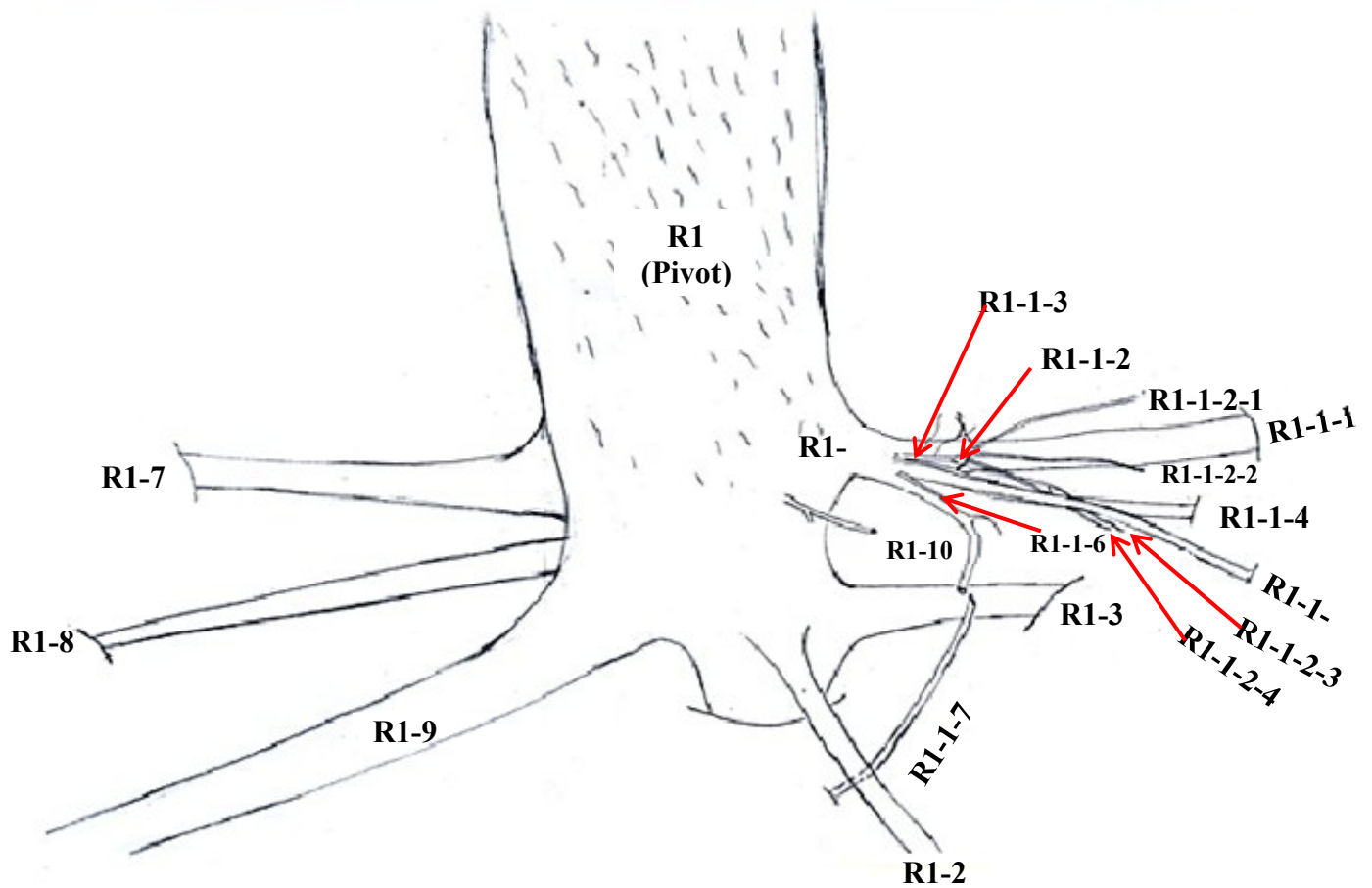


Figure 58. Profil racinaire et croquis du deuxième sujet (dayate Aïat, Timzerth).

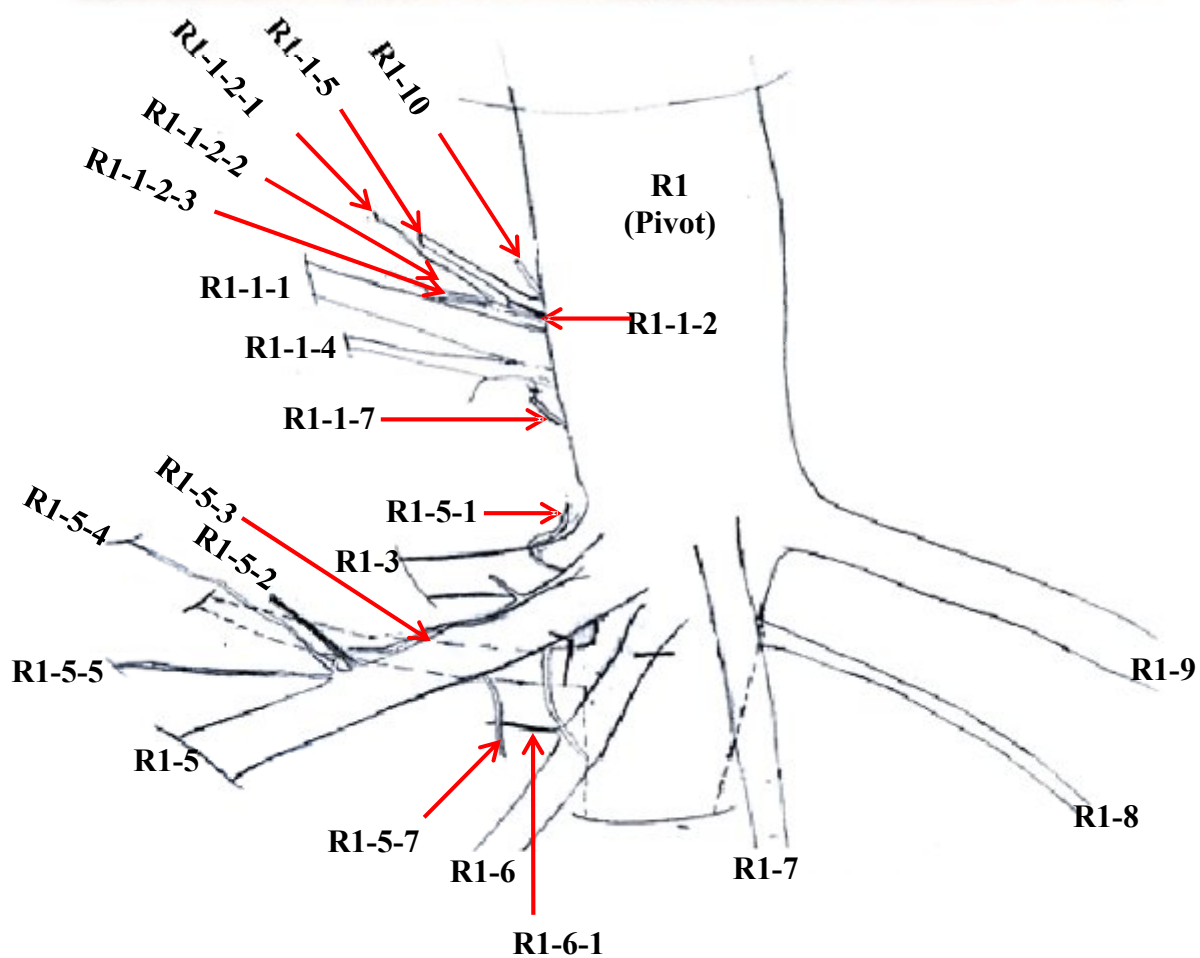


Figure 59. Profil racinaire et croquis du deuxième sujet, vue postérieure (dayate Aïat, Timzerth).

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

Le tableau ci-dessous inscrit les mesures des différentes caractéristiques racinaires de ce sujet.

Tableau 14. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du deuxième profil, dayate Aïat-Timzerth

Racines	L (cm)	Cr _{moy} (cm)	NRmR	NRS	NRP	NRmC	NTRm
R1	39,3	45,5	10	29	1	1	30
R1-1	158,1	5,81	7				
R1-1-2	97,9	0,6	4				
R1-2	31	7,8	0				
R1-3	15	11,75	0				
R1-4	12	5,35	0				
R1-5	152,1	2,64	7				
R1-6	28	4,27	1				
R1-7	37	9,1	0				
R1-8	49	4,6	0				
R1-9	46	14,05	0				
R1-10	12,2	0,9	0				
/	T=677,6	/					

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.

Toutes les racines de ce profil sont superficielles sauf le pivot, c'est la racine la plus épaisse du profil étudié. Sur 30 ramifications totales, nous comptons 10 ramifications secondaires, les plus longues sont respectivement la racine R1-1 et R1-5, les plus courtes sont la racine R1-4 et R1-10. Cette dernière présente l'épaisseur la plus réduite du profil. La racine R1-9 et R1-3 ont les plus importantes épaisseurs des racines secondaires. Le reste des racines principales a enregistré des valeurs de longueurs allant de 15 à 49 cm et des circonférences moyennes variant de 2.64 à 9.1 cm.

La racine R1-1 est la plus ramifiée de ce profil, elle porte 11 ramifications dont 7 tertiaires, l'une d'entre elles (R1-1-2) porte 4 ramifications quaternaires. La racine R1-5 en supporte 7 et la R1-6 ne comporte qu'une seule.

En analysant ces données, nous pouvons dire que le système racinaire de cet arbre exhibe un axe principal vertical, sur lequel s'insèrent deux lots d'axes secondaires

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

plagiotropes assurant son ancrage et sa fixation. Il investit plus dans la longueur que dans l'épaisseur racinaire, son envergure latérale étant réduite.

7.1.2.3. Sujet 3

A 40 cm de profondeur, nous avons pu dévoiler la partie supérieure du système racinaire de cet individu, qui se caractérise par une remarquable plagiotropie. Il présente un petit pivot pentafide, fourchu en racines secondaires qui émettent des racines tertiaires disjointes, qui s'étalent obliquement puis se courbent avant de plonger verticalement dans le sol (Figures 60 et 61).

Le tableau 15 regroupe les mesures des différentes caractéristiques racinaires de ce profil.

Tableau 15. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du troisième profil racinaire, dayate Aïat, Timzerth

Racines	L (cm)	Cr _{moy} (cm)	NRmR	NRS	NRP	NRmC	NTRm
R1	16,9	62,3	5	18	0	1	18
R1-1	103,1	7,54	4				
R1-2	122,4	11,53	3				
R1-3	53	14,05	0				
R1-4	147,6	7,38	5				
R1-5	37,8	17,7	0				
/	T=480,8	/	/				

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.

Du tableau précédent, il ressort que la totalité des racines sont superficielles. Le pivot est en voie de dégénérescence, il est petit, sa Cr_{moy} est très généreuse, il se ramifie en cinq racines secondaires d'épaisseurs et de longueurs très proches. La racine R1-4 est la plus allongée et la plus fine, la racine R1-5 est la plus courte et la plus épaisse des racines secondaires.

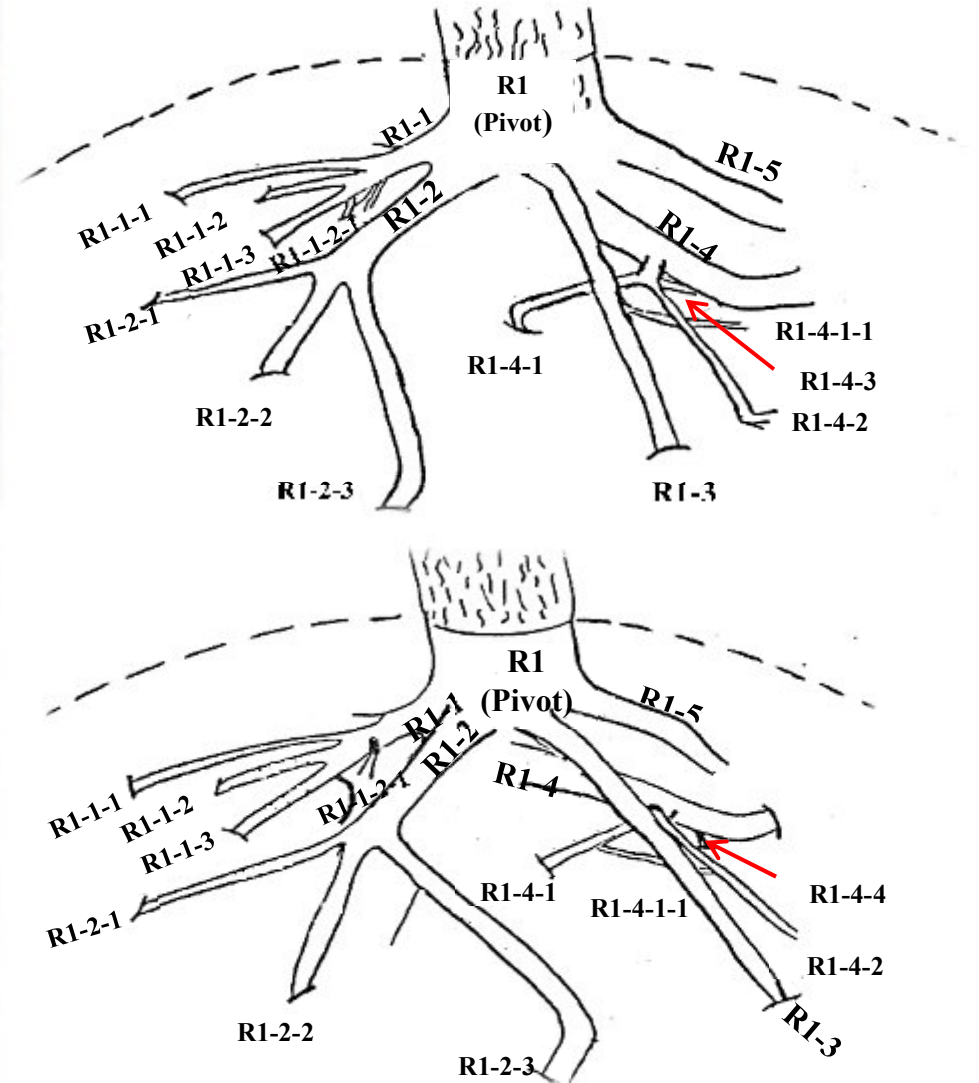


Figure 60. Profil racinaire et croquis du troisième sujet (dayate Aïat, Timzerth).

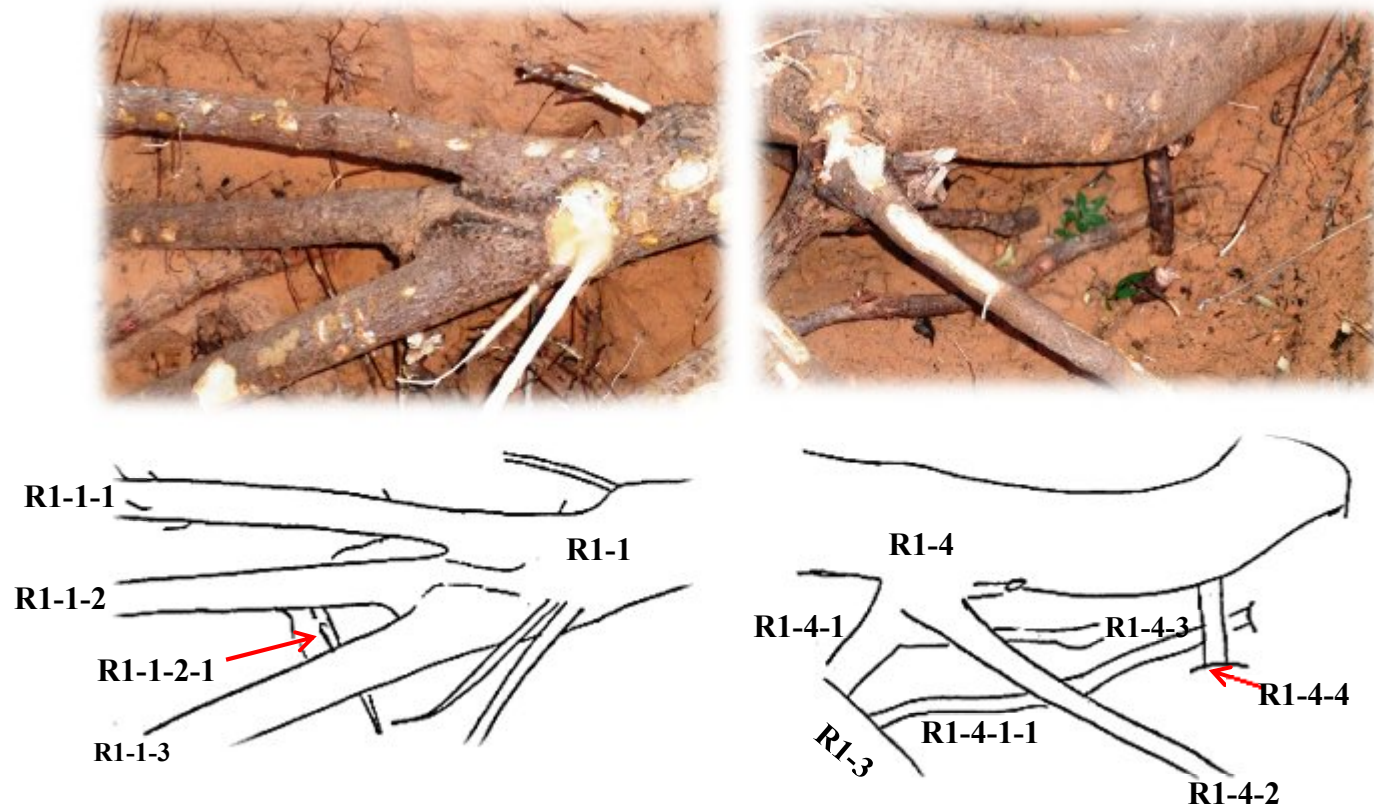


Figure 61. Détails de la racine R1-1 et de la racine R1-4 du troisième sujet (dayate Aïat, Timzerth).

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

Toutes les racines secondaires sont ramifiées, à l'exception des racines R1-3 et R1-5. Les racines R1-1 et R1-4 sont les seules à présenter des ramifications quaternaires très fines et courtes.

La ramification tertiaire la plus longue et la plus épaisse est la R1-2-3, sa longueur est presque égale à la longueur de la racine R1-3, la racine R1-4-4 est la moins allongée des racines tertiaires. Quant aux autres racines tertiaires, la longueur et l'épaisseur sont modestes, voire très minimes.

L'analyse de ce tableau montre que ce sujet présente une charpente racinaire superficielle d'envergure latérale moyenne, le pivot très réduit est fourchu en racines plagiotropes très similaires.

7.1.2.4. Sujet 4

Contrairement aux autres profils racinaires de dayate Aïat, cet individu présente un enracinement particulier entremêlé avec celui du jujubier. Nous avons creusé jusqu'à 80 cm de profondeur pour faire apparaître un pivot fourchu en cinq ramifications. Nous notons la présence de 3 anastomoses : entre la racine R1-2-3 et la racine R1-2-2, R1-2-2 et R1-3, et une autre entre les racines de jujubier et la racine R1-3 (Figure 62).

Le tableau 16 inscrit les mesures des différentes caractéristiques racinaires de ce profil.

Tableau 16. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du quatrième profil, dayate Aïat, Timzerth

Racines	L (cm)	Cr _{moy} (cm)	NRmR	NRS	NRP	NRmC	NTRm
R1	66	83,65	5	0	15	1	15
R1-1	38,5	16	0				
R1-2	329	8,53	5				
R1-3	66,4	16,4	0				
R1-4	97,8	4,46	4				
R1-5	70	34,15	0				
	T=667,7						

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.

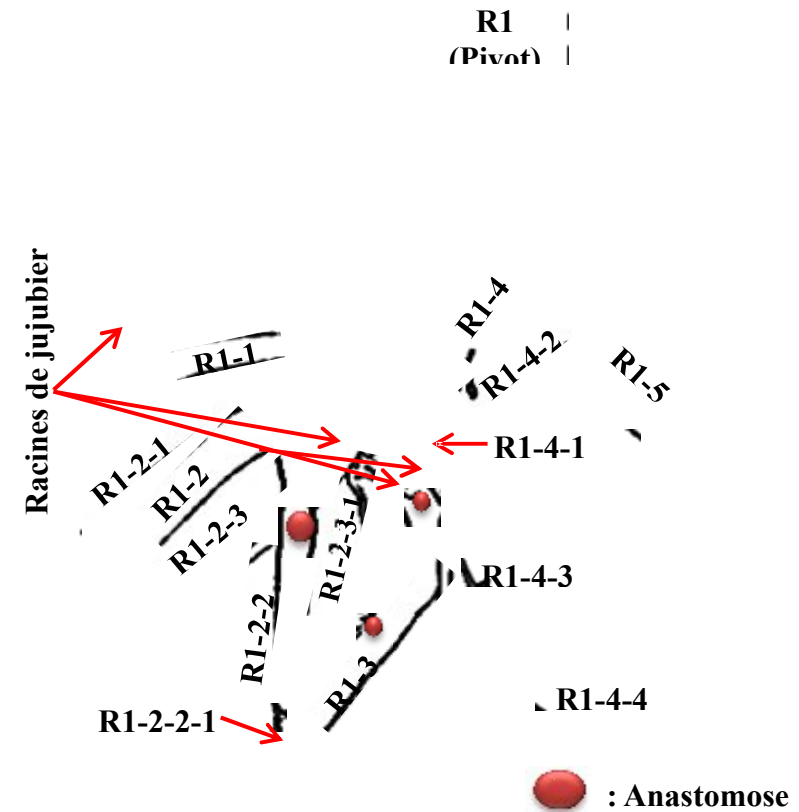


Figure 62. Profil racinaire et croquis du quatrième sujet (dayate Aïat, Timzerth).

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

De ce tableau, nous décelons l'absence de racines superficielles. Le pivot est l'unique racine au collet, il présente la Cr_{moy} la plus élevée du profil et se ramifie en 5 racines secondaires, parmi lesquelles R1-2, la plus allongée de toutes les racines, R1-5 la plus épaisse et R1-4 la plus petite de toutes les racines secondaires.

Pour ce profil, nous ne distinguons que deux racines secondaires ramifiées : la racine R1-4 et R1-2 qui émettent des ramifications tertiaires ; celle qui investit plus en longueur est la racine R1-2-2, les plus courtes sont la racine R1-4-1 et la racine R1-4-2. En termes d'épaisseur, la racine R1-2-3 est la plus épaisse des racines tertiaires. Il faut dire aussi que la R1-2 émet deux ramifications quaternaires longues très fines.

Nous constatons que l'architecture racinaire de ce sujet est mixte. Il est ancré par un pivot orthogéotrope important enfoncé profondément, qui émet au-delà de 50 cm du sol des racines horizontales d'envergure latérale très réduite.

7.1.2.5. Sujet 5

Le profil racinaire dégagé pour cet individu est de 60 cm de profondeur. Globalement, il s'agit d'une charpente racinaire superficielle dont les racines s'étendent horizontalement, puis se courbent pour s'enfoncer dans le sol (Figures 63 et 64). Nous comptons seulement deux racines qui démarrent du collet, ce sont les racines R1 et R2. Nous ne comptabilisons sur l'ensemble du profil que trois racines profondes, ce sont les racines R1-1 et R2-1 qui commencent superficielles, avant de plonger au-delà des premiers 50 cm du sol, et la racine R2-3 qui se ramifie de la racine R2 verticalement, pour continuer horizontalement une fois qu'elle atteint les 60 cm de profondeur. Nous avons observé des radicelles aux extrémités des ramifications secondaires superficielles.

Le tableau 17 porte les mesures des différentes caractéristiques racinaires de ce sujet.

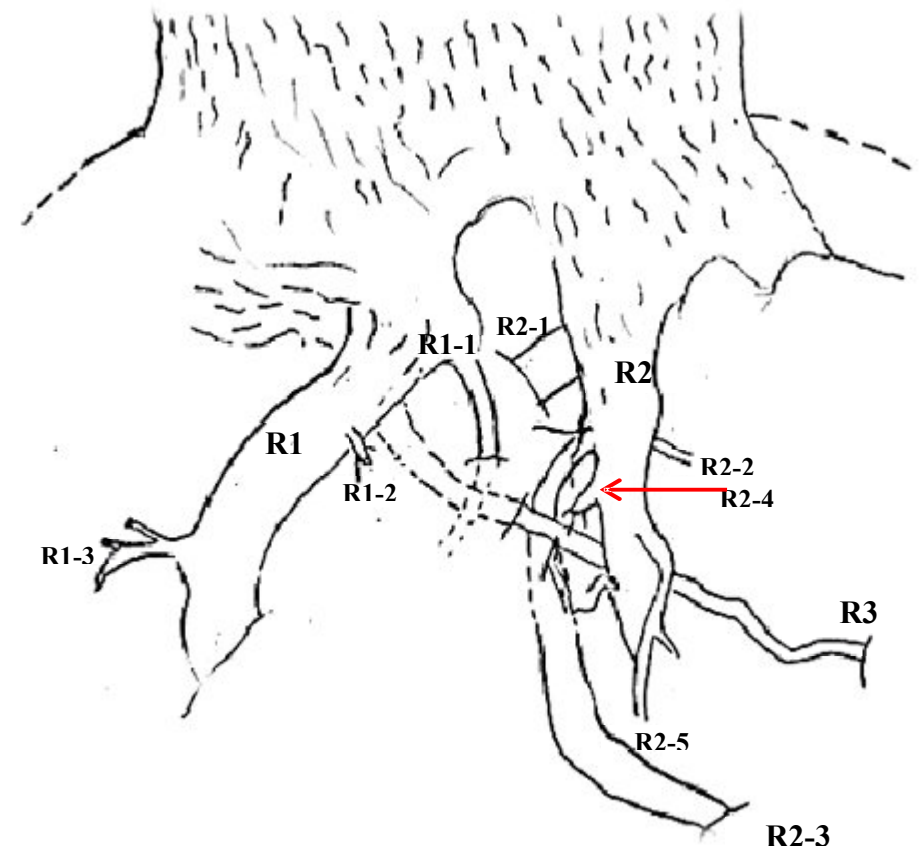


Figure 63. Profil racinaire et croquis du cinquième sujet (dayate Aïat, Timzerth).

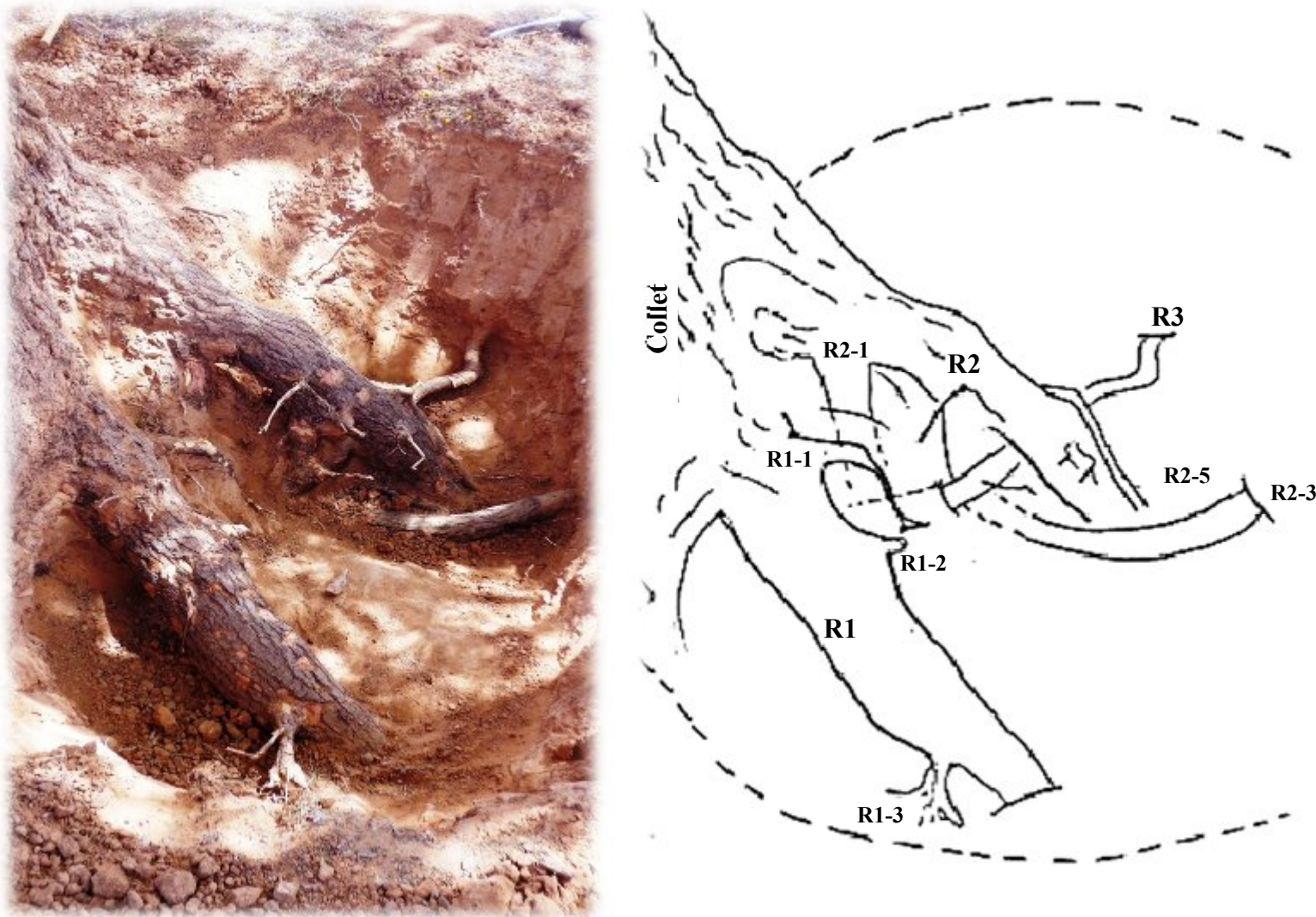


Figure 64. Profil racinaire et croquis du premier sujet, vu de profil (dayate Aïat, T'imzerth).

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

Tableau 17. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du cinquième profil racinaire, dayate Aïat, Timzerth

Racines	L (cm)	Cr _{moy} (cm)	NRmR	NRS	NRP	NRmC	NTRm
R1	169,7	31,85	3	8	3	2	11
R2	257,4	23,5	5				
R3	58,5	12,5	0				
/	T=485,6	/					

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.

Sur onze ramifications totales, nous distinguons 3 racines principales d'où s'étendent 8 racines secondaires. La racine R1 révèle la plus importante Cr_{moy}. La racine R2 est la plus longue et la plus ramifiée. La racine R3 ne présente aucune ramification, ses valeurs de L et de Cr_{moy} sont réduites.

Parmi les racines secondaires, la racine R2-3 est la plus longue, R2-4 est la plus fine et la plus courte. Les racines R1-2 et R2-1 sont les plus épaisses.

L'analyse du tableau 17 montre que ce système racinaire est d'une envergure latérale réduite, il explore les couches superficielles du sol et plonge rapidement en émettant des racines vigoureuses permettant un bon ancrage.

7.1.2.6. Sujet 6

De 60 cm de profondeur, le profil racinaire de cet arbre ressemble à celui de l'individu 5 (Figures 65 et 66). Il indique une plagiotropie apparente. Nous ne notons pas la présence de pivot, les racines s'étendent dès le collet obliquement pour gagner la profondeur au-delà des premiers 50 cm du sol. Les anastomoses sont fréquentes, nous en notons quatre entre racines secondaires et primaires, mais aussi entre quelques racines secondaires. Toutes les racines sont superficielles, seule la racine R3 et la racine R4-1 sont profondes.

Le tableau 18 comporte les mesures des différentes caractéristiques racinaires de cet individu.

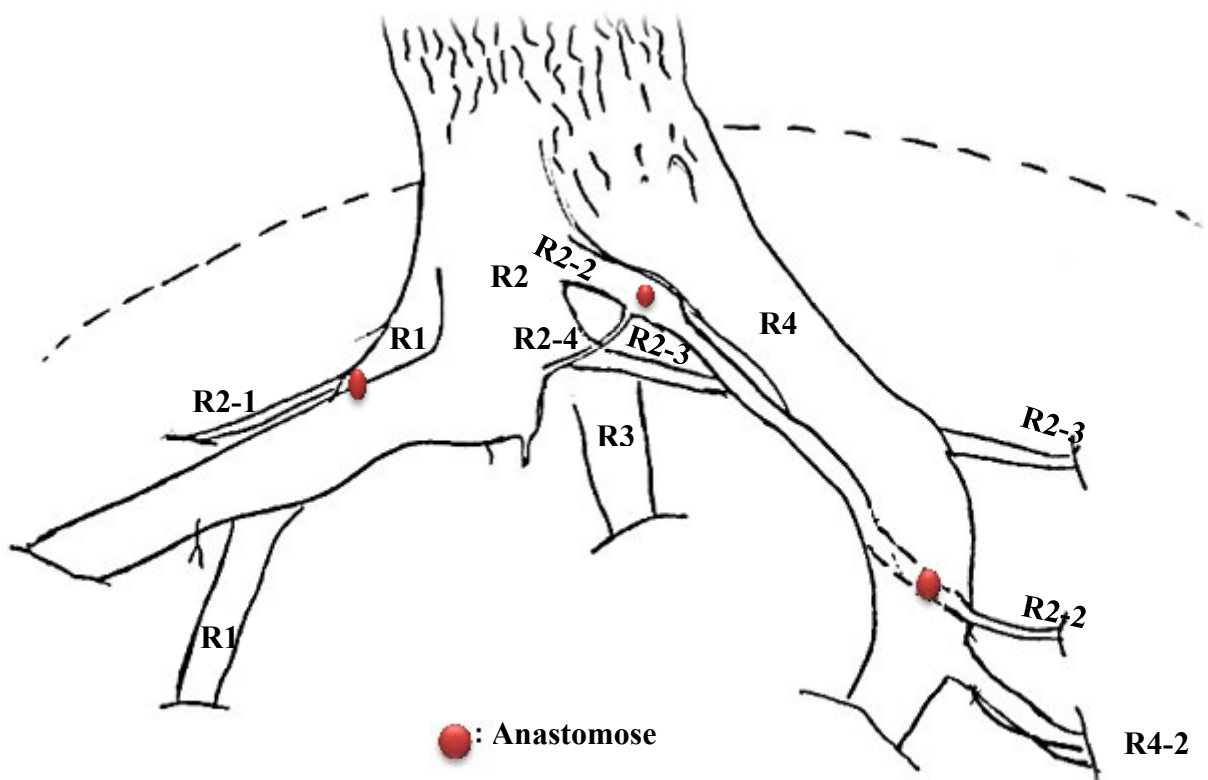


Figure 65. Profil racinaire et croquis du sixième sujet (dayate Aïat, Timzerth).

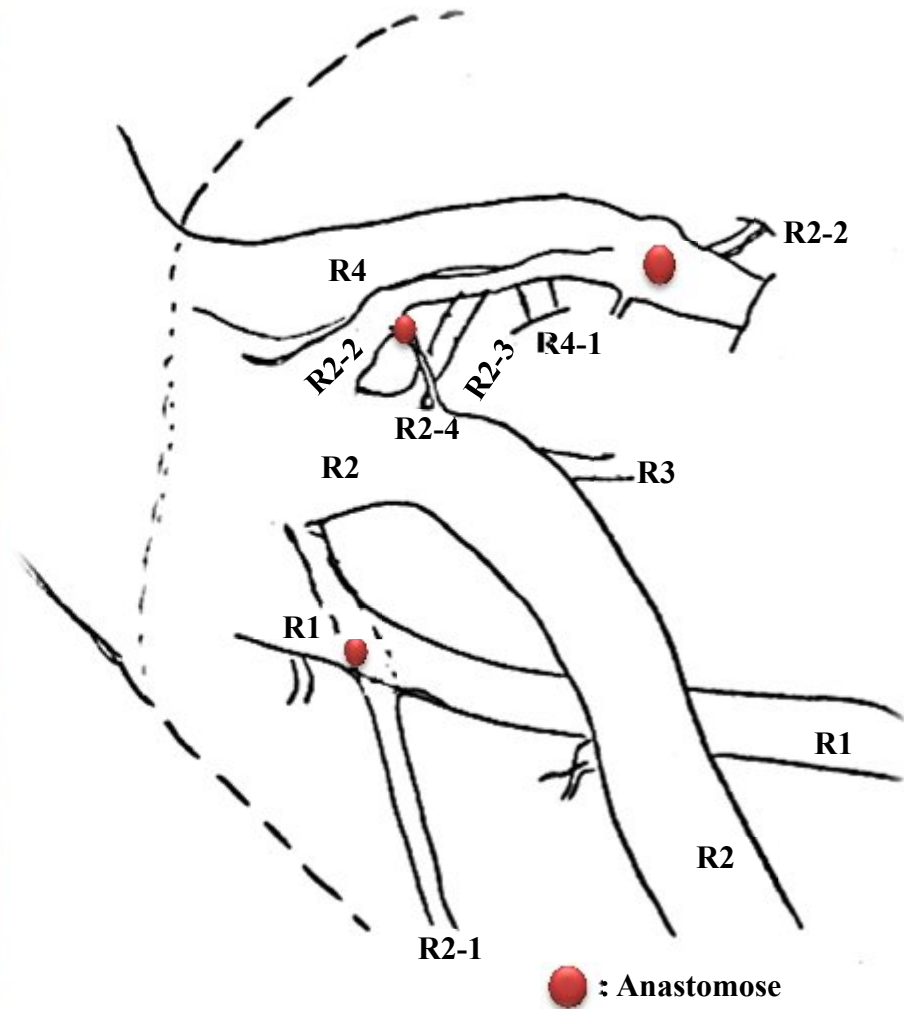


Figure 66. Profil racinaire et croquis du sixième sujet (dayate Aïat, l'imzerth).

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

Tableau 18. Mesures des différentes caractéristiques racinaires du sixième profil, dayate Aïat, Timzerth.

Racines	L (cm)	Cr _{moy} (cm)	NRmR	NRS	NRP	NRmC	NTRm
R1	124	35,1	0	8	2	4	10
R2	555,1	24,77	4				
R3	34	41	0				
R4	192	41,71	2				
/	T=905,1	/	/				

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.

Sur un nombre total de 10 ramifications, les quatre racines principales démarrent du collet. La plus longue est la racine R2 qui par contre présente la plus petite épaisseur. La racine R3 est la plus courte, la R4 est la plus épaisse, et la racine R1 présente des mensurations moyennes.

Nous relevons que les racines secondaires, R2-3, R2-2 et R2-1 ont aussi enregistré des longueurs s'approchant de celles des racines primaires R1 et R4. La longueur la plus réduite a été observée pour la racine R4-1, qui est une racine verticale et profonde.

Pour les racines secondaires, R4-1 et R4-2 sont les plus épaisses, par contre la racine R2-4 est la plus fine de toutes les racines du profil.

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 moyenne.

7.3. Analyses statistiques

7.3.1. Etude de la distribution des paramètres de morphométrie racinaires

Dans un premier temps, nous avons établi pour l'ensemble des paramètres racinaires des tableaux définis par classes d'amplitudes déterminées. Ensuite, nous avons tracé des histogrammes pour chaque paramètre testé. En dernier lieu, nous avons vérifié la normalité de la distribution des différents paramètres racinaires en calculant : le coefficient d'asymétrie (skewness) et le coefficient d'aplatissement (Kurtosis). Nous tenons à rappeler que les normes pour ces coefficients sont les suivantes (Dagnelie, 2013):

- pour le coefficient d'asymétrie :
 s'il est > 0 , la distribution est étalée vers la droite ;
 s'il est < 0 , la distribution est étalée vers la gauche ;
 s'il est $= 0$, on ne peut pas conclure que la distribution est symétrique mais réciproque et vraie ;
- pour le coefficient d'aplatissement :
 s'il est > 3 , la distribution est moins aplatie qu'une distribution gaussienne ;
 s'il est < 3 , la distribution est plus aplatie qu'une distribution gaussienne.

7.3.1.1. Longueurs totales racinaires

7.3.1.1.1. Dayate Saadi, Hassi Delâa

D'amplitude égale à 50 cm, les classes de longueurs racinaires définies figurent sur le tableau 19 avec la distribution de leur effectif.

Tableau 19. Répartition des racines par classe de longueur, dayate Saadi-Hassi Delâa.

Classes (cm)	Effectif	%	Effectif cumulé	% cumulé
[0-50[	29	52,75	29	52,75
[50-100[	16	29,09	45	81,84
[100-150[	4	7,27	49	89,11
[150-200[	4	7,27	53	96,38
[200-250[	1	1,81	54	98,19
[250-300[	1	1,81	55	100

La figure 67 visualise en histogramme la forme de la distribution des longueurs racinaires à dayate Saadi, à partir du tableau 19.

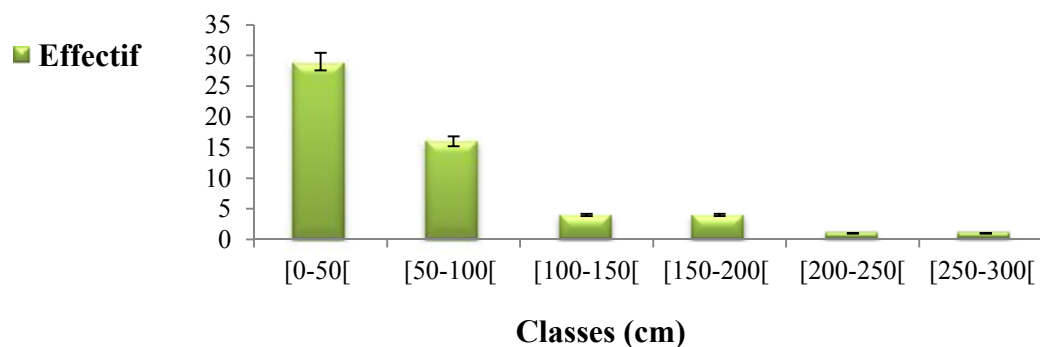


Figure 67. Histogramme de distribution des longueurs racinaires (dayate Saadi, Hassi Delâa).

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

L'histogramme montre nettement l'asymétrie de la distribution qui s'étale vers la droite. Nous remarquons que près de 52,75% des racines mesurées à dayate Saadi appartiennent à la classe modale de longueur [0-50[, et le taux le plus faible (1.8%) a été noté dans les deux dernières classes [200-250[et [250-300[.

Afin de tester la normalité de la distribution des longueurs racinaires, nous avons calculé le coefficient d'asymétrie, et le coefficient d'aplatissement (Kurtosis). Le tableau 20 illustre les résultats obtenus.

Tableau 20. Paramètres de normalité des longueurs racinaires, dayate Saadi, Hassi Delâa.

Coefficient d'asymétrie	Coefficient d'aplatissement (Kurtosis)
1.44	1.19

De ce tableau, nous constatons que l'asymétrie de cette distribution est positive ($1.44 > 0$), et est décalée à gauche de la moyenne, ceci indique que les valeurs les plus hautes sont étalées vers la droite du côté des faibles classes constituées. Le coefficient d'aplatissement (Kurtosis) est aussi positif ($1.19 > 0$), il renseigne sur une distribution normale des longueurs racinaires.

7.3.1.1.2. Dayate Aïat, Timzerth

Nous avons défini 12 classes de longueurs racinaires de 50 cm d'amplitude, le tableau 21 illustre les distributions des effectifs correspondants.

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

Tableau 21. Répartition des racines par classe de longueur, dayate Aïat, Timzerth.

Classes (cm)	Effectif	%	Effectif cumulé	% cumulé
[0-50[	19	42,22	19	42,22
[50-100[	13	28,88	32	71,1
[100-150[	4	8,9	36	80
[150-200[	4	8,9	40	88,9
[200-250[	1	2,22	41	91,12
[250-300[	1	2,22	42	93,34
[300-350[	1	2,22	43	95,56
[350-400[	1	2,22	44	97,78
[400-450[	0	0	44	97,78
[450-500[	0	0	44	97,78
[500-550[	0	0	44	97,78
[550-600[	1	2,22	45	100

A partir du tableau 21, nous avons tracé l'histogramme des longueurs racinaires des arbres de dayate Aïat, la figure 68 en constitue le résultat.

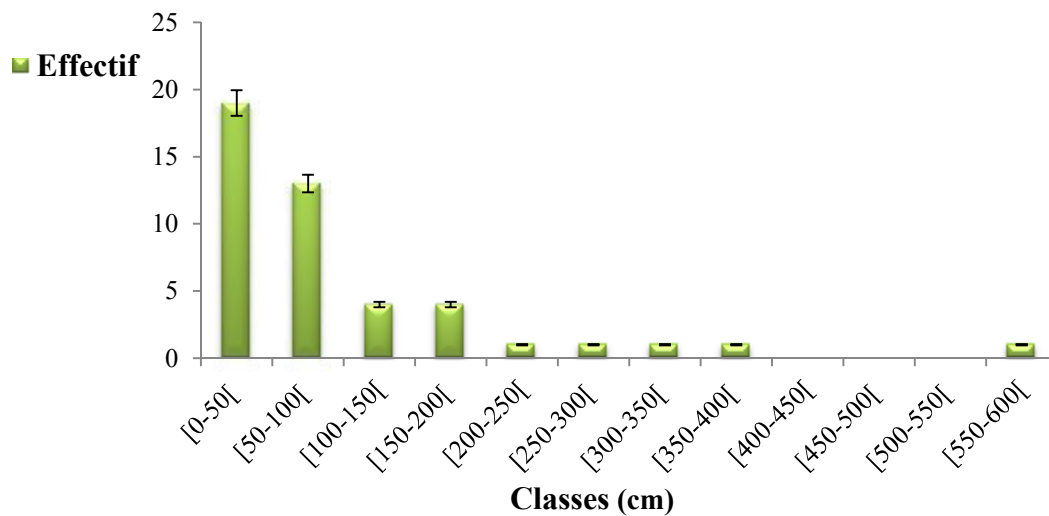


Figure 68. Histogramme de distribution des longueurs racinaires (dayate Aïat, Timzerth).

