

UNIVERSITE MOHAMED KHIDER – BISKRA –

Faculté des Sciences Exactes, des Sciences de la Nature et de la Vie

**Département des Sciences Agronomiques**

N° d'ordre : .....

Série : .....



## **MEMOIRE DE MAGISTER**

*Spécialité : Sciences Agronomiques*

*Option : Agriculture et environnement en régions arides*

THEME

ETUDE DE L'ARCHITECTURE ET DE LA BIOMASSE  
Du SYSTEME RACINAIRE DE PALMIER DATTIER  
(*Phoenix dactylifera* L.) ADULTE

Présenté et soutenu publiquement par :

**TAHRI Kenza**

Devant le jury composé de :

Président :	Mr. BELHAMRA Mohamed	Professeur	Université de Biskra
Promoteur :	Mr. MEHAOUA Mohamed Seghir	Maître de Conférences 'A'	Université de Biskra
Examinatrice :	Mme. BOUATROUS Yamina	Maître de Conférences 'A'	Université de Biskra
Examineur :	Mr. BENAZIZA Abdelaziz	Maître de Conférences 'A'	Université de Biskra
Invitée :	Mme. BEDJAOUI Hanane	Maître assistant 'A'	Université de Biskra

*A mes parents*

## REMERCIEMENTS

C'est avec un grand plaisir que je réserve ces lignes en signe de gratitude et de reconnaissance à tous ceux qui ont contribué à l'aboutissement de ce modeste travail.

Tout d'abord, je tiens à exprimer ma gratitude et mes remerciements chaleureux à mon promoteur **Dr. MEHAOUA Mohamed Seghir** Maître de conférences « A » au département des sciences agronomiques à l'Université de Biskra. Merci infiniment pour votre présence et votre disponibilité.

Mes remerciements sont également adressés à l'ensemble des membres du jury, pour leur disponibilité et l'intérêt qu'ils ont accordé au présent travail :

À **Mr. BELHAMRA Mohamed**, Professeur au département des sciences agronomiques de Biskra qui nous a fait l'honneur de présider le jury. Je remercie également **Dr. BOUATROUS Yamina** et **Dr. BENAZIZA Abdelaziz** pour avoir accepté de participer au jury.

Je crois qu'un merci n'est pas suffisant pour exprimer ma gratitude mes entières reconnaissances à **Mme. BEDJAOUI Hanane** maître-assistant « A » à l'université de Biskra. Elle m'a guidée dans la réalisation de ce travail avec beaucoup de patience et de bienveillance. Qu'elle trouve ici le témoignage de mon profond respect. Merci pour votre présence, nombreuses relectures, ainsi que pour votre disponibilité et le temps consacré pour moi. Merci infiniment pour tous ce que vous m'avez appris.

Je tiens à exprimer particulièrement mes profonds remerciements et mes entières reconnaissances à **Mr. KHACHAI Salim** maître-assistant « A » à l'université de Biskra pour leur implication dans mon travail ainsi que les longues discussions et les prestigieux conseils. Merci infiniment de m'avoir encouragé pendant tout la période d'étude.

Mon grand respect et ma profonde gratitude à **Mr. Mouada Abdelkadar** le responsable de la palmeraie de Chetma, pour m'avoir accueillie dans son exploitation agricole durant la réalisation de la partie expérimentale, pour la confiance qu'il m'a accordée, sa disponibilité et sa remarquable prédisposition à porter aide et soutien. Que dieu vous bénisse et vous protège.

Mes sincères remerciements vont également à **Mr. BENKHALED Abdelkader** professeur au département d'hydraulique et Génie civil à l'université de Biskra, pour son soutien et encouragement.

A tous les enseignants qui ont répondu à mes questions avec gentillesse : **Mme. DEGNOUCHE Kahramen**, **Mr. BELHAMRA Mohamed**, **Mr. MASMOUDI Ali**, **Mr. GUIMEUR Kamel**, **Mme. DEMNATI Fatma**, **Mme. FARHI Kamilia**, **Mr. MESSAK Mohamed Ridha**, **Mr. MEZERDI Farid**, **Mme. MEBREK Naima** et **Mr. DROUAI Hakim** merci beaucoup ...

Je me dois de remercier aussi **Mr. TAMAARAT Messaoud** responsable de laboratoire de Génie civil à l'université de Biskra d'avoir mis en ma disposition du matériel pour réaliser l'essai.