Nous remarquons que de 42,22% des racines mesurées à dayate Aïat sont contenues dans la classe modale de longueur [0-50[. Les classes [400-450[, [450-500[et [500-550[n'ont

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

pas enregistré d'effectif⁴. Quant au plus faible taux (2.22%), il a été enregistré dans les classes [200-250[, [250-300[, [300-350[, [350-400[, et [550-600[.

Afin de s'assurer de la normalité de la distribution des longueurs racinaires, le coefficient d'asymétrie et le coefficient d'aplatissement (Kurtosis) ont été mesurés. Le tableau 22 regroupe les résultats obtenus.

Tableau 22. Paramètres de normalité des longueurs racinaires, dayate Aïat, Timzerth.

Coefficient d'asymétrie	Coefficient d'aplatissement (Kurtosis)
2.04	3.45

Le coefficient d'asymétrie de cette distribution est positif ($2.04 > 0$), elle est donc décalée à gauche de la moyenne, et les valeurs les plus hautes sont étalées vers la droite du côté des faibles classes constituées.

Le coefficient d'aplatissement (Kurtosis) est aussi positif ($3.45 > 0$), il montre que la distribution des longueurs racinaires est normale, les valeurs sont pointues autour de sa tendance centrale.

7.3.1.2. Circonférences racinaires

7.3.1.2.1. Dayate Saadi, Hassi Delâa

Nous avons défini neuf classes de circonférences racinaires de 10 cm d'amplitude et obtenu ainsi les distributions d'effectifs reportés dans le tableau suivant.

⁴ Ceci peut justifier le choix de l'amplitude des classes dans cette daya et dans la daya de Hassi Delâa vu que nous comparons ainsi la distribution de leurs longueurs racinaires

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

Tableau 23. Répartition des racines par classe de circonférences moyennes, dayate Saadi, Hassi Delâa.

Classes (cm)	Effectif	%	Effectif cumulé	% cumulé
[0-10[	30	54,54	30	54,54
[10-20[	10	18,18	40	72,73
[20-30[	3	5,45	43	78,18
[30-40[	6	10,9	49	89,08
[40-50[	0	0	49	89,08
[50-60[	2	3,64	51	92,72
[60-70[	0	0	51	92,72
[70-80[	2	3,64	53	96,36
[80-90[	2	3,64	55	100

Depuis le tableau 23, nous avons tracé l'histogramme des circonférences racinaires des individus de dayate Saadi porté par la figure 69.

De la figure 69, il en ressort que plus de 50% des racines mesurées sont comprises dans la classe modale [0-10[, le taux le plus faible (3.64%) a été enregistré dans les classes [50-60[, [70-80[et [80-90[, par contre dans les classes [40-50[et [60-70[, le taux était nul.

Dans le but de vérifier la normalité de la distribution des circonférences racinaires, nous avons calculé le coefficient d'asymétrie et le coefficient d'aplatissement (Kurtosis). Le tableau 24 rassemble les résultats que nous avons obtenu.

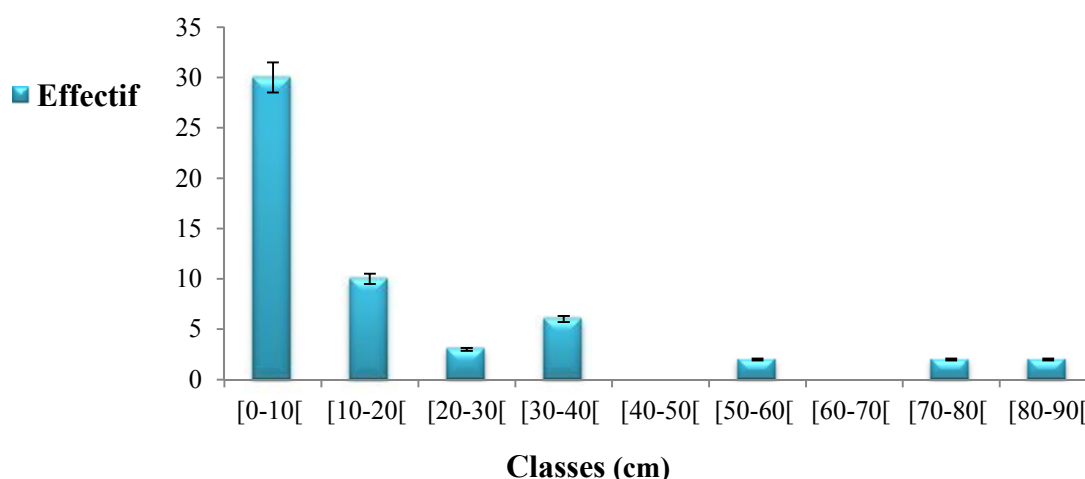


Figure 69. Histogramme de distribution des circonférences moyennes racinaires (dayate Saadi, Hassi Delâa).

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

Tableau 24. Paramètres de dispersion des circonférences moyennes racinaires, dayate Saadi, Hassi Delâa.

Coefficient d'asymétrie	Coefficient d'aplatissement (Kurtosis)
2.44	6.30

De ces résultats, nous constatons que le coefficient d'asymétrie est positif ($2.44 > 0$), ceci indique que les valeurs les plus hautes sont concentrées vers la droite du côté des faibles classes constituées. Le coefficient d'aplatissement (Kurtosis) est très élevé ($6.30 > 0$), il montre que la distribution des circonférences racinaires est pointue c'est à dire les valeurs de circonférences racinaires mesurées sont concentrées aux alentours de la moyenne, et que ses extrémités sont épaisses et chargées.

7.3.1.2.2. Dayate Aïat, Timzerth

Nous avons défini neuf classes de circonférences racinaires de 10 cm d'amplitude et obtenu ainsi les distributions d'effectifs inscrits dans le tableau 25.

Tableau 25. Répartition des racines par classe de circonférences moyennes, dayate Aïat, Timzerth.

Classes (cm)	Effectif	%	Effectif cumulé	% cumulé
[0-10[	23	51,11	23	51,11
[10-20[	10	22,23	33	73,34
[20-30[	4	8,88	37	82,22
[30-40[	3	6,66	40	88,88
[40-50[	3	6,66	43	95,54
[50-60[	0	0	43	95,54
[60-70[	1	2,23	44	97,77
[70-80[	0	0	44	97,77
[80-90[	1	2,23	45	100

Depuis le tableau 25, nous avons dressé l'histogramme des circonférences racinaires des sujets de dayate Aïat que représente la figure 70.

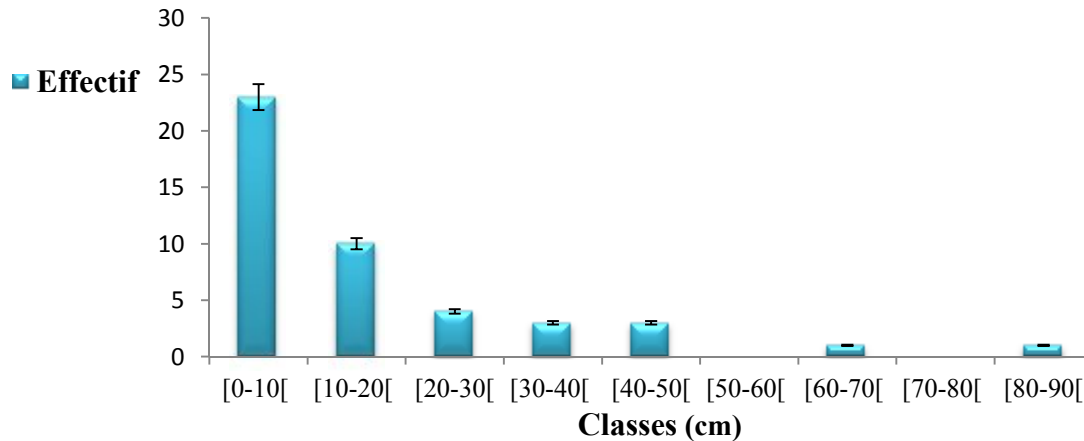


Figure 70. Histogramme de distribution des circonférences moyennes racinaires (dayate Aïat, Timzerth).

Plus de 50% des circonférences mesurées sont incluses dans la classe modale [0-10[, le taux le plus faible (2.23%) a été enregistré dans les classes [60-70[et [80-90[, par contre dans les classes [50-60[et [70-80[, aucune mesure ne figure dedans.

Dans le but d'évaluer la normalité de la distribution des circonférences racinaires de dayate Aïat, nous avons calculé les paramètres figurant dans le tableau 26.

Tableau 26. Paramètres de dispersion des circonférences moyennes racinaires, dayate Aïat, Timzerth.

Coefficient d'asymétrie	Coefficient d'aplatissement (Kurtosis)
2.19	4.93

D'après le test de normalité, nous remarquons que le coefficient d'asymétrie est positif ($2.19 > 0$), ceci indique que les valeurs les plus hautes sont concentrées autour de la moyenne, et que la distribution est plutôt étalée vers la droite du côté des faibles classes constituées. Le coefficient d'aplatissement (Kurtosis) est très élevé ($4.93 > 0$), il montre que la distribution des circonférences racinaires est pointue, uniforme et continue.

7.3.1.3. Ramifications totales racinaires

7.3.1.3.1. Dayate Saadi, Hassi Delâa

De même que pour les autres paramètres racinaires, nous avons défini trois classes de ramifications totales racinaires d'une amplitude égale à 5. Le tableau 27 montre la distribution des effectifs pour dayate Saadi.

Tableau 27. Répartition des racines par classe de nombre de ramifications totales racinaires, dayate Saadi, Hassi Delâa.

Classes (cm)	Effectif	%	Effectif cumulé	% cumulé
[0-5[	10	55,57	10	55,57
[5-10[	7	38,88	17	94,45
[10-15[	1	5,55	18	100

A partir des données du tableau 27, nous avons élaboré l'histogramme des ramifications totales racinaires de dayate Saadi que montre la figure 71.

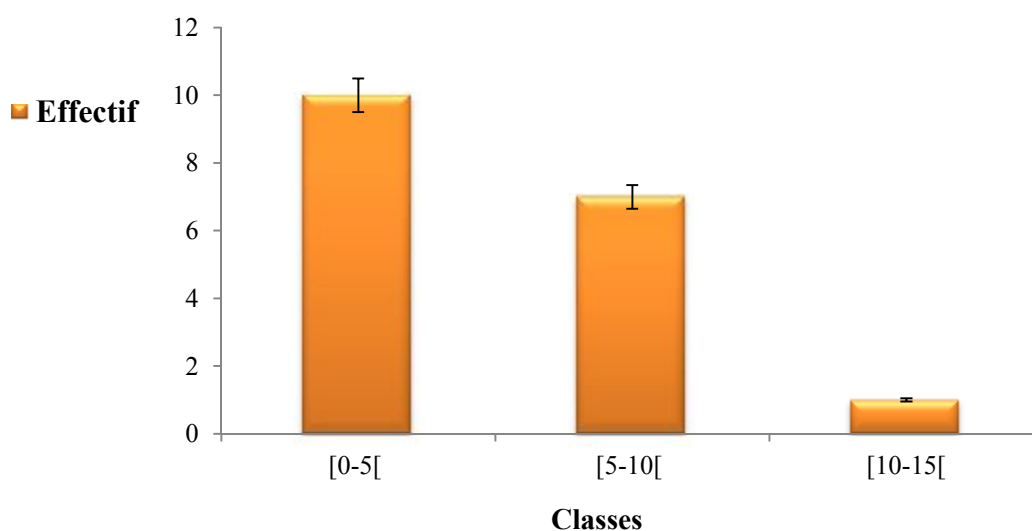


Figure 71. Histogramme de distribution du nombre de ramifications racinaires (dayate Saadi, Hassi Delâa).

De l'histogramme ci-dessus, nous percevons que la classe modale des ramifications totales racinaires est [0-5[cm, puisqu'elle renferme plus de 50% de l'effectif dénombré.

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

Pour s'assurer de la normalité de la distribution des ramifications totales racinaires, nous avons opté pour le calcul du coefficient d'asymétrie et du coefficient d'aplatissement (Kurtosis). Le tableau 28 comporte les résultats obtenus.

Tableau 28. Paramètres de dispersion des ramifications totales racinaires, dayate Saadi, Hassi Delâa.

Coefficient d'asymétrie	Coefficient d'aplatissement (Kurtosis)
1,94	2,95

D'après le test de normalité, nous remarquons que les ramifications totales racinaires à dayate Saadi présentent un coefficient d'asymétrie positif ($1,94 > 0$), ceci indique que la distribution est décalée à droite et ses extrémités sont plutôt étalées vers la gauche, où se situent les valeurs les plus restreintes et faibles. Le coefficient d'aplatissement (Kurtosis) montre que la distribution est moins aplatie qu'une distribution normale.

7.3.1.3.2. Dayate Aïat, Timzerth

Nous avons défini quatre classes de ramifications totales racinaires d'une amplitude égale à 5 avec leurs distributions d'effectifs portées dans le tableau 29.

Tableau 29. Répartition des racines par classe de nombre de ramifications totales racinaires, dayate Aïat, Timzerth.

Classes (cm)	Effectif	%	Effectif cumulé	% cumulé
[0-5[	15	53,57	15	53,57
[5-10[	10	35,72	25	89,29
[10-15[	2	7,14	27	96,43
[15-20[	1	3,57	28	100

Les données du tableau 29 nous ont permis de réaliser l'histogramme des ramifications totales racinaires suivant.

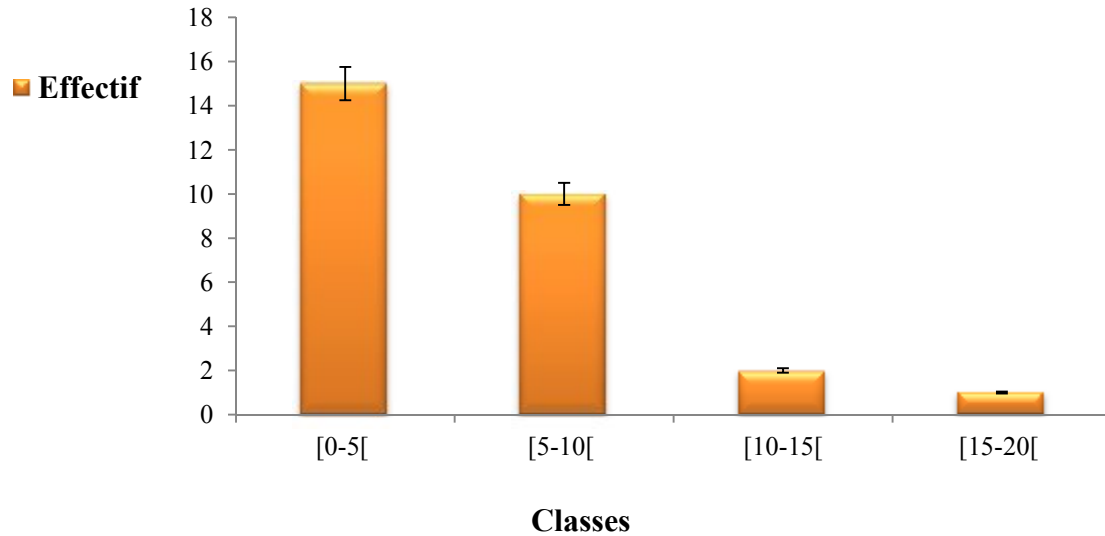


Figure 72. Histogramme de distribution du nombre de ramifications racinaire (dayate Aïat, Timzerth).

Dans le but d'apprécier la normalité de la distribution des ramifications totales racinaires de dayate Aïat, nous avons calculé les paramètres statistiques suivants : le coefficient d'asymétrie, et le coefficient d'aplatissement (Kurtosis). Le tableau 30 reporte les résultats obtenus.

Tableau 30. Paramètres de dispersion des ramifications totales racinaires, dayate Aïat, Timzerth.

Coefficient d'asymétrie	Coefficient d'aplatissement (Kurtosis)
0.44	-3.31

D'après le test de normalité, nous constatons que le coefficient d'asymétrie est positif ($0,44 > 0$), ce qui indique une distribution étalée à droite, c'est-à-dire les plus hautes valeurs se centralisent relativement du côté des faibles classes constituées. Le coefficient d'aplatissement (Kurtosis) est négatif ($-3.31 < 0$) montre que les ramifications totales racinaires présentent la distribution la plus plate de toutes les distributions précédemment étudiées.

7.3.1.4. Conclusion

Pour les deux dayas étudiées les paramètres de morphométrie racinaire vérifiés suivent plus ou moins une distribution normale. Les coefficients d'asymétrie obtenus pour les paramètres racinaires étudiés indiquent presque tous une distribution plutôt étalée à droite vers les classes les plus faibles. L'aplatissement montre des distributions moins aplaties que la loi normale pour les longueurs racinaires à dayate Saadi et pour le nombre de ramifications totales dans les deux dayas. Concernant les longueurs racinaires à dayate Aïat et les circonférences racinaires moyennes, leurs distributions sont plus pointues autour de la tendance centrale que la loi normale.

Nous pouvons déduire de ce qui précède que nous pouvons effectuer une analyse de variance et une analyse en composantes principales normées, puisque la distribution de nos paramètres est normale.

7.3.2. Analyse de la variance (ANOVA)

L'analyse de la variance est une méthode d'analyse bivariable qui consiste à croiser deux variables de nature différente, une quantitative métrique et l'autre qualitative ordinale afin de détecter la relation d'indépendance entre ces deux variables. Afin de distinguer une variabilité entre les paramètres racinaires pour chaque daya étudiée et entre les deux dayas, nous avons effectué une analyse de variance (ANOVA) au seuil de signification $\alpha=0.05$ ce qui convient à un risque de 5% pour refuter l'hypothèse nulle H_0 ou accepter l'hypothèse alternative H_1 . Pour toutes les ANOVA réalisées, H_0 convient à l'absence de différence significative entre les paramètres testés, et H_1 conteste cela, car elle correspond à l'existence de différence significative entre les variables (Dagnelie, 2013).

Les résultats de l'ANOVA à dayate Saadi (Tableau 31) montrent une différence inter-individus significative pour les variables : longueur racinaire totale, circonférence maximale et moyenne, nombre de racines superficielles et nombre total de ramifications. Pour la circonférence minimale, le nombre de ramifications profondes et le nombre de ramifications dès le collet la différence est non significative

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

Tableau 31. Résultats de l'ANOVA appliquée aux paramètres racinaires de dayate Saadi, Hassi Delâa.

Variables	Probabilités	Conclusion
L_T	P<0,0002	Significative (s.)
Cr_{max/P}	P<0,008	s.
Cr_{min/P}	P<0,54	Non significative (n.s.)
Cr_{moy/P}	P<0,04	s.
NRS	P<0,01	s.
NRP	P<0,92	n.s.
NRmC	P<0,69	n.s.
NTRm	P<0,008	s.

L_T : 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.

A dayate Aïat, les résultats de l'ANOVA illustrés par le tableau 32 présentent une différence significative inter-individus pour les variables circonférence moyenne et nombre total de ramifications. La longueur totale, la circonférence maximale et moyenne, le nombre de ramifications superficielles et profondes et le nombre de ramifications dès le collet indiquent une différence non significative.

Tableau 32. Résultats de l'ANOVA appliquée aux paramètres racinaires de dayate Aïat, Timzerth.

Variables	Probabilités	Conclusion
L_T	P<3,47	Non significative (n.s.)
Cr_{max/P}	P<5,81	n.s.
Cr_{min/P}	P<0,64	n.s.
Cr_{moy/P}	P<0,002	Significative (s.)
NRS	P<0,06	n.s.
NRP	P<0,36	n.s.
NRmC	P<0,07	n.s.
NTRm	P<0,03	s.

L_T : 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.

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

Les résultats de l'ANOVA entre les individus des deux dayas (Tableau 33) ne montrent à aucun moment une différence significative entre les paramètres racinaires pour les deux populations.

Tableau 33. Résultats de l'ANOVA appliquée aux paramètres racinaires entre les deux dayas d'étude.

Variables	Probabilités	Conclusion
L_T	$F=0,93$; $P<0,36$	Non significative (n.s.)
$Cr_{max/P}$	$F=0,43$; $P<0,53$	n.s.
$Cr_{min/P}$	$F=0,57$; $P<0,47$	n.s.
$Cr_{moy/P}$	$F=0,04$; $P<0,85$	n.s.
NRS	$F=0,31$; $P<0,59$	n.s.
NRP	$F=0,87$; $P<0,37$	n.s.
NRmC	$F=1,80$; $P<0,21$	n.s.
NTRm	$F=0,67$; $P<0,43$	n.s.

L_T : 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.

7.3.3. Analyse en composantes principale

L'analyse en composantes principales permet l'étude des relations d'interdépendance existant entre plusieurs variables quantitatives ou qualitatives ordinales. Le résultat est une matrice de corrélation de Pearson comportant les coefficients de corrélation des variables croisées au seuil de signification $\alpha=0,05$. Le coefficient de corrélation donne le degré d'information que représente chaque composante (Dagnelie, 2011).

La mise en évidence de l'interaction entre les différents paramètres racinaires étudiés par des ACP, au sein de la même daya et entre les deux dayas, porte sur : la longueur totale, les circonférences (maximales, minimales et moyennes), le nombre de racines superficielles et profondes, le nombre de ramifications dès le collet et le nombre total de ramifications. A cette analyse nous rajoutons des ACP servant à caractériser l'enracinement du pistachier de l'Atlas dans chaque daya, et une ACP finale comparative permettant de comparer l'architecture racinaire pour chaque population.

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

7.3.3.1. Relation entre l'ensemble de variables racinaires étudiées à dayate Saadi, Hassi Delaâ : ACP 01

Le tableau des données illustré par le tableau 34 nous a permis réalisé l'ACP 01.

Tableau 34. Données de l'ACP 01.

Caractéristiques	L _T (cm)	Cr _{max/P}	Cr _{min/P}	Cr _{moy/P}	NRS	NRP	NRmC	NTRm
Sujet 1	490,8	10,5	1	3,55	16	3	1	19
Sujet 2	258,1	9,55	2,4	5,11	7	3	1	10
Sujet 3	1006,9	70	2,8	18,88	20	11	1	31
Sujet 4	715,5	39,3	0,5	15,21	27	0	13	27
Sujet 5	598,5	82,7	2,3	38,27	7	2	4	9
Sujet 6	430	86	30	54	6	1	6	7

L_T : 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.

A partir du tableau ci-dessus, nous avons obtenu la matrice de corrélation de Pearson illustrée par le tableau 35.

Tableau 35. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres racinaires étudiés à dayate Saadi, Hassi Delaâ.

	L _T (cm)	Crmax/P	Crmin/P	Cr moy/P	NRS	NRP	NRmC	NTRm
L _T (cm)	1							
Crmax/P	0,42	1						
Crmin/P	-0,28	0,54	1					
Cr moy/P	0,01	0,90	0,79	1				
NRS	0,67	-0,22	-0,48	-0,46	1			
NRP	0,65	0,13	-0,24	-0,22	0,19	1		
NRmC	0,14	0,19	0,12	0,25	0,48	-0,60	1	
NTRm	0,82	-0,14	-0,51	-0,48	0,92	0,55	0,18	1

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

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

La matrice de Pearson de l'ACP 01 montre des corrélations significatives positives entre :

- la longueur totale racinaire et le nombre total de ramification ($R=0,82$) ;
- la circonférence maximale et la circonférence moyenne ($R=0.90$);
- le nombre de racines superficielles et le nombre total de ramifications ($R=0.92$).

Dans le but de visualiser les corrélations précitées nous avons élaboré une carte de contributions des différents variables (Figure 73) étudiés par l'ACP 01.

74% du phénomène est exprimé par le plan factoriel $\frac{1}{2}$. L'axe F1 contribue par 45% à la formation du plan, tandis que l'axe F2 contribue par 29%.

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

Le groupe A renferme les caractéristiques racinaire des sujets les plus jeunes (sujet 1 et sujet 2) et celles des sujets adultes (sujet 3 et sujet 4). Ces sujets investissent dans la longueur racinaire totale, les ramifications totales et les racines superficielles et profondes ; les sujets 3 et 4 montrent les longueurs racinaires totales et le nombre total de ramifications les plus importants à dayate Saadi. Les sujets 1 et 2 sont un peu écartés par rapport aux sujets 3 et 4 et se rapprochent de ceux du groupe B du fait qu'ils soient jeunes et immature, leurs systèmes racinaires ne sont ni longs, ni épais, ni ramifiés.

Le groupe B rassemble les sujets âgés 5 et 6 qui investissent plus en épaisseur qu'en longueur racinaire. Les nombres de ramifications totales superficielles et profondes sont modestes par rapport à ceux des sujets du groupe A.

L'axe 2 contribue à la formation du plan par 29%. Il semble séparer le groupe renfermant les sujets jeunes et un autre incluant essentiellement les sujets adultes et âgés. Les sujets du premier groupe possèdent un caractère racinaire intermédiaire par rapport aux sujets du groupe 2. Ce dernier présente des longueurs et des circonférences non négligeables, et un nombre de ramifications totales, superficielles et profonde important.

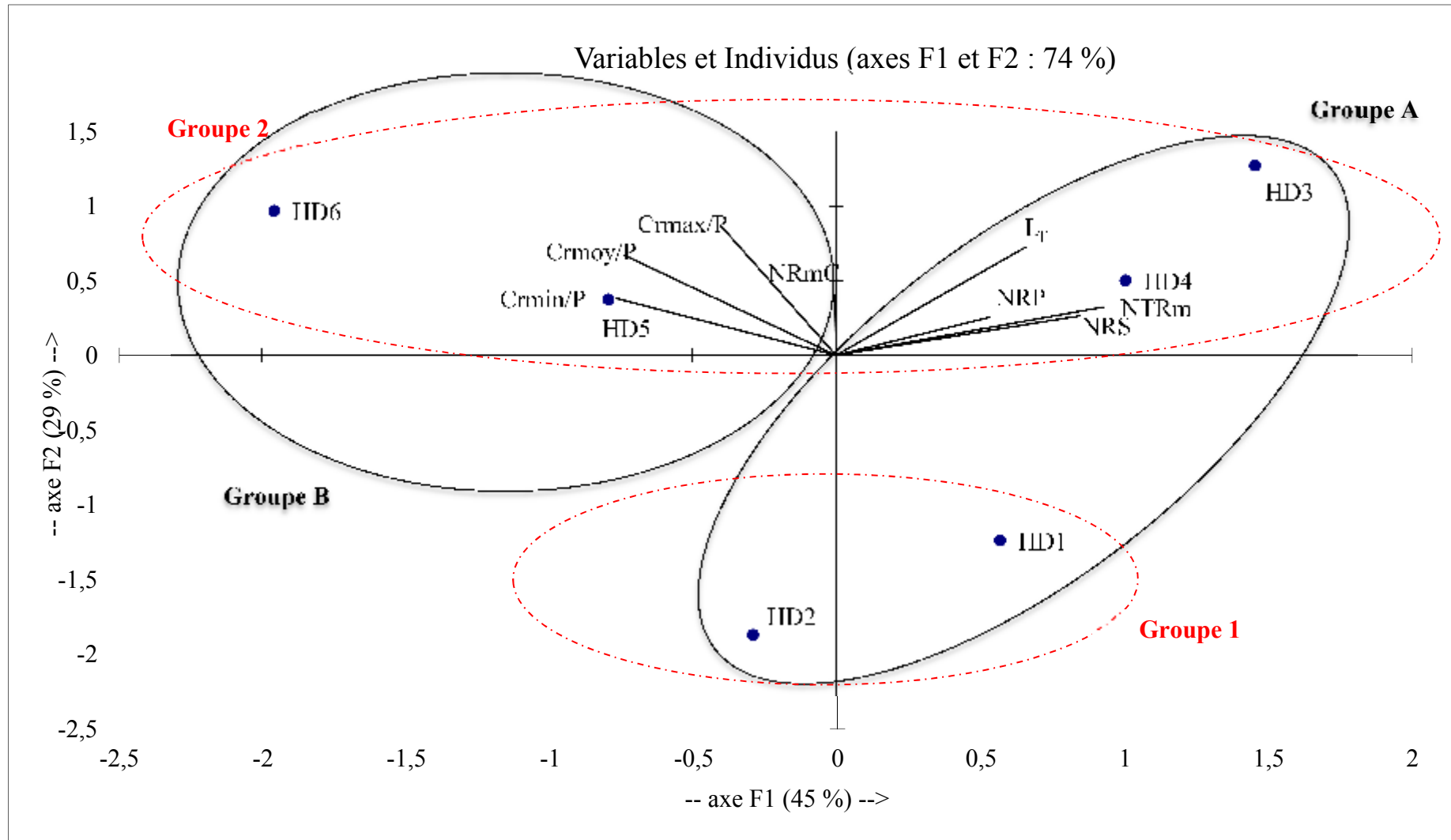


Figure 73. ACP concernant les différentes variables racinaires étudiées à dayate Saadi, Hassi Delaâ.

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

D'après l'ACP 01, nous pouvons conclure que les caractéristiques racinaires des pistachiers de l'Atlas de dayate Saadi, région de Hassi Delâa diffèrent avec l'âge. Les plus jeunes possèdent des caractéristiques qui évoluent dans les sens des sujets 3 et 4. Le système racinaire de ces sujets moyens explore le milieu en étendant longueur racinaire et nombre de ramifications. Il y a changement de stratégie avec l'âge, on assiste à la croissance de l'épaisseur racinaire, et à une prolifération des racines superficielles comparé aux racines profondes. Ceci est le cas pour les sujets 5 et 6.

7.3.2.2. Relation entre l'ensemble de variables racinaires étudiées à dayate Aïat, Timzerth : ACP 02

Le tableau des données figurant sur le tableau 36 a permis l'élaboration de l'ACP 02.

Tableau 36. Données de l'ACP 02.

Caractéristiques	L_T (cm)	$Cr_{max/P}$	$Cr_{min/P}$	$Cr_{moy/P}$	NRmC	NRS	NRP	NTRm
Sujet 1	1125	29,7	0,4	8,58	1	46	21	67
Sujet 2	677,6	45,5	0,3	9,36	1	29	1	30
Sujet 3	480,8	62,3	3,1	20,8	1	18	0	18
Sujet 4	677,6	83,65	2,5	27,19	1	0	15	15
Sujet 5	485,6	59,7	7,8	22,61	2	8	3	11
Sujet 6	905,1	82,61	3,05	35,64	4	8	2	10

L_T : 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.

Le compte-rendu de cette ACP est illustré par la matrice de corrélation de Pearson ci-après.

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

Tableau 37. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres racinaires étudiés à dayate Aïat, Timzerth.

	L_T (cm)	Crmax/P	Crmin/P	Crmoyp/P	NRmC	NRS	NRP	NTRm
L_T (cm)	1							
Crmax/P	-0,34	1						
Crmin/P	-0,60	0,37	1					
Crmoyp/P	-0,18	0,93	0,48	1				
NRmC	0,20	0,51	0,33	0,74	1			
NRS	0,57	-0,93	-0,62	-0,85	-0,40	1		
NRP	0,66	-0,30	-0,37	-0,29	-0,36	0,37	1	
NTRm	0,71	-0,85	-0,63	-0,78	-0,45	0,93	0,69	1

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

Du tableau 37, les corrélations significatives sont :

- une corrélation significative positive entre la circonférence maximale et la circonférence moyenne (R=0,93), elle est négative entre la circonférence maximale et le nombre de racines superficielles (R=-0,93), et entre la circonférence maximale et le nombre total des ramifications (R=-0,85) ;
- une corrélation significative négative entre la circonférence moyenne et le nombre de racines superficielles (R=-0,85) ;
- une corrélation positive entre le nombre de racines superficielles et le nombre total des ramifications (R=0,93).

Ces corrélations sont mieux visualisées sur la carte de contribution des variables (Figure 74) étudiées par l'ACP 02.

Le plan factoriel $\frac{1}{2}$ explique 81% de l'inertie totale, l'axe F1 apporte 62% de l'information, et l'axe F2 en contribue par 20%.

L'axe F1 sépare les sujets de dayate Timzerth selon leurs caractéristiques racinaires en 2 groupes distincts.

Le groupe A englobe les plus jeunes sujets de la population d'étude : les sujets 1 et 2, ils semblent investir en longueur racinaire totale et en nombre de ramifications racinaires,

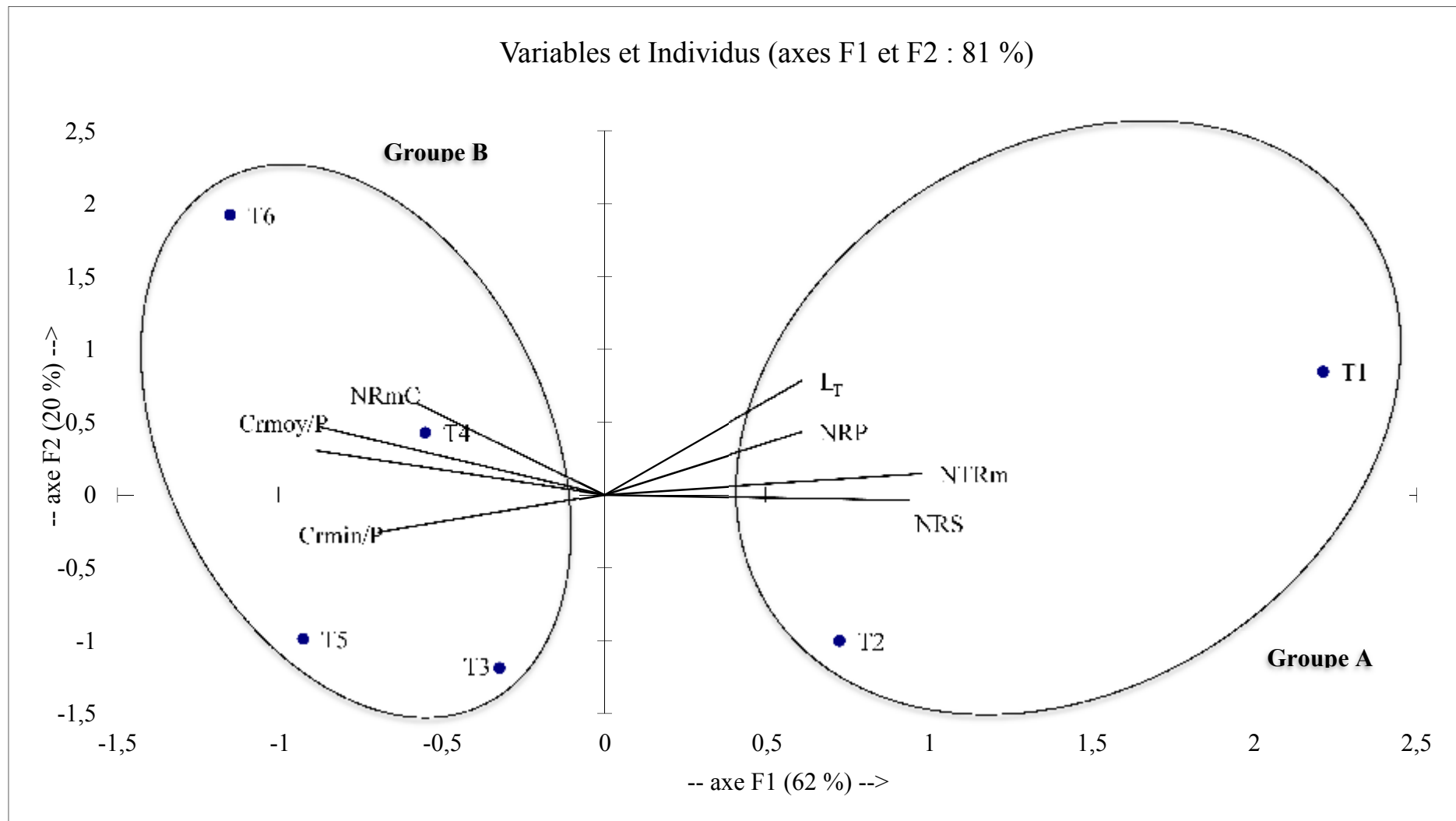


Figure 74. ACP concernant les différentes variables racinaires étudiées à dayate Aïat, Timzerth.

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

les caractéristiques racinaires de ces sujets s'opposent à celles des sujets du groupe B.

Le groupe B renferme les sujets âgés (sujets 5 et 6) et adultes (sujets 3 et 4) caractérisés par l'épaississement des racines et la diminution de la longueur et du nombre de ramifications racinaires.

D'après cette ACP 02, les sujets de dayate Timzerth montrent deux comportements racinaires : celui des sujets jeunes développant les racines en longueur avec l'émission d'un nombre important de racines superficielles plus que profondes ; l'autre évolue au fur et à mesure que le jeune pistachier de l'Atlas grandisse, dans ce cas c'est l'épaisseur racinaire qui réoriente la croissance du système racinaire.

7.3.2.3. Analyse des paramètres racinaires entre les deux dayas d'étude : ACP 03

En utilisant les tableaux des données étayées sur les tableaux 34 et 36, nous avons opéré une analyse en composantes principales comparative entre les sujets de dayate Saadi et de dayate Aïat. Les corrélations de Pearson résultant de cette ACP comparative figurent dans le tableau 38.

Tableau 38. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres racinaires dans les deux dayas étudiées.

	L_T (cm)	Crmax/P	Crmin/P	Crmoyp/P	NRmC	NRS	NRP	NTRm
L_T (cm)	1							
Crmax/P	0,19	1						
Crmin/P	-0,34	0,42	1					
Crmoyp/P	-0,07	0,87	0,73	1				
NRmC	0,00	0,12	0,21	0,30	1			
NRS	0,59	-0,46	-0,37	-0,54	0,05	1		
NRP	0,64	-0,03	-0,23	-0,21	-0,39	0,36	1	
NTRm	0,72	-0,37	-0,38	-0,51	-0,12	0,93	0,69	1

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

Les résultats de l'ACP 03 donnent les corrélations suivantes :

- la longueur racinaire totale et le nombre de racines superficielles ($R=0,59$) ;
- la longueur racinaire totale et le nombre de racines profondes ($R=0,64$) ;
- la longueur racinaire totale et le nombre total de ramifications ($R=0,72$) ;

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

- la circonférence maximale et la circonférence moyenne des racines ($R=0,87$) ;
- la circonférence minimale et la circonférence moyenne des racines ($R=0,73$) ;
- le nombre de racines superficielles et le nombre total de ramifications ($R=0,93$) ;
- le nombre de racines profondes et le nombre total de ramifications ($R=0,93$).

Visualiser ces corrélations par une carte (Figure 75) montrant la contribution des variables nous a permis les déductions ci-après.

Le plan factoriel $\frac{1}{2}$ apporte 71% du phénomène, 47% sont accordées par l'axe F1, et 23% par l'axe F2. L'axe F1 a permis une individualisation nette de deux groupes : le groupe A et le groupe B.

Le groupe A renferme les sujets jeunes (1 et 2) et adultes (3 et 4) de la population de dayate Saadi, ainsi que et les sujets jeunes (1 et 2) de la population de dayate Aïat. A ce groupe d'individus, nous attribuons l'investissement en longueur racinaire et en nombre de ramifications totales, superficielles et profondes.

Le groupe B rassemble les sujets adultes (sujets 3 et 4) et âgés (5 et 6) de la population de dayate Aïat, Timzerth et les sujets âgés de la population de dayate Saadi, Hassi Delâa. Ils semblent avoir des systèmes racinaires investissant en épaisseur car fortement corrélés aux différentes circonférences mesurées, et un nombre de ramifications dès le collet remarquable

En conclusion de l'ACP 03, nous pouvons dire :

- quelque soit la localisation de notre essence d'étude, il y existe des traits développement racinaire communs et des particularités propres à chaque population étudiée ;
- les sujets les plus jeunes dans les deux dayas investissent dans la longueur racinaire et présentent des ramifications considérables, indiquant qu'ils sont dans les premiers stades de développement ;

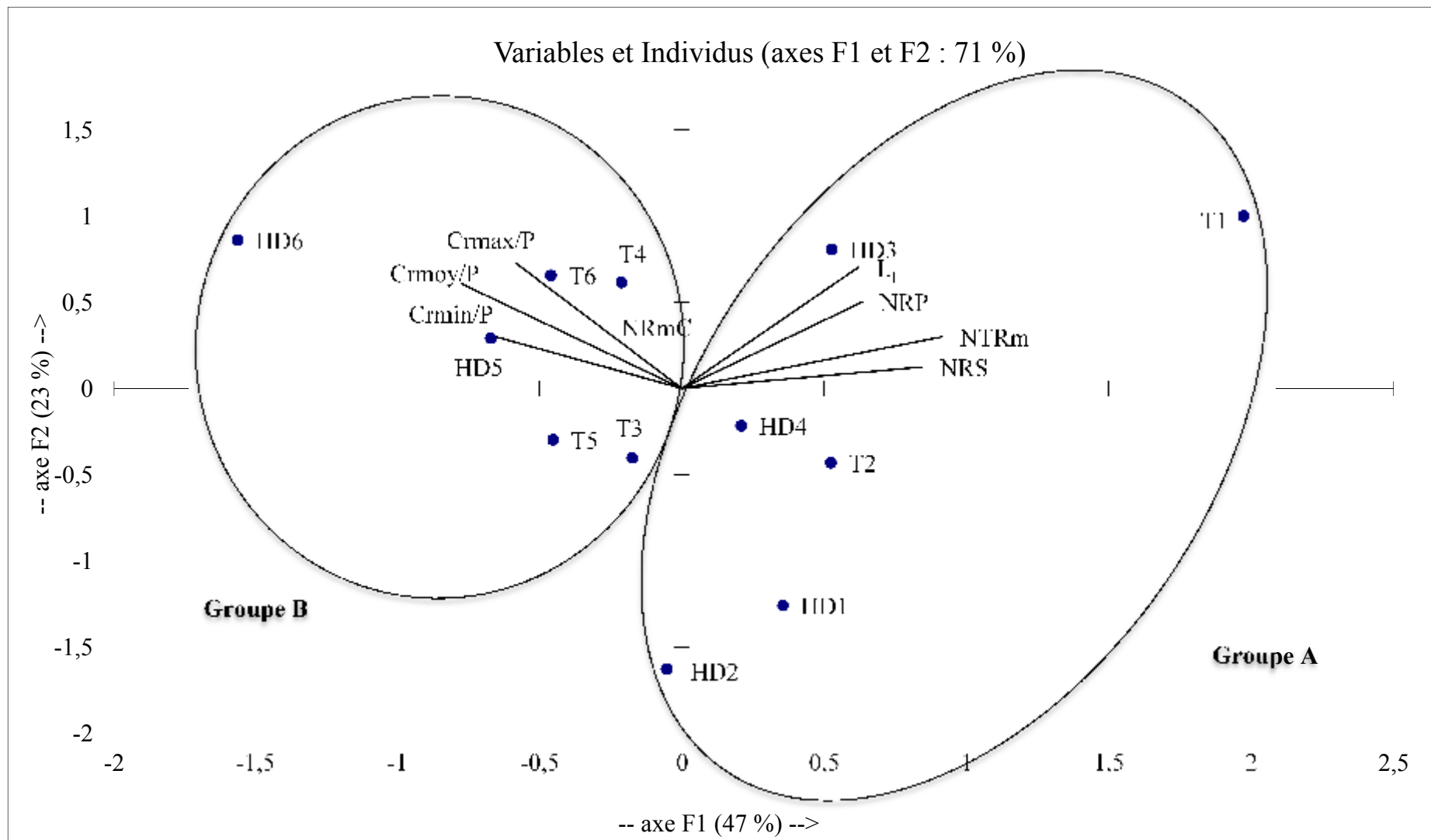


Figure 75. ACP concernant les différentes variables racinaires étudiées pour les deux days.

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

- les sujets moyens de dayate Saadi montrent des caractéristiques racinaires semblables à celles des sujets jeunes de cette daya, ceci les différencie des sujets moyens de dayate Aïat qui présentent des caractéristiques les rapprochant de celles des systèmes racinaires des individus âgés des deux populations étudiées ;
- les sujets âgés des populations étudiées investissent surtout en épaisseur racinaire. Dans ce cas, nous pouvons expliquer cela par le rôle de stabilisation et d'ancrage que pourrait jouer ces racines dans un stade de développement avancé, permettant au pistachier de l'Atlas de se maintenir dans ces milieux arides.

7.4. Discussion

L'analyse statistique que nous avons fait dans ce chapitre nous a permis de caractériser les systèmes racinaires des individus de nos populations. Les paramètres de croissance racinaires ont indiqué des différences en fonction du sol et de l'âge des arbres, mais aussi des conditions du milieu dans lequel ils se trouvent.

La majorité des arbres forestiers des régions tempérées émet un pivot au stade du semis (Atger, 1992 ; Weber & Matteck, 2005), puis développe une couronne de racines traçantes (racines horizontales en surface).

Globalement, dans nos stations d'étude, *Pistacia atlantica* présente des systèmes racinaires caractérisés par un pivot vertical chez les jeunes sujets d'où émergent des racines latérales de dimensions et de densité variables. A ce stade, le pivot ou racine d'ordre 1 est de longueurs distinctes, Logbo et *al.* (2006) le qualifient d'organe dynamique. Sa localisation, sa direction verticale, son état orthogéotrope et sa pérennité lui confèrent un rôle essentiel d'ancrage et d'exploration des horizons profonds du sol. Dans les profils exhibés, il n'est pas toujours vertical, il présente parfois des courbures et prend alors une trajectoire différente. Ce changement de direction selon Logbo et *al.* (2006) est lié à la rencontre d'obstacles qui peuvent modifier le cheminement du pivot et ses ramifications. Dans ce cadre, Otoul (1960) et Favre (1985) citent les propriétés physiques du sol ou la présence de concrétions denses (Compagnon, 1980). Pour l'essence étudiée, nous citons aussi l'influence du système racinaire de la plante nurse, qui protège le pistachier de l'Atlas, à savoir le jujubier sauvage (*Z. lotus*).