Mon grand respect et ma profonde gratitude à notre chef de département **Mr. GUIMEUR Kamel** et tous les enseignants du département des sciences agronomiques pour les efforts consacrés et la formation qu'ils nous ont données durant notre étude. Pendant ces années, j'ai pu compter sur la disponibilité et la gentillesse de nombreuses personnes du Laboratoire aussi les secrétaires, pour leurs patiences et leurs aides au niveau administratif. Merci infiniment...

Je tiens également à adresser ma profonde gratitude à **Mme. BENNACEUR Malika**, Professeur à l'université d'Oran et **Mr. LECOUSTRE René**, chercheur au CIRAD au laboratoire botanique et bio-informatique de l'architecture des plantes AMAP, Pour m'avoir donné la chance d'être intégrée au sein de projet PHCM. Je souhaite également remercier tous les membres seniors du réseau PHCM et l'ensemble du personnel d'AMAP pour leur agréable accueil.

Mes remerciements les plus sincères vont aussi à **Mr. REY Hervé**, chercheur au CIRAD pour son encadrement et assistance très bénéfiques. Je le prie d'accepter l'expression de ma profonde gratitude et mon profond respect.

Je tiens à exprimer ma très grande gratitude à **Mr. JOURDAN Christophe** pour ses conseils ainsi que pour le document fourni et le temps qu'il consacré pour nous.

Je suis également très reconnaissante aux membres juniors de projet PHCM : **Melle. FADHLAOUI Soumia**, **Mme. MIMOUN Asmàa**, **Mme. JRAD Amira**, **Mme. ZAHIRI Imane**, et **Melle. GAMMOUDI Sana**, ainsi que **Mr. EL MASSOUDY Hassane** et **Mr. LITTARDI Matteo**. Je vous remercie pour nos diverses discussions et votre bonne humeur quotidienne. Je remercie tout particulièrement **Soumia**, **Asmàa** et **Amira**, j'ai été enchantée et heureuse de connaître cette équipe.

En dernier lieu je souhaiterais remercier mes proches :

*« Je n'aurais pas assez de mots pour remercier l'homme qui me porte tout ma vie sur ces épaules, c'est mon père. Merci beaucoup papa. »*

Je souhaite remercier aussi **Mme. BOURENNANI Djamila** et ses sœurs **Mekioussa** et **Messaad** pour leurs contributions directes ou indirectes à la réalisation de ce travail, soyez assurés de ma reconnaissance sincère.

Mon grand respect et ma profonde gratitude à **Mr. HIZI Said** et sa petite princesse, ma chère amie **Halima**, pour ses disponibilités, et surtout ses encouragements et son soutien moral. Merci infiniment...

Je n'oublie pas mes amis. Merci, **ABBA Roumaïssa**, **BOUTI Randa**, **SAKRI Souad**, **ABDELLAOUI Imane** et **BENAISSA Khadouj** pour leur disponibilité, leur collaboration et aussi pour leur soutien et encouragement. Merci d'être là.

Le dernier remerciement est le plus évident Bien sûr s'adressé à l'équipe qui a travaillé avec moi pendant plusieurs jours pour l'installation des Rhizotrons. Merci mes chers frères **Ilyes**, **Ismail** et **Youcef**, et un grand merci également à **Mr. MERGHEMI Oussama**, **Mr. MIMOUNI Radoïn**, **Mr. RIHANI Islam** et **Mr. MEBARKI Islam**. Merci pour la bonne ambiance et les discussions animées. Merci infiniment avec tous mes respects.

Enfin, je voudrais remercier tous les collègues avec qui j'ai collaboré depuis mes débuts à l'université de Biskra.