Cette espèce protectrice présente une capacité d'occupation du sol en profondeur avant même la formation d'une biomasse aérienne. La croissance de son système racinaire est très

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

rapide aux premiers stades de développement, et est ralentie à la phase finale. Ce comportement met en évidence l'adaptation de cette espèce aux conditions arides (Laamouri et *al.*, 2008). Ces auteurs montrent que le système racinaire de *Z. lotus* est très dense et important. La racine principale se développe verticalement, et indique un enracinement profond (orthogéotrope), il permet aux jeunes plantes d'explorer les horizons profonds du sol. Parmi plusieurs espèces de jujubier que ces auteurs ont testés, *Z. lotus* a montré le pivot le plus développé (supérieur à 130 cm) au stade jeune. Ils attestent aussi qu'en profondeur, ce pivot est accompagné de ramifications secondaires permettant d'apprécier l'aptitude de l'espèce à développer un système racinaire moins étendu, dont l'importance contribue à l'augmentation du volume du sol exploité et par conséquent l'obtention d'une quantité plus importante d'eau.

Ces caractéristiques souterraines du jujubier permettent alors aux jeunes pistachiers de l'Atlas de concevoir un édifice racinaire en fonction de la densité des touffes autour du pied, qui par la suite influencent l'extension latérale et le nombre de ramifications superficielles et profondes de différents ordres. A dayate Saadi, l'envergure latérale racinaire des sujets jeunes et moyens semble plus importante qu'à dayate Aïat, dont les sujets investissent plus en nombre de ramifications superficielles moyennement étendues, qu'en ramifications profondes. Ceci a été aussi prouvé par Limane et *al.*, (2014a et b). Pour toutes les racines échantillonnées selon un gradient d'aridité, Limane et *al.* (2014b) ont trouvé un nombre de ramifications superficielles supérieur au nombre de ramifications profondes et constituant 60% du nombre total de ramifications de chaque individu. Canadell et *al.* (1996) indiquent que la majorité de la biomasse racinaire se trouve dans les premiers 50 cm du sol. Dobson et Moffat (1995) l'estiment de 60% à 90% et Gwenzi et *al.* (2011) trouvent que, dans les écosystèmes arides, 90% de la densité de biomasse racinaire se localise dans les premiers 40 cm du sol.

Les racines latérales d'ordre 2 qui bifurquent du pivot constituent des racines à direction principalement horizontale ; elles possèdent une extension latérale déterminée. La direction horizontale et l'état plagiotrope de ces racines permettent de définir leur spécialisation par rapport au pivot. De même, leur localisation et leur extension permettent de définir leur fonction essentielle dans l'édification du système et dans l'exploitation maximale du milieu. Elles se retrouvent dans les différents horizons ou niveaux du sol. Les racines latérales d'ordre 3 sont portées par les racines latérales d'ordre 2 en proportions variables. Elles contribuent également à l'exploration du milieu et à l'édification du système racinaire

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

(Logbo et *al.*, 2006). L'exploration du milieu verticalement ou horizontalement est définie par l'allongement des racines. L'augmentation de la longueur racinaire est associée généralement à des taux rapides d'allongements racinaires (Eissenstat, 1992), à un taux de croissance relativement élevé (Reich et *al.*, 1998; Comas et *al.*, 2002; Comas & Eissenstat 2004) et à une haute capacité d'absorption d'eau et d'éléments nutritifs (Graham & Syvertsen 1985; Reich et *al.*, 1998; Roumet et *al.*, 2005). Par conséquent, les systèmes racinaires peuvent présenter une grande longueur racinaire, soit parce qu'ils ont un petit diamètre, soit parce qu'ils ont une faible densité de tissu (Chapin et *al.*, 2002).

En ce qui concerne les sujets âgés des deux populations d'étude, l'accroissement racinaire semble dominé par la croissance en épaisseur. Les systèmes racinaires de ces sujets sont vigoureux, ils ont montré un nombre de ramifications réduit par rapport aux pistachiers jeunes, leur envergure latérale est ainsi plus importante de part l'absence de l'espèce nurse, l'allongement finit par devenir profond, afin d'assurer la stabilité et l'ancrage de l'arbre et permet d'alimenter l'arbre durant les périodes sèches.

La stabilité d'un arbre est d'abord déterminée par l'allocation de biomasse aux racines de structure (Nicoll et Ray, 1996). Il est d'usage de distinguer les racines fines des racines de structure. La limite de diamètre entre les deux catégories est souvent fixée à 2 mm (Böhm, 1979). D'un point de vue mécanique les racines fines assurent la cohésion du sol en constituant une armature. Les racines de structure sont en revanche structurées à partir du collet en système racinaire, leur distribution spatiale à l'échelle d'une parcelle est donc hétérogène : la biomasse de racine diminue en général quand on s'éloigne du collet (Danjon et *al.*, 2008).

Entre son insertion et son extrémité, une racine traçante fait l'objet de différents types de sollicitations (Stokes, 1999). La structure des racines reflète l'historique des sollicitations mécaniques auxquelles elle est soumise (Weber et Matlack 2005). La partie des racines traçantes située dans la zone centrale du système racinaire fait l'objet de très fortes sollicitations mécaniques : elle a une croissance radiale plus forte que les autres racines et s'épaissit avec l'âge pour constituer la « zone de défilement rapide » ou « Zone of Rapid Taper » (Eis, 1972). La croissance radiale y est alors souvent dissymétrique : elle tend à former des sections de racines plus hautes que larges (Stokes & Guitard, 1997). Ce type de section offre une meilleure résistance aux efforts verticaux qu'une section ronde, à surface égale (Coutts et *al.*, 1999). L'épaississement de la face supérieure des racines de la zone de défilement rapide

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

est souvent tellement important chez les arbres adultes, que les racines apparaissent à la surface du sol en formant des petits contreforts du tronc qui améliorent l'ancrage de la souche (Danjon et *al.*, 2008). D'après Atger (1992) et Atger & Edelin (1995), certaines espèces fourchent spontanément et indépendamment du milieu et d'autres ne fourchent que lorsqu'elles sont perturbées. Drénou (2003a) souligne que l'architecture racinaire d'un arbre dépend du mode de reproduction dont il est issu. Les systèmes racinaires sans racines obliques, sans fourchaison et sans développement retardé sont les plus sensibles à une perturbation de la morphogénèse (Atger & Edelin, 1994 ; Edelin et Atger, 1994) : si leur couronne de racines traçantes est altérée ou n'est pas symétrique, elle le restera, et la distribution des pivots sera elle aussi dissymétrique, car ceux-ci se développent sur les racines traçantes (Coutts et *al.*, 1990 ; Danjon et *al.*, 2005).

Il est à noter que nous avons révélé, pour quelques pistachiers de l'Atlas de nos populations d'étude, la présence d'anastomoses racinaires entre les racines du même sujet, ou bien entre celles-ci et les racines du jujubier. L'aptitude des espèces à faire des anastomoses de racines est variable. Elles sont plus fréquentes quand la densité de racines est élevée, (Fraser & Gardiner, 1967 ; Külla & Lõhmus, 1999 ; Drénou, 2003b ; Danjon et *al.*, 2005), ce qui est le cas des systèmes racinaires des sujets à dayate Aïat à fortes ramifications. Certaines espèces présentent de nombreuses anastomoses inter-individus, qui peuvent leur permettre d'être intégrées dans le système racinaire d'arbres voisins (Fraser & Gardiner, 1967 ; Külla & Lõhmus, 1999 ; Drénou, 2003b). Les anastomoses contribuent à la stabilité en rigidifiant la partie centrale du système racinaire (Lyford, 1980 ; Danjon et *al.*, 2005) et en liant les systèmes racinaires les uns aux autres, lorsqu'elles sont inter-arbres. Mais dans ce dernier cas, elles peuvent être une voie d'infection pour les pathogènes (Danjon et *al.*, 2008). Ces phénomènes sont connus sous le nom de « facilitation et compétition écologique », ils semblent jouer un rôle important dans l'orientation de l'enracinement du pistachier de l'Atlas.

Il est aussi crucial d'évoquer l'effet indirect que pourrait jouer la topographie des dayas sur l'enracinement du pistachier. Ces dépressions alluviales présentent une dénivellation variable régissant la distribution des touffes de jujubier et par extension les pistachiers de l'Atlas y occupant cette enclose. Vu que la majorité de nos sujets se trouve en périphérie, nous mettons la lumière sur les arbres de lisière particulièrement exposés aux vents dominants. Malgré cela, ils sont stables, d'une part parce qu'ils renforcent leur ancrage en réaction aux plus fortes sollicitations mécaniques dont ils font l'objet, et d'autre part parce qu'ils bénéficient de l'absence de compétition inter-arbre dans une direction donnée.

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

L'extension superficielle des racines et donc le poids de la plaque racinaire est directement liée à la densité du peuplement (Mattheck, 1991 ; Cucchi et *al.*, 2004 ; Stokes et *al.*, 2004).

L'architecture racinaire de nos arbres réaffirme celle décrite par Limane et *al.* (2014a) sur des individus âgés, moyens et jeunes 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. Les racines superficielles investissent plus en longueur et en ramification qu'en circonférence ; par contre, les racines profondes investissent plus en biomasse et en circonférence qu'en largeur et ramifications.

Ainsi, le pistachier de l'Atlas selon ces auteurs change de comportement racinaire avec l'âge. En partant d'un pivot séminal et orthogéotrope à ramifications latérales abondantes dans les premières années de développement, le système racinaire montre une dégénérescence du pivot principal, puis en atteignant l'âge adulte, il oriente l'enracinement en type fasciculé ou bien au type généralisé. Ceci a été soulevé pour les individus de nos populations étudiées et explique la double stratégie d'occupation du milieu qui permet à *P. atlantica* d'exploiter les ressources du milieu, en explorant à la fois les niveaux superficiels et profonds.

8. Conclusion

Le but de ce travail a été de décrire l'architecture racinaire du pistachier de l'Atlas dans deux dayas appartenant à la région aride. Dans un second lieu, nous avons essayé d'analyser par une étude statistique les paramètres racinaires, et nous avons abouti aux constatations suivantes.

- Une variabilité comportementale inter-individuelle du système racinaire du pistachier de l'Atlas au sein de chaque daya, selon l'âge des sujets échantillonnés. Cette variabilité inter-individuelle est masquée entre les deux populations étudiées, la

Chapitre 3. Système racinaire du pistachier de l'Atlas

stratégie d'occupation de l'espace souterrain semble identique entre les sujets de la même catégorie d'âge.

- Le système racinaire des sujets jeunes semble investir en longueur et en nombre de ramifications superficielles et profondes indispensables à leur approvisionnement en ressources hydrominérales, tandis que celui des sujets âgés s'accroît plutôt en épaisseur afin de conférer la stabilité à l'arbre ;
- Chacune des deux populations de pistachiers de l'Atlas possède un développement racinaire général spécifique, malgré les traits inter-individuels communs : la croissance racinaire de la population de Hassi Delâa est orientée en épaisseur, et la population de Timzerth s'exprime en ramifications superficielles et profondes plus fines et plus allongées que la première.

Il est important de signaler que nous nous ne sommes pas parvenu à caractériser le type d'enracinement approprié à chaque catégorie d'âge pour une simple raison : la typologie racinaire nécessite avant tout « l'analyse de l'architecture racinaire » d'une espèce, qui consiste en la quantification de tous les processus de mise en place d'un système racinaire. Atger (1992) souligne que « l'analyse architecturale » permet une caractérisation qualitative complète de l'architecture ; il s'agit d'une définition des types d'axes, de leurs caractéristiques et de leur mode de développement. Les connaissances acquises sur la croissance et l'architecture des racines peuvent être rassemblées dans divers modèles (Pagès et *al.*, 2000) qui peuvent servir à tester des hypothèses.

Nous concernant, nous avons qualifié et caractérisé aléatoirement le système racinaire d'un nombre d'individus représentatif des deux pistacheraies étudiées, et nous n'avons pas confronté tous les stades de développement racinaire pour définir le type d'enracinement de cette essence. À cela, il faut rajouter le manque d'étude sur la typologie racinaire du pistachier de l'Atlas qui aurait aidé notre caractérisation.

Ces déductions nous poussent à chercher après l'origine de cette variabilité unique en son genre au sein de la même espèce vis-à-vis des conditions biotique et abiotiques du milieu, à savoir les propriétés édaphiques du sol sous-jacent et l'influence de l'espèce nurse du pistachier de l'Atlas. Dans les chapitres qui suivent, nous essayons de trouver une réponse en mettant la lumière sur les propriétés édaphiques et leurs interactions avec le système racinaire, face cachée de l'arbre !

Chapitre 4 :

Sol sous-pistachier de l'Atlas

1. Introduction

Ressource pour la vie de la planète Terre, le sol est un élément dynamique fondamental et vital pour tous les êtres vivants.

C'est une entité naturelle complexe structurée et douée d'un cycle qui évolue au fil des temps permettant sa différenciation (altération, remaniement et organisation), et dont les caractères dépendent de la répartition des facteurs de sa formation, qui sont en perpétuelle interaction : climat, biocénose (phytocénose et zoocénose), relief, topographie, et l'action de l'homme, qui conduit souvent, par des pratiques abusives, à son épuisement et par la suite à sa dégradation (Mathieu, 2009).

Habitat, refuge et substrat de végétaux et animaux, le sol a toujours incité les chercheurs, conscients de son existence en tant que formation naturelle soumise à un fonctionnement et à une évolution, susceptible de lentes et/ou rapides transformations ainsi que de dégradations.

L'évolution du sol est soumise aux conditions biotiques et abiotiques du milieu. Le climat est un facteur prépondérant sur la pédogenèse, car il conditionne l'activité biologique et régit le comportement de l'eau et des minéraux dans le sol. Dans les zones arides, mis à part les bas-fonds et les zones d'épandage, la vitesse de formation du sol peut compter des millénaires, vu la rigueur climatique extrême de ces milieux. Les sols de ces régions assistent à de longs épisodes de sécheresse conditionnant leur développement.

Les dayas, formations géomorphologiques héritées du Quaternaire, typiques de l'Afrique du Nord, sont le refuge de la strate arborée steppique. Les sols de dayas qui sont en continuelle évolution, permettent au pistachier de l'Atlas de prospérer dans ces milieux. Sont-ils à l'origine du secret d'adaptabilité forte de cette essence ?

2. Sols des zones arides

En bordure du Sahara, au nord de l'Atlas et sur les Hauts Plateaux, s'étend la zone aride. 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).

Selon Aubert (1960), la zone aride est caractérisée par une pluviosité faible et très irrégulière, la moyenne annuelle est de 100 à 250 mm (Figure 76). La végétation de cette zone correspond à un climat spécifique à pluviosité faible, combinée avec une forte évaporation résultant des températures élevées, dont l'action desséchante est plus ou moins accentuée par le vent (Emberger, 1939). Le même auteur distingue la zone aride de la zone désertique par des « précipitations sans rythme saisonnier et par de longues périodes, dépassant au moins une année, sans pluie ».

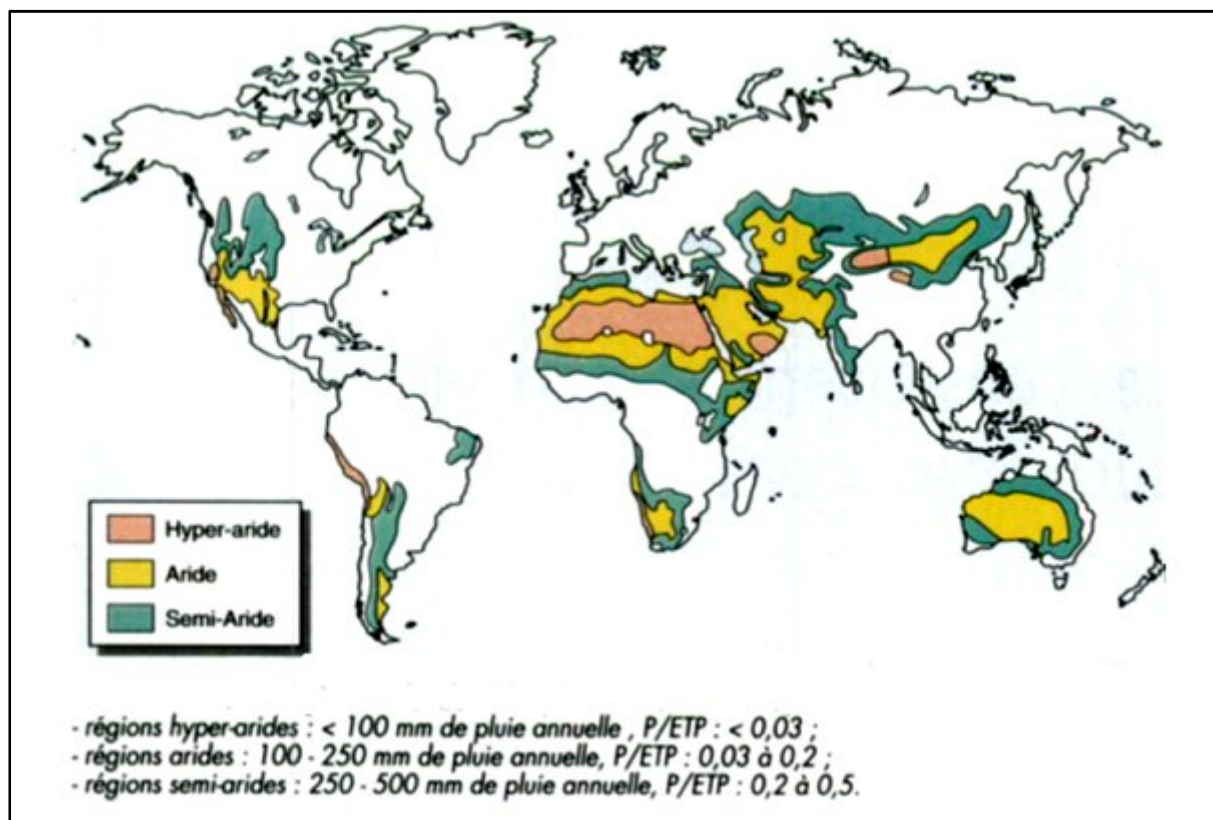


Figure 76. Carte des régions arides du globe (Unesco, 1979 in Rognon, 1994b).

Floret & Pontanier (1984) complètent le concept de l'aridité climatique par celui d'aridité édaphique, relié lui-même à celui des besoins et à l'alimentation en eau du végétal. Les sols réagissent différemment face à l'aridité climatique, certains absorbent et stockent l'eau reçue par ruissellement, d'autres perdent de l'eau par ruissellement ou drainage excessif. C'est ce qu'appellent Floret et Pontanier (1982) « la notion d'efficacité de la pluie », qui concerne la capacité de stockage en eau des sols.

Rognon (1994b) considère la sécheresse comme un facteur très important modifiant les processus pédologiques, qui aussi, empêche le développement des sols (pédogénèse). Pendant

longtemps, la sécheresse a été considérée comme un frein à la pédogénèse. Actuellement, l'accent est mis sur la spécificité des processus chimiques et physiques observés en régions arides sèches. Cet auteur affirme qu'en milieu naturel, il est très difficile de distinguer les dégradations causées par « la sécheresse climatique » et celles dues à une exploitation abusive de la végétation, l'exemple le plus frappant est « la désertification » qui ralentit la pédogénèse.

Compte-tenu du climat actuel qui tend vers l'assèchement, la pédogénèse dépend essentiellement des processus liés au régime hydrique et concernant : la matière organique, ainsi que la dynamique du calcaire et des sels solubles. Les facteurs suivants ont un rôle déterminant dans les processus pédogénétiques (Pouget, 1980) :

- **le climat** : par leur importance, la pluviosité et le régime hydrique interviennent sur la matière organique, ils régissent la dynamique du calcaire et des sels en fournissant l'eau indispensable à leur dissolution, transport et précipitation ;
- **la végétation** : c'est une source de matière organique, l'importance et la nature de sa biomasse interviennent dans l'enrichissement des sols ; la végétation est un facteur favorable à la dissolution et à la précipitation de la calcite ;
- **l'homme** : indirectement, il exerce une action sur la végétation qui freine par la suite la pédogénèse ;
- **la roche-mère et la topographie** : ce sont deux facteurs importants qui influencent le régime hydrique, et indirectement la pédogénèse.

Les sols de la région aride présentent un certain nombre de caractères constants conditionnés par la sévérité du climat (pluviosité faible et irrégulière, sécheresse), et la végétation herbacée rarement arborée, irrégulièrement répartie et constituant un couvert excessivement lâche. Les principaux caractères de ces sols sont (Aubert, 1960) :

- évolution lente ;
- profondeur réduite ;
- matière organique fortement évoluée, peu abondante et superficielle, ou un peu plus abondante et répartie dans l'ensemble du profil ;
- structure faiblement définie ;
- éléments minéraux assez peu altérés ;
- colloïdes argileux stables ;

- éléments solubles concentrés en surface ou partiellement lessivés et accumulés, à un niveau ou à un autre du profil, jusqu'à donner des nodules ou des croutes calcaires, gypseuses ou salines ;
- fréquence d'hydromorphie au moins dans les zones semi-arides ;
- très souvent calcaires, ces sols sont aussi fréquemment salés.

En plus de ces propriétés des sols des zones arides, la prédominance des facteurs physiques sur les facteurs chimiques dans l'évolution des sols est un caractère remarquable. Les contraintes physiques causées par les dessiccations répétées au cours du temps semblent jouer un rôle dans les propriétés actuelles de certains sols, celles-ci ajoutent une dimension temporelle à l'impact de la sécheresse sur les sols de ces régions. En réalité, la sécheresse intervient à partir des climats semi-arides, où le développement des sols est modifié progressivement : les facteurs physiques, qui concernent le régime hydrique et la saturation des particules, s'accroissent aux dépens des facteurs chimiques, qui conditionnent la nutrition de la végétation (Rognon, 1994a et 1994b).

Comment ses caractères sont-ils attribués aux sols des zones arides ?

Quelles est la part des facteurs d'évolution du sol (climat, roche mère, la végétation, topographie, action de l'homme) dans la mise en évidence des processus pédogénétiques ?

Les sols des zones arides (sols squelettiques, sols jeunes peu évolués, siérozems, sols bruns) restent relativement jeunes, leur évolution est lente, compte-tenu de la période sèche très prolongée qui freine aussi bien leur évolution minérale qu'organique. Leurs caractères et propriétés dépendent essentiellement de la nature de la roche mère, qui, du point de vue biologique intervient très largement, mais indirectement. Son action est liée à un fait essentiel, la faiblesse et l'irrégularité des pluies et leur caractère concentré dans le temps. En conséquence, le sol ne reste humide que pendant une courte durée de l'année, ce qui affaiblit son évolution biologique (Aubert, 1960). Cette sécheresse que suscite l'évaporation prédominante sur toute l'année, limite de plus en plus la pédogénèse, les sols formés sont ainsi des lithosols, des sols salins, ou des sols solonetz. C'est un facteur très important modifiant les processus pédologiques, et empêchant le développement des sols (Rognon, 1994b). Compte tenu du contexte climatique actuel, les processus pédogénétiques se rapportent à des processus liés au régime hydrique et concernent essentiellement la matière organique et la dynamique du calcaire et des sels (Pouget, 1980).

En Afrique du Nord, les roches-mère sont plutôt calcaires. La formation végétale qui prend pied est une steppe où l'herbe constitue l'élément essentiel ou une savane arbustive, rarement arborée (Aubert, 1960).

Dans les régions arides et semi-arides, les sols présentent fréquemment, à faible profondeur, un horizon riche en calcaire, souvent durci et feuilleté ; c'est la croûte calcaire. Dans ces régions, où le calcaire est souvent un élément dominant et le plus remarquable du paysage, des formations de morphologie et d'origine très variées ont été distinguées. Ainsi, les sols méditerranéens sont décrits et classés d'après la présence ou l'absence de cet élément, d'après sa distribution verticale dans un profil ou sa répartition horizontale dans une chaîne de sols, ou d'après les formes sous lesquelles il peut apparaître (Ruellan, 1967 et 1970).

Pour le potentiel hydrique des sols sous climat sec, il atteint rarement les valeurs caractéristiques de la capacité au champ (pF 1.8 à 2) et plus la teneur en eau diminue dans le sol, plus cette eau est retenue énergiquement. La lixiviation, migration des éléments solubles à travers le profil du sol de la surface à la profondeur par l'entraînement de l'eau, est freinée au niveau des racines qui forment un horizon « racinaire » de plus en plus important, puisque la prospection de grands volumes de sols devient vitale pour l'alimentation en eau des végétaux. Une « dessiccation biologique » aura lieu au niveau des racines, et tous les éléments chimiques en excès ou inutiles pour la physiologie des plantes se concentrent, et s'organisent dans les horizons du sol donnant naissance à de variables accumulations chimiques indurées caractéristiques des sols des régions méditerranéennes à saison sèche accentuée : ce sont des croûtes, encroûtement, concrétions. Avec le temps, ces horizons d'accumulation durcissent et deviennent de plus en plus défavorables à la végétation, ils empêchent le développement des racines, et inhibent par la suite, la croissance du végétal (Rognon, 1994b).

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, où il peut parfois se concrétionner. Dans d'autres au contraire, il reste réparti dans tout l'ensemble du profil, et sa teneur dans les horizons superficiels n'est guère plus faible que dans les horizons profonds. 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. Cette accumulation est poussée jusqu'à la formation d'un sol encroûté, d'un sol à croûte calcaire ou gypseuse, où l'élément dominant est soit le calcaire, soit le gypse. Le lessivage et la remontée capillaire sont activés par les systèmes racinaires, ils donnent naissance aux bancs calcaires friables, prolongés à leur base par des horizons riches en amas calcaires (Aubert, 1960). La quasi-totalité de ces sols sont calcaires dès la surface, ce qui provoque des pH basiques à neutres et des complexes absorbants saturés (Pouget, 1980). Les accumulations calcaires sont le résultat d'un processus très lent d'accumulation en profondeur (40 à 60 cm en moyenne) autour d'un système racinaire. Ruellan (1967) pense que le calcaire provient des apports des eaux de ruissellement superficiel, de circulation diffuse dans le sol, ou des nappes phréatiques, mais jamais il ne provient du lessivage des horizons supérieurs ni de la roche-mère. Selon cet auteur, les différents cas d'individualisation et d'accumulation du calcaire ne peuvent pas être expliqués par une seule théorie ou un seul processus. La diversité texturale et structurale de ces sols et les formes d'accumulation de calcaire ou de gypse, salure, et matière organique précise leur degré d'évolution (Pouget, 1980).

Aubert (1947 et 1960) pense que la majorité des accumulations et des carapaces de calcaires sont à l'origine d'un double processus, très prolongé : le « lessivage » des horizons superficiels (d'un sol généralement steppique) et les « remontées capillaires » au dépens de zones d'engorgement constituées, en profondeur, par des venues latérales d'eaux par la pénétration en profondeur d'eaux de pluie, lors des périodes très pluvieuses qui se produisent irrégulièrement en ces régions. Il rapporte que ces deux processus, induits par l'effet des systèmes racinaires, peuvent à long terme donner naissance à des bancs calcaires friables, prolongés à leur base par les horizons riches en amas calcaires. Le durcissement superficiel caractéristique de ces croûtes, ne semble dû qu'à une action secondaire d'humidification temporaire de la partie supérieure de cette masse et au redépôt par évaporation des éléments calcaires.

Durand (1953 et 1956) accorde une grande importance à l'activité biologique, qui est à l'origine du gaz carbonique produit, pour expliquer la dissolution et le transport du calcaire, qui vient nourrir les diverses formes d'accumulation décrites.

La remontée capillaire caractérise aussi les sols des régions arides, car les sels les plus solubles (sodium, magnésium, potassium, etc...) se concentrent dans les couches superficielles du sol. La remontée capillaire des sels les plus solubles stimule la formation

d'inflorescences salines dans les couches les plus superficielles du sol, suite à une forte évaporation d'eau capillaire qui migre vers des pF plus élevés. Plus l'aridité augmente, plus ce phénomène s'amplifie, il conduit à la floculation des argiles en période sèche, ou à leur dispersion sous l'action du sodium, en période humide. En résumé, le long d'un gradient d'aridité croissant, le phénomène de lixiviation est réduit progressivement, on assiste, dans les cas extrêmes, à des changements de sens des migrations avec une concentration des éléments dissous à la surface des sols ou des roches, mais en très faible quantités (Rognon, 1994b).

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).

Les sols de la zone aride ne sont jamais très riches en matière organique. Malgré la limitation quantitative de leur développement biologique, ils possèdent une matière organique bien évoluée, d'une teneur plus basse dans les sols qui évoluent sous un climat, dont la période de pluie correspond à une température assez élevée (sols des régions tropicales et subtropicales). 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. Appelée isohumisme, cette répartition profonde, lentement décroissante de la matière organique bien évoluée d'origine steppique, constitue un caractère important dans la description classique des sols. La répartition isohumique n'existe que dans les régions suffisamment humides, plus on va vers les régions arides, plus la matière organique diminue rapidement en profondeur ; il ne se forme pas d'humus grossier dans ces régions, l'horizon le plus riche en humus est soit neutre, quelques fois faiblement acide ou alcalin.

Tous les sols isohumiques évolués présentent un horizon d'accumulation d'argiles. Par ailleurs, l'horizon superficiel est presque toujours appauvri en argiles par rapport à la roche-mère (Ruellan, 1966).

La végétation influence indirectement le processus d'évolution de la matière organique dans le sol, qui, certes, dépend du climat atmosphérique, mais aussi du pédoclimat conditionné par la végétation elle-même (Pouget, 1980). L'action de la sécheresse sur

l'évolution de la matière organique aboutit à deux résultats prolongés : le stockage prolongé de l'humus du sol, et/ou une volatilisation très rapide en fonction de la production de matières végétales et des modifications des processus de formation de l'humus. L'humification est accélérée par l'activité biologique et la présence du calcium, qui contribuent à une polymérisation, si caractéristique des pédoclimats en régions sèches de la matière organique en humus insoluble plus complexe. Ce phénomène est aussi favorisé par les alternances des saturations en eau et de dessiccation complètes des profils. En régions plus arides, la matière organique est détruite par les phénomènes d'oxydation liés à une bonne aération et par l'activité biologique en saison pluvieuse. Cette minéralisation de la matière organique explique à la fois l'augmentation de pH et la réduction de la pédogénèse (Rognon, 1994b).

Les sols hydromorphes n'existent pas ou rarement en zone aride. Ils ne se développent dans cette zone que dans des points bas où s'accumulent les eaux de pluie ou les eaux d'inondation des rivières voisines: leur évolution est dominée par la présence d'un excès d'eau due à la remontée d'une nappe phréatique à travers le profil, à un engorgement temporaire de certains horizons ou à un recouvrement de la surface du sol par des eaux des inondations. De ce fait, les processus d'hydromorphie peuvent favoriser l'évolution de la matière organique (Aubert, 1960).

En région méditerranéenne, où les pluies sont concentrées sur une période assez courte de l'année, le phénomène d'hydromorphie est rarement observé, les sols s'engorgent facilement puisque leur stabilité structurale est très faible et l'hydromorphie se manifeste tous les ans ; elle est suivie très rapidement par une dessiccation prononcée et profonde des sols (Ruellan, 1966).

D'autres facteurs peuvent encore intervenir, transformant complètement le type d'évolution des sols, défini par le jeu des divers processus que nous venons d'indiquer, ou les modifiant seulement en partie. Tel est le cas de l'érosion, qu'elle soit d'origine hydrique ou éolienne. Dans bien des cas, l'homme est le responsable de cette érosion : par ses habitudes culturales ou pastorales, il la provoque parfois là où elle ne sévissait pas avant lui, et ailleurs il l'exagère, accélérant ainsi certains phénomènes de dégradation naturelle (Aubert, 1960).

3. Sols des dayas

Sur les vastes étendus steppiques se retrouvent les dayas, des dépressions fermées où s'accumulent les eaux de ruissellement qui peuvent se maintenir quelques jours à plusieurs semaines. Une partie de ces eaux d'oueds alluvionnés s'évapore, une autre partie s'infiltre très lentement à travers le sol, alors que le reste est utilisé par la végétation colonisatrice de strate arborée constituée essentiellement par le pistachier de l'Atlas, de strate arbustive représentée par le jujubier sauvage, et de strate herbacée formée d'espèces végétales adaptées à la texture et au régime de submersion temporaire. Cette richesse biologique et édaphique apparente fait des dayas des milieux complètement différent de l'extérieur. Les dayas peuvent être nombreuses sur les vastes surfaces polygéniques, modelé du Quaternaire ancien. De surface plane parfois étagée, elles sont parcourues par un réseau très ramifié de chenaux de ruissellement et de chenaux d'oueds alluvionnés. La majorité de ces dayas se localisent sur des surfaces encroutées du Quaternaire ancien, moins souvent sur le Quaternaire moyen. D'autres dépressions, analogues aux dayas, existent dans certaines formations du Jurassique et du Crétacé inférieur (Pouget, 1980).

Les sols à bétoums sont peu connus. Monjauze (1968) dans son étude sur le pistachier de l'Atlas y souligne l'importance en tant que réservoir d'eau. Les dayas sont à fond argilo-sableux, où les alluvions fins apportés par les eaux de ruissellement et par le vent s'infiltrent et se déposent. En réalité, le sol est profond, il s'agit d'une poche de terre, d'une fente comblée ou d'un dépôt alluvionnaire résiduel.

Dayas, zones d'épandage et de débordement des oueds, 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, et éventuellement des phénomènes de salure. Plusieurs phénomènes sont observés (Pouget, 1980) :

- formation d'un dépôt de matériaux fins, parfois plus grossiers issus de la décantation des particules solides en suspension ;
- précipitations des sels dissous par évaporation au cours du transport ou sur place, et leur accumulation en surface ;
- infiltration des solutions salines en profondeur et alimentation de nappes phréatiques, dont l'extension dépasse largement la zone d'immersion.

D'après Pouget (1980), les dayas offrent une gamme très diversifiée de sols (Figure 77), généralement profonds et évolués. En fonction de leurs textures, structures et du degré d'évolution, cet auteur donne trois ensembles de sols pour les dayas.

a) Les vertisols

De texture très fine et avec d'importantes fentes de retrait en saison sèche, ils caractérisent les dépressions dans les grès et les argiles versicolores du Jurassique et du Crétacé, ainsi que les grandes dayas de type très déprimé. Les plus connus sont les sols bruns vertiques et bruns calcaires

b) Les sols peu évolués de texture fine

Ils conservent une structure vertique :

- sols peu évolués vertiques et sols peu évolués halomorphes très proches des précédents ;
- sols peu évolués modaux; les caractères vertiques (structure) disparaissent si la texture n'est que moyenne.

c) Les sols évolués de texture généralement moyenne à fine

Ils sont bien structurés et relativement perméables, leur structure est polyédrique, subanguleuse et surtout polyédrique moyenne, à fine. On distingue :

- sols bruns calciques, complètement décarbonatés.
- sols bruns calcaires ;
- siérozems modaux ;
- siérozems à amas et nodules ;
- siérozems à encroûtement calcaire.

Les siérozems à amas et nodules et les siérozems à encroûtement calcaire caractérisent les dayas les moins profondes, de type peu déprimé à très peu déprimé, sur les surfaces encroûtées.

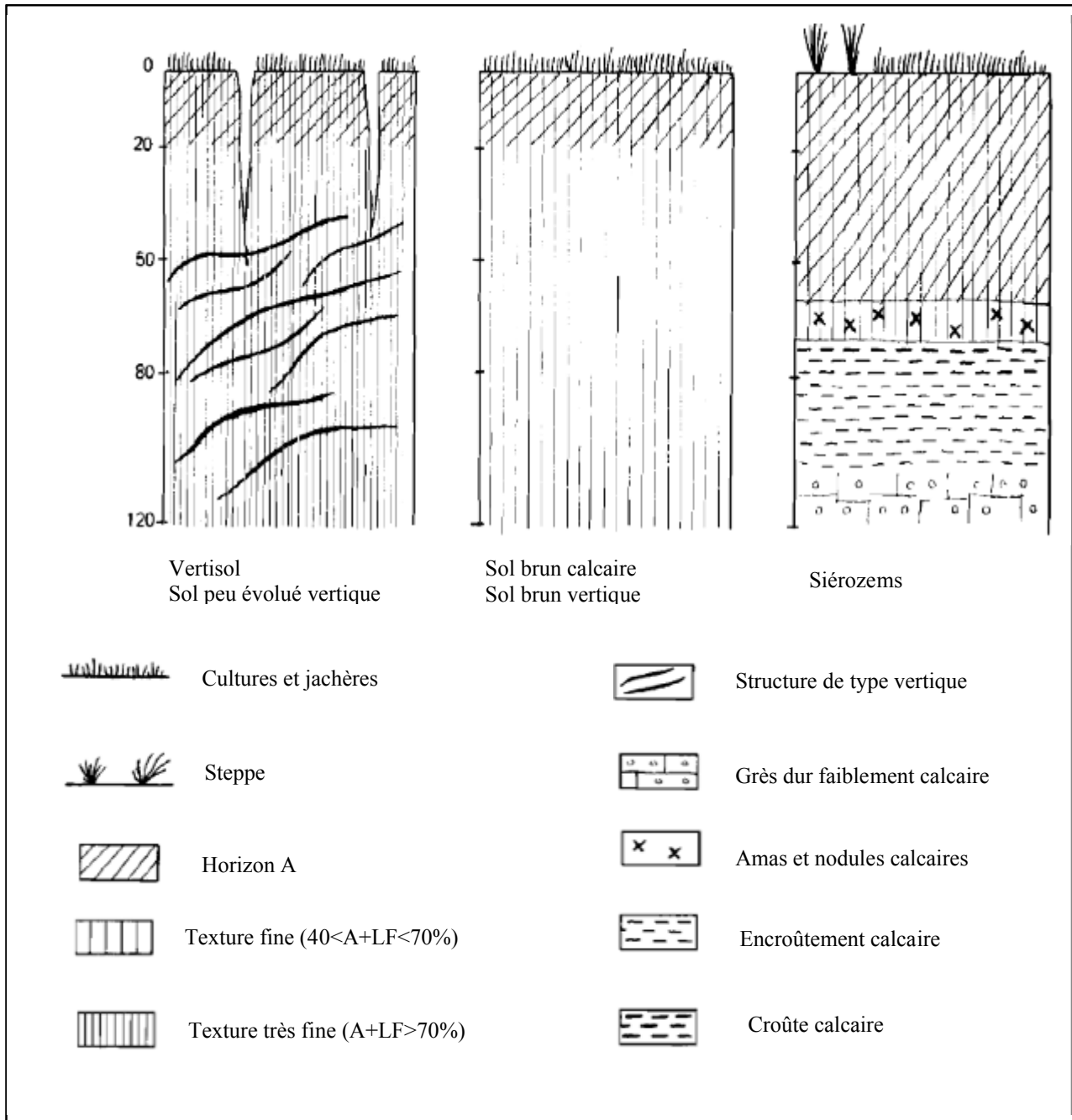


Figure 77. Sols des dayas (Pouget, 1980).

Forme, taille, régimes hydrologiques et sols confèrent aux dayas une très grande diversité, elles représentent un milieu écologique remarquable par rapport aux zones avoisinantes (Pouget, 1980). À l'intérieur de ces cuvettes, on ne peut négliger les remarquables nebkhas à la périphérie et au centre. Elles constituent un refuge pour une multitude d'espèces animales (rongeurs, reptiles, insectes, etc..) et d'espèces végétales (Long, 1954). Le même auteur considère que la butte de jujubier est « un monde à part ». Les nebkhas parmi les formations éoliennes les plus classiques sont des accumulations de sables

éoliens arrêtés par un obstacle de petite dimension, tel qu'une touffe de végétation ou un bloc rocheux. Le sable accumulé forme un monticule en forme de pointe de flèche, dont la hauteur diminue en s'éloignant de l'obstacle. Leur taille varie de quelques centimètres à quelques décimètres de haut pour une longueur d'environ 0.5 à 2 mètres, le terme « micro-nebkha » peut être utilisé pour désigner les plus petites. Le plus souvent, elles restent groupées en champs de nebkhas qui investissent les glacis du Quaternaire ancien et les dépressions salées ou même les dayas. Le matériau des nebkhas est un sable fin, très faiblement calcaire. La caractéristique majeure des sols des formations éoliennes est la texture très grossière à grossière (sables très siliceux très peu calcaires) sur pratiquement l'ensemble du profil. En première ordre d'évolution croissante, on distingue « les sols minéraux bruts d'apport éolien » qui conviennent à des dunes ou des micro-dunes de sable mobile, très peu fixées par la végétation. Leur teneur en éléments fins (argiles et limons fins) est surtout très faible ($A+LF < 5\%$) (Pouget, 1980).

Ces dépôts éoliens possèdent au moins deux dénominations. Monod (1973) les appelle des « nebkhas-flèches » pour les distinguer des « nebkhas-pièges » (ou buttes plantées). L'exemple le plus apparent est celui des très classiques buttes de jujubier ou de Tamaris. Les nebkhas-pièges, grossièrement circulaires, peuvent atteindre 2 mètres de haut et plusieurs mètres de diamètre. Le sable piégé dans les touffes de jujubier crée un véritable biotope qui évolue différemment ou indépendamment du milieu environnant. Monjauze (1965) affirme le rôle de cette dernière dans la régénération du pistachier de l'Atlas, le jeune individu ayant trouvé une protection au milieu des touffes de jujubier qui captent ces matériaux éoliens.

4. Sols sous-pistachier de l'Atlas

En Algérie, les seuls travaux que nous pouvons citer sont ceux effectués au laboratoire « Ressources Naturelles » à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou sur une multitude de stations d'étude suivant un gradient d'aridité croissant, en l'occurrence les travaux de Aït Slimane (2004), Tahrouz (2005), Deguiche (2008), Chebieb (2008), Kebci (2008), Bounceur (2009), Limane (2009), Tisgouine (2010), Haboul (2011), Bentaleb (2011), Amroun (2013), Limane et *al.*, (2014a), Limane et *al.*, (2014b) et Zimani (en cours). Globalement, ces auteurs s'accordent sur les propriétés physico-chimiques des sols sous-pistachier de l'Atlas, ils affirment que ces sols sont :

- de texture moyenne, à fine, à très fine, ce qui influence directement leurs humidités ;
- calcaires et à pH basique ;

- à teneur variable en matière organique, ce taux change d'une station à l'autre et selon la saison de l'échantillonnage.

5. Matériel et méthodes

Le sol a été échantillonné simultanément avec la caractérisation racinaire, par niveau. Pour chaque profil, nous avons prélevé de bas en haut des échantillons de sol chaque 20 cm tout au long du profil effectué. Ces derniers ont été transportés au laboratoire après les avoir conservé dans des sacs en plastique portant les informations suivantes : la date, le numéro du profil, et les niveaux échantillonnés. Nous les avons laissé sécher à l'air libre pendant quarante-huit heures, puis nous les avons broyé et tamisé (2 mm pour le diamètre des mailles). Nous avons obtenu une terre fine, que nous avons conservé dans des boîtes hermétiques. Nous avons ensuite procédé aux différentes analyses pédologiques.

5.1. Analyse granulométrique

Elle a été réalisée selon la méthode internationale utilisant la pipette de Robinson basée sur la loi de Stokes (Baize, 2000). Après la destruction de la matière organique contenue dans chaque sol par l'eau oxygénée (à 30 volumes), d'abord avec une attaque à froid pendant 24 heures, puis à chaud jusqu'à la fin de la réaction, les particules minérales sont dispersées à l'aide de l'hexametaphosphate 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.

Pour terminer, nous avons calculé les proportions des différents composants granulométriques, puis 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

Elle indique en pourcentage la quantité d'eau retenue par la terre séchée à l'air libre. Aubert (1978) recommande les instructions suivantes :

- peser une capsule en silice, soit P1 le poids de la capsule vide ;
- peser précisément dans cette capsule 10 g de terre fine séchée à l'air libre ; soit P2 le poids de la capsule vide + les 10 g de terre fine ;
- mettre la capsule et son contenu dans l'étuve à 105 °C pendant 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 d'eau qu'ont subit les 10 g de terre séchée à l'air libre ;
- la teneur en eau hygroscopique est ainsi obtenue par l'équation :

$$\text{H}_2\text{O} (\%) = (P_2 - P_3 / P_3 - P_1) \times 100$$

5.2.2. Capacité de rétention

Elle correspond à la quantité d'eau maximale que peut absorber le sol, avant qu'il ne perde sa cohésion (Aubert, 1978). Pour ce faire, nous avons procédé comme suit :

- dans une capsule à fond criblé tapissée d'un papier filtre, nous y avons versé 10 g de sol (soit P₁ le poids de la capsule vide + le papier filtre + les 10 g 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 (Figure 78) ;

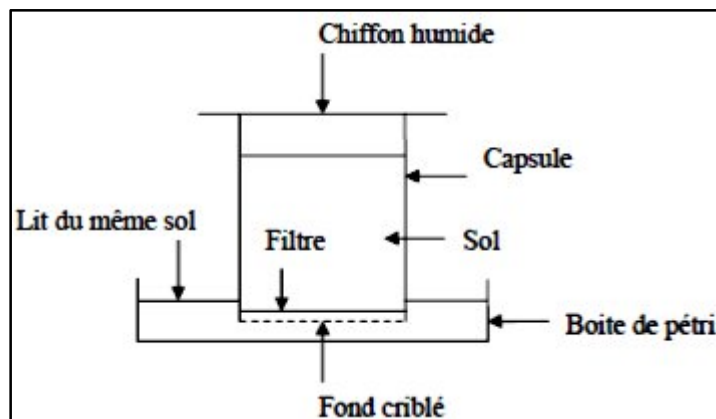


Figure 78. Procédé pour la détermination de la capacité de rétention du sol
(Limane, 2009).

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

$$\text{H}_2\text{O} (\%) = [(P_1 - P_2)/P_1] \times 100$$

5.3. pH eau de sol

À l'aide d'un pH mètre, nous avons mesuré le pH dans une suspension d'eau, avec un rapport sol/eau égal à 1/2,5.

5.4. Dosage du calcaire

Le taux des carbonates de calcium a été déterminé par la méthode volumétrique qui consiste en une attaque acide du sol par l'acide chlorhydrique (HCl), suivie d'un titrage de l'excès d'HCl par la soude (NaOH) en présence de phénophtaléine qui permet le virage du mélange du transparent au rose. Le taux de calcaire total a été obtenu par la suite selon la formule :

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

où:

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 :

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

où :

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 : $\text{M.O} (\%) = \text{C}(\%) \times 1,72$

5.6. Analyse statistique

Nous avons effectué des analyses statistiques des résultats des paramètres physico-chimiques du sol prélevé. D'abord, nous avons commencé par une analyse de variance (ANOVA) entre les sols d'une même daya, puis entre les sols des deux dayas. Par la suite, nous avons essayé de corrélérer ces paramètres par des Analyses en Composantes Principales (ACP) grâce au logiciel Stat Box 6.4 entre les sols d'une même daya, et entre les sols des deux dayas.

Pour ce faire, nous avons tracé des matrices de corrélation et des cartes de coordonnées des variables testées.

6. Résultats et discussion

6.1. Analyse granulométrique

6.1.1. Dayate Saadi, Hassi Delâa

Les résultats de l'analyse granulométrique effectuée sont reportés dans le tableau 39.

Dans la majorité des niveaux des profils analysés, nous constatons soit la prédominance de la fraction sableuse (sables fins), soit celle de la fraction limoneuse (limons fins). La fraction argileuse n'est pas négligeable. Cependant, dans tous les échantillons la texture est « limoneuse » : près de 50% de nos sols sont à texture « limoneuse » à «limoneuse fine », 25% sont à texture « limono-sableuse », les 25% qui restent sont à texture « limono-argileuse ».

Globalement, la texture de nos sols est fine. La fraction argileuse est non négligeable (elle atteint les 30.78% dans le niveau superficiel du sol 2), elle se distribue inégalement dans les niveaux des profils étudiés. 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 79.

Tableau 39. Fractions granulométriques des niveaux des sols étudiés et leur texture correspondantes, dayate Saadi, Hassi Delâa.

Sol	Niveaux (cm)	A	LF	LG	SF	SG	Texture/Niveau
Sol 1	0-20	20,49	10,23	14,78	54,01	0,49	limono-argilo-sableuse
	20-40	25,68	15,41	13,13	45,31	0,47	limoneuse
	40-60	20,87	41,75	15,1	22,02	0,26	limoneuse fine
	60-80	20,95	47,14	15,14	16,6	0,17	limoneuse fine
Sol 2	0-20	30,78	10,26	7,34	51,47	0,15	limono-argilo-sableuse
	20-40	10,44	44,36	18,9	26,29	0,01	limoneuse fine
	40-60	10,48	52,4	19,12	17,81	0,19	limoneuse fine
Sol 3	0-20	10,26	30,03	3,94	55,28	0,48	limono-sableuse
	20-40	6,68	55,46	15,88	21,87	0,11	limoneuse fine
	40-60	30,08	30,57	13,73	24,36	1,26	limono-argileuse
Sol 4	0-20	12,3	23,07	7,37	55,41	1,85	limono-sableuse
	20-40	9,3	27,22	8,2	52,44	2,84	limono-sableuse
	40-60	16,34	14,81	12,94	52,14	3,77	limono-sableuse
Sol 5	0-20	20,72	36,27	12,75	29,7	0,56	limoneuse
	20-40	23,74	44,32	10,87	21,1	0,24	limoneuse fine
	40-60	25,95	44,12	7,6	22,13	0,2	limoneuse fine
Sol 6	0-20	26,42	44,88	12,53	16,01	0,16	limoneuse fine argileuse
	20-40	12,88	46,1	21,47	19,38	0,17	limoneuse fine

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

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 des fractions relativement équitable entre les niveaux.

Les sols 1, 2, 3 et 4 sont des nebkhas, des accumulations de sables éoliens et alluvionnaires, substrat de psammophiles et refuge des reptiles et de rongeurs, qui grâce à leur apports de matière organique et leurs mouvements contribuent ainsi à l'évolution de ces dépôts en sols plus évolués. Ceci peut expliquer la répartition non homogène des différentes fractions granulométriques le long des profils de ces sols. Les taux d'argiles augmentent de la surface à la profondeur (Sol 3 et Sol 4) ou régressent en profondeur (Sol 2). Le taux d'argiles

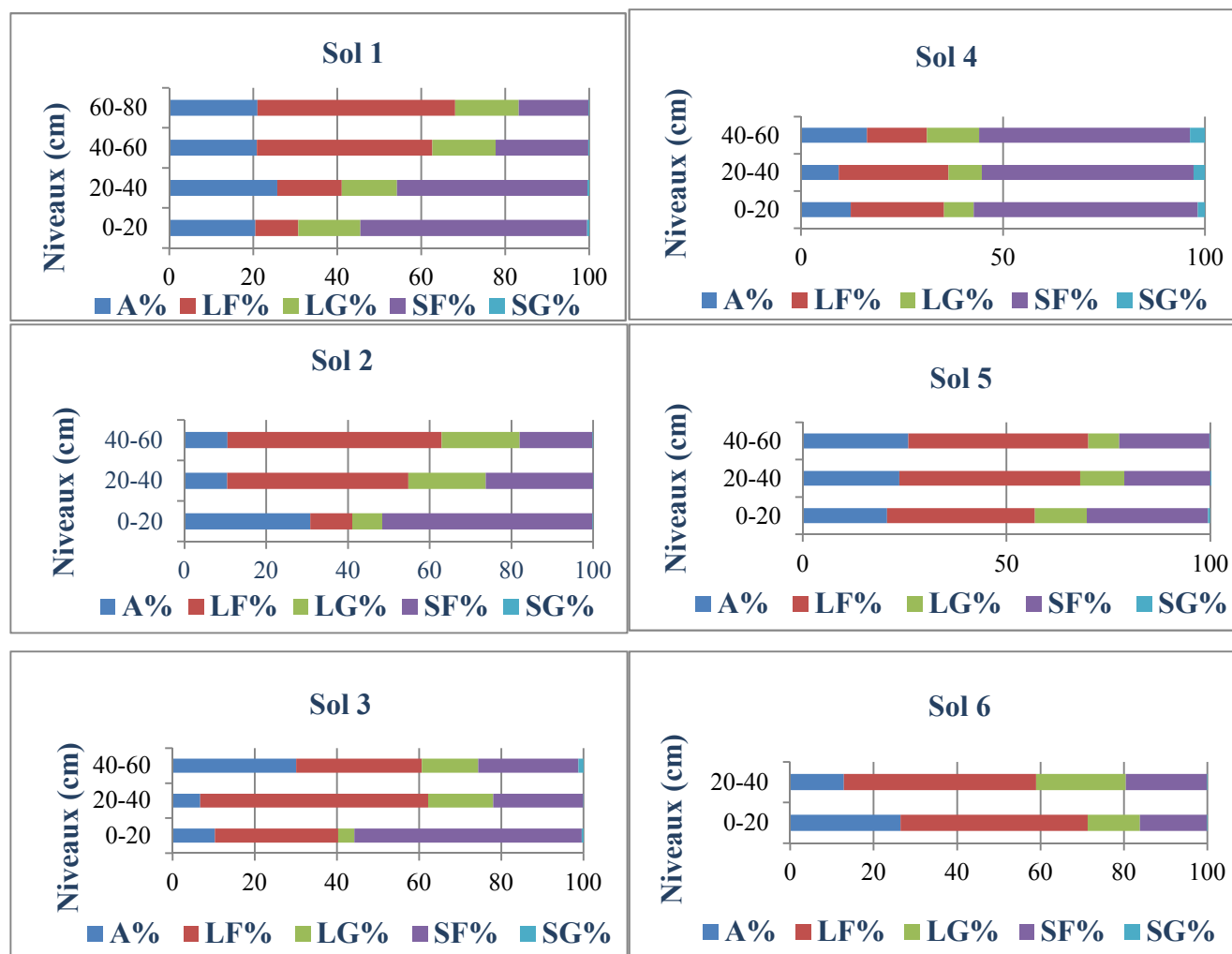


Figure 79. Proportion des fractions granulométriques par niveau dans chaque sol étudié, dayate Saadi, Hassi Delâa.

en profondeur s'expliquerait par des phénomènes de lixiviations de ces très fines particules vers la profondeur (Aubert, 1960).

Par contre pour le sol 1, la distribution est presque égale entre les niveaux. Les limons aussi se répartissent graduellement dans le sol 1 et le sol 2, tandis que dans les sols 3 et 4, les proportions entre les niveaux sont égales. Concernant la fraction sableuse, nous observons une diminution vers la profondeur pour les sols 1, 2 et 3. Par contre pour le sol 4, les taux sables sont presque égaux entre les niveaux.

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

6.1.2. Dayate Aïat, Timzerth

Le tableau 40 illustre les résultats de l'analyse granulométrique de dayate Aïat dans la région de Timzerth.

Du tableau 40, nous constatons la prédominance de la fraction sableuse fine dans tous les échantillons analysés, les fractions limoneuses et argileuses sont peu importantes. Cependant, près de 47% de nos sols sont à texture « sablo-limoneuse », tandis que 35% sont à texture « limono-sableuse », les 17% des échantillons qui restent montrent une texture « limoneuse ». En général, la texture de nos sols est fine à moyenne, la fraction argileuse est peu importante, elle ne dépasse guère les 16% et se répartit différemment dans les niveaux des profils étudiés. Elle croît de la surface vers la profondeur dans les profils 2, 4, 5, et 6. Elle diminue vers la profondeur dans le profil 1, par contre elle reste stable le long du profil 3.

Dans le but de visualiser les fractions granulométriques obtenues par niveau dans chaque profil analysé, nous avons opté pour la répartition en cartouches illustrées dans la figure 80.

Tableau 40. Fractions granulométriques des niveaux des sols étudiés et leur texture correspondantes, dayate Aïat, Timzerth.

Sol	Niveaux (cm)	A	LF	LG	SF	SG	Texture/Niveau
Sol 1	0-20	6,04	4,53	5,25	83,78	0,4	sablo-limoneuse
	20-40	5,02	8,29	5,63	80,02	0,86	sablo-limoneuse
	40-60	4,27	7,81	4,99	80,91	2,02	sablo-limoneuse
Sol 2	0-20	13,51	13,03	5,62	67,53	0,31	limono-sableuse
	20-40	15,28	20,37	3,56	60,56	0,23	limono-sableuse
Sol 3	0-20	4,54	5,8	4,51	84,2	1,13	sablo-limoneuse
	20-40	4,53	8,3	0,25	85,89	1,03	sablo-limoneuse
Sol 4	0-20	2,77	3,78	10,3	81,56	1,52	sablo-limoneuse
	20-40	4,28	6,26	1,59	87,31	0,56	sablo-limoneuse
	40-60	5,05	9,34	1,3	83,35	0,96	sablo-limoneuse
	60-80	8,64	11,34	8,4	71,02	0,6	limono-sableuse
Sol 5	0-20	10,16	12,7	11,5	63,77	1,87	limono-sableuse
	20-40	15,33	24,6	13	45,93	1,14	limoneuse
	40-60	13,32	22,04	14,35	50,22	1,98	limoneuse
Sol 6	0-20	7,62	10,09	8,07	72,56	1,66	limono-sableuse
	20-40	13,69	27,86	14,29	43,1	1,06	limoneuse
	40-60	10,74	21,07	5,21	59,37	3,61	limono-sableuse

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

Les sujets 1, 2, 3, et 4 sont ancrés dans des nebkhas, dépôts de sables transportés par le vent et les eaux de ruissellement, siège de faune et flore des régions arides. Les fractions granulométriques au sein de ces accumulations sableuses sont presque égales, et se répartissent de la même manière de la surface à la profondeur. Les argiles sont de taux modestes, diminuant graduellement de la surface vers la profondeur dans le premier sol, et augmentant progressivement dans le profil 2 et 4 grâce au phénomène de lixiviation caractéristique des sols de ces zones, tandis que pour le profil 3, les proportions sont équivalentes. Les limons sont distribués inégalement dans les niveaux de ces sols, ils ne dépassent pas les 24%. Leur répartition est variable dans le premier et le quatrième profil, elle augmente vers la profondeur dans le deuxième profil, et diminue vers la profondeur dans le

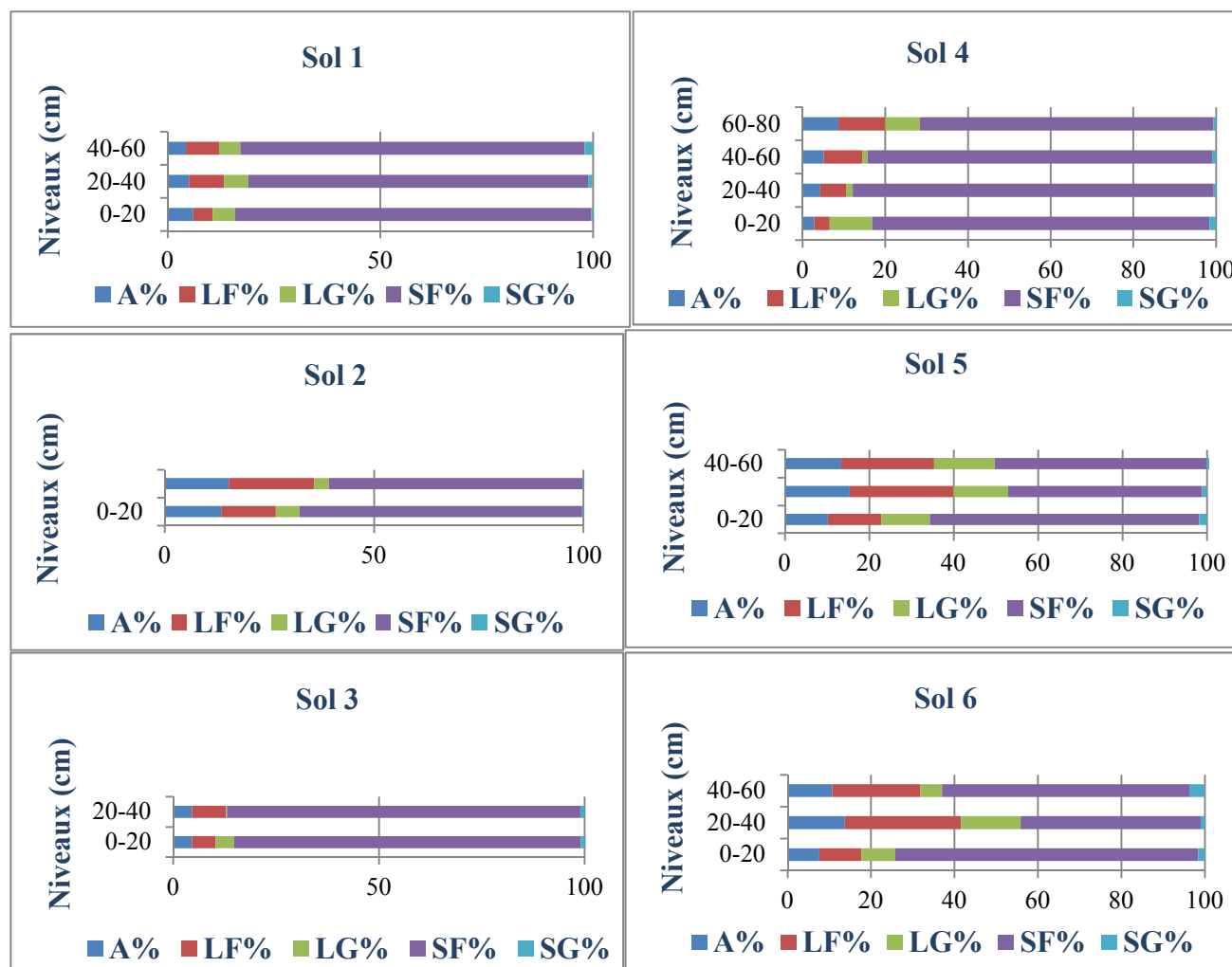


Figure 80. Fractions granulométriques par niveau dans chaque sol étudié à dayate Aïat, Timzerth.

troisième profil. Pour les sables, la distribution est non homogène entre les niveaux de chaque sol. C'est la fraction qui domine le long de ces quatre nebkhas.

Les profils 5 et 6 sont faits sous des sujets âgés. Ils montrent une distribution des fractions granulométriques différente de celle des autres sols. Les sables constituent la fraction dominante, exceptée dans le niveau (20-40 cm) du sixième profil et les niveaux (20-40 cm) et (40-60 cm) du cinquième profil, où les proportions de sables et de limons se rapprochent. Ces textures sont limoneuses. Les autres niveaux sont de texture limono-sableuse, le taux des limons étant plus élevé par rapport à ceux des sujets plus jeunes (les nebkhas). Dans l'ensemble, les argiles montrent des taux inférieurs à 16%, elles sont en faible teneur dans l'ensemble des sols étudiés, sauf dans les niveaux du sol 5 et 6, où nous avons enregistré l'augmentation de cette fraction ; leur distribution n'est pas homogène dans le sol 5, elle s'élève de la surface vers la profondeur dans les niveaux du sol 6.

6.1.3. Discussion

Le tableau 41 résume les textures des sols de dayate Saadi.

Tableau 41. Texture des profils de dayate Saadi, Hassi Delâa.

Dayate Saadi, Hassi Delâa	Sol 1	Sol 2	Sol 3	Sol 4	Sol 5	Sol 6
Texture	Limoneuse	Limoneuse fine	Limoneuse	Limono- sableuse	Limoneuse fine	Limoneuse fine

Nous constatons que la texture fine est majoritaire dans les profils étudiés, excepté le sol 4 qui, contrairement aux autres, montre une texture « limono-sableuse ».

Les textures des profils de dayate Aïat sont portées sur le tableau 42.

Tableau 42. Texture des profils de dayate Aïat, Timzerth.

Dayate Aïat, Timzerth	Sol 1	Sol 2	Sol 3	Sol 4	Sol 5	Sol 6
Texture	Sablo- limoneuse	Limono- sableuse	Sablo- limoneuse	Sablo- limoneuse	Limono- sableuse	Limono- sableuse

La texture des différents sols de dayate Aïat (région de Timzerth) varie de sablo-limoneuse à limono-sableuse.

Afin de comparer nos résultats avec ceux obtenus précédemment au laboratoire « Ressources naturelles », nous avons dressé le tableau 43 qui regroupe l'ensemble des textures de différentes dayas à pistachier de l'Atlas en Algérie organisées suivant un gradient d'aridité croissant.

De ces résultats, nous relevons que les sols échantillonnés tout le long des régions étudiées sont de texture à dominante limoneuse. Les sols de Béni Ounif (Béchar) étudiés par Limane et *al.* (2014b), 75% des sols de Timzerth (Laghouat) échantillonnés par Amroun (2013) et 30% des sols d'El Mergueb (M'sila) analysés par Limane (2009) ont présenté une texture sablo-limoneuse. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus pour nos deux stations d'étude, qui ont montré une texture à dominante limoneuse à dayate Saadi, région de Hassi Delâa, et une texture sablo-limoneuse à limono-sableuse pour les sols de dayate Aïat, région de Timzerth. Nous relevons un facteur important qui régit la distribution des différentes fractions de granulométrie dans le sol, le labour, qui constituait selon Monjauze (1968) un danger pour les sols des dayas, car il contribue par les habitudes culturelles et pastorales à activer l'érosion éolienne des sols dans ces cuvettes, biotope où elle n'y sévissait peut être pas avant lui, accélérant ainsi certains phénomènes de dégradation naturelle.

En général, nos résultats réaffirment aussi ceux de Pouget (1980), qui caractérise les sols des dayas par une texture moyenne à très fine, relativement homogène pour chaque profil. Cet auteur note aussi que les sols des dayas sont d'une structure instable en surface avec un horizon finement lamellaire de quelques millimètres à quelques centimètres, et une croûte de battance.

Tableau 43. Texture des sols sous pistachier précédemment étudiés.

Gradient d'aridité croissant										
→										
Populations Etudiées	Sidi Naamane (Médea) (Limane et <i>al.</i> , 2014b)	Theniet El Had (W.Tissemsilt) (Tisgouine, 2010)	El Mergueb (M'sila) (Limane, 2009)	Boucédraia (Djelfa) Bentaleb, 2011)	Lekhneg (Laghouat) (Limane et <i>al.</i> , 2014b)	Timzerth (Laghouat) (Deguiche, 2008)	Timzerth (Laghouat) (Amroun, 2013)	Tilrhemt (Laghouat) (Ziamni, en cours)	Tilrhemt (Laghouat) (Bounceur, 2009)	Béni Ounif (Béchar) (Limane et <i>al.</i> , 2014b)
Texture	Limono- argileuse	75% des sols sont à dominante limoneuse ; 25% sont «limono-sableux»	70% des échantillons sont de texture limoneuse ; 30% sont à texture sablo- limoneuse	Limono- sableuse à limoneuse fine	Limono- sableuse	Moyenne à très fine : sablo- limoneuse, limono- sableuse, limoneuse fine et limoneuse très fine	75% des sols sont à texture sablo- limoneuse ; 21% sont à texture limono-sableuse. Un seul niveau profond est limono-argilo- sableux	58% des sols sont limoneux ; 42% sont limono- sableux.	94.11% des sols sont à texture limoneuse fine ; Un seul niveau est à texture limono-sableuse.	sablo- limoneuse.

6.2. Paramètres hydriques du sol

6.2.1. Dayate Saadi, Hassi Delâa

6.2.1.1. Humidité hygroscopique

Les résultats des humidités hygroscopiques de nos échantillons sont portés dans le tableau 44.

Tableau 44. Humidité hygroscopique (H.H) et texture correspondante des sols sous pistachier de dayate Saadi, Hassi Delâa.

Sol	Niveaux (cm)	H.H	Texture/Niveau
Sol 1	0-20	2,32	Limono-argilo-sableuse
	20-40	2,68	Limoneuse
	40-60	4,17	Limoneuse fine
	60-80	4,63	Limoneuse fine
Sol 2	0-20	2,57	Limono-argilo-sableuse
	20-40	4,24	Limoneuse fine
	40-60	4,59	Limoneuse fine
Sol 3	0-20	2,63	Limono-sableuse
	20-40	4,4	Limoneuse fine
	40-60	3,56	Limono-argileuse
Sol 4	0-20	2,51	Limono-sableuse
	20-40	2,15	Limono-sableuse
	40-60	2,09	Limono-sableuse
Sol 5	0-20	3,46	Limoneuse
	20-40	4,11	Limoneuse fine
	40-60	3,87	Limoneuse fine
Sol 6	0-20	5,3	Limoneuse fine argileuse
	20-40	4,57	Limoneuse fine

L'ensemble des échantillons à dayate Saadi présente un taux d'humidité supérieur à 1%. La valeur la plus faible (2.09%) a été enregistrée au niveau du sol 4 (niveau 40-60 cm) de texture limono-sableuse, par contre au niveau du sol 6 (niveau 0-20 cm), de texture limoneuse fine argileuse, nous avons relevé la valeur la plus élevée (5.3%). Nous remarquons que l'humidité augmente quand la texture est fine, et diminue quand celle-ci est moyenne.

Les humidités hygroscopiques mesurées par niveau de chaque profil étudié à dayate Saadi, Hassi Delâa sont illustrées par la figure 81.

D'après cette figure, nous observons dans la majorité des sols, l'humidité hygroscopique augmente de la surface vers la profondeur. Parfois, ce taux diminue graduellement plus nous allons en profondeur. Nous notons que le taux d'humidité maximale ne dépasse pas 6%. Pour le premier, le second, le troisième et le cinquième sol, les humidités hygroscopiques évoluent selon un gradient de profondeur, excepté le niveau (40-60 cm) du troisième et du cinquième sol, qui ont montré une légère diminution de leurs humidités. Le quatrième et le sixième profil ont enregistré une évolution régressive de leurs humidités de la surface à la profondeur, l'écart étant très réduit entre les niveaux de ces deux profils.

6.2.1.2. Capacité de rétention

Les résultats des capacités de rétention sont inscrits dans le tableau 45.

Tableau 45. Capacité de rétention (CR) et texture correspondante des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate Saadi, Hassi Delâa.

Sol	Niveaux (cm)	CR	Texture/Niveau
Sol 1	0-20	41,65	Limono-argilo-sableuse
	20-40	43,31	Limoneuse
	40-60	44,28	Limoneuse fine
	60-80	44,005	Limoneuse fine
Sol 2	0-20	39,125	Limono-argilo-sableuse
	20-40	45,16	Limoneuse fine
	40-60	43,58	Limoneuse fine
Sol 3	0-20	38,88	Limono-sableuse
	20-40	42,87	Limoneuse fine
	40-60	40,785	Limono-argileuse
Sol 4	0-20	40,49	Limono-sableuse
	20-40	36,81	Limono-sableuse
	40-60	36,24	Limono-sableuse
Sol 5	0-20	43,86	Limoneuse
	20-40	42,58	Limoneuse fine
	40-60	39,01	Limoneuse fine
Sol 6	0-20	44,37	Limoneuse fine argileuse
	20-40	43,63	Limoneuse fine

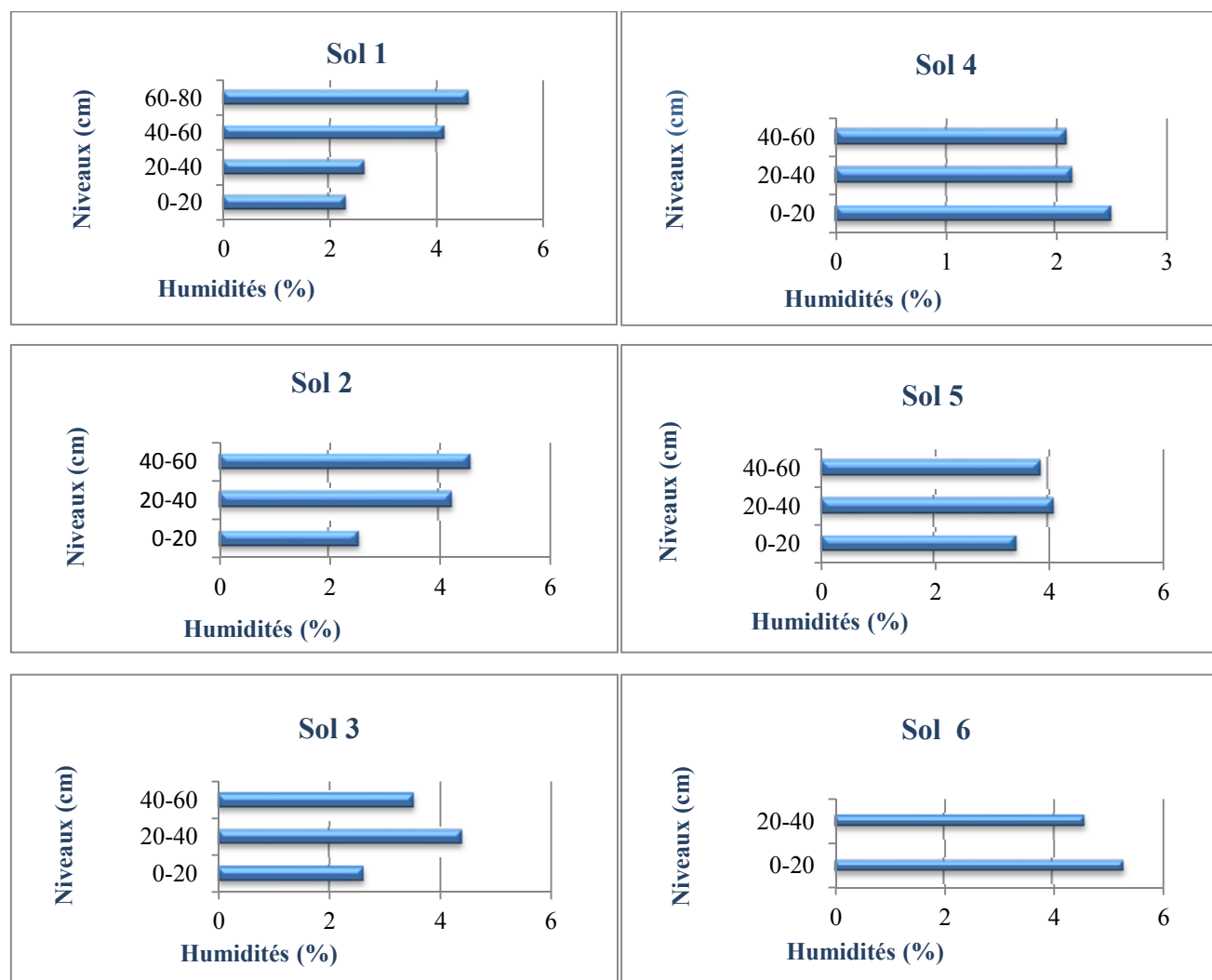


Figure 81. Humidités hygroscopiques des différents niveaux des profils 1,2, 3,4,5 et 6, dayate Saadi, Hassi Delâa.

La totalité des échantillons ont une capacité de rétention supérieure à 30%, la plus élevée atteint 45.16% dans le niveau (20-40 cm) de texture limoneuse fine du sol 2, tandis que la plus basse diminue jusqu'à 36.24% dans le sol 4 (40-60 cm), de texture limono-sableuse. Nous percevons que la rétention de l'eau par le sol est grande quand la texture est fine à très fine, la capacité de rétention du sol diminue en conséquent quand la texture est moyennement fine.

La figure 82 illustre la distribution des capacités de rétention des niveaux de chaque profil étudié. Nous observons une variation dans la répartition de la capacité de rétention entre les niveaux des sols étudiés. Parfois elle évolue progressivement de la surface vers la profondeur, et inversement, elle peut régresser en allant en profondeur.

6.2.2. Dayate Aïat, Timzerth

6.2.2.1. Humidité Hygroscopique

Les résultats des humidités hygroscopiques des sols de dayate Aïat sont reportés dans le tableau 46.

Du tableau 46, nous constatons que près de 50% de nos sols ont présenté des humidités hygroscopiques inférieures à 1%, les 50% qui restent n'ont pas dépassé 2.38%, enregistré comme étant le taux le plus élevé dans le sol 5 (40-60 cm), de texture limoneuse. Le plus faible taux (0.53%) est celui du sol 1 (20-40 cm), qui est de texture sablo-limoneuse. Pour le reste des niveaux étudiés, l'humidité hygroscopique augmente relativement quand la texture est plutôt fine, et diminue brutalement quand cette dernière devient moyenne.

L'analyse de la figure 83 montre que les humidités hygroscopiques des sols de dayate Aïat se répartissent différemment dans les niveaux des profils étudiés. Parfois l'évolution des indices d'humidité hygroscopique est progressive de la surface jusqu'à la profondeur, ceci est le cas pour le quatrième et le cinquième sol.

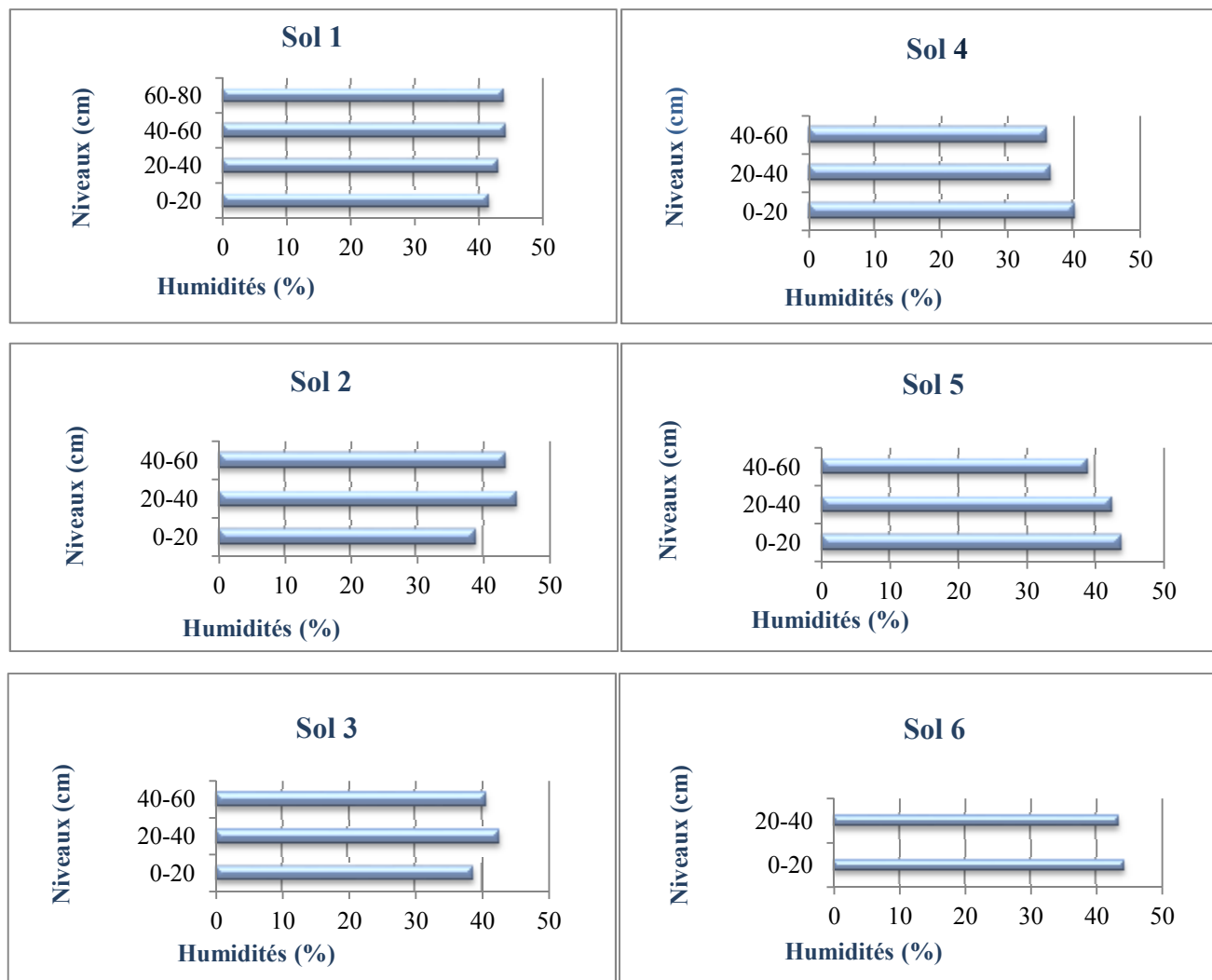


Figure 82. Capacités de rétention des différents niveaux de dayate Saadi, Hassi Delâa.

Tableau 46. Humidité hygroscopique (H.H) et texture correspondante des sols sous pistachier de dayate Aïat, Timzerth.

Sol	Niveaux (cm)	H.H	Texture/Niveau
Sol 1	0-20	0,66	Sablo-limoneuse
	20-40	0,53	Sablo-limoneuse
	40-60	0,74	Sablo-limoneuse
Sol 2	0-20	2,21	Limono-sableuse
	20-40	1,82	Limono-sableuse
Sol 3	0-20	0,97	Sablo-limoneuse
	20-40	0,68	Sablo-limoneuse
Sol 4	0-20	0,71	Sablo-limoneuse
	20-40	0,72	Sablo-limoneuse
	40-60	0,98	Sablo-limoneuse
	60-80	1,67	Limono-sableuse
Sol 5	0-20	1,63	Limono-sableuse
	20-40	2,17	Limoneuse
	40-60	2,38	Limoneuse
Sol 6	0-20	0,92	Limono-sableuse
	20-40	2,33	Limoneuse
	40-60	1,53	Limono-sableuse

Quelquefois les humidités se distribuent selon un gradient de profondeur, ce qui est le cas pour le troisième et le quatrième sol. Pour le sixième sol, les humidités se répartissent inégalement le long des niveaux de sol, elles augmentent du premier niveau au deuxième pour diminuer par la suite dans le dernier niveau. Quant au premier profil, les humidités hygroscopiques des niveaux superficiel et profond sont égales, le niveau moyen a enregistré le plus faible taux.

6.2.2.2. Capacité de rétention

Les résultats obtenus pour la capacité de rétention sont reportés dans le tableau 21.

La capacité de rétention de l'ensemble des échantillons dépasse 25%. Nous avons enregistré la plus importante valeur (39,52%) dans le sol 2 (0-20 cm) à texture limono-sableuse, la plus basse (27,33%) a été relevée dans le sol 1 (40-60 cm), de texture sablo-limoneuse.

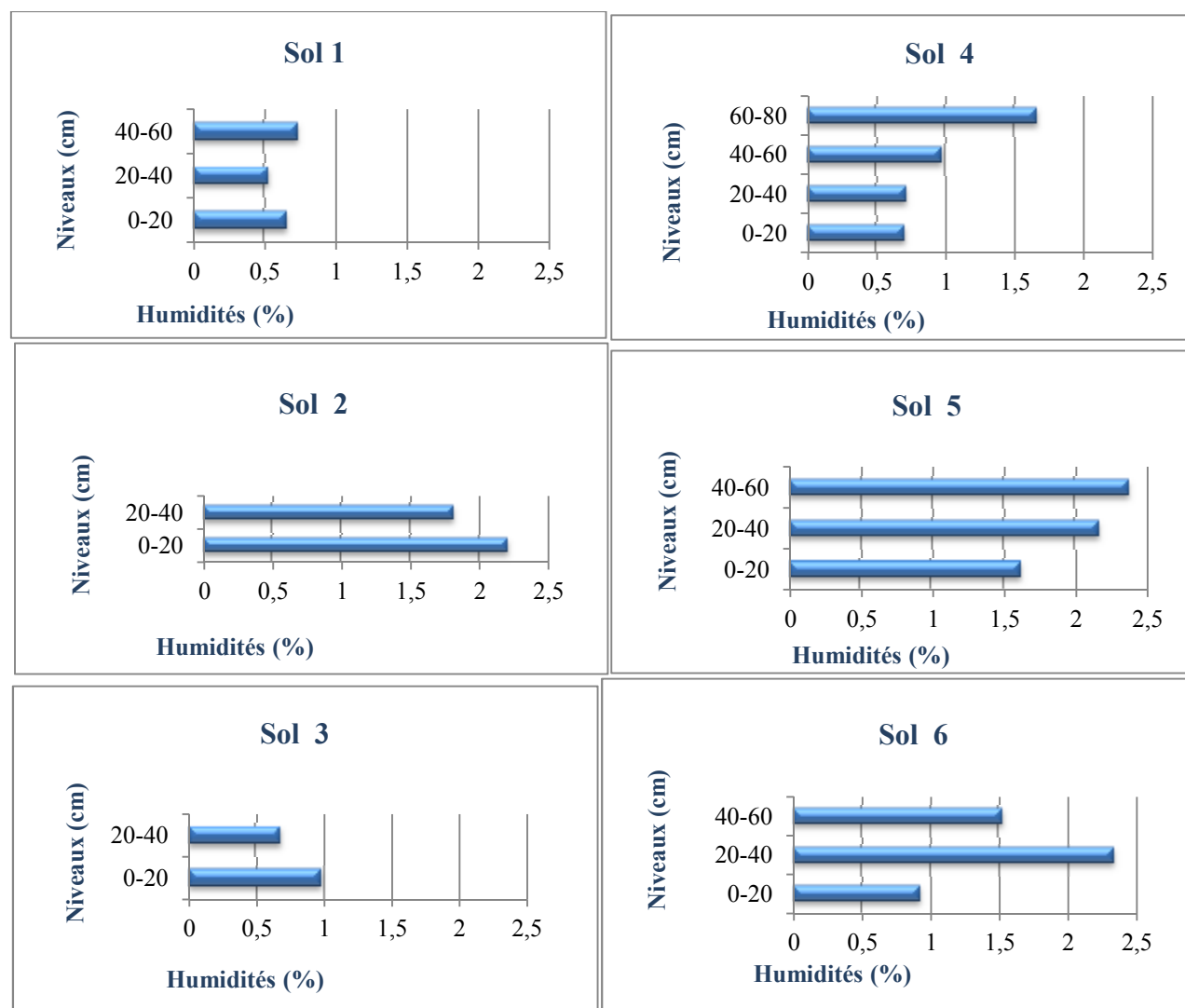


Figure 83. Humidités hygroscopiques des différents niveaux des profils de dayate Aïat, Timzerth.

Tableau 47. Capacité de rétention (CR) et texture correspondante des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate Aïat, Timzerth

Sol	Niveaux (cm)	CR	Texture/Niveau
Sol 1	0-20	30,14	Sablo-limoneuse
	20-40	28,53	Sablo-limoneuse
	40-60	27,33	Sablo-limoneuse
Sol 2	0-20	39,52	Limono-sableuse
	20-40	38,62	Limono-sableuse
Sol 3	0-20	31,54	Sablo-limoneuse
	20-40	30,23	Sablo-limoneuse
Sol 4	0-20	34,96	Sablo-limoneuse
	20-40	34,81	Sablo-limoneuse
	40-60	35,35	Sablo-limoneuse
	60-80	37,19	Limono-sableuse
Sol 5	0-20	34,62	Limono-sableuse
	20-40	34,69	Limoneuse
	40-60	37,02	Limoneuse
Sol 6	0-20	31,6	Limono-sableuse
	20-40	36,34	Limoneuse
	40-60	33,46	Limono-sableuse

La figure 84 illustre la distribution des humidités dans les niveaux de chaque sol de dayate Aïat. La capacité de rétention du premier, second et troisième sol diminue graduellement de la surface vers la profondeur. Par contre, dans le quatrième et le cinquième sol, elle augmente progressivement du niveau le plus superficiel au niveau le plus profond. La capacité de rétention du sixième sol n'est pas homogène et ne suit pas un gradient de profondeur, le niveau moyen présente la valeur la plus élevée, quant aux niveaux superficiel et profond, ils présentent des valeurs moindres, mais très proches.

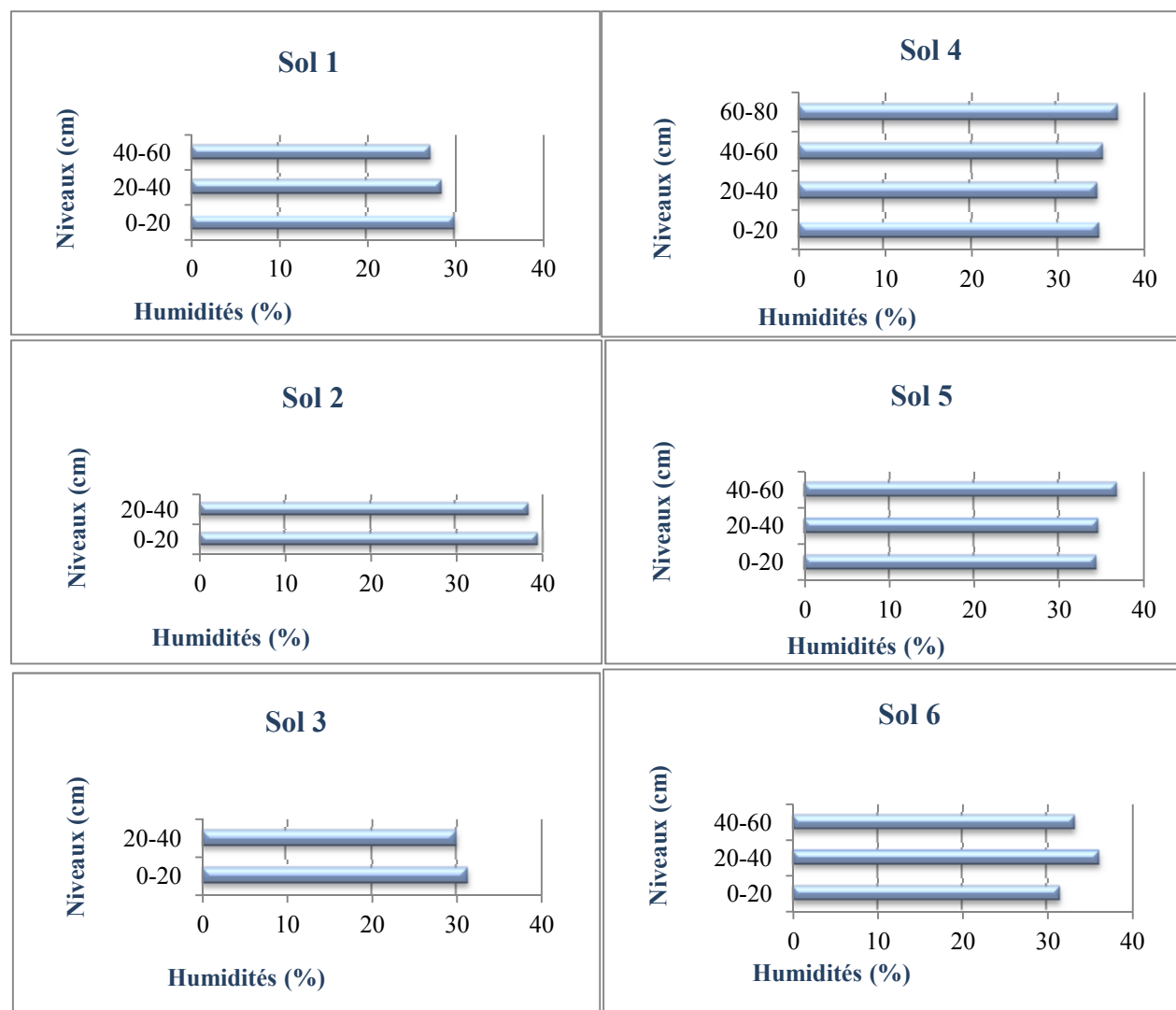


Figure 84. Capacités de rétention des différents niveaux des profils de dayate Aïat, Timzerth.

6.2.3. Discussion des paramètres hydriques

6.2.3.1. Humidité hygroscopique

Pour les deux dayas étudiées, nous avons calculé les moyennes des humidités hygroscopiques par sol comme le montrent les tableaux 48 et 49.