Merci, merci, merci...  
TAHRI Kenza

## Résumé

### **Etude de l'architecture et de la biomasse de système racinaire de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) adulte**

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) est l'arbre providence des régions sahariennes jouant un rôle très important sur le plan écologique et socio-économique. Du fait que le système racinaire est la partie cachée de la plante sous le sol, son importance est toujours sous-estimée pourtant il représente le dispositif clé de sa nutrition minérale et l'outil de communication entre le sol et la partie végétative. Notre essai a été conduit sur trois pieds de palmier dattier cultivar « Deglet Nour » au moyen de dispositifs d'observation par rhizotron pour une durée de six mois. L'objectif de ce travail est d'acquérir des connaissances fondamentales sur le développement, l'architecture et la topologie du système racinaire et plus précisément l'étude de son développement spatial en relation avec quelques caractéristiques du sol. Nos résultats ont permis la définition de quatre ordres topologiques sur la base des diamètres des racines répartis en intervalles correspondant à chaque ordre. Une corrélation positive a été observée entre la densité racinaire et le diamètre des racines. Les valeurs les plus importantes de la densité et de la biomasse racinaires étaient relevées dans l'horizon intermédiaire. Cette colonisation des racines étant influencée par les conditions édaphiques du site. Ce qui nous amène à conclure que les caractéristiques du sol, notamment les densités apparentes et la richesse en matière organique contrôlent la distribution et l'architecture du système racinaire chez le palmier dattier.

**Mots clé :** palmier dattier, système racinaire, architecture racinaire, propriétés du sol, rhizotron.

## دراسة الهندسة والكتلة الحيوية للنظام الجذري لنخيل التمر الكبير

نخلة التمر هي شجرة مميزة للمناطق الصحراوية والتي تلعب دورا هاما جدا من الناحية الإيكولوجية، الاجتماعية والاقتصادية. ونظرا أن النظام الجذري هو الجزء الترابي الخفي، فإن أهميته انخفضت، بالرغم من أنه يمثل الجهاز الرئيسي للتغذية المعدنية كما يعتبر أداة الاتصال بين التربة والجزء الهوائي للنخلة. في هذا السياق تمت هذه الدراسة والتي أجريت على ثلاثة نخلات نوع " دقلة نور" عن طريق استعمال جهاز المراقبة لتطور النظام الجذري في بيئته الطبيعية وذلك لمدة ستة أشهر. الهدف من هذا العمل هو اكتساب المعارف الأساسية لطوبولوجيا، هندسة وتطور النظام الجذري، وبشكل أدق دراسة تطوره المكاني وعلاقته ببعض خصائص التربة. أظهرت النتائج المتحصل عليها وجود أربعة نظم طوبولوجية التي قسمت على أساس أقطار الجذور. حيث لوحظ وجود ارتباط إيجابي بين كثافة الجذور وقطرها. كما تم تسجيل القيم العليا لكثافة الجذور وكتلته الحيوية في الطبقات الوسطى للتربة. وهذا راجع لتأثر الجذور بخصائص تربة هذه الطبقات، مما يقودنا إلى استنتاج أن خصائص التربة خاصة كثافتها وراثتها بالمواد العضوية، يمكنها من التحكم في توزيع وهندسة النظام الجذري لنخيل التمر.

**الكلمات المفتاحية:** نخلة التمر، النظام الجذري، الهندسة الجذرية، خصائص التربة، جهاز مراقبة تطور النظام الجذري.

## **Abstract**

### **Architecture and biomasse study of adult date palm root system (*Phoenix dactylifera* L.)**

The date palm (*Phoenix dactylifera* L.) is the providence tree of the Saharan areas, which plays a very important role on the ecological and socio-economic level. Because of the fact that the root system is the hidden part of the plant under the soil, its importance is often underestimated, however it represents the key device of its mineral nutrition and the communications tool between the soil and the vegetative part. Our test was carried for a period of six months, on three trees of date palm cultivar « Deglet Noor » relies on an experimentation using observation devices, which is the rhizotron. The objective of this work is to get basic knowledge about the development, the architecture and the topology of the root system, and more precisely the study of its spatial development in relation with some soil proprieties. The results allowed the definition of four topological orders on the basis of the roots diameters, distributed in intervals corresponding to each order. A positive correlation was observed between diameter and roots density. The most important root density values and root biomass were registered in the intermediate horizon. This roots colonization being influenced by the edaphic site conditions. This leads us to conclude that the soil characteristics, notably the apparent densities and the richness in organic matter are responsible of the distribution and the architecture of date palm root system.