Tableau 48. Moyennes des humidités hygroscopiques (H.H) et textures correspondantes des profils de dayate Saadi, Hassi Delâa.

Dayate Saadi, Hassi Delâa	Sol 1	Sol 2	Sol 3	Sol 4	Sol 5	Sol 6
Humidité hygroscopique (H.H)	3,45	3,8	3,53	2,25	3,81	4,93
Texture	Limoneuse	Limoneuse fine	Limoneuse	Limono- sableuse	Limoneuse fine	Limoneuse fine

Le profil 6 est de texture limoneuse fine et montre le taux d'humidité le plus important (4.93%). Le profil 4 montre l'humidité hygroscopique la plus faible (2.25%), car la texture est moyennement fine. Le reste des profils présentent des humidités hygroscopiques proches du taux maximal, puisqu'ils ont une texture fine.

Tableau 49. Moyennes des humidités hygroscopiques (H.H) et textures correspondantes des profils de dayate Aïat, Timzerth.

Dayate Aïat, Timzerth	Sol 1	Sol 2	Sol 3	Sol 4	Sol 5	Sol 6
Humidité hygroscopique (H.H)	0,65	2,02	0,83	1,023	2,06	1,6
Texture	Sablo- limoneuse	Limono- sableuse	Sablo- limoneuse	Sablo- limoneuse	Limono- sableuse	Limono- sableuse

Les sols de dayate Aïat montrent des humidités hygroscopiques faibles comparé à celles obtenues à dayate Saadi, les moins élevées sont celles des sols 1 et 3 (respectivement 0.65% et 0.83%) qui ont des textures moyennement fines, les plus élevées ont été enregistrés pour les sols 5 et 2 de texture fine (respectivement 2,06% et 2,02%).

Le tableau 50 illustre les intervalles des humidités hygroscopiques des sols sous-jacents de différentes populations de pistachier de l'Atlas, dans différentes régions,

précédemment étudiées au laboratoire « Ressources naturelles » selon un gradient d'aridité croissant.

Tableau 50. Intervalles des humidités hygroscopiques des sols sous pistachier de l'Atlas des travaux précédents.

Gradient d'aridité croissant ➔							
Zone étudiée	Oued Besbès (W.Médeas) (Tahrour, 2005)	El Mergueb (W.M'sila) (Limane, 2009)	Boucédraia (W Djelfa) (Bentaleb, 2011)	Timzerth (W.Laghout) (Chebieb, 2008)	Timzerth (W.Laghout) (Amroun, 2013)	Tilrhemt (W.Laghout) (Kebci, 2008)	Béni Ounif (W.Béchar) (Ait Slimane, 2004)
Humidité hygroscopique (H.H)	0,10–9,53	0.55–3.31	2.03–3.99	0.67–2,83	0.59–1.36	1,21–4,93	0,70–2,67

Comparés à ces sols, les sols de dayate Saadi présentent des taux d'humidité hygroscopiques (variant de 2,25% à 4,93%) proches de ceux de Tilrhemt (Laghout) et de Boucédraia (Djelfa). Les humidités des sols de dayate Aïat à Timzerth (variant de 0,65% à 2,06%) se rapprochent de celles de Béni Ounif (Béchar) et celles des sols de la même daya échantillonnés par Chebieb (2008). Par contre, les humidités obtenues par Amroun (2013) dans cette daya de Timzerth sont différents de nos résultats. Nous rappelons que nous n'avons pas échantillonné sous les mêmes pieds que ces auteurs. Etant donné la diversité des sols des dayas, le contraste est probable.

6.2.3.2. Capacité de rétention

Nous avons calculé les moyennes par sol pour les deux dayas d'étude. Les tableaux 51 et 52 résument les résultats obtenus.

Tableau 51. Moyennes des capacités de rétention (CR) et textures correspondantes des profils de dayate Saadi, Hassi Delâa.

Dayate Saadi, Hassi Delâa	Sol 1	Sol 2	Sol 3	Sol 4	Sol 5	Sol 6
Capacité de rétention (CR%)	43,31	42,62	40,84	37,84	41,81	44
Texture	Limoneuse	Limoneuse fine	Limoneuse	Limono- sableuse	Limoneuse fine	Limoneuse fine

La daya de Saadi dans la région de Hassi Delâa (Tableau 51), les capacités de rétention de tous les sols dépassent les 40%, sauf celle du sol 4 qui est de texture limono-sableuse et qui montre la valeur la plus basse (37,84%). Quant à la valeur maximale, elle a été relevée dans le sol 6 (44%), à texture limoneuse fine.

Les moyennes calculées par profil effectué à dayate Aïat sont reprises dans le tableau 52.

Tableau 52. Moyennes des capacités de rétention (CR) et textures correspondantes des profils de dayate Aïat, Timzerth.

Dayate Aiat, Timzerth	Sol 1	Sol 2	Sol 3	Sol 4	Sol 5	Sol 6
Capacité de rétention (CR%)	28,66	39,07	30,88	35,57	35,44	33,8
Texture	Sablo-limoneuse	Limono-sableuse	Sablo-limoneuse	Sablo-limoneuse	Limono-sableuse	Limono-sableuse

Mis à part le sol 1 qui montre une capacité de rétention de 28,66%, les six profils de dayate Aïat dépassent les 30% de capacité de rétention. La plus importante a été enregistrée au niveau du sol 2 de texture limono-sableuse. Il est à noter les capacités de rétention des sols échantillonnés diffèrent légèrement selon la texture de chaque sol.

6.2.3.3. Discussion

D'après les humidités hygroscopiques et les capacités de rétention des sols étudiés et leurs textures correspondantes, nous avons établi une synthèse sur les valeurs d'humidités obtenues par différents auteurs (Tableau 53) afin de situer nos résultats.

Tableau 53. Humidités des sols en fonction de la texture d'après quelques auteurs.

Texture	Auteur	Humidité hygroscopique	Capacité de rétention
Limoneuse fine	Deguiche (2008) et Chebieb (2008)	0,9 à 2,83	25,87 à 30,25
	Limane (2009)	3,31	28,68
	Bentaleb (2011) et Haboul (2011)	2,98 à 3,78	28,35 à 41,83
Limoneuse	Callot et <i>al.</i> (1982)	/	20,5
	Soltner (1982)	/	23,5
	Gobat et <i>al.</i> (1998)	/	23
	Meyer et <i>al.</i> (2005)	/	29
	Deguiche (2008) et Chebieb (2008)	1,43	28,97
Limono-sableuse	Gobat et <i>al.</i> (1998)	/	> 17,25
	Meyer et <i>al.</i> (2005)	/	>16
	Deguiche (2008) et Chebieb (2008)	0,89	31,18
	Limane (2009)	1,15	25,35
	Bentaleb (2011) et Haboul (2011)	2,03 à 2,93	25,13 à 30,03
	Limane et <i>al.</i> (2014b)	/	27,74
Sablo-limoneuse	Gobat et <i>al.</i> (1998)	/	<17,25
	Meyer et <i>al.</i> (2005)	/	<16
	Deguiche (2008) et Chebieb (2008)	1,06	26,39
	Limane (2009)	1,06	24,88
	Limane et <i>al.</i> (2014b)	/	24,59

Les moyennes des différentes humidités pour chaque type de texture des sols étudiés sont portées sur le tableau suivant.

Tableau 54. Moyennes des humidités obtenues pour chaque texture de sol étudié.

Stations	Texture	Humidité hygroscopique	Capacité de rétention
Dayate Saadi, Hassi Delaa	Limoneuse fine	3,8 à 4,93	41,81 à 44
	Limoneuse	3,45 à 3,53	40,84 à 43,31
	Limono-sableuse	2,25	37,84
Dayate Aiat, Timzerth	Limono-sableuse	1,6 à 2,06	33,8 à 39,07
	Sablo-limoneuse	0,65 à 1,02	28,66 à 35,57

Comparés aux valeurs données par les différents auteurs cités précédemment, nous constatons que :

- pour les textures limoneuse à limoneuse fine, nos résultats sont différents des humidités données par les auteurs précités ;
- les textures limono-sableuses obtenues dans les deux stations d'étude correspondent à des humidités hygroscopiques très proches de celles données par Limane (2009), Haboul (2011) et Bentaleb (2011), les humidités à la capacité de rétention du sol sont semblables à celles de Gobat *et al.* (1982) et Meyer *et al.* (2005). Limane (2009) pour la même texture a indiqué des humidités différentes ; cet auteur a aussi échantillonné dans une zone aride ;
- les textures sablo-limoneuses de nos sols ont présenté des humidités hygroscopiques très proches de celles obtenues par Deguiche (2008), Chebieb (2008) et Limane (2009), tandis que les capacités de rétention données par ces auteurs sont d'ordre inférieur à nos résultats.

Le tableau 55 reporte les résultats de mesure de la capacité de rétention des sols sous-pistachier de l'Atlas répartis dans différentes régions d'Algérie effectués dans le laboratoire « Ressources Naturelles », organisés selon un gradient d'aridité croissant.

Tableau 55. Capacités de rétention des sols sous pistachier de l'Atlas des travaux précédents.

Gradient d'aridité croissant →						
Zone étudiée	Oued Besbès (W.Médeà) (Tahrour, 2005)	Boucédraia (W.Djelfa) (Haboul, 2011)	El Mergueb (W.M'sila) (Limane, 2009)	Timzerth (W.Laghouat) (Chebieb, 2008)	Tilrhemt (W.Laghouat) (Kebci, 2008)	Béni Ounif (W.Béchar) (Ait Slimane, 2004)
Capacité de rétention (CR)	32-69	25,13-41,84	23,8-28,42	22,3-33,19	17,27-27,75	13-28,4

D'après le tableau ci-dessus, nous constatons une diminution graduelle et apparente de la capacité de rétention des sols déjà étudiés suivant le gradient d'aridité. Nous avons situé les capacités de rétention des sols de dayate Saadi (variant de 37,84% à 44,00%) entre ceux de Oued Besbès (Médéa) et ceux de Boucédraia (Djelfa). Par contre, les sols de dayate Aïat (variant de 28,66% à 39,07%) ont montré des capacités de rétention se rapprochant de celles obtenues à El Mergueb (M'sila) et au niveau de la même daya de Timzerth (Laghouat) par Chebieb (2008).

Le contraste entre les propriétés physiques des sols de la daya de Hassi Delaâ et celle de Timzerth d'une part, ainsi que les travaux faits par l'équipe du laboratoire « Ressources

Naturelles » dans des régions arides du pays met l'accent sur la diversité des sols des dayas évoquée par Pouget (1980). Ce même auteur affirme que ces sols sont dotés d'une faible perméabilité offerte par leur texture moyenne à fine, qui permet l'infiltration lente à travers le profil des eaux de ruissellement reçues, favorisant ainsi une stagnation plus ou moins prolongée de l'eau et son évaporation en surface.

Noy Meir (1973) souligne que le principal facteur limitant de la production de l'écosystème est le sol, car il agit comme réservoir temporaire de l'eau infiltrée, et comme un régulateur contrôlant la répartition des différents flux d'eau : ruissellement, drainage, évaporation et transpiration. En effet, les variations des régimes hydriques des sols sont liés aux régimes de précipitations annuelles, qui pour le végétal sont le plus souvent contraignantes ; d'autres sont liées à l'utilisation des ressources en sols et en eau par l'homme, plus spécialement, l'agriculture basée sur la collecte de l'eau et l'irrigation (Floret et Pontanier, 1982). Les sols de nos stations d'étude sont caractérisés par des précipitations fluctuantes et une activité anthropozoïque élevée ; les dayas forment des bas-fonds qui servent de milieu convenable à l'agriculture pluviale.

6.3. pH eau du sol

Les résultats des mesures de pH sont comparés selon les normes d'appréciation du sol qui figurent sur le tableau 56.

Tableau 56. Normes d'appréciation du pH du sol (Baize, 2000).

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

6.3.1. Dayate Saadi, Hassi Delâa

Le tableau 57 comporte les résultats de la mesure de pH des sols étudiés à dayate Saadi. Nous constatons que l'écart entre les valeurs de pH obtenues est très réduit, l'ensemble

des échantillons présentent selon Baize (2000) des pH neutres à basiques compris entre 7,45 et 8,09.

Tableau 57. pH des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate Saadi, Hassi Delâa.

Sol	Niveaux (cm)	pH
Sol 1	0-20	7,48
	20-40	7,52
	40-60	7,62
	60-80	7,64
Sol 2	0-20	7,47
	20-40	7,63
	40-60	7,69
Sol 3	0-20	7,46
	20-40	7,67
	40-60	7,51
Sol 4	0-20	7,45
	20-40	7,59
	40-60	7,57
Sol 5	0-20	7,9
	20-40	8,08
	40-60	8,09
Sol 6	0-20	7,71
	20-40	7,68

Le pH le plus élevé a été enregistré au niveau du sol 5 (40-60 cm), le pH le plus bas a été relevé pour le sol 4 (0-20 cm).

6.3.2. Dayate Aïat, Timzerth

Le tableau 58 comporte les résultats de pH des sols de dayate Aïat. De ce tableau, il ressort que tous les échantillons sont à pH basique selon Baize (2000), les valeurs sont comprises entre 7,52 et 8,01. Le pH le plus élevé a été enregistré au niveau du sol 5 (20-40 cm), le pH le plus bas a été observé au niveau du sol 3 (0-20 cm).

Tableau 58. pH des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate Aïat, Timzerth.

Sol	Niveaux (cm)	pH
Sol 1	0-20	7,70
	20-40	7,99
	40-60	7,95
Sol 2	0-20	7,56
	20-40	7,87
Sol 3	0-20	7,52
	20-40	7,63
Sol 4	0-20	7,67
	20-40	7,60
	40-60	7,72
	60-80	7,73
Sol 5	0-20	7,72
	20-40	8,01
	40-60	7,92
Sol 6	0-20	7,55
	20-40	7,74
	40-60	7,67

6.3.3. Discussion

Les tableaux 59 et 60 reportent les moyennes de pH de chaque sol à dayate Saadi et à dayate Aïat.

Tableau 59. Moyennes des pH des sols de dayate Saadi, Hassi Delâa.

Sols	Sol 1	Sol 2	Sol 3	Sol 4	Sol 5	Sol 6
pH	7,56	7,59	7,54	7,53	8,02	7,69
Type	Basique					

En moyenne, tous les sols sont basiques, l'écart entre les valeurs est très réduit.

Tableau 60. Moyennes des pH des sols de dayate Aïat, Timzerth.

Sols	Sol 1	Sol 2	Sol 3	Sol 4	Sol 5	Sol 6
pH	7,88	7,71	7,57	7,68	7,88	7,65
Type	Basique					

Chapitre 4. Sol sous-pistachier de l'Atlas

Globalement, les sols de dayate Aïat sont basiques, le profil 3 est le moins basique, les profils 1 et 5 sont les plus basiques de tous les profils.

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 par le tableau 61.

Tableau 61. Intervalles de pH des sols sous pistachier de l'Atlas des travaux précédents.

Gradient d'aridité croissant 							
Populations étudiées	Oued Besbès (Médea) (Tahrour, 2005)	El Mergueb (M'sila) (Limane, 2009)	Boucédraïa (Djelfa) (Bentaleb, 2011)	Timzerth (Laghouat) (Deguiche, 2008)	Timzerth (Laghouat) (Amroun, 2013)	Tilrhemt (Laghouat) (Ziamni, en cours)	Tilrhemt (Laghouat) (Bounceur, 2009)
Intervalle de pH	7,26 - 7,90	7.71–8.11	7.39–8.4	8,07 - 8,51	7.27–8.66	7,85 - 8,40	7.81–25.31

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

6.4. Calcaire total

Afin de caractériser les sols étudiés, ils sont classés d'après les normes d'appréciation citées dans le tableau 62.

Tableau 62. Normes d'appréciation du calcaire total du sol (Baize, 2000).

CaCO ₃ 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

6.4.1. Dayate Saadi, Hassi Delâa

Les résultats obtenus sont portés dans le tableau 63.

Tableau 63. Taux de calcaire total (CaCO_3) et pH des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate Saadi, Hassi Delâa.

Sol	Niveaux (cm)	CaCO_3 total (%)	pH
Sol 1	0-20	31,56	7,48
	20-40	11,24	7,52
	40-60	32,81	7,62
	60-80	15,62	7,64
Sol 2	0-20	10,00	7,47
	20-40	09,37	7,63
	40-60	11,87	7,69
Sol 3	0-20	11,56	7,46
	20-40	13,12	7,67
	40-60	12,5	7,51
Sol 4	0-20	10,62	7,45
	20-40	10,00	7,59
	40-60	28,12	7,57
Sol 5	0-20	13,43	7,90
	20-40	12,81	8,08
	40-60	14,68	8,09
Sol 6	0-20	13,44	7,71
	20-40	17,81	7,68

Excepté les niveaux 0-20 cm et 40-60 cm du premier sol, et le niveau 40-60 cm du quatrième profil qui sont fortement calcaires (ils présentent respectivement des taux de CaCO_3 total équivalents à 31,56%, 32,81% et 28,12%), l'ensemble des échantillons est modérément calcaire, leurs taux de calcaire total varient entre 09,37% et 32,81%.

6.4.2. Dayate Aïat, Timzerth

Les résultats de notre analyse sont reportés dans le tableau 64.

Tableau 64. Taux de calcaire total (CaCO_3) et pH des sols sous pistachier de dayate Aïat, Timzerth.

Sol	Niveaux (cm)	CaCO_3 total (%)	pH
Sol 1	0-20	10,00	7,70
	20-40	10,00	7,99
	40-60	08,75	7,95
Sol 2	0-20	15,00	7,56
	20-40	12,5	7,87
Sol 3	0-20	13,75	7,52
	20-40	11,25	7,63
Sol 4	0-20	11,25	7,67
	20-40	10,00	7,60
	40-60	11,25	7,72
	60-80	12,5	7,73
Sol 5	0-20	11,25	7,72
	20-40	15,00	8,01
	40-60	13,75	7,92
Sol 6	0-20	10,00	7,55
	20-40	16,25	7,74
	40-60	11,25	7,67

Tous les échantillons de sols de dayate Aïat analysés sont modérément calcaires, leurs teneurs varient de 8,75% à 16,25%.

6.4.3. Discussion

Les moyennes des taux de calcaire total par sol pour les deux dayas étudiées sont répertoriées dans les tableaux 65 et 66 avec leur pH respectifs

Tableau 65. Moyennes des taux de calcaire total et pH des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate Saadi, Hassi Delâa.

Sols	Sol 1	Sol 2	Sol 3	Sol 4	Sol 5	Sol 6
CaCO_3 total (%)	22,8	10,41	12,39	16,24	13,64	15,62
pH	7,56	7,59	7,54	7,53	8,02	7,69
Type	Sols modérément calcaires					

Chapitre 4. Sol sous-pistachier de l'Atlas

Le tableau ci-dessus montre que tous les profils de dayate Saadi sont modérément calcaires, leurs taux respectifs se situent entre 10% et 25%. Ces taux de calcaire total ne sont pas corrélés à des pH élevés, à titre d'exemple nous prenons le sol 1 qui présente la valeur de calcaire la plus importante (22,80 %), il présente un pH de 7,56, et le sol 4 qui montre le pH le plus faible (7,53) avec un taux de calcaire équivalent à 16,24 %.

Tableau 66. Moyennes des taux de calcaire total et pH des sols sous-pistachier de dayate Aïat, Timzerth.

Sols	Sol 1	Sol 2	Sol 3	Sol 4	Sol 5	Sol 6
CaCO ₃ total (%)	9,58	13,75	12,5	11,25	13,33	12,5
pH	7,88	7,71	7,57	7,68	7,88	7,65
Type	Sols modérément calcaires					

Les sols de dayate Aïat sont modérément calcaires, le taux de calcaire total qu'ils contiennent varie de 9.58% à 13.75%. Semblablement aux sols de dayate Saadi, les sols de cette station présentent des taux de calcaire non corrélés aux pH obtenus, le sol 1 qui montre le taux le plus bas (9,58 %) dans cette daya indique le pH le plus élevé (7,88), le sol 5 montre aussi le pH le plus élevé (7,88) avec un taux de calcaire correspondant de 13,33 %, valeur proche de la valeur maximale (13,75 %) enregistrée pour le sol 2, qui est aussi non corrélée au pH de ce sol.

Pouget (1980) caractérise les sols des dayas par leur faible teneur en calcaire (<10-20%), ce qui correspond aux résultats obtenus pour les sols analysés à dayate Saadi et à dayate Aïat. Cet auteur note parfois que le sol dans ces cuvettes pourrait être complètement lessivé (décarbonaté).

Nos résultats pour les deux dayas concordent aussi à ceux de Halitim (1988), qui, en analysant des échantillons de sols des régions arides d'Algérie ne montre aucune corrélation entre les valeurs de pH et le taux de calcaire de ces sols. Limane (2009) dans son étude aboutit à la même déduction pour le pH et le calcaire, même en y ajoutant le taux de matière organique, cet auteur a trouvé une corrélation non significative ($R = 0,05$) après avoir appliqué le test de corrélation de Pearson à ses résultats. Dans le sud-ouest de Madagascar (les environs de Tuléar), Rabesandratana (1997) est arrivé à la même conclusion sur les sols étudiés, l'auteur a trouvé des taux de calcaire supérieurs à 35 % correspondant à des pH proches de la neutralité, il donne l'explication suivante : les excréments racinaires acides

contribuaient à l'abaissement du pH. Pouget (1980) témoigne que l'évolution très lente du sol en région aride résulte de plusieurs facteurs de pédogenèse anciens et actuels, qui s'avèrent utiles pour mieux situer les processus actuels d'évolution. Il cite la nature de la roche-mère et le climat comme facteurs essentiels à l'évolution des sols en zone aride, ainsi que la topographie qu'il considère comme étant un facteur influençant indirect, car elle régit le régime hydrique de ce dernier qui conditionne avec la roche mère, la distribution des éléments minéraux et la distribution de la végétation. La végétation selon cet auteur est un facteur pesant sur la pédogenèse, et donc sur les propriétés physico-chimiques du sol. Dambrine (2001) affirme que le pH est le résultat d'une pédogenèse très lente commandée par trois processus majeurs : l'activité biologique du sol qui pourrait l'acidifier, l'altération de la roche-mère qui conduit à l'alcalinisation du sol, et le lessivage qui draine ou pas ces éléments acides ou alcalins en fonction du régime hydrique (précipitations et évapotranspiration).

En régions arides, rencontrer des sols alcalins semble plus qu'habituel. La diversité des sols de ces zones ne cache pas l'extension considérable des sols à croûte et/ou encroûtement, tout particulièrement dans les Hautes Plaines steppiques en Algérie. Que ce soit le substratum géologique ou les dépôts secondaires alluvionnaires, colluvionnaires ou éoliens, la quasi-totalité des matériaux sur lesquels se sont formés et évoluent les sols des zones arides, se caractérisent 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 caractères peuvent être certes limitatifs de la différenciation pédologique en les combinant avec le climat devenu insuffisamment humide, mais ils peuvent être responsables de certains déterminismes écologiques (Pouget, 1980).

Le tableau 67 illustre les intervalles de calcaire total des sols sous pistachier étudiés précédemment selon un gradient d'aridité croissant.

Tableau 67. Taux de calcaire total des sols sous pistachier de l'Atlas des travaux précédents.

Gradient d'aridité croissant ➔							
Populations Etudiées	Oued Besbès (Médea) (Ziamni, en cours)	El Mergueb (M'sila) (Limane, 2009)	Boucédraia (Djelfa) Bentaleb, 2011)	Timzerth (Laghouat) (Deguiche, 2008)	Timzerth (Laghouat) (Amroun, 2013)	Tilrhemt (Laghouat) (Ziamni, en cours)	Tilrhemt (Laghouat) (Bounceur, 2009)
Intervalle de CaCO ₃ total	1,25 – 21,5	5,52–81.25	2,53–13,56	5,62–51,87	19,37–23,27	8,75 – 29,38	7,81–25,31

De ce tableau, il ressort que les sols de dayate Tilrhemt (Laghouat) étudiés par Bounceur (2009) présentent des teneurs en calcaire total proches de celles de nos sols à dayate Saadi dans la région de Hassi Delâa et à dayate Aïat dans la région de Timzerth. Les teneurs obtenus par Deguiche (2008) et Amroun (2013) semblent plus importantes que celles que nous avons obtenus dans les sols de la même daya, ceci pourrait être dû à plusieurs facteurs. Parmi les plus importants, nous pouvons citer le régime de précipitations qui a augmenté de l'année 2008 jusqu'à l'année courante (ONM). Durant cette période, la région de Laghouat a connu une élévation dans le régime des pluies qui a engendré peut être le lessivage du calcaire contenu dans les sols à dayate Timzerth, même si nous n'avons pas échantillonné sous les mêmes pieds de pistachier de l'Atlas que ces deux auteurs à dayate Timzerth. Nous citons aussi l'effet des labours qui peut induire la répartition du calcaire dans le profil du sol et changer par la suite la teneur des niveaux superficiels.

Le phénomène de lessivage du calcaire est une caractéristique essentielle des sols des zones arides selon Aubert (1960), Ruellan (1966), Pouget (1980) et Rognon (1994b). Ces auteurs insistent sur le fait que le climat joue sur le lessivage vertical du calcaire certes, mais le phénomène reste très limité. Le calcaire mal drainé dans le profil pédologique favorise la formation des croûtes calcaires. En réalité, c'est le microrelief qui régit la puissance de ces accumulations. Tout semble dépendre de la quantité d'eau chargée en carbonates qui arrive, de la vitesse à laquelle cette eau peut circuler, et de la vitesse à laquelle elle peut s'évaporer. Les accumulations calcaires semblent donc être le résultat d'un apport latéral de calcaire et non pas d'un lessivage vertical (Ruellan, 1966). Pondérer cela aux dayas, petites cuvettes endoréiques recevant les alluvions et les colluvions de la steppe, nous pouvons constater que

la dénivellation pourrait être un facteur déterminant dans la distribution des particules transportées par les eaux de ruissellement.

D'après cette analyse, il en ressort que le pistachier de l'Atlas tolère différentes teneurs en calcaire. Ceci témoigne de la grande adaptabilité de cette essence à cet élément caractéristique des zones arides, justifie son triomphe le long d'un gradient d'aridité croissant du subhumide jusqu'à la limite du Sahara et le qualifie d'espèce calcicole.

6.5. Matière organique

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

Tableau 68. Normes d'appréciation de la matière organique de sol (Soltner, 1982).

MO%	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

6.5.1. Dayate Saadi, Hassi Delaâ

Le tableau 69 illustre les résultats de l'analyse. Les échantillons de sols analysés à dayate Saadi ne dépassent pas les 4% de matière organique. Les proportions dans les niveaux de chaque sol sont réparties de manière hétérogène. La teneur la plus importante (3,49%) a été relevée pour le sol 6 (20-40 cm), la plus basse est de 0,63%, elle a été enregistrée pour le sol 4 (40-60 cm). Nous remarquons que les niveaux qui ont présenté les valeurs les plus élevées sont ceux du sol 5 et du sol 6 dans lesquels sont ancrés des arbres âgés. Les autres sols sont des nebkhas dont la teneur en matière organique varie d'un niveau à l'autre.

Tableau 69. Taux de carbone (C), de matière organique (M.O), de CaCO₃ total et pH des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate Saadi, Hassi Delâa.

Sol	Niveaux (cm)	C	M.O	CaCO ₃ total	pH
Sol 1	0-20	0,29	1	31,56	7,48
	20-40	0,24	0,84	11,24	7,52
	40-60	0,81	2,8	32,81	7,62
	60-80	0,5	1,72	15,62	7,64
Sol 2	0-20	0,73	2,59	10	7,47
	20-40	0,71	2,43	9,37	7,63
	40-60	0,68	2,32	11,87	7,69
Sol 3	0-20	0,64	2,22	11,56	7,46
	20-40	0,29	1,01	13,12	7,67
	40-60	0,81	2,8	12,5	7,51
Sol 4	0-20	0,32	1,11	10,62	7,45
	20-40	0,66	2,27	10	7,59
	40-60	0,18	0,63	28,12	7,57
Sol 5	0-20	0,91	3,13	13,43	7,9
	20-40	0,28	0,95	12,81	8,07
	40-60	0,63	2,11	14,68	8,09
Sol 6	0-20	0,97	3,33	13,44	7,71
	20-40	1,01	3,49	17,81	7,68

5.5.2. Dayate Aïat, Timzerth

Les résultats de dosage de la matière organique sont portés sur le tableau 70. Nos échantillons en moyenne ne dépassent pas les 3% concernant les taux de matière organique, la teneur la plus élevée (2,32%) a été enregistrée dans le sol 5 (0-20 cm), la plus réduite est de 0,21%, elle a été notée dans tous les niveaux du sol 1, et dans le niveau (0-20 cm) du sol 3, dans le niveau (20-40 cm) du sol 4 et dans le niveau (40-60 cm) du sol 5. Tous les niveaux de sol échantillonnés dans cette daya ne présentent à aucun moment un gradient d'évolution le long du profil dégagé, ceux des sols sous arbres âgés (sols 5 et 6) montrent les taux de matière organique les plus élevés, les sols 1, 2, 3 et 4 (nebkhas) présentent les teneurs les plus faibles.

Tableau 70. Taux de carbone (C), de matière organique (M.O), de CaCO₃ total et pH des sols sous pistachier de l'Atlas de dayate Aïat, Timzerth.

Sol	Niveaux (cm)	C	M.O	CaCO ₃ total	pH
Sol 1	0-20	0,06	0,21	10	7,7
	20-40	0,06	0,21	10	7,99
	40-60	0,06	0,21	8,75	7,95
Sol 2	0-20	0,28	0,95	15	7,56
	20-40	0,43	1,48	12,5	7,87
Sol 3	0-20	0,06	0,21	13,75	7,52
	20-40	0,12	0,42	11,25	7,63
Sol 4	0-20	0,12	0,69	11,25	7,67
	20-40	0,06	0,21	10	7,6
	40-60	0,12	0,69	11,25	7,72
	60-80	0,12	0,69	12,5	7,73
Sol 5	0-20	0,68	2,32	11,25	7,72
	20-40	0,18	0,63	15	8,01
	40-60	0,06	0,21	13,75	7,92
Sol 6	0-20	0,49	1,69	10	7,55
	20-40	0,44	1,53	16,25	7,74
	40-60	0,17	0,58	11,25	7,67

6.5.3. Discussion

Dans le but de comparer la teneur des profils en matière organique pour les deux stations d'étude, nous avons tracé les tableaux 71 et 72.

Tableau 71. Moyenne des taux de matière organique (MO) des profils de dayate Saadi, Hassi Delâa.

Sols	Sol 1	Sol 2	Sol 3	Sol 4	Sol 5	Sol 6
Matière organique (M.O)	1,59	2,44	2,01	1,33	2,08	3,41
Qualification	Faible	Faible	Faible	Très faible	Faible	Moyen

Les analyses des sols sous pistachier de l'Atlas de la daya de Hassi Delâa montrent des valeurs très faibles à moyennes de matière organique. Le profil 6 montre le taux le plus important en matière organique (3,14%), par contre le sol 4 parait le plus pauvre en matière organique (1,33%).

Tableau 72. Moyenne des taux de matière organique (MO) des profils de dayate Aïat, Timzerth.

Sols	Sol 1	Sol 2	Sol 3	Sol 4	Sol 5	Sol 6
Matière organique (M.O)	0,21	1,21	0,31	0,56	1,06	1,26
Qualification	Extrêmement faible	Très faible	Extrêmement faible		Très faible	

Dans l'ensemble, les sols de dayate Aïat à la région de Timzerth sont extrêmement faibles à très faibles en matière organique. Le profil 6 montre la valeur la plus élevée en matière organique (1,26%), tandis que le profil 1 indique le taux le plus faible (0,21%).

Le tableau 73 illustre les intervalles de matière organique des sols sous pistachier de l'Atlas déjà étudiés, suivant un gradient d'aridité en Algérie.

De ce tableau, nous constatons une variabilité dans les teneurs en matière organique selon les stations. Notre première station d'étude (dayate Saadi, Hassi Delaâ) a montré des taux de matière organique considérables, ils se rapprochent de ceux obtenus à Oued Besbès (Médéa) (Ziamni, en cours), El Mergueb (M'sila) (Limane, 2009) et Boucédraia (Djelfa) (Bentaleb, 2011). Ces stations se situent plus au nord par rapport à la région de Laghouat. Cependant, les sols de notre deuxième station d'étude (dayate Aïat, Timzerth) montrent des taux se rapprochant de ceux obtenus à Tirlhemt (Laghouat) (Bounceur, 2009 ; Ziamni, en cours). Ils sont très faibles comparés aux taux obtenus par Deguiche (2008) et Amroun (2013) dans cette même daya. Ceci pourrait tout d'abord s'expliquer par le fait que nous n'avons pas travaillé sur les mêmes sujets que ces auteurs. Nous pouvons expliquer aussi cette différence par les années et saisons d'échantillonnage, ainsi qu'à la densité des touffes du jujubier qui entouraient les pieds de pistachier de l'Atlas sur lesquels avait travaillé Amroun (2013). Cet auteur a trouvé des taux de matière organique équivalents à 10,26%. Nous précisons que l'auteur cité a travaillé sur des nebkhas en saison estivale (mois de juin). Ces nebkhas ou micro-dunes bénéficient spécialement des apports de litière du jujubier qui était en pleine floraison, ainsi que de la matière organique fournie par les animaux habitant ces nebkhas. Lors de nos sorties, nous avons constaté beaucoup de terriers de dimensions variables, chose constatée aussi par Limane (2009). Ces terriers semblent appartenir à des petits mammifères

Tableau 73. Taux de matière organique (M.O) des sols sous pistachiers de l'Atlas précédemment étudiés.

Gradient d'aridité croissant 							
Populations étudiées	Oued Besbès (Médéa) (Ziamni, en cours)	El Mergueb (M'sila) (Limane, 2009)	Boucédraia (Djelfa) Bentaleb, 2011)	Timzerth (Laghouat) (Deguiche, 2008)	Timzerth (Laghouat) (Amroun, 2013)	Tilrhemt (Laghouat) (Ziamni, en cours)	Tilrhemt (Laghouat) (Bounceur, 2009)
Intervalle de matière organique (M.O)	0,42 – 3,06	2,59–4,65	0,60–3,61	0,1– 2,43	3,59–10,26	0,34 – 1,45	0,49–1,21

ou à des reptiles et des scorpions retrouvés par Limane (2009) à 80 cm de profondeur. Ces animaux par leur activités et excréments enrichissent et modifient la distribution de la matière organique dans ces sols, ils aboutissent par la suite à l'évolution de ces petites accumulations sableuses en sols plus évolués, en combinaison avec l'action des alluvions et colluvions apportés par les eaux de ruissellement et l'action conjuguée du climat. Allee et *al.* (1949) attribuent à ces animaux, grâce à leurs excréments, un rôle très important dans le développement et le renouvellement d'un milieu nouveau alimentant la microflore (bactéries et champignons) et la microfaune (insectes, acariens, lombrics,...), point de départ d'un important réseau trophique du sol.

L'aridité croissante du climat fait diminuer plus ou moins régulièrement la teneur en matière organique. La végétation naturelle est indispensable à la genèse et à l'évolution des sols, elle reste pratiquement la seule source de matière organique, sa quantité et sa nature dépendent surtout des bioclimats et du type de la formation végétale. D'abord, elle est synthétisée au niveau des organes aériens. Elle est restituée au sol sous forme de litière ou par la décomposition sur place des systèmes racinaires morts en période de sécheresse (il représente 50% de la phytomasse totale), ce qui suscite son incorporation profonde dans le profil et confère à ces sols le caractère « isohumique », dont le « mull calcaire de steppe » constitue l'humus stable représentatif de la matière organique des zones arides dans la limite nord saharienne (Pouget, 1980), le processus est ainsi nommé « isohumisme ». L'isohumisme correspond à la répartition profonde, lentement décroissante d'une matière organique bien évoluée d'origine steppique. La répartition isohumique n'existe que dans les régions suffisamment humides, plus on va vers les régions arides, plus la matière organique diminue rapidement en profondeur (Ruellan, 1966). Aubert (1985) indique que ce phénomène s'aperçoit surtout sous des formations arborées xérophytiques, où la matière organique bien humifiée ne reste pas concentrée dans un horizon superficiel, elle pénètre profondément dans le sol et décroît progressivement dans le profil.

Pour nos sols analysés, la teneur en matière organique des niveaux de chaque sol étudié dans les deux dayas ne montre à aucun moment un isohumisme. Nous corrélons cela au fait que sur un ensemble de 12 sols analysés, 8 appartiennent à des nebkhas dont la pédofaune entremêle à chaque fois le profil ; les quatre autres sols pourtant se retrouvent sous des pieds adultes, le taux de matière organique de leurs niveaux ne présente pas une tendance isohumique probablement à cause du labour qui conduit à renverser les niveaux de sol.

D'après Rognon (1994b), en régions sèches, l'évolution de la matière organique peut aboutir à deux résultats opposés : un stockage prolongé dans l'humus du sol ou une volatilisation très rapide, en fonction de la production de matière végétale et des modifications des processus de formation de l'humus, sous l'effet de la sécheresse. Les alternances de saturation en eau et de dessiccation complète des profils, si caractéristiques des pédoclimats en régions sèches, favorisent la polymérisation de la matière organique, aboutissant à des humus extrêmement stables.

7. Analyse statistique

7.1. Normalité des variables édaphiques étudiées

Tester la normalité d'une distribution s'avère primordiale pour orienter une étude statistique. Pour cela nous avons calculé, de même que pour les variables de morphométrie racinaire, les deux paramètres de forme les plus classiques : le coefficient d'aplatissement et le coefficient d'asymétrie afin de conclure sur la normalité des variables édaphiques étudiées. Le tableau 74 montre l'essentiel de ce test statistique.

Du tableau ci-après, nous pouvons conclure sur la normalité de distribution des différents paramètres édaphiques dans les deux dayas, puisque les valeurs du coefficient d'aplatissement sont comprises dans l'intervalle $[-3 ; +3]$ (de -1,42 à 3,75 pour dayate Saadi ; de -1,51 à 2,93 pour dayate Aïat), et les coefficients d'asymétrie sont dans l'ensemble proches du 0. Ces caractéristiques renvoient sur le plan pratique l'existence de variabilités normales entre les sols de chaque daya étudiée, et indiquent une symétrie et un aplatissement satisfaisants.

Tableau 74. Paramètres de forme des différentes variables édaphiques étudiées

Dayate Saadi, Hassi Delâa		
Paramètres	Coefficient d'aplatissement (Kurtosis)	Coefficient d'asymétrie (Skewness)
pH	1,15	1,31
CaCO ₃ total	1,6	1,68
M.O	-1,3	-0,12
H .H	-1,42	-0,054
CR	-0,61	-0,73
A	-1,34	0,028
LF	-1,13	-0,43
LG	-0,39	-0,061
SF	-1,8	0,42
SG	3,75	2,09
Dayate Aïat, Timzerth		
Paramètres	Coefficient d'aplatissement (Kurtosis)	Coefficient d'asymétrie (Skewness)
pH	-0,89	0,49
CaCO ₃ total	-0,56	0,56
M.O	0,76	1,22
H .H	-1,51	0,39
CR	-0,70	-0,30
A	-1,49	0,37
LF	-0,71	0,76
LG	-0,89	0,37
SF	-0,84	-0,66
SG	2,93	1,41

7.2. Analyse de la variance (ANOVA)

Afin de distinguer l'existence d'une différence entre les propriétés physico-chimiques des niveaux de sols analysés pour chaque daya étudiée et entre les niveaux de sols des deux dayas, 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).

A dayate Saadi, les résultats de l'ANOVA portés sur le tableau 75 montrent une différence significative entre les niveaux de sols pour les variables humidité hygroscopique et

capacité de rétention. La différence non significative a été enregistrée pour les variables argiles, limons fins et grossiers, sables fins et grossiers, pH, calcaire totale et matière organique.

Tableau 75. Résultats de l'ANOVA appliquée sur les paramètres physico-chimiques des niveaux de sols de dayate Saadi, Hassi Delaâ.

Variables	Probabilités	Conclusion
A	P<0,30	Non significative (n.s.)
LF	P<0,40	n.s.
LG	P<0,88	n.s.
SF	P<0,60	n.s.
SG	P<0,09	n.s.
H.H	P<0,04	Significative (s.)
CR	P<0,05	s.
pH	P<0,15	n.s.
CaCO₃ total	P<0,32	n.s.
MO	P<0,23	n.s.

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

A dayate Aïat, les résultats de l'ANOVA sont illustrés par le tableau 76. Les variables limons fins et grossiers et humidité hygroscopique présentent une différence significative entre les niveaux de sols analysés. Par contre, les argiles, les sables fins et grossiers, la capacité de rétention, le pH, le calcaire total et la matière organique indiquent une différence non significative.

Tableau 76. Résultats de l'ANOVA appliquée sur les paramètres physico-chimiques des niveaux de sols de dayate Aïat, Timzerth.

Variables	Probabilités	Conclusion
A	P<0,76	Non significative (n.s.)
LF	P<0,02	Significative (s.)
LG	P<0,04	s.
SF	P<3,66	n.s.
SG	P<0,17	n.s.
H.H	P<0,01	s.
CR	P<2,37	n.s.
pH	P<0,08	n.s.
CaCO ₃ total	P<0,19	n.s.
MO	P<0,20	n..s.

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

Les résultats de l'ANOVA (Tableau 77) ne montrent une différence significative entre les niveaux de sols des deux populations étudiées que pour les variables argiles, limons fins et grossiers, humidité hygroscopique et matière organique. Les variables sables fins et grossiers, capacité de rétention, pH et calcaire total n'ont pas montré cette signification.

Tableau 77. Résultats de l'ANOVA appliquée sur les paramètres physicochimiques des niveaux de sols des deux dayas d'étude.

Variables	Probabilités	Conclusion
A	P<0,002	Significative (s.)
LF	P<0,0002	s.
LG	P<0,01	s.
SF	P<6,03	Non significative (n.s.)
SG	P<0,27	n.s.
H.H	P<0,001	s.
CR	P<1,98	n.s.
pH	P<0,45	n.s.
CaCO ₃ total	P<0,13	n.s.
MO	P<0,0001	s.

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

7.3. Analyse en composantes principales

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).

La mise en évidence de l'interaction entre les différents paramètres pédologiques mesurés par des ACP porte sur : le pH, le calcaire total, la matière organique, l'humidité hygroscopique, la capacité de rétention et les taux des différentes particules granulométriques.

7.3.1. Analyses en composantes principales à dayate Saadi, Hassi Delaâ : ACP 04

En utilisant la matrice de données illustrée par le tableau 78, nous avons réalisé l'ACP 04.

Tableau 78. Données de l'ACP 04.

Sols	pH	CaCO ₃ total	MO	H.H	CR	A	LF	LG	SF	SG
Sol 1	7,56	22,8	1,59	3,45	43,31	22,35	28,36	14,47	34,48	0,34
Sol 2	7,59	10,41	2,44	3,8	42,62	18,16	29,76	13,12	38,88	0,08
Sol 3	7,54	12,39	2,007	3,53	40,84	15,67	42,96	11,98	29,13	0,26
Sol 4	7,53	16,24	1,33	2,25	37,84	12,65	28,95	10,35	46,07	1,98
Sol 5	8,02	13,64	2,08	3,81	41,81	23,38	33,8	9,99	31,31	1,52
Sol 6	7,69	15,62	3,41	4,93	44	19,65	47,15	13,86	19,17	0,17

Cette ACP nous a permis d'obtenir une matrice de corrélation de Pearson illustrée par le tableau 79, à partir duquel nous avons relevé les corrélations les plus significatives, nous tenons à noter que :

- la matière organique est corrélée positivement à l'humidité hygroscopique ($R=0,93$) ;
- l'humidité hygroscopique est corrélée positivement à la capacité de rétention ($R=0,87$) et négativement aux sables fins ($R=-0,90$);
- la fraction limons fins est corrélée négativement à la fraction sables fins ($R=-0,87$) ;

- la fraction limons grossiers est corrélée négativement à la fraction sables grossiers ($R=-0,85$).

Tableau 79. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres physico-chimiques des sols étudiés à dayate Saadi, Hassi Delaâ.

	pH	CaCO ₃ total	MO	HH	C	A	LF	LG	SF	SG
pH	1									
CaCO ₃ total	-0,19	1								
MO	0,25	-0,35	1							
HH	0,37	-0,17	0,93	1						
CR	0,24	0,15	0,69	0,87	1					
A	0,67	0,29	0,27	0,57	0,76	1				
LF	0,11	-0,27	0,73	0,68	0,33	-0,02	1			
LG	-0,44	0,40	0,41	0,51	0,75	0,29	0,17	1		
SF	-0,33	0,02	-0,80	-0,90	-0,71	-0,47	-0,87	-0,40	1	
SG	0,32	0,07	-0,57	-0,66	-0,76	-0,25	-0,40	-0,85	0,54	1

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

Afin de visualiser ces corrélations entre les différents paramètres physico-chimiques étudiés, nous avons établi la carte de contribution des différentes variables (Figure 85) étudiés par l'ACP 04.

Le plan factoriel $\frac{1}{2}$ de l'ACP 04 explique 73% du phénomène, l'axe 1 contribue avec 52%, tandis que l'axe 2 exprime 21% de cette inertie.

Selon l'axe 1, deux groupes de sols semblent s'individualiser : A et B.

Le groupe A est constitué d'un mélange de nebkhas et de sols sous sujets âgés, il renferme le sol 1 (HD1), sol 2 (HD2), sol 3 (HD3), sol 5 (HD5) et sol 6 (HD6) dont les fractions qui dominant sont les limons fins et grossiers. Les proportions d'argiles de ces sols sont importantes, ce qui explique leur corrélation positive élevées avec l'humidité hygroscopique et la capacité de rétention, ainsi que les taux considérables de matière organique comparé à des sols de régions arides. La position de chaque sol dans ce groupe s'explique par l'influence d'une variable par rapport aux autres. Les sols 1 (HD1), 2 (HD2), 3 (HD3) et 5 (HD5) présentent des taux considérables d'argiles et de limons fins et grossiers, et des taux de sables moyens ; le sol 1 (HD1) est particulièrement le plus corrélé au calcaire total, tandis que le sol 5 (HD5) est le plus corrélé au pH. Le sol 6 (HD6) est hautement corrélé

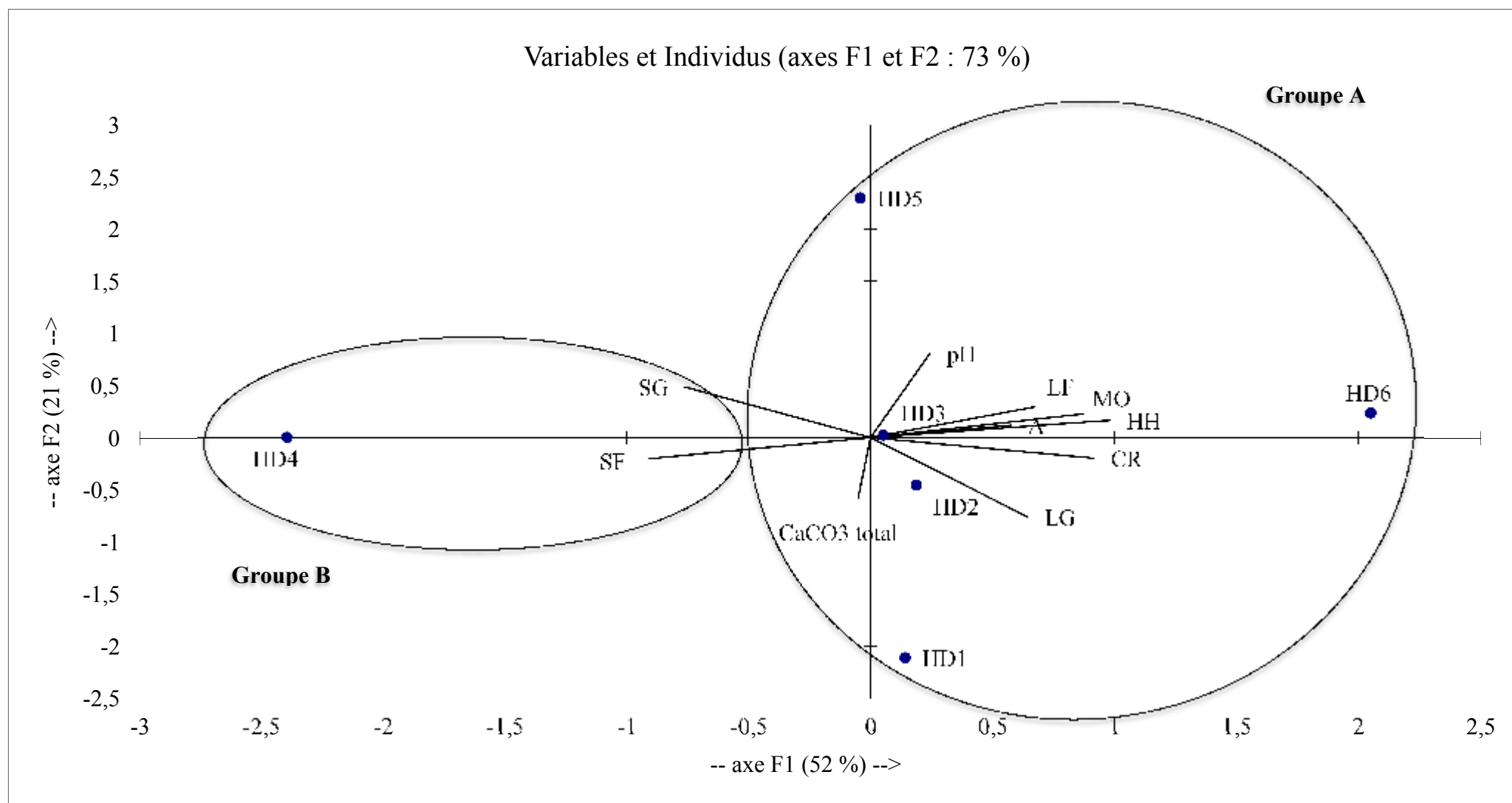


Figure 85. ACP concernant les différentes variables édaphiques étudiées à dayate Saadi, Hassi Delaâ.

à toutes les variables de ce groupe, et extrêmement non corrélé aux sables, ce qui justifie sa place à l'extrémité droite de ce groupe.

Le groupe B est représenté seulement par le sol 4 (HD4), une nebkha qui s'individualise, il montre les taux de sables fins et grossiers les plus élevés dans les sols de dayate Saadi. Il présente certes des taux de calcaire et de limons fins non négligeables mais il reste hautement corrélé à la fraction sableuse. Comparé aux sols du groupe A, les autres paramètres physicochimiques de ce sol sont faibles.

7.3.2. Analyses en composantes principales à dayate Aïat, Timzerth : ACP 05

Le tableau 80 porte la matrice des données pour l'ACP 05.

Tableau 80. Données de l'ACP 05.

Sols	pH	CaCO ₃ total	MO	H.H	CR	A	LF	LG	SF	SG
Sol 1	7,88	9,58	0,21	0,65	28,66	5,12	6,87	5,25	81,57	1,19
Sol 2	7,71	13,75	1,21	2,02	39,07	14,4	16,7	4,59	64,05	0,26
Sol 3	7,57	12,5	0,31	0,83	30,88	4,53	7,05	2,33	85,05	1,04
Sol 4	7,68	11,25	0,56	2,06	35,57	5,19	7,68	5,4	80,82	0,91
Sol 5	7,88	13,33	1,06	1,023	35,44	12,72	19,66	12,66	53,3	1,66
Sol 6	7,65	12,5	1,26	1,6	33,8	10,68	19,67	9,19	58,13	2,33

Le compte-rendu de cette ACP est illustré par la matrice de corrélation de Pearson figurant sur le tableau 81.

Le tableau ci-dessus montre les corrélations qui existent entre les différentes variables, les plus significatives sont :

- une corrélation hautement significative positive entre matière organique et argiles ($R=0,92$), matière organique et limons fins ($R=0,95$) ;
- une corrélation hautement significative négative entre matière organique et sables fins ($R=-0,91$) ;
- une corrélation hautement significative positive entre humidité hygroscopique et capacité de rétention ($R=0,82$) ;
- une corrélation hautement significative positive entre argiles et limons fins ($R=0,91$) ;
- une corrélation hautement significative négative entre argiles et sables fins ($R=-0,90$) ;

- une corrélation hautement significative négative entre limons fins et sables fins ($R=-0,99$) ;
- une corrélation hautement significative négative entre limons grossiers et sables fins ($R=-0,84$).

Tableau 81. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres physico-chimiques des sols étudiés à dayate Aïat, Timzerth.

	pH	CaCO ₃ total	MO	HH	CR	A	LF	LG	SF	SG
pH	1									
CaCO ₃ total	-0,29	1								
MO	-0,01	0,76	1							
HH	-0,36	0,37	0,56	1						
CR	-0,11	0,74	0,77	0,82	1					
A	0,23	0,77	0,92	0,39	0,76	1				
LF	0,17	0,71	0,95	0,29	0,59	0,91	1			
LG	0,55	0,28	0,59	-0,03	0,24	0,55	0,76	1		
SF	-0,31	-0,65	-0,91	-0,23	-0,57	-0,90	-0,99	-0,84	1	
SG	0,08	-0,06	0,25	-0,29	-0,32	0,03	0,43	0,66	-0,44	1

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

Le plan factoriel 1/2 explique 81% de l'inertie totale, 57% de celle-ci est exprimé par l'axe F1 ; l'axe F2 contribue par 26% dans la formation du plan (Figure 86).

L'axe F1 semble séparer les sols de dayate Timzerth en deux groupes individualisés

Le groupe A renferme les sols 2 (T2), 5 (T5) et 6 (T6), ils sont corrélés positivement à toute les variables pédologiques sauf à la fraction sableuse fine, même si cette dernière domine le plan textural de tous les sols étudiés à dayate Aïat. Malgré la prédominance des sables fins dans les sols de ce groupe, ils présentent cependant des taux d'humidité hygroscopique et des capacités de rétention importantes. Cette forte rétention d'eau pourrait être expliquée par leur teneur en éléments fins (limons fins et argiles) plus ou moins élevés. Les sols de ce groupe semblent être plus riches en matière organique et en calcaire total que les sols du groupe B. Ce sont des sols sous pistachier de l'Atlas âgés à l'exception du sol 2 qui est une nebkha, sa teneur en argiles et en limons fins font que son humidité hygroscopique et sa capacité de rétention sont élevées (leurs valeurs respectives sont les plus élevées dans les

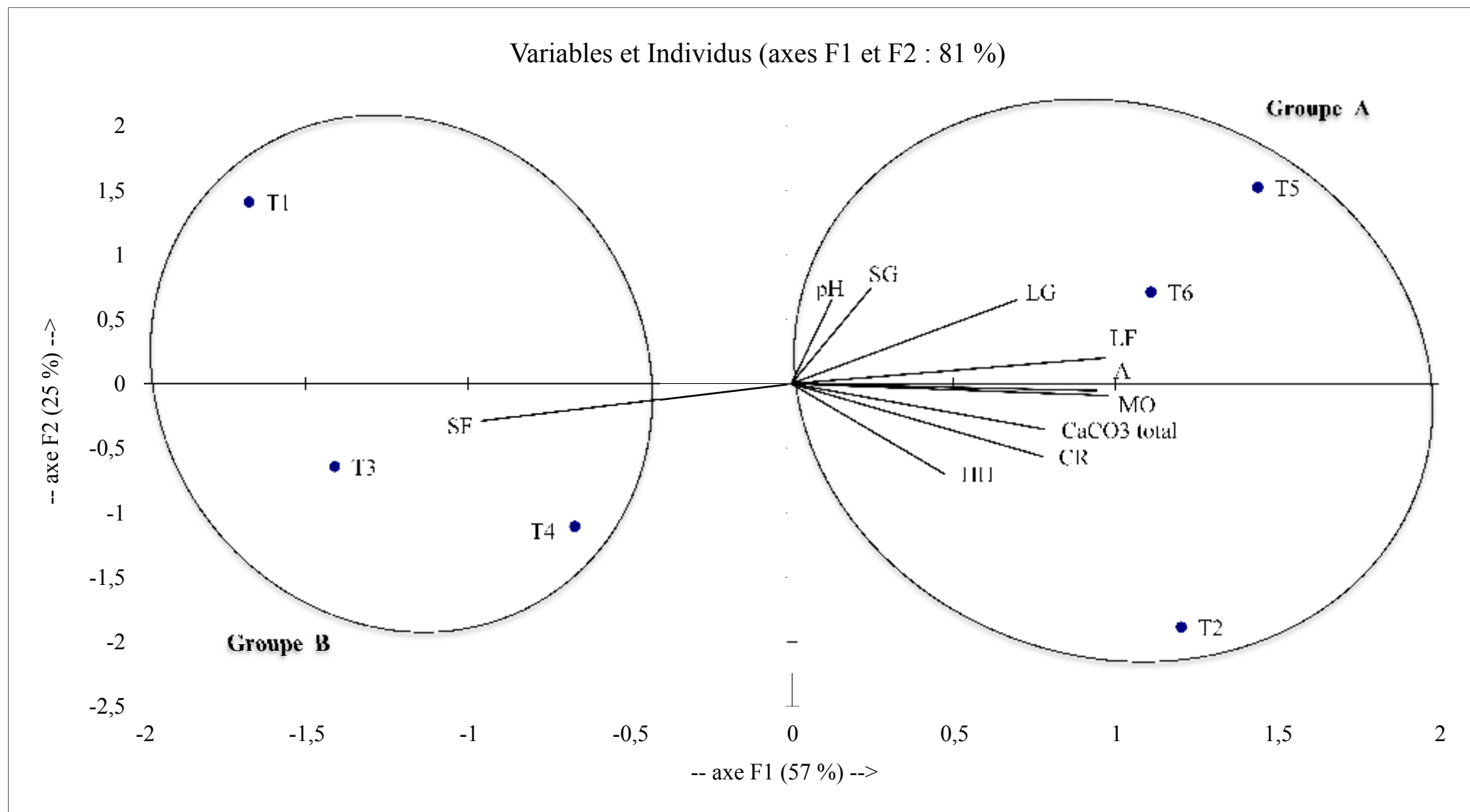


Figure 86. ACP concernant les différentes variables édaphiques étudiées à dayate Aïat, Timzerth.

sols analysés à Timzerth), ce qui l'éloigne des autres nebkhas (groupe B) étudiées vers ce groupe de sol.

Le groupe B rassemble le sol 1 (T1), le sol 3 (T3), et le sol 4 (T4), dont les sables fins prédominent les fractions granulométriques. Ceci confirme que ces sols appartiennent à des nebkhas qui malgré leur opposition aux variables humidité hygroscopique et capacité de rétention, présentent des capacités de rétention non négligeables malgré leurs teneurs très faible en éléments fins (argiles, limons fins et limons grossiers). Ces sols sont très pauvres en matière organique.

7.2.3. Analyse en composantes principales des sols étudiés : ACP 06

En utilisant les matrices de données portées sur les tableaux 78 et 80, nous avons effectué une analyse en composantes principales comparative entre les variables physico-chimiques des sols de dayate Saadi et de dayate Aïat. Les corrélations de Pearson résultant de cette ACP figurent dans le tableau 82.

Après l'examen des résultats de l'ACP 09, nous observons plusieurs variables corrélées, il y a lieu de noter les plus significatives :

- une corrélation hautement significative positive entre matière organique et humidité hygroscopique ($R=0,93$), matière organique et capacité de rétention ($R=0,87$), matière organique et argiles ($R=0,81$), matière organique et limons fins ($R=0,92$), matière organique et limons grossiers ($R=0,71$), et une corrélation hautement significative négative entre matière organique et sables fins ($R=-0,92$) ;
- une corrélation hautement significative positive entre l'humidité hygroscopique et la capacité de rétention ($R=0,93$), l'humidité hygroscopique et les argiles ($R=0,83$), humidité hygroscopique et limons fins ($R=0,88$), humidité hygroscopique et limons grossiers ($R=0,69$), et une corrélation hautement significative négative entre l'humidité hygroscopique et les sables fins ($R=-0,88$) ;
- la capacité de rétention est corrélée positivement aux argiles ($R=0,91$), aux limons fins ($R=0,83$), aux limons grossiers ($R=0,74$) et négativement aux sables fins ($R=-0,88$) ;
- les argiles sont corrélés positivement aux limons fins ($R=0,81$), aux limons grossiers ($R=0,77$) et corrélés négativement avec les sables fins ($R=0,91$) ;
- les limons fins sont corrélés positivement avec les limons grossiers ($R=0,80$), et négativement avec les sables fins ($R=-0,97$) ;

- les limons grossiers sont corrélés négativement aux sables fins ($R=-0,88$).

Tableau 82. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres physico-chimiques des sols étudiés dans les deux dayas étudiées.

	pH	CaCO ₃ total	MO	HH	CR	A	LF	LG	SF	SG
pH	1									
CaCO ₃ total	-0,29	1								
MO	-0,08	0,28	1							
HH	-0,14	0,37	0,93	1						
CR	-0,17	0,52	0,87	0,93	1					
A	0,09	0,57	0,81	0,83	0,91	1				
LF	-0,15	0,37	0,92	0,88	0,83	0,81	1			
LG	-0,11	0,49	0,76	0,69	0,74	0,77	0,80	1		
SF	0,07	-0,47	-0,92	-0,88	-0,88	-0,91	-0,97	-0,88	1	
SG	0,29	-0,12	-0,43	-0,54	-0,54	-0,34	-0,32	-0,18	0,29	1

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

La figure 87 visualise des corrélations entre les variables physico-chimiques étudiées avec leurs coordonnées correspondantes.

Le plan factoriel $\frac{1}{2}$ exprime 78% du phénomène, l'axe 1 apporte 66% de l'information, tandis que l'axe 2 n'exprime que 13%. L'axe 1 semble séparer 2 groupes distincts.

Le groupe A rassemble les sols sans pistachier de l'Atlas de dayate Saadi. Ces sols sont surtout riches en limons fins et présentent des taux d'argiles, de limons grossiers, de matière organique et de calcaire total relativement importants. Leurs humidités hygroscopiques et capacités de rétention sont aussi élevées et corrélées positivement aux paramètres précités.

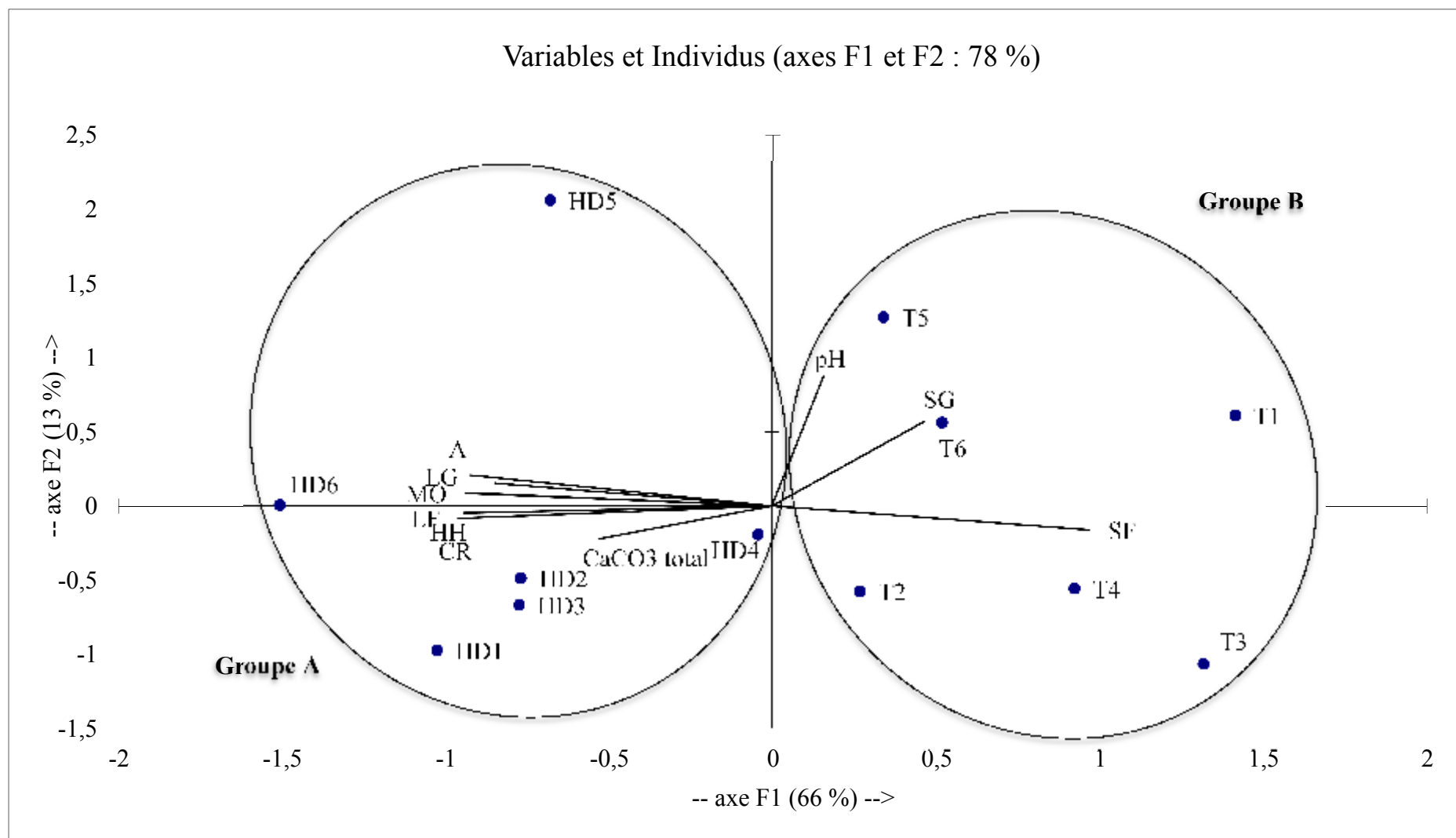


Figure 87. ACP comparative concernant les différentes variables édaphiques étudiées pour les deux dayas.

Le groupe B renferme les sols sous pistachier de l'Atlas de dayate Aïat. Comparés aux sols de dayate Saadi, ils sont plus riches en sables fins et grossiers et présentent des pH élevés, leurs humidités sont relativement faibles par rapport à celles du groupe A.

Au terme de cette analyse en composantes principales (ACP 06), nous constatons une différence apparente entre les sols des deux dayas étudiées. Ceci nous permet de donner le caractère général et dominant des sols de chaque daya à part, et nous incite à nous demander sur les mécanismes pédogénétiques qui sont à l'origine de cette diversité édaphique surprenante.

Boulaine (1989) définit le sol comme étant une ressource « douée d'une historicité et géographicité ». Pouget (1980) souligne que les sols et les paysages des régions méditerranéennes restent profondément marqués par l'histoire des cycles climatiques du Quaternaire ; l'héritage du passé est si important qu'il n'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. Leur genèse est dû spécialement au processus d'accumulation et d'individualisation du calcaire en profondeur, et particulièrement dans la zone où s'alimentait le système racinaire des steppes et des forêts qui ont dû constituer le couvert végétal naturel de ces sols (Ruellan, 1970). A ces caractéristiques s'ajoute l'influence de la topographie et de la géomorphologie, elle s'aperçoit autrement sur les caractères de ces sols. Le climat actuel leur confère une énergie pédogénétique très faible, qui ne peut que difficilement effacer les caractères hérités du climat ancien propices de se maintenir ; l'action du climat actuel modifie éventuellement certains caractères de répartition, ou de qualité de la matière organique, ou à moindre degré, certains types de structures (Aubert, 1960).

8. Conclusion

Pour conclure, nous pouvons dire que les sols sous pistachier de l'Atlas étudiés pour les deux populations à la région de Laghouat présentent des similitudes, notamment concernant leur pH basique, et les taux de calcaire modérés obtenus lors des analyses. Cet élément toujours présent dans des sols en zone aride, appelle la rétention d'eau dans ces sols avec la fraction limoneuse fine, même si le taux de sables fins prédomine dans le profil. Les argiles perçues dans nos sols peuvent aussi expliquer leur capacité à retenir l'eau. Nous pouvons aussi dire que ces sols présentent des teneurs en matière organique considérables par rapport à des sols arides. Les sols des dayas sont des sols d'apport où s'accumulent et se décantent les eaux de crues. Ces zones d'épandage sont dotées d'un régime hydrologique

Chapitre 4. Sol sous-pistachier de l'Atlas

offrant avec des submersions temporaires, un milieu spécifique d'autant que s'y ajoutent une texture souvent fine à très fine.

A la lumière de ces résultats, nous nous demandons si les caractéristiques appréciées par le pistachier de l'Atlas suffisent pour que l'espèce tienne dans cette vaste étendue du plateau saharien, ou existent-t-il d'autres facteurs physiologiques ou phénotypiques commandant son adaptabilité ?

Chapitre 5 :
Interactions Racines-sol sous
pistachier de l'Atlas

1. Introduction

La flexibilité du système racinaire varie en fonction des espèces ligneuses (Bremner & Kessler, 2005). Sa fonction est génétiquement déterminée en conditions environnementales favorables. Par contre, quand les conditions de milieu sont défavorables, ce sont les conditions physiques qui prévalent (Kummerow & Mangan, 1981). Dans ces milieux, la pédogénèse et la végétation sont surtout sensibles à « la sécheresse édaphique », le facteur climatique n'intervient qu'indirectement, puisque le déficit hydrique est accentué ou atténué en fonction des mouvements de l'eau dans le sol (Rognon, 1994b).

En zones arides et semi-arides, beaucoup des plantes exploitent l'eau disponible, à travers des réponses plastiques de croissance, en changeant la forme des racines suivant le changement des conditions de l'environnement (Waith & Wright, 1998). Fitter (1982) reconnaît que la forme et l'architecture de la ramification du système racinaire sont certainement liées à l'acquisition des ressources essentielles du sol. Depuis lors, beaucoup d'études ont fait progresser la compréhension de la façon par laquelle la plasticité, de la naissance à la mort, des ramifications racinaires confère un avantage concurrentiel pour les plantes et la structure des communautés végétales (Kembel & Cahill, 2005; de Kroon & Mommer, 2006; Hodge, 2006; Grime, 2007; Kembel et al., 2008).

Par ailleurs, les systèmes racinaires se développent selon des modes les plus variés (Atger & Edelin, 1994), pour répondre autant aux contraintes endogènes qu'environnementales (compétition, absorption de l'eau et des nutriments, impédance du sol). Le sol avec lequel le système racinaire entre en interaction est une matrice meuble, dont le comportement est fortement variable : ses propriétés dépendent de l'origine géologique de ses particules, de sa structure, de sa compaction, mais aussi de sa teneur en eau (Danjon et al., 2008).

Au terme des chapitres 3 et 4, où nous avons caractérisé l'architecture racinaire du pistachier et les propriétés physico-chimiques de son sol sous-jacent, nous tentons dans ce chapitre d'expliquer le polymorphisme racinaire de cette espèce en interactions avec cette couche meuble. Pour ce faire, nous avons fait des analyses en composantes principales de tous les paramètres étudiés, afin de comprendre le comportement racinaire de *Pistacia atlantica*. Quels sont les paramètres édaphiques pesant sur l'architecture souterraine du pistachier de l'Atlas ? L'essence étudiée a-t-elle une préférence pour un type de sol particulier ; ou cette dernière si elle existe, diffère-t-elle d'un stade de vie à l'autre ? Le système racinaire de cette

espèce influence-t-il le développement et l'évolution du sol dans ces cuvettes vertes ? Ce qui suit pourrait expliquer au moins partiellement ces mécanismes.

2. Interactions Racines-Sol sous-jacent

2.1. Relation entre l'ensemble de variables racinaires et les propriétés physico-chimiques du sol sous-jacent à dayate Saadi, Hassi Delâa : ACP 07

Le tableau 83 regroupe l'ensemble des corrélations obtenues pour les variables testées.

Nous déduisons à partir de ce tableau que la teneur en matière organique est corrélée positivement à l'humidité hygroscopique ($R=0,93$). Dans ces sols plus ou moins humides et relativement riches en matière organique, la longueur racinaire atteint des valeurs considérables à la recherche d'eau et de nutriments, ce qui justifie sa corrélation à l'humidité hygroscopique ($R=0,91$), et à la teneur en matière organique ($R=0,93$). La croissance racinaire en épaisseur dans des sols est aussi favorisée par la matière organique ($R=0,88$). Le nombre de ramifications superficielles diminue avec l'augmentation de l'humidité hygroscopique ($R=-0,86$) et la capacité de rétention ($R=-0,82$). Il est aussi influencé négativement par l'allongement racinaire ($R=-0,83$). Le nombre de ramifications profondes ne présente pas de corrélations significatives avec les variables caractéristiques de ce type de sols (limoneux calcaires, reteneurs d'eau). Ces racines superficielles influencent positivement le nombre de ramifications totales.

L'ACP 07 a fait ressortir la carte de contribution de variables illustrée par la figure 88.

Le plan factoriel $\frac{1}{2}$ explique 68% de l'interaction entre les variables testées, dont 48% dépend de l'axe F1 et 20% de l'axe F2. Nous remarquons l'individualisation de deux groupes : A et B.

Chapitre 5. Interactions Racines-Sol sous pistachier de l'Atlas

Tableau 83. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres racinaires et édaphiques étudiés à dayate Saadi, Hassi Delâa.

	pH	CaCO ₃	MO	HH	CR	A	LF	LG	SF	SG	L _T	Crmax/P	Crmin/P	Crmoyp/P	NRmC	NRS	NRP	NTRm
pH	1																	
CaCO ₃	-0,19	1																
MO	0,25	-0,35	1															
HH	0,37	-0,17	0,93	1														
CR	0,24	0,15	0,69	0,87	1													
A	0,67	0,29	0,27	0,57	0,76	1												
LF	0,11	-0,27	0,73	0,68	0,33	-0,02	1											
LG	-0,44	0,40	0,41	0,51	0,75	0,29	0,17	1										
SF	-0,33	0,02	-0,80	-0,90	-0,71	-0,47	-0,87	-0,40	1									
SG	0,32	0,07	-0,57	-0,66	-0,76	-0,25	-0,40	-0,85	0,54	1								
L _T	0,42	-0,55	0,93	0,91	0,66	0,36	0,72	0,24	-0,79	-0,56	1							
Crmax/P	0,57	-0,28	0,46	0,44	0,03	0,10	0,79	-0,38	-0,67	0,17	0,54	1						
Crmin/P	0,12	-0,01	0,88	0,78	0,53	0,14	0,77	0,41	-0,79	-0,37	0,69	0,54	1					
Crmoyp/P	0,60	-0,16	0,70	0,64	0,27	0,25	0,75	-0,15	-0,74	0,08	0,65	0,90	0,79	1				
NRmC	-0,05	0,10	-0,21	-0,47	-0,68	-0,55	-0,10	-0,51	0,37	0,77	-0,40	0,19	0,12	0,25	1			
NRS	-0,60	0,29	-0,77	-0,86	-0,82	-0,72	-0,28	-0,31	0,59	0,46	-0,83	-0,22	-0,48	-0,46	0,48	1		
NRP	-0,27	-0,29	-0,08	0,03	0,00	-0,16	0,37	0,07	-0,23	-0,45	0,14	0,13	-0,24	-0,22	-0,60	0,19	1	
NTRm	-0,62	0,13	-0,68	-0,72	-0,70	-0,68	-0,09	-0,24	0,41	0,22	-0,65	-0,14	-0,51	-0,48	0,18	0,92	0,55	1

Chapitre 5. Interactions Racines-Sol sous pistachier de l'Atlas

Le groupe A rassemble les sujets 1 et 2, jeunes et immatures et les sujets 3 et 4, adultes d'âge moyen. Ils se retrouvent dans des sols riches en sables fins et grossiers, modérément calcaires, présentant des teneurs très faibles en argiles et en matière organique, pas très rétenteurs d'eau. Ceci a favorisé le développement d'un nombre important de racines superficielles à dimensions équilibrées, par rapport au nombre de racines profondes explorant le sol à la recherche d'eau et de nutriments.

Le groupe B renferme les sujets 5 et 6. Ces sujets se retrouvent dans des sols limoneux relativement riches en argiles et en matière organique, et présentant des humidités élevées. Ces propriétés ont plutôt favorisé le développement de racines profondes, longues et épaisses assurant à la fois l'approvisionnement des ressources hydrominérales et l'ancrage de l'arbre. Cette constatation semble normale pour les sujets 5 et 6 âgés, et ne pourrait guère être expliqué que par la prédominance de la fraction limoneuse fine dans le sol sous-jacent de ces pieds.

De cette ACP, nous constatons que le pistachier de l'Atlas adopte une stratégie d'enracinement variable, selon les propriétés du sol sous-jacent. D'un nombre total modeste, les racines sont épaisses et à extension latérale considérable avant de s'enfoncer en profondeur dans les sols limoneux contenant des proportions non négligeables d'argiles et de matière organique, augmentant leurs humidité. Ceci est le cas pour les pistachiers âgés. Par contre, le système racinaire du pistachier de l'Atlas tend à se ramifier dans les couches superficielles du sol de la nebkha à texture sableuse et à faible taux de matière organique et d'humidité. Ceci est le cas pour les pistachiers jeunes et moyens.

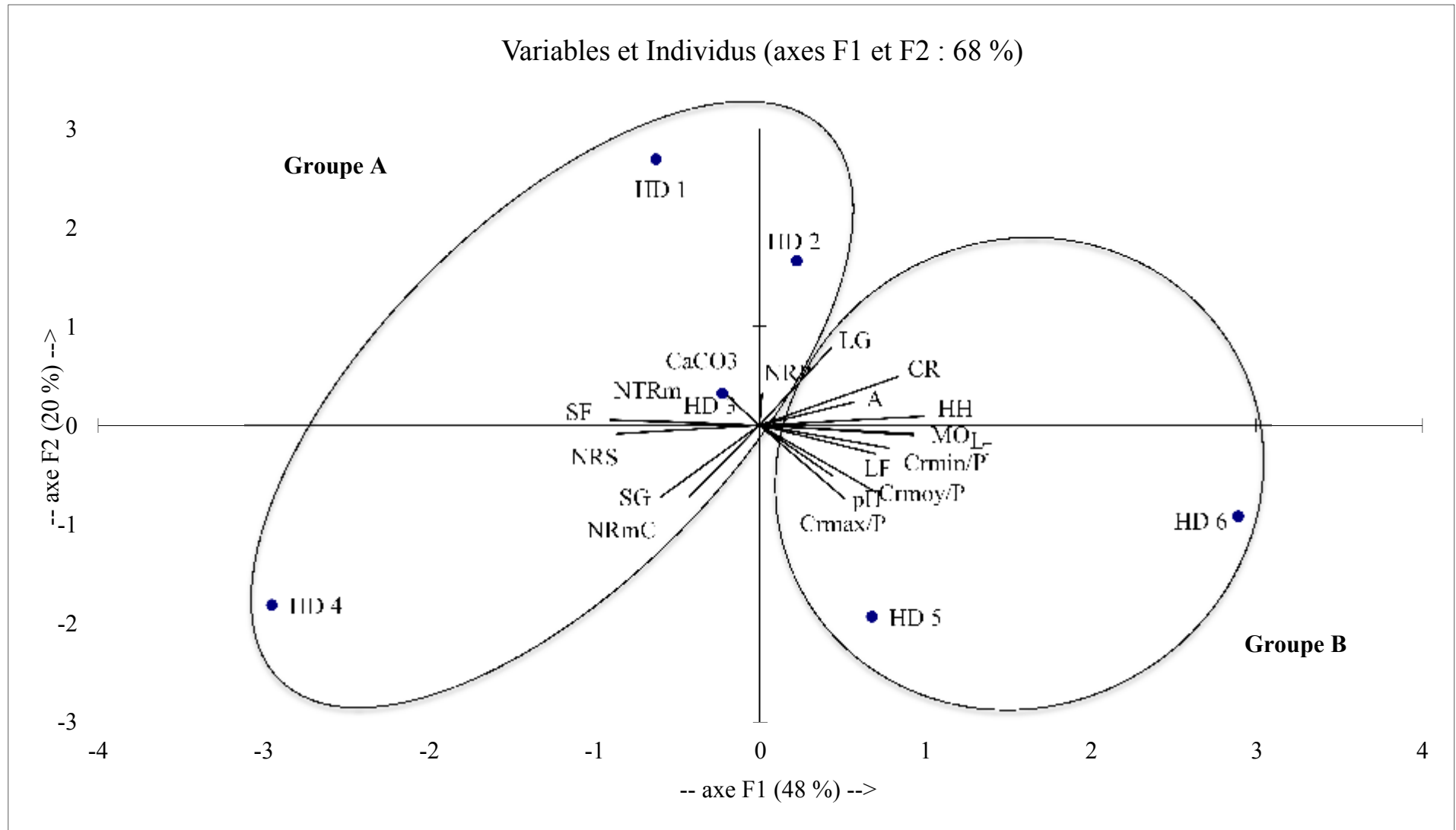


Figure 88. ACP concernant les différentes variables racinaires et édaphiques étudiées à dayate Saadi, Hassi Delâa.

2.2. Relation entre l'ensemble de variables racinaires et les propriétés physicochimiques du sol sous-jacent à dayate Aïat, Timzerth : ACP 08

Les corrélations obtenues lors de cette analyse en composantes principales figurent dans le tableau 84.

De ce tableau, nous notons plusieurs corrélations significatives entre les variables édaphiques et les variables racinaires.

Les sols de dayate Aïat montrent des teneurs en calcaire total élevées. Elle influence négativement ($R=-0,92$) le développement de racines profondes, par extension, leur nombre diminue. Ceci est dû selon Aubert (1960) aux accumulations calcaires présentes dans les sols des régions arides pouvant gêner d'après Pouget (1980) le développement des racines en profondeur en laissant pousser un système racinaire superficiel.

Les limons fins sont corrélés positivement à la matière organique ($R=0,95$) et aux d'argiles ($R=0,91$) qui sont aussi corrélées à leur tour positivement à cette dernière ($R=0,92$). Quand il s'agit de sols à dominance de sables fins, la matière organique ($R=-0,91$) cesse d'évoluer, ceci caractérise les sols des nebkhas riches en apport de matière organique fraîche et en décomposition. Ici la teneur en argiles et en limons fins et grossiers est très faible voire nulle ($R_A : SF=-0,90$; $R_{SF : LF}=-0,99$; $R_{SF : LG}=-0,84$). Les variables racinaires dans ces sols ne semblent pas influencés, seule les ramifications dès le collet sont favorisées par les sables grossiers ($R=+0,87$).

Dans le but de visualiser ces corrélations, nous avons extrait la carte de contribution des variables (Figure 89).

Le plan factoriel $\frac{1}{2}$ exprime 65% du phénomène, l'axe F1 apporte 46% de l'information, et l'axe F2 en apporte 19%. Selon le premier axe, nous distinguons deux groupes.

Chapitre 5. Interactions Racines-Sol sous pistachier de l'Atlas

Tableau 84. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres racinaires et édaphiques étudiés à dayate Saadi, Hassi Delâa.

	pH	CaCO ₃	MO	HH	CR	A	LF	LG	SF	SG	L _T	Crmax/P	Crmin/P	Crmoyp/P	NRmC	NRS	NRP	NTRm
pH	1																	
CaCO ₃	-0,29	1																
MO	-0,01	0,76	1															
HH	-0,36	0,37	0,56	1														
CR	-0,11	0,74	0,77	0,82	1													
A	0,23	0,77	0,92	0,39	0,76	1												
LF	0,17	0,71	0,95	0,29	0,59	0,91	1											
LG	0,55	0,28	0,59	-0,03	0,24	0,55	0,76	1										
SF	-0,31	-0,65	-0,91	-0,23	-0,57	-0,90	-0,99	-0,84	1									
SG	0,08	-0,06	0,25	-0,29	-0,32	0,03	0,43	0,66	-0,44	1								
L _T	0,33	-0,72	-0,18	-0,12	-0,45	-0,21	-0,16	-0,07	0,15	0,21	1							
Crmax/P	-0,58	0,26	0,32	0,51	0,29	-0,05	0,21	0,23	-0,17	0,43	-0,34	1						
Crmin/P	0,22	0,41	0,27	-0,23	0,12	0,25	0,46	0,76	-0,53	0,52	-0,60	0,37	1					
Crmoyp/P	-0,43	0,18	0,34	0,27	0,09	-0,03	0,33	0,42	-0,30	0,73	-0,18	0,93	0,48	1				
NRmC	-0,11	0,24	0,63	0,10	0,05	0,37	0,70	0,62	-0,66	0,87	0,20	0,51	0,33	0,74	1			
NRS	0,39	-0,42	-0,38	-0,47	-0,43	-0,09	-0,31	-0,40	0,30	-0,36	0,57	-0,93	-0,62	-0,85	-0,40	1		
NRP	0,49	-0,92	-0,61	-0,16	-0,46	-0,57	-0,60	-0,15	0,51	-0,10	0,66	-0,30	-0,37	-0,29	-0,36	0,37	1	
NTRm	0,50	-0,70	-0,54	-0,43	-0,52	-0,30	-0,49	-0,37	0,44	-0,32	0,71	-0,85	-0,63	-0,78	-0,45	0,93	0,69	1

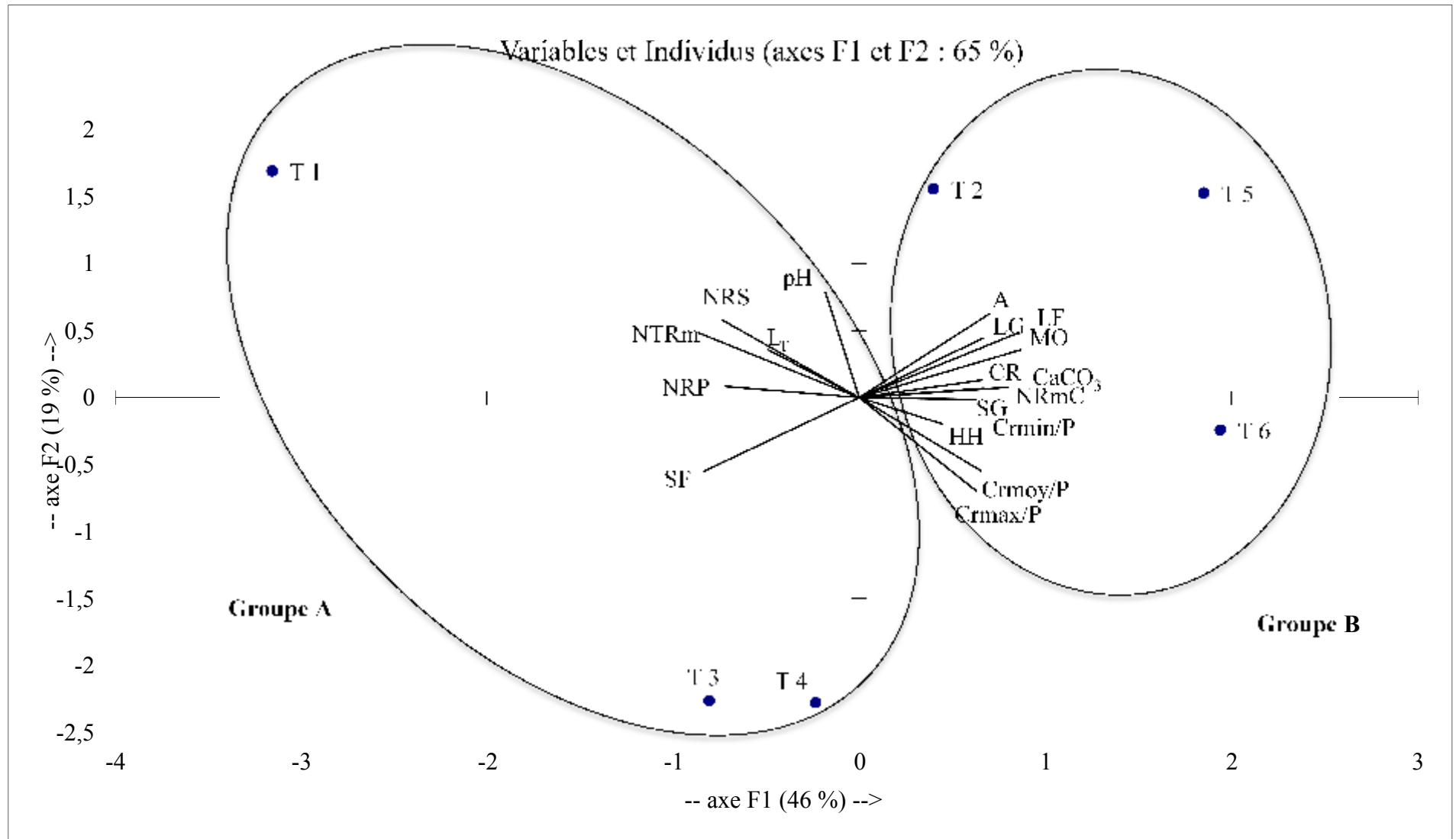


Figure 89. ACP concernant les différentes variables racinaires et édaphiques étudiées à dayate Aïat, Timzerth

Chapitre 5. Interactions Racines-Sol sous pistachier de l'Atlas

Le groupe A renferme les sujets 1, 3 et 4, ancrés dans des sols à dominance de sables fins et à pH relativement élevé. Cette fraction granulométrique stimule la ramification de racines superficielles et profondes et leur croissance en longueur. L'extension latérale de ces racines aide ces dernières à retrouver l'eau tout en restant superficielles, et oriente l'enracinement en profondeur, afin d'assurer l'ancrage et l'approvisionnement hydrominéral en profondeur, puisque les sols appropriés à ces systèmes racinaires ne retiennent pas l'eau, qui est plutôt drainé vers la profondeur.

Le groupe B rassemble les sujets 2, 5 et 6. Les sols sous ces individus sont plutôt limoneux, contenant une petite proportion d'argiles et présentent des taux de calcaire élevés. La cohésion de ces particules est assurée par la matière organique, ceci conduit le sol à un pouvoir absorbant élevé. Ces caractéristiques édaphiques donnent naissance à des racines vigoureuses et épaisses.

De cette ACP nous constatons qu'à dayate Aïat, le pistachier de l'Atlas développe un système racinaire vigoureux en sols limoneux et calcaires explorant les couches superficielles, et un système à extension verticale et horizontale dans les sols sableux faiblement riches en matière organique et en calcaire.

2.3. Etude synthétique : ACP 09

Afin de caractériser le comportement des systèmes racinaires des deux populations de pistachiers de l'Atlas étudiées selon les conditions du sol sous-jacent, 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. 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, est entre l'étage bioclimatique aride moyen et aride inférieur à hiver tempéré (Limane, 2009) ;
- 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.

Chapitre 5. Interactions Racines-Sol sous pistachier de l'Atlas

Tableau 85. Données de l'ACP 09.