**Keywords:** date palm, root system, root architecture, soil properties, rhizotron.

# TABLE DES MATIÈRES

## REMERCIEMENTS

## RESUME

## INTRODUCTION GENERAL .....2

## CHAPITRE I: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

### SOUS CHAPITRE 1: APERÇU SUR LE PALMIER DATTIER.....6

1. Description générale du palmier dattier.....6
- 1.1. Description botanique.....6
- 1.2. Description morphologie.....6
- 1.2.1. Système racinaire.....7
- 1.2.2. Organe végétatif.....10
- 1.2.3. Organe reproductif.....10
- 1.3. Phénologie du palmier dattier (stades de croissance).....10
2. Distribution géographique.....11
3. Commerce national de la datte.....12
- 3.1. Production et rendement du palmier dattier en Algérie.....12
- 3.2. Exportations de la datte en Algérie.....13

### SOUS CHAPITRE 2: ARCHITECTURE ET DEVELOPPEMENT DU SYSTEME RACINAIRE.....14

1. Milieu naturelle des racines.....14
- 1.1. Rôles des racines.....14
2. Structure et croissance du système racinaire.....14
- 2.1. Structure d'une racine.....14
- 2.2. Elaboration de la racine.....15
3. Architecture des plantes.....16
- 3.1. Définition de l'architecture racinaire.....16
- 3.2. Classification des architectures racinaires adultes.....17
- 3.3. Moyens d'études du système racinaire.....19
4. Effet de milieu naturel sur la croissance et développement racinaire.....20

## CHAPITRE II: MATERIEL ET METHODES

### SOUS CHAPITRE 1: PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE .....22

1. Situation et limite de la région d'étude.....22
2. Caractéristiques climatiques.....23
3. Caractéristiques hydrologiques.....27
4. Caractéristiques édaphiques.....29
5. Couvert végétal.....30

### SOUS CHAPITRE 2: PRESENTATION DE L'APPROCHE METHODOLOGIQUE.....33

1. Méthode d'approche.....33
2. Objectif global.....33
3. Site expérimental.....34
4. Matériel végétal.....36
5. Etude architectural.....37
- 5.1. Rhizotron.....37
- 5.2. Installation des rhizotrons.....38
- 5.3. Mesure de la dynamique des racines.....40
6. Echantillonnage du sol et des racines.....41
7. Paramètres étudiés.....42
- 7.1. Paramètres racinaires mesurés lors de l'analyse architecturale.....42
- 7.1.1. Etude de densité racinaire.....42
- 7.1.2. Etude du diamètre racinaire.....43
- 7.1.3. Etude de l'occupation spatiale du système racinaire.....44
- 7.2. Paramètres mesurés lors de l'analyse de sol et l'eau d'irrigation.....44
- 7.2.1. Etude du sol.....44
- 7.2.2. Etude de l'eau d'irrigation.....45

### CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSION

1.	Qualité de l'eau d'irrigation.....	47
2.	Caractérisation pédologiques des profils étudiés.....	50
3.	Caractérisation physico-chimique du sol.....	52
3.1.	Salinité et réaction du sol.....	53
3.2.	Calcaire total et actif.....	53
3.3.	Cations solubles du sol.....	54
3.4.	Anions solubles du sol.....	55
3.5.	Matière organique.....	56
3.6.	Densité apparente et porosité du sol.....	57
4.	Fonctionnement de système racinaire en conditions naturelles.....	58
4.1.	Description morphologique de ramification de système racinaire.....	58
4.2.	Description de la croissance de système racinaire.....	59
5.	Distribution de la biomasse racinaire.....	63
6.	Densités racinaires.....	64
7.	Diamètre racinaires.....	65
8.	Corrélation entre le diamètre des racines et la densité racinaire.....	67
9.	Cartographie des impacts racinaire.....	67
9.1.	Répartition spatiale de la totalité des racines.....	67
9.2.	Répartition spatiale des racines primaires.....	71
10.	Interprétation du comportement dy système racinaire en relation avec quelques caractéristiques du milieu édaphique.....	74
<b>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES .....</b>		<b>77</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>		
<b>ANNEXES</b>		

# LISTE DES FIGURES

## CHAPITRE I: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.	Figuration schématique du palmier dattier (Munier, 1993) .....	7
2.	Représentation schématique de la répartition en profondeur et en largeur des racines d'un palmier dattier (Munier, 1973) .....	9
3.	Répartition géographique du patrimoine phoéniciotique avec les principales régions phoéniciotique ..	11
4.	Quantités récoltées de dattes en totale et de la Deglet Nour en Quintaux (ONFAA, 2017).....	12
5.	Quantités (quintaux) commercialisées de dattes par catégories en 2016 (ONFAA, 2017).....	13
6.	Evolution des exportations de dattes Algérienne en quantité (kg) (ONFAA, 2017) .....	13