Population/Sols	pH	CaCO ₃ total	MO	H.H	CR	A	LF	LG	SF	SG	L _T	Cr _{max/P}	Cr _{min/P}	Cr _{moy/P}	NRmC	NRS	NRP	NTRm
EM 1	7,71	20,25	2,59	1,29	26,34	4,69	18,28	10,04	34,87	32,12	400	16	2,5	4,7	12	10	0	50
EM 2	7,89	5,52	2,91	1,06	24,86	15,01	9,58	1,85	34,79	38,77	320	13,5	3	9,94	4	10	4	45
EM 3	8,11	5,73	4,02	0,56	25,28	10,78	2,78	8,88	36,58	40,98	246,5	16,5	8,5	11,9	4	5	4	18
EM 4	7,78	5,94	2,7	1,15	24,09	3,82	10,55	10,83	56,16	18,64	233,5	40	4	16	2	5	4	25
EM 5	7,79	20,16	3,87	0,55	23,38	20,3	12,22	3,99	41,08	22,41	289	8,5	2	5,94	8	9	0	27
EM 6	8,1	20,46	3,68	3,31	28,42	4,41	19,62	18,93	32,16	24,88	409,5	30	4	16,15	2	4	4	12
T 1	7,88	9,58	0,21	0,65	28,66	5,12	6,87	5,25	81,57	1,19	1125	29,7	0,4	8,58	1	46	21	67
T 2	7,71	13,75	1,21	2,02	39,07	14,4	16,7	4,59	64,05	0,26	677,6	45,5	0,3	9,36	1	29	1	30
T 3	7,57	12,5	0,31	0,83	30,88	4,53	7,05	2,33	85,05	1,04	480,8	62,3	3,1	20,8	1	18	0	18
T 4	7,68	11,25	0,56	2,06	35,57	5,19	7,68	5,4	80,82	0,91	677,6	83,65	2,5	27,19	1	0	15	15
T 5	7,88	13,33	1,06	1,023	35,44	12,72	19,66	12,66	53,3	1,66	485,6	59,7	7,8	22,61	2	8	3	11
T 6	7,65	12,5	1,26	1,6	33,8	10,68	19,67	9,19	58,13	2,33	905,1	82,61	3,05	35,64	4	8	2	10
HD 1	7,56	22,8	1,59	3,45	43,31	22,35	28,36	14,47	34,48	0,34	490,8	10,5	1	3,55	1	16	3	19
HD 2	7,59	10,41	2,44	3,8	42,62	18,16	29,76	13,12	38,88	0,08	258,1	9,55	2,4	5,11	1	7	3	10
HD 3	7,54	12,39	2,007	3,53	40,84	15,67	42,96	11,98	29,13	0,26	1006,9	70	2,8	18,88	1	20	11	31
HD 4	7,53	16,24	1,33	2,25	37,84	12,65	28,95	10,35	46,07	1,98	715,5	39,3	0,5	15,21	13	27	0	27
HD 5	8,02	13,64	2,08	3,81	41,81	23,38	33,8	9,99	31,31	1,52	598,5	82,7	2,3	38,27	4	7	2	9
HD 6	7,69	15,62	3,41	4,93	44	19,65	47,15	13,86	19,17	0,17	430	86	30	54	6	6	1	7

EM : El Mergueb ; **T** : Timzerth ; **HD** : Hassi : Delâ ; **CaCO₃ total** : Calcaire total ; **MO** : Matière Organique ; **A**: Argiles ; **LF**: Limons Fin ; **LG**: Limons Grossiers ; **SF**: Sables Fins ; **SG**: Sables Grossiers ; **H.H** : Humidité Hygroscopique ; **CR**: Capacité de Rétention ; ; **L_T** : 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.

Chapitre 5. Interactions Racines-Sol sous pistachier de l'Atlas

A partir du tableau des données (Tableau 85), nous avons fait l'ACP 09 et obtenu les corrélations de Pearson portées dans le tableau 86.

La fraction fine (limoneuse et argileuse) confirme une autre fois son importance dans la maintien de l'humidité dans le sol ($R_{LF:H,H}=0,87$; $R_{LF:CR}= 0,78$; $R_{A:H,H}=0,52$; $R_{A:CR}=0,58$). Les limons grossiers qui présentent une corrélation positive avec les limons fins ($R=0,60$) influencent aussi l'humidité hygroscopique ($R=0,65$). Les limons fins sont aussi corrélés aux argiles ($R=0,61$).

Les fractions sableuses fine et grossière sont corrélées négativement avec la plupart des paramètres édaphiques étudiés. Les sables grossiers empêchent l'élongation racinaire ($R=-0,57$) et la circonférence maximale ($R=-0,58$). Les sables fins semblent favoriser par contre les ramifications dès le collet ($R_{SF:NR_{MC}}=0,67$). Ces ramifications diminuent quand la matière organique est disponible au niveau du sol ($R=-0,58$). En revanche, la matière organique influence négativement les racines superficielles ($R=-0,53$). Le nombre total de ramifications diminue quand l'humidité hygroscopique augmente ($R=-0,48$). Les sables grossiers sont corrélés positivement avec la matière organique ($R=0,69$), ce qui ne peut être expliqué que par une interférence entre les données testées.

Ces corrélations ont été visualisées dans la figure 90.

La majorité des sujets de dayate Timzerth et de dayate El Guersa se regroupent ensemble, sauf le sujet 6 de cette dernière et les sujets âgés de dayate Aïat, ils s'isolent à part et s'entrecroisent avec les sujets de dayate Saadi qui forment un autre groupe.

Les sols analysés dans le groupe A contiennent plus de limons fins et d'argiles, ils sont aussi calcaireux, leur rétention d'eau paraît importante. Dans ces sols, le pistachier de l'Atlas oriente son système racinaire vers un accroissement en épaisseur. Dans ce groupe, nous remarquons que les sujets âgés de dayate Timzerth (les sujets 5 et 6) suivent la même stratégie adaptative, que les sujets de Hassi Delâa vu que leurs sols sous-jacents possèdent les mêmes propriétés physico-chimiques.

Le groupe B englobe les individus 1, 2, 3, et 4 de dayate Timzerth, et les individus 1, 2, 3, 4 et 5 d'El Mergueb. Nous distinguons deux sous-groupes : celui des sols de dayate Timzerth (Groupe T), ils présentent une composition très élevée en sables fins. Les systèmes racinaires imprégnés dans ces sols investissent en nombre de ramifications, en allongement superficiel et profond. Cette stratégie semble être unique, puisque les sols de ce groupe ne

Chapitre 5. Interactions Racines-Sol sous pistachier de l'Atlas

Tableau 86. Matrice de corrélations de Pearson entre les paramètres racinaires et édaphiques étudiés lors de l'ACP 09.

	pH	CaCO ₃ total	MO	H .H	CR	A	LF	LG	SF	SG	L _T	Crmax/P	Crmin/P	Crmoyp/P	NRmC	NRS	NRP	NTRm
pH	1																	
CaCO ₃ total (%)	-0,22	1																
MO%	0,46	0,08	1															
H .H	-0,22	0,34	0,16	1														
CR	-0,47	0,25	-0,31	0,81	1													
A	-0,12	0,25	0,26	0,52	0,58	1												
LF	-0,36	0,38	0,13	0,87	0,78	0,61	1											
LG	0,08	0,40	0,32	0,65	0,39	0,13	0,60	1										
SF	-0,18	-0,30	-0,77	-0,56	-0,21	-0,59	-0,64	-0,58	1									
SG	0,58	-0,17	0,69	-0,45	-0,78	-0,24	-0,48	-0,12	-0,33	1								
L _T	-0,27	0,00	-0,66	0,06	0,31	-0,11	0,18	-0,12	0,38	-0,57	1							
Crmax/P	-0,15	-0,11	-0,40	0,32	0,45	-0,02	0,35	0,03	0,20	-0,58	0,47	1						
Crmin/P	0,08	-0,01	0,38	0,40	0,23	0,20	0,43	0,30	-0,40	-0,03	-0,24	0,36	1					
Crmoyp/P	0,03	-0,07	-0,04	0,44	0,40	0,15	0,45	0,18	-0,11	-0,37	0,19	0,88	0,68	1				
NRmC	0,03	-0,13	-0,58	-0,39	-0,14	-0,36	-0,37	-0,45	0,67	-0,26	0,60	0,01	-0,21	-0,15	1			
NRS	-0,24	0,00	-0,53	-0,19	0,08	-0,08	-0,05	-0,31	0,39	-0,34	0,65	-0,13	-0,33	-0,32	0,80	1		
NRP	0,09	-0,34	-0,40	-0,10	-0,05	-0,33	-0,21	-0,14	0,43	-0,19	0,60	0,12	-0,18	-0,07	0,58	0,38	1	
NTRm	0,01	-0,13	-0,18	-0,48	-0,46	-0,32	-0,35	-0,45	0,23	0,29	0,32	-0,43	-0,37	-0,54	0,64	0,67	0,45	1

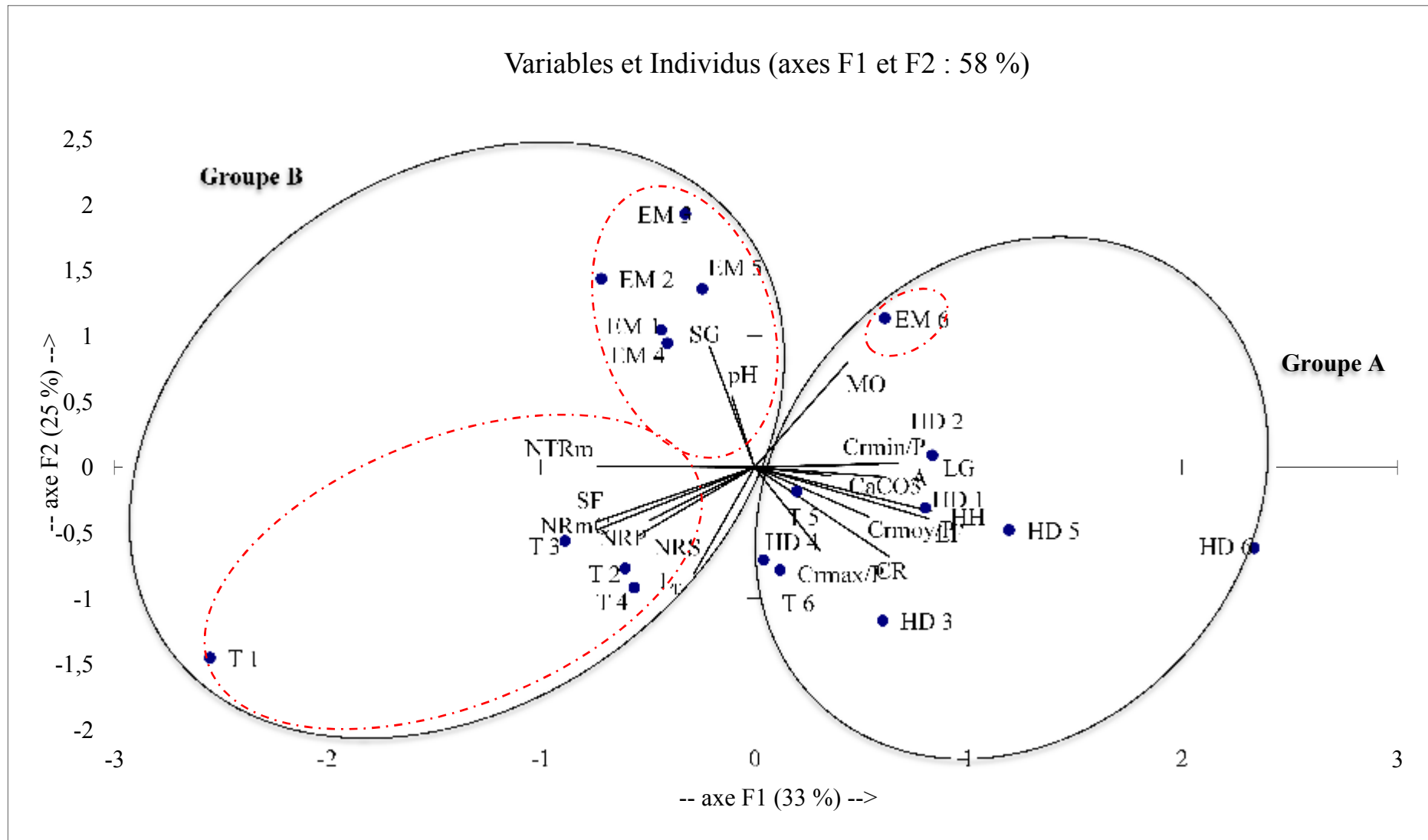


Figure 90. ACP concernant les variables étudiées pour les populations d'El Mergueb, Timzerth et Hassi Delâa.

Chapitre 5. Interactions Racines-Sol sous pistachier de l'Atlas

retiennent pas l'eau, les racines dans les couches superficielles du sol s'allongent finement à la recherche de ressources hydrominérales, et émettent aussi des racines profondes servant à stabiliser l'arbre mais aussi d'ascenseur hydraulique en saison sèche. Ces individus d'El Mergueb forment un sous-groupe et présentent des caractéristiques communes avec le sous-groupe Timzerth. Leurs sols sous-jacents sont dans l'ensemble corrélés à la fraction sableuse grossière, malgré leur richesse en limons fins, ils sont aussi riches en matière organique et présentent des pH élevés par rapport aux sols des dayas de notre étude. Les sujets de ce groupe montrent plus d'affinité avec les caractéristiques racinaires des pistachiers de dayate Timzerth, car leur édifice racinaire est très ramifié et allongé, l'enracinement est plutôt superficiel à l'exception du sujet 06 qui forme un groupe à part, il investit en épaisseur racinaire tels les systèmes racinaires de dayate Saadi, expliqué particulièrement par la teneur très élevée en matière organique, qui influence positivement la croissance radiale et le stockage de nutriments.

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. Nous retrouvons cependant des caractéristiques communes inter-populations, et une diversité inter-individuelle étonnante.

Nos résultats concordent avec ceux de Limane et *al.* (2014b) qui affirment que le nombre des ramifications superficielles pour le pistachier de l'Atlas suit la composition fine du sol (argiles et limons totaux), mais aussi les taux de matière organique qui sont positivement corrélés à la circonférence minimale. Le nombre des ramifications profondes et les caractéristiques de leurs ramifications (longueur totale, circonférence moyenne, nombre de ramifications) suivent la fraction grossière (sables totaux), qui augmente avec le gradient d'aridité croissant nord-sud. Les caractéristiques physico-chimique du sol-sous-jacent influencent alors significativement l'architecture racinaire du pistachier, les taux élevés de sables réduisent la compaction du sol et son impédance et donc facilite le développement de racines superficielles. Ainsi, la pénétration profonde des pivots des pistachiers examinés est due selon Schenk et Jackson (2005) à la texture des sols, qui devient de plus en plus grossière quand le gradient climatique et édaphique augmente, cette texture d'après ces auteurs cause l'infiltration profonde de l'eau et fait diminuer ainsi leur circonférence.

Dans les dayas étudiées, le système racinaire du pistachier de l'Atlas a montré une variabilité en fonction des propriétés du sol dans les différentes tranches d'âge. La densité des

Chapitre 5. Interactions Racines-Sol sous pistachier de l'Atlas

ramifications ainsi que leur épaisseur et allongement dépendent surtout de la texture, des humidités et taux de matière organique contenus dans sol. La colonisation de l'espace souterrain est aussi influencée par la présence ou l'absence de l'espèce nurse.

Chez les jeunes sujets, l'architecture racinaire est représentée par un pivot rectiligne ramifié. Les paramètres mesurés pour ces profils ont révélé des valeurs variables entre les deux dayas. A Hassi Delâa, l'enracinement de ces sujets jeunes est d'une envergure latérale plus ou moins importante ; et les racines sont plus épaisses que celles étudiées à Timzerth. Cette différence est due principalement à la texture à dominance limoneuse dans la première qui favorise la croissance radiale grâce à son pouvoir rétenteur d'eau, et à la texture sablo-limoneuse qui favorise l'allongement de racines fines et nombreuses dans la deuxième daya ; ainsi qu'à la variable densité des touffes de jujubier qui entouraient les jeunes pistachiers. Cette interaction biotique facilite l'installation de cette espèce dans les premiers stades de vie, et se transforme en compétition après la maturité du pistachier en faisant écarter les jujubiers. Dans les deux dayas, l'enracinement est plutôt superficiel que profond.

La mise en place et le fonctionnement du système racinaire vis à vis des besoins nutritifs dépend simultanément des facteurs génétiques (type de système racinaire), des conditions physico-chimiques locales à proximité des racines (rôle de l'état hydrique et minéral du milieu vis à vis de la croissance racinaire) et des régulations internes au niveau de la plante entière (allocation des assimilats). C'est l'ensemble de ces facteurs qui doit être pris en compte dans l'analyse des relations entre l'architecture racinaire et l'adaptation à son environnement (Laamouri et *al.*, 2008).

En effet, les contraintes du sol peuvent modifier radicalement la morphologie du système racinaire (Lebourgeois & Jabiol, 2002). D'après Köstler et *al.* (1968), ce n'est pas tant la nature du profil pédologique qui détermine l'architecture des racines de structure des arbres, que les éléments pédologiques qui limitent la croissance des racines de par leurs propriétés physiques de pénétrabilité : horizons compacts, tassés ou indurés, engorgements (durée, intensité, type de nappe, etc...), cailloux, roche mère, semelle de labour, dérayure...

De plus, la ramification racinaire dépend de l'âge de l'espèce et produit une distinction claire de morphologie des plants de la même espèce (Berben, 1968 ; Ruark et *al.* 1982 ; Coutts, 1983 ; Nichole et Alm, 1983 ; Reynolds, 1987 ; Mguis et *al.*, 2005). La distribution des racines dans le sol détermine largement sa partie riche en nutriments et en eau (Bengough, 2012), et contribue en revanche à l'enrichir en matière organique (Pouget, 1980).

Chapitre 5. Interactions Racines-Sol sous pistachier de l'Atlas

Dans les régions désertiques où les sables prédominent, l'orientation du développement du système racinaire des plantes en dépend essentiellement (Melzi, 1993). Les racines superficielles latérales peuvent capter tout le potentiel hydrique, y compris les eaux de ruissellement, l'eau de rosée et l'humidité hygroscopique par capillarité entraînée par l'évaporation de surface (Limane et *al.*, 2014a).

Sharma et Ghildyal (1997) et Osonobi et Davies (1978) indiquent que le déficit hydrique du sol augmente l'extension latérale des racines des ligneux, et une forte pénétration en profondeur du pivot indique aussi une recherche d'eau et des éléments minéraux. Couplant et Johnson (1965) montrent que la croissance en profondeur des racines augmente lorsque l'humidité décroît. Ceci explique la pénétration profonde des pivots à la recherche d'eau et de nutriments et corrobore avec les résultats de Sharp & Davies (1985), Batcho et *al.* (1990) et Hartung & Heimeier (1992), qui montrent qu'une réduction de l'humidité édaphique stimule la croissance racinaire. Plus exactement, c'est la réhydratation du sol en saison pluvieuse qui stimule la croissance et la prolifération des racines (Lagbo et *al.*, 2006). Les mêmes auteurs indiquent (pour *Acacia tortilis* et *Balanites aegyptiaca*) le développement d'une stratégie concernant la croissance en longueur du pivot, qui diffère au niveau des diamètres (collet, apex). Ceci est expliqué par le fait que durant la saison pluvieuse la présence de l'eau favorise la croissance radiale du pivot. Les différents accroissements racinaires notés pour le pivot traduisent la nécessité de rechercher l'eau plus loin en profondeur. Ces auteurs montrent qu'en saison sèche, lorsque l'humidité décroît, on assiste à une augmentation de la longueur des racines à gros diamètre, les racines moyennement épaisses ne croissent pas.

Ganatsas et Tokaldini (2003) témoignent que le système racinaire, influencé par les facteurs de stress édaphique, présente la plus importante densité de racines fines, moyennes, et épaisses dans les couches superficielles du sol (0-30 cm). Walter (1963) prétend que la plus grande diffusion maximale des racines latérales est enregistrée pour des régions arides à la faible densité typique du couvert végétal de ces régions. Pregitzer (2008) atteste que la plante produit une réponse plastique, en modifiant les facteurs endogènes qui régulent le développement des racines latérales, après avoir détecté des changements dans les ressources essentielles du sol.

Bhattachman et *al.* (2012) montrent que la densité linéaire des racines de plantes ligneuses (indicateur de la capacité des racines à absorber l'eau et d'autres ressources édaphiques) diminue exceptionnellement avec la profondeur dans les climats arides et semi-

Chapitre 5. Interactions Racines-Sol sous pistachier de l'Atlas

arides. Ces mêmes auteurs montrent que les végétaux ligneux de ces climats ont relativement des racines peu profondes. Cependant, Sala et *al.* (1997) soulignent que les racines profondes peuvent être favorisées par la texture sableuse du sol, à cause de l'infiltration facile et très profonde typique des sols à texture grossière, 50% des biomasses racinaires des végétaux échantillonnés par ces auteurs se retrouvent en superficie entre 0,14 m et 0,43 m du sol, et 95% dans les 0,61 m à 1,88 m du sol.

Les plantes des régions arides tendant à avoir une large diffusion de racines latérales relative à la taille de leur canopée, comparées aux plantes des régions semi-arides et humides. Cette différence est plutôt prononcée chez les plantes ligneuses, en fonction des propriétés édaphiques (Casper et *al.*, 2003). Ceci a été révélé par l'interaction significative entre la taille de la canopée et la texture du sol. Sperry et *al.* (1998) et Jackson et *al.* (2000) suggèrent que les plantes ont besoin d'un système racinaire plus large que leur canopée dans les textures grossières, parce que ces sols sont déficitaires en eau. Malgré cela, ces sols possèdent une petite capacité de rétention permettant la croissance racinaire, empêchant ainsi les plantes d'explorer un volume plus large de sol.

Concernant nos sols-sous pistachiers de l'Atlas jeunes, l'exploration latérale dépend des facteurs précités mais aussi de la plante nurse. Dans les dayas, le *Ziziphetum* est un phénomène accentué (Monjauze, 1968). Généralement les espèces du genre *Ziziphus* sont à grand potentiel de sélection, elles représentent des exemples extraordinaires de plantes pérennes à usages multiples dans les zones arides et semi-arides, voire même désertiques de presque tous les continents, grâce à leur capacité de résistance à la sécheresse. L'aire naturelle de la majorité des jujubiers se situent dans les zones caractérisées par des climats chauds et secs et où sont localisés la majorité des déserts du globe. Les jujubiers subsistent bien dans les environnements arides grâce à leurs mécanismes physiologiques et morphologiques d'adaptation (Reich, 1991; Ardnt et *al.*, 2001; Clifford et *al.*, 1998). Leur système racinaire si vigoureux renseigne sur l'humidité et les éléments minéraux présents dans le sol (Laamouri et *al.*, 2008), ce qui contribue à la nutrition du pistachier de l'Atlas et sa protection. Cette faculté correspond à la facilitation écologique qui semblerait changer en compétition souterraine pour les ressources, une fois que le pistachier a atteint sa maturité. A cette phase, la structuration de la végétation est affectée.

Chapitre 5. Interactions Racines-Sol sous pistachier de l'Atlas

Dans l'écosystème aride, la dynamique de la végétation dépend essentiellement des processus soutenus, tels que la facilitation et la compétition vis-à-vis de l'eau et des nutriments (Schenk & Jackson, 2002b, Hartle et *al.*, 2005 ; Caylor et *al.*, 2006). La distribution des racines affecte la capacité de la plante à concourir pour la ressource édaphique (Scholes & Archer, 1997 ; Sankaran et *al.*, 2004 ; Hipondoka & Versfeld, 2006), le stockage du carbone par l'écosystème (Kimmins, 2004 ; Jackson et *al.*, 1997 ; , Norby & Jackson, 2000) et la répartition de l'eau dans le profil pédologique.

La facilitation regroupe toutes les situations où un végétal favorise l'implantation ou le développement d'une ou plusieurs espèces végétales grâce à une modification des caractéristiques micro-environnementales (micro-climat, sol) ou des relations interspécifiques (protections face aux herbivores, élimination ou limitation des végétaux compétiteurs) (Quézel & Médail, 2003). Hors, la compétition souterraine est la première forme de compétition chez les plantes dans les environnements arides et semi arides, où l'eau édaphique est une ressource très limitée. Les interactions compétitives entre les espèces pour l'eau du sol a été l'objet de beaucoup d'études (Casper & Jackson, 1997 ; Fowler, 1986).

L'émission de plusieurs racines latérales peut rendre les plantes de forts compétiteurs souterrains aux espèces voisines, par contre des systèmes racinaires plus dégagés avec des racines latérales plus longues et allongées peut empêcher ce pouvoir compétiteur de la plante, et l'inciter à rechercher à travers de longues distances pour retrouver les point où les nutriments sont élevés et les racines des compétiteurs seront absentes (Casper et *al.*, 2003).

Parce que les plantes sont fragiles, la plupart de leurs interactions environnementales auront lieu dans un espace restreint qui s'appelle « zone d'influence » (Casper et *al.*, 2003). Uranov (1965), Bonan (1993) et Stohlgren (1993) considèrent que la zone d'influence d'une plante est l'espace sur lequel elle absorbe les ressources, produit des substances chimique, produit la litière ou altère son environnement. Casper et *al.* (2003) et Czarán et Bartha (1992) suggèrent que la caractérisation de la zone d'influence est importante, parce que sa taille et sa forme déterminent la disponibilité totale des ressources pour un individu, et parce que le chevauchement des zones d'influence est nécessaire pour que la facilitation ou la compétition se produisent.

L'extension maximale de racines latérales définit la bande de la zone d'influence, ou la partie de sol à partir de laquelle la plante se procure les ressources. La distribution des racines dans cet espace affecte fortement le degré de chevauchement dans la zone d'influence

Chapitre 5. Interactions Racines-Sol sous pistachier de l'Atlas

entre les concurrents, car la compétition et le partage des ressources augmentent. Le chevauchement des zones d'influence racinaires augmente la compétition interspécifique (Casper et *al.*, 2003). La densité du chevauchement latéral des racines dans les couches superficielles du sol, et la disponibilité de nutriments sont habituellement plus importants dans cette zone (Sposito, 1989; Jabbagy & Jackson, 2000), ce qui pourrait impliquer une compétition racinaire (Casper et *al.*, 2003). Le nombre important de ramifications dans les couches superficielles des sols sous-pistachier de l'Atlas chez les sujets moyens est expliquée par ce fait, et montre la compétition pour l'espèce accompagnatrice dans les niveaux superficiels du sol.

La croissance des espèces végétales peut parfois réduire la compétition pour l'eau en partageant verticalement le sol (Fernandez & Caldwell, 1975 ; Sala et *al.*, 1989), mais cette sélection semble moins valable pour la compétition pour les nutriments (Mckane et *al.*, 2002). Le partage temporel de l'activité racinaire peut aussi se produire quand le système racinaire est physiquement chevauché (Gebauer & Ehlinger, 2000 ; Mckane et *al.*, 2002).

D'un autre côté, Schenk et *al.* (1999) affirment que la compétition souterraine affecte la forme et l'architecture des systèmes racinaires. Ces formes résultent des mécanismes de développement des racines par rapport à la disponibilité des ressources édaphiques ou aux mécanismes de réorientation de la croissance, qui ont été surtout retrouvés dans les milieux déficitaires en eau (Mahall, 1998). L'asymétrie du système racinaire influence l'importance de la compétition (Brisson & Reynolds, 1997).

La zone d'influence des plantes et le nombre d'espèces avoisinantes en interaction souterraine dépendent des conditions du milieu local et global. La probabilité de prise des ressources depuis un point particulier dans le sol et la probabilité de compétition avec l'espèce voisine est fonction de la distance à partir du tronc. La plante est capable de prendre de grandes quantités de ressources sur de grandes distances du tronc et permettent le stockage dans les racines (Casper et *al.*, 2003).

Les sujets âgés échantillonnés dans les dayas d'études sont ancrés dans des sols limoneux et calcaires, dans lesquels se manifestent des racines volumineuses peu nombreuses et peu profondes. L'envergure latérale de ces systèmes racinaires est plus grande que chez les jeunes sujets. Ceci est dû certainement à la disparition du jujubier autour des pistachiers adultes. Dans ces sols, la fraction argileuse et organique sont non négligeables, elles forment comme les limons fins et le calcaire une composition permettant la rétention d'eau et donc un

accroissement de la biomasse racinaire, au dépend de l'allongement des racines après l'exploitation de l'eau retenue après ruissellement et qui persiste plusieurs jours. Cette absorption hydrominérale prononcée peut avoir lieu selon Limane et *al.* (2014a) dans les systèmes racinaires peu profonds au printemps et en automne, qui fournissent une majeure partie des réserves pour la partie aérienne. Ces auteurs indiquent que le couple « limons-calcaire » confère aux sols une capacité de rétention améliorée. C'est une importante réservation d'eau selon Floret et Pontanier (1982).

En outre, le système racinaire peu profond peut être aussi suffisant, en plus de l'alimentation hydrominérale, pour l'ancrage (Limane et *al.*, 2014b). Ceci concorde avec les conclusions sur la tendances de certaines plantes des régions arides à développer un système racinaire primaire peu profond (Hodge et *al.*, 2009 ; Schenk & Jackson, 2002b ; Rabesandratana, 1997 ; Yobi et *al.*, 2001). Le système racinaire peu profond est généralement favorisé par rapport au système racinaire profond (Schenk & Jackson, 2002b) parce que :

- 1- l'énergie que fournit la plante pour sa construction, maintenance et fonction d'absorption est moins importante (Adiku et *al.*, 2000) ;
- 2- les horizons superficiels du sol sont moins prédisposés au déficit en oxygène (Hillel, 1998 ; Schenk & Jackson, 2000a), et la concentration en nutriments est généralement plus importante dans les couches superficielles du sol (Jobbagy & Jackson, 2001) ; toutefois, ces couches sont souvent très chaudes et sèches en saison estivale (Limane et *al.*, 2014b) ; les températures élevées peuvent diminuer l'abondance de racines dans les niveaux superficiels (Jackson et *al.*, 1996) ; ceci pourrait expliquer la diminution significative du nombre de ramifications superficielles du pistachier de l'Atlas tout le long d'un gradient d'aridité nord-sud (Limane et *al.*, 2014b).

La signification écologique des racines profondes pour l'écoulement de l'eau dans les écosystèmes soumis à des conditions intenses d'évapotranspiration a été démontrée par le mécanisme de « l'ascenseur hydraulique » ou «Hydraulic Lift » chez de nombreuses espèces (Richards & Caldwell, 1987, Caldwell & Richards, 1986). Durant la nuit, ces racines absorbent l'eau des niveaux profonds, qui est ensuite libérée dans les niveaux superficiels. L'eau est réabsorbée le lendemain par la même plante par biais de ses racines peu profondes et par les racines superficielles des plantes voisines qui n'ont pas accès aux eaux de ces niveaux de profondeur. Le mécanisme est d'une importance écologique considérable, car il

Chapitre 5. Interactions Racines-Sol sous pistachier de l'Atlas

permet aux plantes de maintenir leur taux d'évapotranspiration intense durant les périodes sèches (Canadell et *al.*, 1996).

Pate et *al.* (1995) indiquent pour quelques espèces arbustives et arborées de l'ouest de l'Australie, poussant dans un climat méditerranéen, que la conductivité hydrique des racines profondes est en gros plus importante que celle des racines superficielles, et ceci est principalement due aux large vaisseaux de xylème (1,5 à 2 mm pour les racines profondes). Souvent ces racines profondes montrent des densités élevées en vaisseaux, ce qui indique que leur fonction majeure est le transport d'eau (Higgings et *al.*, 1987 ; Pate et *al.*, 1995). Cet approvisionnement en eau suffit pour maintenir les stomates ouverts, et aide la plante à franchir la saison chaude (Canadell et *al.*, 1996). Selon Hodge et *al.*, (2009), l'épaississement des racines peut augmenter 100 à 1000 fois leur conductivité axiale par rapport à des tissus sans formations secondaires.

Les relations hydriques sol-plante sont cruciales pour comprendre le mécanisme d'adaptation des plantes à leur environnement (Zheng, 2014). Les racines poussent aussi profondément que nécessaire pour satisfaire aux exigences de la plante en matière de ressources nutritives (Schenk et Jackson, 2002b). Cette hypothèse est vraie pour le pistachier de l'Atlas. Conformément à la théorie globale de « recherche de nourriture » (Foraging theory), cette espèce investit sa biomasse racinaire avec modération, afin d'optimiser l'acquisition des ressources hydrominérales inégalement réparties dans l'espace et dans le temps.

Les sols sous ces sujets âgés sont compacts. D'après Danjon et *al.* (2005) un horizon induré et impénétrable ou un socle rocheux limitent certes l'enracinement, mais constitue aussi un support solide pour l'arbre assurant sa stabilité. Dans un sol compact, les macropores jouent un rôle important dans l'inhibition de l'élongation et la pénétration des racines dans les zones endurcies de ces sols (Ehlers et *al.*, 1983), ce qui explique l'investissement en épaisseur du système racinaires chez les individus adultes. Il paraît certes peu profond, mais il doit avoir une extension verticale profonde (d'après son énorme masse végétale aérienne), que nous n'avons pas pu exhiber. Nizinski et *al.* (1992) et Granier et *al.* (2000) soulignent que l'enracinement profond permet de pomper l'eau lorsque celle-ci est limitée dans les couches supérieures du sol, influençant l'absorption hydrique et minérale ; perturbant le réapprovisionnement de la rhizosphère et le déroulement des fonctions métaboliques et limitant ainsi la croissance des plantes. Cette stratégie est attribuée aux pieds âgés de *Pistacia*

Chapitre 5. Interactions Racines-Sol sous pistachier de l'Atlas

atlantica qui l'adoptent pour lutter contre la dessiccation en périodes sèches. Selon Limane et *al.* (2014b), les sols sous-pistachier en zones arides (particulièrement limoneux qu'argileux) influencent positivement les racines superficielles qui luttent pour se développer dans ces conditions de xéricité. Selon ces auteurs, les racines vigoureuses du pistachier lui permettent de pénétrer entre les fissures de dalles calcaires et de générer des espaces inter lamellaires et donc atteindre les niveaux humides les plus profonds. Ganastas et Tsakalidimi (2003) indiquent que ces facteurs de stress de sol affectent fortement l'architecture du système racinaire, ce qui provoque sa déformation et sa restriction.

En Algérie, le long d'un transect nord-sud, nous rencontrons majoritairement des habitats déficitaires en eau. Malgré cela, le pistachier de l'Atlas augmente significativement l'épaisseur et la longueur de ses racines superficielles et s'épanouit dans les périodes les plus chaudes et sèches de l'année. Cela signifie nécessairement qu'il a trouvé une source d'humidité suffisante dans ces zones. En effet, sa stratégie « d'alimentation en eau » est essentiellement basée sur le choix des biotopes les plus avantageux pour son approvisionnement en eau dans ces environnements arides (Limane et *al.*, 2014b). Il s'installe dans les dayas (Emberger, 1939 ; Monjauze, 1968, 1980, 1982 ; Pouget, 1980 ; Quézel & Médail, 2003), qui selon Pouget (1980), sont des dépressions alluviales fermées où s'accumulent les eaux de ruissellement. Ces eaux persistent quelques jours à plusieurs semaines, une partie s'évapore, une autre s'infiltre lentement à travers le sol à texture moyenne à très fine. Tout cela avec ce qui précède justifie son triomphe dans ces zones.

3. Conclusion

A la lumière de ce chapitre, nous confirmons que le pistachier de l'Atlas possède une adaptabilité étonnante face à la sécheresse climatique et édaphique extrêmes. Son système racinaire si vigoureux 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. D'un stade de vie à un autre, son enracinement change à travers les dayas en fonction du substrat et de l'espèce accompagnatrice. Qu'il s'agisse de facilitation ou de compétition écologiques, cette espèce exploite toujours le milieu qu'elle colonise soigneusement et réussit à tenir quelques soit les changements. D'ailleurs, Limane et *al.* (2014b) suggèrent que les racines de cette espèce sont opportunistes, car elles développent, sous des climats semi-arides et arides, un système racinaire superficiel principalement suffisant pour ses besoins hydrominéaux considérables avec l'augmentation de l'aridité

Chapitre 5. Interactions Racines-Sol sous pistachier de l'Atlas

climatique et édaphique. Le pistachier de l'Atlas pour ces auteurs adopte une stratégie phréatophytique par l'augmentation de la longueur et l'épaisseur de ses racines profondes, en contact avec les niveaux profonds humides, il est protégé de l'évapotranspiration pendant la longue saison sèche, et est soutenu par une biocénose associée dans ces écosystèmes fragiles. Il 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. Nous pouvons prévoir 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.

Conclusion

Générale et Perspectives

Conclusion générale et perspectives

A l'issue de cette étude, nous avons tenté de caractériser le système racinaire du pistachier de l'Atlas, ainsi que les principales exigences édaphiques qui régissent cette architecture souterraine de deux pistacheraies au sud de Laghouat, parsemées dans deux dayas du Plateau Saharien.

Ces cuvettes, malgré toutes les conditions défavorables et contraignantes de leurs alentours, offrent un habitat particulier et appréciable dans lequel l'essence étudiée prospère et s'épanouit. Comme ont relevé Limane et *al.*, (2014a), le pistachier emploie une stratégie d'endurance pendant que la plupart de la flore des biomes arides développe des stratégies de survie, visant la suppression de la perte d'eau pendant la saison sèche.

En effet, son système racinaire en fonction des ressources disponibles au niveau du sol, mais aussi en fonction de sa plante nurse : le jujubier, qui lui assure protection et facilite son installation depuis la germination et jusqu'à la maturité. Jeune, l'enracinement se manifeste principalement par un pivot rectiligne duquel émergent des racines latérales, tous les deux assurent l'ancrage et l'approvisionnement en ressources hydrominérales au jeune plant. Avec le temps, ce pivot dégénère et émet des fourches latérales faisant écarter le jujubier, le pistachier atteint la maturité, la compétition pour l'espace souterrain commence. Le pistachier de l'Atlas continue à envahir le sol sous-jacent, s'enracine en profondeur pour s'alimenter en période sèche et colonise les niveaux superficiels, afin d'assurer le stockage de réserves et l'absorption d'eau de ruissellement temporaire. Ce système racinaire si vigoureux permet au pistachier de persévérer dans cette limite présaharienne en lui offrant un pouvoir adaptatif. Avec un système racinaire flexible évoluant dans l'espace et le temps, cette espèce peut coloniser avec succès dans des biotopes les moins adéquats à sa survie.

Ces différentes étapes de développement racinaire varient dans la durée selon les caractéristiques des sols sous-jacents, essentiellement les proportions des différentes fractions granulométriques. Si la fraction sableuse est largement présente, l'évolution vers l'épaississement des différentes racines se fait plus tôt, dans les stades moyens. La dominance de la fraction fine du sol (argiles, limons fins et grossiers) retarde cela aux stades âgés.

Ce travail malgré tout reste incomplet, il nous a permis certes de fournir les données nécessaires à la compréhension de la stratégie adaptative de *P. atlantica* par le biais du système racinaire, en fonction des propriétés édaphiques de son sol sous-jacent, mais nécessite d'être étendu.

Conclusion générale et perspectives

Pour mieux comprendre l'écologie adaptative de cette espèce tellement négligée par les chercheurs en Afrique du Nord, il nous semblerait crucial et impératif d'élargir le champ d'investigation en commençant par la préservation des bétoums qui subsistent et la réhabilitation de leurs habitats altérés. Ceci ne pourrait se concrétiser sans une étude scientifique ciblée. Dans ce cadre nous proposons de :

- rajouter d'autres stations d'étude pour mieux discerner le comportement racinaire du pistachier de l'Atlas vis-à-vis du sol ; dans ce cas-là, il sert de dévoiler un nombre plus important de systèmes racinaires et d'opter pour une typologie et une modélisation de la partie souterraine de cette espèce ;
- s'intéresser à la facilitation et à la compétition entre le pistachier de l'Atlas et son espèce nurse, pour mieux comprendre la structuration et l'évolution de cette communauté végétale ; cet effet nurserie constitue un investissement pertinent pour cette espèce feuillue ; à ce niveau, il semblerait intéressant d'évoquer d'autres paramètres édaphiques tels que : l'azote, le potassium et le phosphore, et de considérer ainsi tous les facteurs pesant sur ces deux interactions biotiques comme l'allélopathie et les symbioses racinaires inter et intra spécifiques ; il convient aussi de mieux prospecter les dayas et d'inventorier la faune et la flore qui y cohabitent ;
- synthétiser et combiner ce qui précède pour contribuer au changement du statut écologique en conservant cette essence menacée de disparition ; grâce à la compréhension de son comportement vis-à-vis des contraintes du milieu, l'inclure dans des programmes de réhabilitation de terres permettrait de lutter contre la désertification en utilisant une espèce autochtone, adaptée depuis des millénaires à l'environnement aride.

Références

Bibliographiques

A

Abdelguerfi A. et Ramdane S.A., 2003. Bilans des Expertises sur « La Conservation in situ et ex situ en Algérie » MATE-GEF/PNUD : Projet ALG/97/G31, 147-233 p

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 Tilhremt (Laghouat). Mémoire d'ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou 132 p.

Achhal A., Akabli O., Barbero M., Benabid A., Mhirit O., Peyre C., Quézel P. et Rivas-Martinez S., 1980. A propos de la valeur bioclimatique et dynamique de quelques essences forestières au Maroc. *Ecologia Mediterranea*, 5, 211-249 p.

Adiku S.G.K., Rose C.W., Braddock R.D. et Ozier-Lafontaine H., 2000. On the simulation of root water extraction: examination of a minimum energy hypothesis. *Soil Science*, 165, 226–236 p.

Aïdoud-Lounis F., 1984. Contribution à la connaissance des groupements à sparte (*Lygeum spartum* L.) des Hauts Plateaux Sud oranais ; étude phytoécologique et syntaxonomique. Thèse 3e cycle, université des sciences et de la technologie Houari Boumediène, Alger, 253 p.+ annexes.

Aïdoud A., Le Floch E. et Le Houérou H.N., 2006. Les steppes arides du nord de l'Afrique. *Sécheresse*, 17 (1-2), 30 p.

Aït 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.

Allee W.C., Emerson A.E., Park O., Park T. et Schmidt K.P., 1965. Principles of Animal Ecology. Philadelphia. London, Saunders. 837 p (1st ed. 1949).

Références bibliographiques

Alyafi J., 1979. Approche systématique et écologique du genre Pistacia dans la région méditerranéenne. Thèse 3ème cycle, Faculté des Sciences et Techniques St Jérôme, Marseille, 42 p.

Amroun R., 2013. Caractérisation de propriétés physiques et chimiques des sols sous pistachier de l'Atlas Cas de la daya de Timzerth (wilaya de Laghouat). Mémoire d'ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 85 p.

Anonyme 1, 1995. Plan directeur d'Aménagement urbain de la ville de Laghouat. 7 p.

Anonyme 2, 1998. Présentation du secteur forestier de la wilaya de Laghouat, 33 p.

Anonyme 3., nd. Wilaya de Laghouat : Potentialités d'investissement et perspectives de développement. Guichet Linique Décentralisé de Laghouat, Agence Nationale de développement de l'investissement, Ministère de l'industrie et de la promotion des investissements. 13 p.

Anonyme 4, 2010. Secteur agricole, wilaya de Laghouat, 11 p.

Anonyme 5., 2006. SRAT de la région des Hauts Plateaux, Rapport diagnostique : Présentation Régionale. Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural 453 p.

Anonyme 6, 2007. Carte de diagnostic du réseau hydrographique de la wilaya de Laghouat. Bureau d'Etude Hydraulique et Génie Rural.

Ardnt, S.K., Clifford, S.C. et Popp, M., 2001. Ziziphus- a multipurpose fruit tree for arid regions. in : sustainable land-use in deserts. Breckle S.W., Veste M. and Wucherer W., Springer. Heidelberg, Stuttgart, New York, 388-399 p.

Atger C., 1992. Essai sur l'architecture des arbres. Thèse de doctorat, Univ. de Montpellier II, 287 p.

Atger C. et Edelin C., 1994. Stratégies d'occupation du milieu souterrain par les systèmes racinaires des arbres. Revue d'écologie la terre et la vie 49, 343-356 p.

Atger C. et Edelin C., 1995. A case of sympodial branching based on endogenous determinism in root system: Platanus hybrida Brot. Acta. Bot. Gallica 142, 23-30 p.

Références bibliographiques

Aubert G., 1947. Les sols à croûtes calcaires. Conf. pédol. Medit Montpellier-Alger: 330-332 p.

Aubert G., 1960. Colloque général sur les problèmes de la zone aride. Les sols de la zone aride. UNESCO/NS/AZ/5/4. Colloque de Paris. Communication N°5. Paris.

Aubert G., 1978. Méthodes d'analyses des sols. Ed Centre National de Documentation Pédologique, 188 p.

Aubert G., 1985. Sols isohumiques. ORSTOM. Fonds documentaire .N° 17.240 exl. Code B.

B

Bachir Raho G. et Benali M., 2010. Antimicrobial activity determination of the gum of *Pistacia atlantica* Desf. oil. Full Length research Paper, African Journal of Microbiology Research Vol. 4, 23, 2457-2460 p.

Baize D., 2000. Guide des analyses courantes en pédologie. INRA, Paris, 172 p.

Bagnouls F. et Gaussen H., 1953. Sèche et indice xérothermique Bull. Soc. Hist. Nat de Toulouse, 88, 193-240 p.

Barbero M., Loisel R. et Quezel P., 1982. Caractérisation bioclimatique des étages de végétation forestière sur le pourtour méditerranéen. Aspect méthodologique posé par la zonation. Coll. Int. Ecol. Haute altitude. 24, 191-202 p.

Barbero L., Corcket E., Dutoit T. et Cozic P., 2001. Plant diversity and agro-ecological processes in calcareous grasslands of submediterranean French Prealps consequences for conservation management by lowintensity farming. Agricultural Ecosystems and Environment, in press.

Batcho E., Daouda O.S., Do F., Annerose D.J., Fofana A., Laffray D. et Lougeut P., 1990. Etude de la croissance racinaire de 6 cultivars de mil (*Pennisetum americanum*) Rev. Res. Amelior. Prod. Agr. milieu aride 2, 51-65.

Belhadj S., 1999. Pistachio situation in Algeria. Nucis Newsletter ; 8, 29-30 p.

Belhadj S., 2001. Les pistacheraies algériennes : état actuel et dégradation. Cahiers Options Méditerranéennes, 56, 107-109 p.

Références bibliographiques

- Belhadj S., 2007.** Etude écobotanique de *Pistacia atlantica* Defs. (Anacardiaceae) en Algérie, préalable à la conservation des ressources génétiques de l'espèce et à sa valorisation. Thèse de doctorat en sciences agronomiques, option : écologie végétale. 185 p.
- Belhadj, S., Derridj, A., Auda, Y., Gers, C. et Gauquelin, T., 2008.** Analyse de la variabilité morphologique chez huit populations spontanées de *Pistacia atlantica* en Algérie. Can. J. Bot./Rev. Can. Bot. 86, 520–532 p.
- Belharret O. et 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.
- Benhassaini H. et Belkhodja M., 2004.** Le pistachier de l'Atlas en Algérie : entre survie et disparition. La feuille et l'aiguille ; 54, 1-2 p.
- Benhassaini H., Mehdadi Z., Hamel L. et Belkhodja M., 2007.** Phytoécologie de *Pistacia atlantica* Desf. subsp. *atlantica* dans le nord-ouest Algérien. Sécheresse, 18(3) : 199-205.
- Bengough A.G., 2012.** Root elongation is restricted by axial but not by radial pressures: so what happens in field soil? Plant Soil, 360, 15–18 p.
- Benmohammadi A., Benmohammadi L., Ballais J.L. et Riser J., 2000.** Analyse des interrelations anthropiques et naturelles : leur impact sur la recrudescence des phénomènes d'ensablement et de désertification au sud-est du Maroc (vallée de Drâa et vallée de Ziz). Sécheresse ; 11, 297-308 p.
- 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 d'ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, 62 p.
- Berben, J.C., 1968.** Problème d'enracinement en sols sableux. Bull. Soc. R. For. Belg., 10, 377-401 p.

Références bibliographiques

- Berish C.W. et Ewel J.J., 1988.** Root development in simple and complex tropical successional ecosystems. *Plant Soil* 106,73-84 p.
- Bhattachan A., Tatlhago M., Dintwe K., O'Donnell F. et Caylor K.K., 2012.** Evaluating Ecohydrological Theories of Woody Root Distribution in the Kalahari. *PLoS ONE* 7(3): e33996. doi:10.1371/journal.pone.0033996
- Böhm W., 1979.** Methods of studying root systems *Ecological studies* n° 33. Eds W. D. Billing, F Golley, OL Lange and J S Olson. Springer Verlag, Berlin, 188 p.
- Bonan G.B., 1993.** Analysis of neighborhood competition among annual plants: implications of a plant growth model. *Ecological Modelling* 65:123–136.
- Boulaine J., 1989.** Histoire des pédologues et de la science des sols. Ed. Institut national de la recherche agronomique. ISBN-10 : 2738000509 ; 285 p.
- Bounceur D., 2009.** Contribution à l'étude de caractéristiques physiques et chimiques des sols sous pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf. ssp *atlantica*):cas de la daya de Tiltremt (Wilaya de Laghouat). Mémoire d'ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 90 p.
- Breman H. et Kessler J.J., 2005.** Le rôle des ligneux dans les agro-écosystèmes des régions semi-arides (avec un accent particulier sur les pays sahéliens). [Woody plants in agro-ecosystems of semi-arid regions, with an emphasis on the sahelian countries]. (Chapitre 1 et 2).file:///A:/2s.htm
- Brisson J. et Reynolds J.F., 1997.** Effects of compensatory growth on population processes: a simulation study. *Ecology* 78, 2378–2384 p.
- Browicz K., 1988.** Chorology of Trees and Shrubs in South-west Asia and Adjacent Regions. Vol. 6. Polish Scientific Publications, Warsawa, Poznan. in Zohary D., 1996. The genus *Pistacia* L. in Padulos S., Caruso T and Barone E. (Eds). *Taxonomy, Distribution, Conservation and uses of Pistacia gentic resources*. I.P.G.R.I. Palermo, Italy : 1-11 p.
- Brown P.H., Zhang Q. et Fergusson L., 1994.** Influence of rootstock on nutrient. Acquisition by Pistachio. *Journal of plant nutrition*, 17 : 1137 – 1148 p.

C

Caldwell M.M. et Richards J.H., 1986. Competing root systems: morphology and models of absorption. *On the Economy of Plant Form and Function* (ed. T.J. Givnish), Cambridge University Press, Cambridge. 251–273 p.

Caldwell M.M., 1987. Competition between root system in natural root grafting in eastern white pine *Pinus strobus*. *Ecology*; 40, 677-691 p.

Callot G., Chamayou H., Maertens C. et Salsac L., 1982. Les interactions sol-racine, incidence sur la nutrition minérale. *Collection mieux comprendre*, Ed. I.N.R.A, Paris, 325 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 p.

Cannon, W.A., 1949. A tentative classification of root systems. *Ecology*, 30, 542-548 p.

Casper B.B. et Jackson R.B., 1997. Plant competition underground. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 1997. 5, 6, 545–70 p.

Casper, B.B. et Cahill J F., 1998. Population level responses to nutrient heterogeneity and density by *Abutilon theophrasti* (Malvaceae). *American Journal of Botany* 85: 1680–1687.

Casper B.B., Schenk J.H. et Jackson R.B., 2003. Defining a plant's belowground zone of influence. *Ecology*, by the Ecological Society of America .84(9), 2003, 2313–2321 p.

Caylor K.K., D'Odorico P. et Rodriguez-Iturbe I., 2006. On the ecohydrology of structurally heterogeneous semi arid landscapes. *Water Resource Research* 42: W07424. doi: 10.1029/2005WR004683.

Capot-Rey R., 1937. La région des daya. *in* : Mélanges offerts à E.F. Gautier. Tour : Imprimerie Arrault, 1937 : 107-30 p.

Chaba B., Chraa O. et Khichane M., 1991. Germination, morphogenèse racinaire et rythmes de croissance du Pistachier de l'Atlas. *in* *Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides*, Groupe d'Etude de l'Arbre : 465-472 p.

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

Références bibliographiques

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.

Clifford, S.C., Arndt, S.K., Corett, J.E., Joshi, S., Sankhala, N. et Popp, M., 1998. The role of solute accumulation, osmotic adjustment and changes in cell wall elasticity in drought tolerance in *Ziziphus mauritiana* Lamk. *Journal of experimental Botany*, 49 (323): 967-977 p.

Comas L.H., Bouma T.J., Eissenstat D.M., 2002. Linking root traits to potential growth rate in six temperate tree species. *Oecologia*, 132, 34–43 p.

Comas L.H., Eissenstat D.M., 2004. Linking fine root traits to maximum potential growth rate among 11 mature temperate tree species. *Functional Ecology*, 18, 388–397 p.

Compagnon P., 1982. Le caoutchouc naturel. Biologie-Culture-Production. G.P Maisonneuve et Larose Ed., Paris (Ve), 1982 595 p.

Conrad G., Geze B. et Paloc H., 1967. Phénomènes karstiques et pseudokarstiques au Sahara. *Revue Géog. phys. Géol. dyn'* 3 IX3 5, 357-369 p.

Couplant R.T. et Johnson R.E., 1965. Rooting characteristics of native grasslands species in Saskatchewan. *J. Exp. Bot.* 1965; 170, 1441-1450 p.

Coutts, M.P., 1983. Root architecture and tree stability. *Plant and Soil*. 71, 171-188 p.

Coutts M. P., Walker C. et Burnand A.C., 1990. Effects of establishment method on root form of lodgepole pine and Sitka spruce and on the production of adventitious roots. *Forestry* 63,143-159 p.

Coutts M.P. Nilson C.C.N. et Nicoll, B.C., 1999. The development of symmetry rigidity and anchorage in the structural root system of conifers. *Plant and Soil*, 218: 1-15 p.

Cucchi V., Meredieu C., Stokes A., Berthier S., Bert D., Najar M., Denis A. et Lastennet R., 2004. Root anchorage of inner and edge trees in stands of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) growing in different podzolic soil conditions. *Trees: Structure and Function* 18 (4), 460-466 p.

Références bibliographiques

Czaran, T. et Bartha S., 1992. Spatiotemporal dynamic models of plant populations and communities. *Trends in Ecology and Evolution* 7, 38–42 p.

D

Daget P., 1977. Mediterranean bioclimate. General characteristics and modes of definition. *Vegetatio* 34, 1-20 p.

Dagnelie P., 2011. Statistique théorique et appliquée. Tome 2. Interférence statistique à une et à deux dimensions. ISBN 978-2-8041-6336-3. Bruxelles, De Boeck, 736 p.

Dagnelie P., 2013. Statistique théorique et appliquée. Tome 1. Statistiques descriptives et bases de l'interférence statistique. ISBN 978-2-8041-7560-3. Bruxelles, De Boeck, 517 p.

Dambrine E., 2001. Acidité et acidification des sols ; une introduction. INRA Nancy Département Forêt et milieux Naturels. www.nancy.inra.fr/acdification/index.html

Danjon F., Fourcaud T. et Bert D., 2005. Root architecture and windfirmness of mature *Pinus pinaster* (Ait.). *New Phytologist* 168, 387-400 p.

Danjon F., Drénou Ch., Dupuy L. et Lebourgeois F., 2008. Le rôle du sol et de l'ancrage racinaire Soil, roots and anchorage of forest trees. GIP Ecofor "forêt, vents, risques" 1-22 p.

Dobson M.C. et Moffatt A.J., 1995. A re-evaluation of objections to tree planting on containment landfills. *Waste Manage Res* 13, 579–600 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 d'ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou. 88 p.

Drénou Ch., 1999. Étude des relations entre systèmes racinaires et stabilité des arbres :à la suite de la tempête de décembre 1999). Forêt et tempête ; Dossier de l'environnement de l'INRA n°20 153, 153-159 p.

Drénou Ch., 2003a. Les rôles secrets des racines. *Forêt-Entreprise* n°153, IDF édit., Paris, 19-23 p.

Drénou C., 2003b. Uni par les racines. *Forêt-Entreprise* 153, 34-38 p.

Références bibliographiques

Drénou Ch., Brémand F., Charnet F., Foucaud Th. Et Stokes A., 2004. Etude de l'ancrage racinaire des peupliers. Convention Ecofor 2002-06, 127 p.

Drénou Ch., 2006. Les racines. Face cachée des arbres. Edition CNPPF, Paris, 335 p.

Dubief J., (1953). Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Ed : service des études scientifiques, Alger. pp. 26-103 p.

Durand J.H., 1953. Étude hydrogéologique et pédologique des croûtes en Algérie. Publ. Gouv. Gén. Algérie; S.E.S., Alger, 209 p.

Durand J.H., 1956. Les croûtes calcaires s.l. d'Afrique du Nord étudiées à la lumière de la Bio-Rhexistase. Trav. Sect. Péd. et Agrol., Gouv. Gal. de l'Algérie, Serv. I&S. Scient., no. 4.

E

Edelin C. et Atger C., 1994. Stem and root tree architecture: questions for plant biomechanics. Biomimetics 2, 253-266 p.

Ehlers W., Kopke U., Hesse F. et Bohm W., 1983. Penetration resistance and root-growth of oats in tilled and untilled loess soil. Soil Til Res 3, 261–275 p.

Eis S., 1974. Root system morphology of western hemlock, western red cedar, and douglas-fir. Canadian Journal of Forest Research 4, 28-38 p.

Eissenstat D.M., 1992. Costs and benefits of constructing roots of small diameter. Journal of Plant Nutrition, 15, 763–782 p.

El Oqlah A.A., 1996. Biosystematic research on the genus Pistacia in Jordan in : Padulosi S., Caruso T. and Barone E.(eds), Taxonomy, Distribution, Conservation, and Uses of Pistacia Genetic Resources. Project on Underutilized Mediterranean Species 12-19 p, report of a workshop 29-30 June 1995, Palermo, Italy, I.P.G.R.I.

Emberger L., 1930. La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux. Revue gén Bot. 42 : 641-662 p et 705-721 p.

Emberger L., 1938. La définition phytogéographique du climat désertique. Mém. Soc. Biozo., 6 : 9-14 p.

Références bibliographiques

Emberger L., 1939. Aperçu général sur la végétation du Maroc. Veroff. Geobot. Inst. Rübel in Zurich, 14 : 40-157 p.

Emberger L., 1955. Une classification biogéographique des climats. Trav. Inst. Bot., Montpellier, 7 : 3-43 p.

Emberger L., 1971. Travaux de botanique et d'écologie. Ed. Masson et Cie, Paris, 519 p.

Ennos A.R. et Fitter A.H., 1992. Comparative functional morphology of the anchorage systems of annual dicots. Funct Ecol 6, 71-78 p.

Estorges P., 1959. Morphologie du Plateau Arba. Travaux de l'I.R.S., XVIII: 21-56 p.

Estorges P., 1961. Morphologie du Plateau Arba. Travaux de l'I.R.S., XX : 29-77 p.

F

Fernandez O.A.et Caldwell M.M., 1975. Phenology and dynamics of root growth of three cool semi-desert shrubs under field conditions. Journal of Ecology 63:703–714 p.

Fitter A.H., 1982. Morphometric analysis of root systems: application of the technique and influence of soil fertility on root system development in two herbaceous species. Plant, Cell & Environment 5, 313–322 p.

Flandrin J., 1952. Les chaînes atlasiques et la Bordure Nord du Sahara. XIX Congrès Géol. Int. Alger~ monographie n°14.

Floret Ch. et Pontanier R., 1982. L'aridité en Tunisie présaharienne : Climat, sol, végétation et aménagement. Travaux et documents de l'ORSTOM n° 150. 1-553 p.

Floret Ch. et Pontanier R., 1984. Aridité climatique, aridité édaphique. Bull.soc.bot.Fr., 131, Actual.bot (2/3/4), 265-275 p.

Fowler N., 1986. The role of competition in plant communities in arid and semiarid regions. Annual Review of Ecology and Systematics 17, 89-110 p.

Fraser A. I. et Gardiner J.B.H., 1967. Rooting and stability in sitka spruce. Forestry Commission. Bulletin n° 40, 28 p

Références bibliographiques

Favre J.M., 1985. Modification expérimentale de l'architecture racinaire d'Hévéa braziliensis. *Phytomorphology*; 35 (1,2), 35-46 p.

G

Gallet C. et Pelissier F., 2002. Interactions allélopathique en milieu forestier. *Revue Forestière Française (LIV)*, n° 6, p. 567-576 p.

Ganatsas P. et Tsakalimi M., 2003. Root system modification of *Pinus brutia* Ten. species under adverse ecological conditions. *Proc. 8th Int. Conf. on Environmental Science and Technology, Lemnos Island, Greece*, 8–10 Sept. Vol. B, 216–223 p.

Gebauer R.L. et Ehleringer J.R., 2000. Water and nitrogen uptake patterns following moisture pulses in a cold desert community. *Ecology* 81, 1415–1424 p.

Germana C., 1997. The response of pistachio trees to water stress as affected by two different rootstocks. *Acta Horticulturae (ISHS)*, 449, 513-519 p.

Gobat J.M., Arago M. et Matthey W., 1998. Le sol vivant. Bases de pédologie, biologie des sols. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 519 p.

Graham J.H., Syvertsen J., 1985. Host determinants of mycorrhizal dependency of citrus rootstock seedlings. *New Phytologist*, 101, 667–676 p.

Granier A., Bruno P. et Lemone D., 2000. Water balance transpiration and canopy conductance in two beech stands. *Agri. For. Meteorol.* 100, 291-300 p.

Grime J.P., 2007. The scale – precision trade-off in spatial resources foraging by plants: restoring perspective. *Annals of Botany* 99, 1017–1021 p.

Gwenzi W., Veneklaas E.J., Holmes K.W., Bleby T.M., Phillips I.R. et Hinz C., 2011. Spatial analysis of fine root distribution on a recently constructed ecosystem in a water-limited environment. *Plant Soil* 348, 471–489 p.

H

Haboul Ch., 2011. Approche de l'adaptation de l'architecture racinaire du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf. ssp. *atlantica*) à la sécheresse : cas de la population de la daya de

Références bibliographiques

Boucédraïa (wilaya de Djelfa). Mémoire d'ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou. 121 p.

Hairiah K. et van Noordwijk M., 1986. Root studies on a tropical ultisol in relation to nitrogen management. Report of field work at IITA's high rainfall substation at Onne (Port Harcourt, Nigeria) *in*. Institute for Soil Fertility (IB-DLO), 1985, Haren, 121 p, (Report 7-86)

Halitim A., 1988. Les sols des régions arides d'Algérie. Ed. O.P.U., Alger, 384 p.

Hartle R.T., Fernandez G.C.J. et Nowak R.S., 2005. Horizontal and vertical zones of influence for root systems of four Mojave Desert shrubs. *Journal of Arid Environments* 64, 586–603 p.

Hartung W. et Heimmeier R., 1992. The development of the root system of the winter annual desert plant *Anastatica hierochuntica* L. The significance of soil water content and nutrient supply. *Flora*; 186, 117-125 p.

Hellmers H., Horton J.S., Juhren G., et O'Keefe J., 1955. Root systems of some chaparral plants in southern California. *Ecology* 36, 667-678 p.

Higgins K.B., Lamb A.J. et Van Wilgen B.W., 1987. Root systems of selected plant species in mesic mountain fynbos in the Jonkershoek Valley, south-western Cape Province. *S Afr J Bot* 53, 249–257 p.

Hillel D., 1998. Environmental Soil Physics. San Diego, CA, USA: Academic Press.

Hipondoka M.H.T. et Versfeld W.D., 2006. Root system of *Terminalia sericea* shrubs across rainfall gradient in a semi-arid environment of Etosha National Park, Namibia. *Ecological Indicators* 6, 516–524 p.

Hodge A., 2006. Plastic plants and patchy soils. *Journal of Experimental Botany* 57, 401–411 p.

Hodge A., Berta G., Doussan C., Merchan F. et Crespi M., 2009. Plant root growth, architecture and function. *Plant Soil* 321, 153–187 p.

J

Jackson M.I., 1965. Free oxides, hydroxides and amorphous aluminosilicates. in Methods of soil analysis. Amer. Soc. Agron., Madison, 603-778 p.

Jackson R.B., Mooney H.A. et Schulze E.D., 1997. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. Proceedings of the National Academy of Sciences 94, 7362-7366 p.

Jackson R.B., Sperry J.S. et Dawson T.E., 2000. Root water uptake and transport: using physiological processes in global predictions. Trends in Plant Science 5, 482-488 p.

Jenik D. et Sen N., 1964. Morphology of root system in trees: a proposal for terminology. Tenth International Botanical Congress, Abstracts of papers: 393-394 p. Edinburgh.

Jobbagy E.G. et Jackson R.B., 2001. The distribution of soil nutrients with depth: global patterns and the imprint of plants. Biogeochemistry 53, 51-77 p.

K

Kadi-Bennane S., Ait Said S. et Smail Saadoun N., 2005. Etude adaptative de trois populations de *Pistacia atlantica* Desf. subsp. *atlantica* (Ain Oussera- Messaad-Taïssa), par le biais du complexe stomatique. Options Méditerranéennes, Série A, 63 : pp 365-368.

Kahn F., 1977. Analyse structurale des systèmes racinaires des plantes ligneuses de la forêt tropicale humide, Candollea. 32, 2, 327-358 p.

Kahn F., 1980. Comportements racinaire et aérien chez les plantes ligneuses de la forêt tropicale humide (sud-ouest de la côte d'ivoire). INPA - Ecologia, C.P. 478, 69000 Manaus, Brésil. 4, 3, 5,6, 413-427p.

Kazarjan V.O., 1969. Le vieillissement des végétaux supérieurs. Polycopié, Navka, Moscou, traduction française Riedacher A., CNRF, Nancy, 229 p.

Kebei S., 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 population de Tilrhem (Wilaya de Laghouat). Mémoire d'ingénieur Agronome, Département des Sciences

Références bibliographiques

Agronomiques, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 118 p.

Kembel SW, Cahill JF Jr. 2005. Plant phenotype plasticity belowground: a phylogenetic perspective on root foraging tradeoffs. *The American Naturalist* 166, 216–230 p.

Kembel S.W., De Kroon H., Cahill J.F.Jr. et Mommer L., 2008. Improving the scale and precision of hypotheses to explain root foraging ability. *Annals of Botany* 101, 1295–1301 p.

Kerfoot O., 1963. The root system of tropical forest trees. *Comnzonw. Forest. Rev.* 42, 19-26 p.

Khalidi A. et 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 ressources. Report of a workshop IPGRI, 29-30 june 1995 palermo, Italy.

Khaldoun A., 2000. Évolution technologique et pastoralisme dans la steppe algérienne : le cas du camion Gak en Hautes-Plaines occidentales. *Options Méditerranéennes Ser A Séminaires Méditerranéen s*; 39, 121-7 p.

Kichane M., 1988. Etude de la morphogénèse et des rythmes de croissance du système racinaire du jojoba : *Simmondsis chinesio* Link. et du pistachier de l'Atlas : *Pistacia atlantica* Desf. Essai de production de plants en pépinière. Thèse d'Ing. Agro., I.N.A. d'El-Harrach, 68 p.

Kimmins J.P., 2004. *Forest Ecology, a foundation for sustainable forest management and environmental ethics in forestry* (3rd ed.). London: Pearson Education Inc.

Köstler J, N., Brückner E. et Bibelriether H., 1968. *Die Wurzeln der Waldbäume* edn. Verlag Paul Parey.

Krasinlikov P.K., 1968. On the classification of the root system of trees and shrubs. in : *Methods of productivity studies in root systems and rhizosphere organisms.* USSR academy of sciences, international symposim, August 28, Semptember 12, 1968, 106-114 p.

Références bibliographiques

Kresztesi B., 1968. Morphological characteristic of the robinia root system on different sites of the Great Hungarian Plain. in Methods of productivity studies in roots systems and rhizosphere organisms. International symposium, August 28, September 12, 1968, URSS Academy of sciences, 86-101 p.

de Kroon H et Mommer L., 2006. Root foraging theory put to the test. Trends in Ecology and Evolution 2, 113–116 p.

Kubikova J., 1967. Contribution to the classification of root systems in woody plants. Preslia 39, 236-243 p.

Küllä T. et Lõhmus K., 1999. Influence of cultivation method on root grafting in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Plant Soil 217, 91-100 p.

Kummerow J. et Mangan R., 1981. Root systems in *Quercus dumosa* Nutt. dominated chaparral in southern California. Acta Oecol / Oecol Plant 2:177-188.

L

Laamouri .A, Ammari Y, Albouchi A, Sghaier T, Mguis K1 et Akrimi N., 2008. Etude comparative de la croissance et du développement du système racinaire de trois espèces de jujubier en Tunisie. Geo-Eco-Trop, 2008, 32, 37-46 p.

Larousse, 1970. Encyclopedia Universalis. Tome 6. Edition Larousse, Paris 5^{ème}.

Lebourgeois F. et Jabiol B., 2002. Enracinements comparés du chêne sessile, du chêne pédonculé et du hêtre. Réflexions sur l'autécologie des essences. Rev. For. Fr. 54, 17-42 p.

Lemee G., 1978. Précis d'écologie végétale. Masson et Cie, Paris, 285 p.

Le Houérou H.N., 1969. La végétation de la Tunisie steppique. Ann Inst Natl Agron (Tunis); 42 : 624 p. Systèmes d'élevage et production animale dans les steppes du nord de l'Afrique: une relecture de la société pastorale du Maghreb. Sécheresse ; 17 : 31-9 p.

Le Houérou, H.N., 1990a. Définitions et limites bioclimatiques du Sahara. Sécheresse, 1, 246-259 p

Le Houérou, H.N., 1990b. Bioclimatologie comparative des zones arides de l'Afrique et de l'Amérique latine Terra Arida, 7, 27-55 p.

Références bibliographiques

Le Houérou 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 de la microbouture. Thèse 3ème cycle : Univ. Aix-Marseille III, 295 p.

Le Roux Y. et Pagès I., 1994. Développement et polymorphisme racinaire chez de jeunes semis d'hévéa (*Hevea brasiliensis*). Can. J. bot. 72, 924-932 p.

Limane A., 2009. Approche de l'architecture racinaire de pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) de la réserve d'El Mergueb (wilaya de M'sila). Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou. 157 p.

Limane A., Smail-Saadoun N., et Thomas G., 2014a. Root architecture of Atlas pistachio in relation to underlying soil properties under arid conditions. African Journal of Agricultural Research, Vol. 9 (6), 622-625 p.

Logbo J., Diouf M., Do F., Akpo L. E., (2006). Architecture racinaire de jeunes plants d'espèces ligneuses sahéliennes au ferlo (nord-sénégal) : *Acacia tortilis* Forsk et *Balanites aegyptiaca* (L.) Del. J. Sci. Vol.6 , N°2. 17 p.

Long G., 1954. Contribution à l'étude de la végétation de la Tunisie Centrale. Ann. Serv. Bot. Agro. Tunis., 27, 388 p.

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.

Lüttge T., Kluge M., Bauge G., 1992. Botanique : traité fondamental. Ed. Lavoisier, Tec. Doc., 574 p.

Lyford W.H., 1980. Development of the root system of northern red oak (*Quercus rubra*). Harvard Forest Paper 21, 1-29 p.

Lyford W.H. et Wilson B.F., 1964. Development of the root system of *Acer rubrum* L. Harvard Forest Paper, n°10, Harvard University, Harvard Forest. Petersham, Massachusetts, 1-17 p.

M

Mahall B.E., 1998. Inter-root communications and the structure of desert plant communities, 265–280 p. in H. E. Flores, J. P. Lynch, and D. Eissenstat, editors. Radical biology: advances and perspectives on the function of plant roots. Current Topics in Plant Physiology 18. American Society of Plant Physiologists, Rockville, Maryland, USA.

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 master en amélioration et production des plantes, département d'agronomie, Université Ziane Achour Djelfa., 152 p.

De Martone, E., 1927. Traité de géographie physique. vol. 1. a. Colin, Paris. Di Castri, F., 1981.- Mediterranean-type shrublands of the world. in : Di Castri, F., Goodall, D.W. & Satchell, R.L. (eds), Ecosystems of the world 11 : Mediterranean-type shrublands. 1-52 p. Elsevier, Amsterdam.

Mattheck C., 1991. Trees, the mechanical design. Springer Verlag, 121 p.

Mathieu C., 2009. Les principaux sols du monde : voyage à travers l'épiderme vivant de la planète Terre. ed TEC & DOC, Lavoisier. ISBN : 978-2-7430-1196-3. 225p.

Mauer O. et Palatova E., 2002. Mountain ash (*Sorbus aucuparia*) root system morphogenesis. Journal of forest Science, 48, (8), 342-350 p.

Maugé J.P., 1987. Le pin maritime, premier résineux de France. IDF édit, Paris, 192 p.

McKane R.B., Johnson L.C., Shaver G.R., Nadelhoffer K.J., Rastetter E.B., Fry B., Giblin A.E., Kielland K., Kwiatkowski B.L., Laundre J.A., et Murray G., 2002. Resource based niches provide a basis for plant species diversity and dominance in arctic tundra. Nature 415, 68–71 p.

Menaut J.C., 1983. The vegetation of African savannas. Ecosystems of the world 13, 109-149 p.

Melzi S., 1993. Evolution de la végétation et du milieu dans la région présaharienne des steppes algériennes. Sécheresse, 2 (4), 113 – 116 p.

Meyer S., Reeb C., Bosdeveix R., 2005. Botanique : Biologie et physiologie végétales. Collection "Sciences fondamentales". Edition Maloine, Paris, 461 p.

Références bibliographiques

Mguis K., Ksontini M., Rejeb M.N., 2005. Etude du système racinaire de jeunes plants de *Quercus suber* L. (Chêne liège) dans des conditions semi-contrôlées. Les Annales de l'INRGREF, numéro spécial, 7, 139-152 p.

M'hirit O., 1982. Etude écologique et forestière du Rif marocain. Essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la productivité du cèdre. Ann. Rech. Forest. Maroc. Tome 22. 502 p.

Monjauze A., 1965. Répartition et écologie de *Pistacia atlantica* Des f. en Algérie. Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. du Nord, Alger, 56, 5-128 p.

Monjauze A., 1968. Répartition et écologie de *Pistacia atlantica* Desf. en Algérie. Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle d'Afrique du Nord, 56, 128 p.

Monjauze A., 1980. Connaissance du bétoum (*Pistacia atlantica* Desf.). Biologie et Forêt, 4, 356-363 p.

Monjauze A., 1982. Le pays des dayas et *Pistacia atlantica* Desf. dans le Sahara algérien. Revue Forestière Française (4), 277-289 p.

Monod Th., 1973. Les déserts. Horizons de France, Paris, 247 p.

N

Nègre R., 1959. Recherches phytogéographiques sur l'étage de végétation méditerranéen aride (sous-étage chaud) au Maroc occidental. Trav. de l'Inst. Sei. Cherifien, série Bota. n013, 385 p. in Pouget (1980). Les relations sol-végétation dans les steppes sud-algéroises. ORSTOM. Paris, 569 p.

Nègre R., 1962. Petite flore des régions arides du Maroc occidental. Tome II. Ed. C.N.R.S. 55 p.

Nichole, J. et Alm, A.A., 1983. Root development of contains aid nursery -grown and naturally regenerated pine seedling. Can. J. For. 1, 239-245 p.

Nicoll B. C. et Ray D., 1996. Adaptive growth of tree root systems in response to wind action and site conditions. Tree Physiology 16, 891-898 p.

Références bibliographiques

Nizinski J., Morand D. et Fournier C., 1992. Le rôle du couvert ligneux sur le bilan hydrique d'une steppe (nord du Sénégal). Cah.Orstom, 27/2, 225-236 p.

Norby R.J. et Jackson R.B., 2000. Root dynamics and global change, seeking an ecosystem perspective. New Phytologist 147, 3–12 p.

Noy Meir I., 1973. Desert ecosystems : Environment and producers. Ann Rev Ecol Sys; 5, 195-214 p.

O

Osonobi O., Davies W.J., 1978. Solute accumulation in leaves and roots of woody plants subjected to water stress. Oecologia, 32, 323-332 p.

Otoul E., 1960. Le système racinaire de l'hévéa dans des conditions écologiques de Yangambi. Publications INEAC; 92, 9-66 p.

Ozenda P., 1977. Flore du Sahara. Ed .C.N.R.S, 622 p.

Ozenda P., 1983. Flore du Sahara. Deuxième Edition, CNRS, Paris, 622 p.

Ozenda P., 1991. Flore et végétation du Sahara, 3ème Ed. CNRS, Paris ,662 p.

Ozenda P., 2004. Flore et végétation du Sahara. 2e éd. du CNRS, Paris, 624 p.

O.N.M, 2012. Office National de Météorologie : Données climatiques de la région de Lagouat.

P

Pagès I., 1992. Mini-rhizotrons transparents pour l'étude du système racinaire de jeunes plantes. Application à la caractérisation du développement racinaire de jeunes chenes (*Quercus robur*). Canadian Journal of Botany, 70, 1840-1847 p.

Pagès I., 1995. Architecture racinaire : Analyse et modélisation. Compte-rendu du séminaire : La racine et le système racinaire, Conseil régionale de la région centre, INRA Orleans, 180 p.

Pagès L., Asseng S., Pellerin S. et Diggle A., 2000. Modelling root system growth and architecture. in Root Methods: A Handbook. A. L. Smith eds, Springer, Berlin, 113-146 p.

Références bibliographiques

Pate J.S., Jeschke W.D. et Aylward M.J., 1995. Hydraulic architecture and xylem structure of the dimorphic root systems of south-west Australian species of Proteaceae. *J Exp Bot* 46, 907–915 p.

Pouget M., 1980. Les relations sol-végétation dans les steppes sud-algéroises. ORSTOM. Paris, 569 p.

Pouget M., 2007. Archives environnementales sur l'Algérie steppique (1968-1975). Atlas Cédérom, IRD édition.

Prusinkiewicz P. et Lindenmayer A., 1990. The algorithmic beauty of plants. Springer-Verlag (Berlin), 302 p.

Q

Quézel P. et Santa S., 1963. Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Ed. CNRS. 2Tomes, 572 p.

Quézel P., Médail F., Loisel R. et Barbero M., 1999. Biodiversité et conservation des essences forestières du bassin méditerranéen. *Unasylva* ; 50, 21-8 p.

Quézel P., Médail F., 2003. Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Ed. Elsevier (Collection Environnement), Paris, 573 p.

R

Rabesandratana R.N, 1997. Profil racinaire de quelques espèces du fourré à *Euphorbia stenoclada* sur les dunes des environs de Tuléar (sud-ouest de Madagascar). *Sécheresse*, 8 (3), 179-187 p.

Raimbault P., 1991. Quelques observations sur les systèmes racinaires des arbres de parcs et d'alignement. Diversité architecturale et convergence dans le développement in "l'arbre, biologie et développement ". Cl. Edelin édit., *Naturalia Monspeliensia*, n° hors-série, Montpellier.

Raimbault P., 2003. La physiologie et l'architecture des racines. Institut National d'Horticulture. France. 1-8 p.

Références bibliographiques

- Reich, L. 1991.** Uncommon fruits worthy of attention. Reading. Mass. Addison-Wesley, 139-146 p.
- Reich P.B., Walters M.B., Tjoelker M.G., Vanderkleing D., Buschena C., 1998.** Photosynthesis and respiration rates depend on leaf and root morphology and nitrogen concentration in nine boreal tree species differing in relative growth rate. *Functional Ecology*, 12, 395–405 p.
- Reynolds E.R.C., 1987.** Development of the root crown in some conifers. *Plant and soil*. 87,397-405 p.
- Richards J.H. et Caldwell M.M., 1987.** Hydraulic lift: substantial nocturnal water transport between soil layers by *Artemisia tridentata* roots. *Oecologia* 73, 486–489 p.
- Riedacker A., 1974.** Un nouvel outil pour l'étude des racines et de la rhizosphère : le minirhizotron. *Annales des Sciences Forestières*, 31(2), 129-134 p.
- Rognon P., 1994a.** La sécheresse édaphique. *Sécheresse*, 3(5), 141-142 p.
- Rognon P., 1994b.** Les conséquences de la sécheresse sur la pédogénèse. *Sécheresse*, 3(5), 173-184 p.
- Roumet C., Urcelay C., Diaz S., 2005.** Suites of root traits differ between annual and perennial species growing in the field. *New Phytologist*, 170, 357– 368 p.
- Ruark, G.A., Moder, K.L. et Tatter, T.A., 1982.** The influence of soil compaction and aeration on the root growth and vigor of tree- A literature review. *Port. L. Arboric. J.* 6, 251-265 p.
- Ruellan A., 1966.** Les sols isohumiques subtropicaux au Maroc. Communication Conférence de Pédologie Méditerranéenne. Madrid (en cours de publication).
- Ruellan A., 1967.** Individualisation et accumulation du calcaire dans les sols et les dépôts quaternaires du Maroc". *Cahiers de Pédologie de l'ORSTOM*.
- Ruellan A., 1970.** Les sols à profil calcaire différencié des plaines de Basse Moulouya (Maroc oriental). Contribution à la connaissance des sols méditerranéens. *Mém. ORSTOM*, n° 54, 302 p.

S

- Sala O.E., Golluscio R.A., Lauenroth W.K. et Soriano A., 1989.** Resource partitioning between shrubs and grasses in the Patagonian steppe. *Oecologia* 81, 501–505 p.
- Sala O.E., Lauenroth W.K. et Golluscio R.A., 1997.** Plant functional types in temperate semi arid regions Plant Functional Types in Smith T.M., Shugart H.H. et Woodward F.I., eds. 217–233 p, Cambridge: Cambridge University Pres.
- Sankaran M., Ratnam J. et Hanan N.P., 2004.** Tree–grass coexistence in savannas revisited – insights from an examination of assumptions and mechanisms invoked in existing models. *Ecology Letters* 7, 480–490 p.
- Schenk H.J., Callaway R.M. et Mahall B.E., 1999.** Spatial root segregation: are plants territorial? *Advances in Ecological Research* 28, 145–180 p.
- Schenk H.J. et Jackson R.B., 2002a.** The global biogeography of roots. *Ecol Monogr* 72, 311–328 p.
- Schenk J.H. et Jackson R.B., 2002b.** Rooting depths, lateral root spreads and belowground/above-ground allometries of plants in water-limited ecosystems. *Journal of Ecology* 90, 480–494 p.
- Schenk H.J. et Jackson R.B., 2005.** Mapping the global distribution of deep roots in relation to climate and soil characteristics. *Geoderma* 126, 129–140 p.
- Scholes R.J. et Archer S.R., 1997.** Tree-grass interactions in Savannas. *Annual Review Ecology and Systematics* 28, 517–544 p.
- Seigue A., 1985.** La forêt circumméditerranéenne et ses problèmes. Ed Maisonneuve et Larousse, 495 p.
- Selosse M.A. et Le Tacon F., 1998.** The land flora : a phototroph-fngus partnership. *Trends in Ecology and evolution* 13 (1), 15-20 p.
- Sharma R.R. et Ghildyal B.P., 1977.** Soil water- roots relations in wheat extraction of wheat roots developed under dry and moist conditions. *Agronomy Journal*, 69, 231-233 p.

Références bibliographiques

Sharp R.E. et Davies W.J., 1985. Root growth and water uptake by maize plants in drying soil. J.Exp. Bot. 1985; 170, 1441-1456 p.

Silaâ 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.

Smail-Saadoun N., 2005. Types stomatiques du genre *Pistacia atlantica* Desf subsp *atlantica* et *Pistacia lentiscus* L., Options Méditerranéennes, Série A : Séminaires Méditerranéens (CIHEAM) no. 63, 369-371 p.

Soltner D., 1982. Les bases de la production végétale. Tome I. Le sol. 1^{ère} édition. Sciences et techniques agricoles. Angers 472 p.

Sperry J.S., F.R., Adler G.S., Campbell et Comstock J.P., 1998. Limitation of plant water use by rhizosphere and xylem conductance: results from a model. Plant, Cell and Environment 2, 347–359 p.

Sposito G., 1989. The chemistry of soils. Oxford University Press, New York, New York, USA.

Stohlgren T.J., 1993. Intra-specific competition (crowding) of giant sequoias (*Sequoiadendron giganteum*). Forest Ecology and Management 59, 127–148 p.

Stokes A. et Guitard D., 1997. Tree root response to mechanical stress. In The biology of root formation and root development. Basic life sciences Vol. 65, A. Altman and Y. Waisel ed., Plenum publishing corporation, New York. 227-236 p.

Stokes A., 1999. Strain distribution during anchorage failure of *Pinus pinaster* Ait. at different ages and tree growth response to wind-induced root movement. Plant Soil 217, 17-27 p.

Stokes A., Salin F., Dupuy L. et Cucchi V., 2004. Que savons-nous de la biomécanique racinaire ? Forêt-Entreprise 156, 23-27 p.

T

Tahrour A., 2005. Architecture racinaire et adaptation du pistachier de l'Atlas (*pistacia atlantica*) à la sécheresse. Cas de la population de Oued Bésbès (Wilaya de Médea) . Mémoire

Références bibliographiques

d'ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 101p.

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, Volume 10, Numéro 1, 63-70 p.

Tessier D., 1994. Rôle de l'eau sur les propriétés physiques des sols. Sécheresse 3(5), 143-150 p.

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 d'ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, 68 p.

U

Uranov A.A., 1965. Fitogennoe pole. 251–254 p in E. M. Lavrenko, editor. Problemy Sovremennoj Botaniki. Volume 1. Nauka, Moscow, Russia.

V

Vignet-Zunz J., 1979. A propos des Bédouins : une réévaluation des rapports « nomades sédentaires ». in : Équipe « Écologie et anthropologie des sociétés pastorales ». Production pastorale et société. Cambridge : Cambridge University Press, 1979.

W

Wraith J.M. et Wright C.K., 1998. Soil water and root growth. Hortscience 33, 951-959 p.

Walter, H. 1963. The water supply of desert plants. 199–205 p, in A. J. Rutter, and F. H. Whitehead, editors. The water relations of plants. The British Ecological Society Symposium No. 3. John Wiley and Sons, New York, New York, USA.

Weber K. et Mattheck C., 2005. Die Doppelnatur der Wurzelplatte (The double nature of the root plate). Allg. Forst U. Jagdz. 176,77-85 p.

Whitmore T.C., 1990. An introduction to tropical rain forest. Clarendon Press, Oxford, 226 p.

Références bibliographiques

Wilson B.F., 1964. Structure and growth of woody roots of *Acer rubrum* L. Harvard Forest. Paer n°1, Harvard University, Harvard Forest, Petersham, Massachusetts, 1-14 p.

Y

Yobi A., Neffati M. et Henchi B., 2001. Etude comparative de la croissance du système racinaire chez deux arbustes autochtones de la Tunisie méridionale : *Rhus tripartitum* (Ucria) Grande et *Periploca angustifolia* Labill. Implications pour l'élevage des plants en pépinière. Sècheresse 12, 245-50 p.

Z

Zheng Y., Jiang L., Gao Y., Chen X., Luo G., Feng X. et Shimizu H., (2014). Growth response and soil-plant water relations of 4 dominant psammophyte species with soil moisture in central Inner Mongolia. Turk J Bot 38, 325–333 p.

Ziamni F., (en cours). Caractéristiques des sols sous pistachier de l'Atlas : cas des populations de Oued Besbes (wilaya de Médéa) et Tilrhemt (wilaya de Laghouat). Mémoire d'ingénieur. Agronomie, Département de Science Agronomique, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou. 88 p.

Zohary M., 1952. A monographic study of the genus *Pistacia*. Palestine J. Bot.. Jerusalem series 5 (4), 187-228 p.

Zohary D., 1996. The genus *Pistacia* L. in Padulos S., Caruso T and Barone E. (Eds). Taxonomy, Distribution, Conservation and uses of *Pistacia* genetic resources. I.P.G.R.I. Palermo, Italy, 1-11 p.

Résumé

Pistacia atlantica est un assez grand arbre spontané très massif et spectaculaire appartenant à la famille des Anacardiaceae. En Algérie, il triomphe à la bordure du Sahara dans des dépressions alluvionnaires non salées parsemées dans le Plateau saharien constituant ainsi une bande qu'on appelle « région des dayas ». Dans ces dayas à *Ziziphetum*, le pistachier de l'Atlas grandit dans les touffes de jujubier sauvage. Dans le but de caractériser le système racinaire de cette essence en fonction des propriétés physico-chimiques du sol sous-jacent, deux populations du Plateau Saharien ont été étudiées, une dans la région de Hassi Delâa (dayate Saadi), une autre dans la région de Timzerth (dayate Aïat). L'évolution du système racinaire reste en fonction de l'âge dans l'ensemble très similaire dans les deux dayas. Le comportement souterrain du pistachier de l'Atlas s'exprime à l'âge jeune par un pivot orthogéotrope rectiligne portant plusieurs racines latérales et fines, il évolue par la suite en un système racinaire vigoureux à enracinement superficiel et profond. Entre les deux stades de développement, le pistachier de l'Atlas adopte un comportement intermédiaire, le pivot dégénère et se fourche en racines moyennement épaisses. Les différences qu'existent entre les deux populations étudiées sont dues au sol qui conditionne le développement racinaire. A dayate Saadi, le sol, plus limoneux et argileux qu'à dayate Aïat, reste moite, les racines des sujets jeunes dans ce cas sont plus épaisses, peu ramifiées, moins longues et colonisent plutôt les niveaux superficiels du sol, l'enracinement est ainsi qualifié de superficiel. A dayate Aïat, le sol est meuble à texture sablo-limoneuse, il favorise l'enracinement profond et superficiel chez les jeunes sujets, car moins humide, les racines sont moyennement épaisses à extension latérale et verticale considérables et très ramifiées. Concernant les sujets âgés dans les deux dayas, la croissance radiale est favorisée par rapport à l'allongement racinaire, les racines sont vigoureuses et superficielles, mais plongent en profondeur, l'enracinement est alors mixte : superficiel et profond. Le pistachier de l'Atlas adopte une stratégie d'occupation du milieu souterrain adaptée à la nature du sol et à son espèce nurse (*Ziziphus lotus*). Cette plasticité souterraine permet à cet arbre de vaincre les milieux les plus arides.

Mots clés : *Pistacia atlantica*, système racinaire, sol, adaptation à l'aridité, plante nurse, compétition, facilitation, daya, nebkha, Laghouat, Algérie.

Summary

Pistacia atlantica is a very massive and spectacular spontaneous tree that belongs to the family of Anacardiaceae. In Algeria, it triumphs at the edge of the Sahara in an unsalted alluvial depressions scattered in the Saharian Plateau forming a band called "Dayas region", where it grows in wild jujube's tufts. In order to characterize the root system of this species in relation with the physicochemical properties of the underlying soil, two wild populations of Atlas pistachio were studied, in the region of Hassi Delâa (dayate Saadi), and Timzerth (dayate Aïat). The root system evolution remains similar according to the age in both Dayas. At the early age, Atlas pistachio's underground behaviour is expressed by a rectilinear orthotrophic pivot supporting several lateral and fine roots. Subsequently, it evolved into a vigorous shallow and deep rooting system. Between these two development stages, the pivot degenerates and forks medium thick roots. However, some differences were found among the study populations due to soil that guides root development. At dayate Saadi, the soil, more silty and clay than dayate Aïat soil, retains moisture, in this case, young trees roots are thicker, shorter and slightly branched, they colonize the upper soil layers, the rooting system is qualified as superficial. At dayate Aïat, the soil is sandy-loam, so less wet moist, it promotes deep and shallow rooting in young trees, the roots highly branched have a medium thickness and a large lateral and vertical expansion. For older trees in both Dayas, radial growth is more favored than root elongation, the roots are vigorous and superficial but reach the depth, thus, rooting is mixed, it has two dimensions: shallow and deep. The Atlas pistachio adopts an underground occupation strategy suited to the nature of the soil and to a nurse species (*Ziziphus lotus*). This underground plasticity allows this tree to overcome the harshest environments.

Keywords: *Pistacia atlantica*, root system, soil, adaptation to drought, plant-nurse, competition, facilitation, daya, nebkha, Laghouat, Algeria.