## CHAPITRE II: MATERIEL ET METHODES

1.	Carte de situation géographique de la wilaya de Biskra .....	23
2.	Diagramme ombrothermique de GAUSSEN de Biskra durant la période 2006 - 2015.....	26
3.	Localisation de la région de Biskra sur le climagramme d'EMBERGER .....	27
4.	Carte du réseau hydrographique de la wilaya de Biskra (Sedrati, 2011) .....	28
5.	Carte du milieu physique de la wilaya de Biskra (Sedrati, 2011).....	30
6.	Carte des activités agricoles et sylvicoles de la région de Biskra .....	32
7.	Carte d'occupation de sol de la commune de Chetma.....	34
8.	Vue d'ensemble du site expérimentale.....	35
9.	Coordonnées GPS des pieds étudiés .....	36
10.	Schéma de principe de l'installation d'un rhizotron pour le palmier dattier .....	38
11.	Vu axonométrique de support utilisé pour la mise en place de rhizotron .....	39
12.	Mise en place de rhizotron.....	40
13.	Calquer le relevé de croissance racinaire après 06 mois de suivi .....	41
14.	Tamassage et triage des racines .....	42
15.	Prélèvements d'échantillons par sondages .....	43

## CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSION

1.	Qualité de l'eau d'irrigation utilisée (D'après le Diagramme du laboratoire de Riverside, 1954) ....	49
2.	Diagramme de Piper de l'eau d'irrigation utilisée .....	49
3.	Evolution des CE et des pH du sol .....	53
4.	Répartition du calcaire .....	53
5.	Bilan cationique des profils étudiés .....	54
6.	Bilan anionique des profils étudiés .....	55
7.	Distribution de la teneur de matière organique dans les profils étudiés.....	56
8.	Evolution de la densité apparente et la porosité du sol dans les profils étudiés.....	57
9.	Partie vivante de système racinaire du palmier dattier avec différents ordre topologique à une profondeur de (10 - 20 cm) et (40 - 60 cm) .....	59
10.	Réitération partielle sur racine de palmier dattier .....	60
11.	Réitération totale sur le système racinaire de palmier dattier .....	61
12.	Localisation spatiale des réitérations et des racines morts et leurs vitesses de régénération .....	62
13.	Distribution de la biomasse racinaire en fonction de la profondeur du sol.....	63
14.	Répartition de la biomasse racinaire moyenne de palmier dattier en fonction de la profondeur .....	64
15.	Evolution de la densité racinaire avec la profondeur .....	65
16.	Histogramme de distribution fréquence des diamètres racinaires (mm) .....	66
17.	Régression linéaire de diamètre des racines et la densité racinaire .....	67
18.	Cartographies des impacts racinaires de trois rhizotrons .....	68
19.	Problème sanitaires de système racinaire dans le rhizotron N°01 .....	70
20.	Cartographie de la répartition du système racinaire du palmier dattier (El Khoumsi et <i>al.</i> ,2017)...	70
21.	Cartographies des impacts racinaires (racines primaires) de trois rhizotrons .....	72
22.	Carte d'impact des racines primaire obtenu par Jourdan et Rey (1996) sur palmier à huile .....	73
23.	Evolution moyenne du nombre total des racines primaires pour les trois palmiers avec la température moyenne du sol en fonction de la profondeur.....	74

## LISTE DES TABLEAUX

### CHAPITRE I: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Classification des architectures racinaires adultes (Drénou, 2006) ..... 18
2. Liste des paramètres accessibles par les différentes méthodes d'analyse du système racinaire ..... 19

### CHAPITRE II: MATERIEL ET METHODES

1. Caractéristiques de la station météorologique de Biskra ..... 23
2. Données climatiques moyennes de Biskra entre 2006 - 2015..... 24

### CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSION

1. Analyses physico-chimiques de l'eau d'irrigation ..... 47
2. Profils pédologique 1 ..... 50
3. Profils pédologique 2 ..... 51
4. Profils pédologique 3 ..... 52
5. Analyses physico-chimiques du sol ..... 52
6. Evolution de la densité apparente et la porosité du sol dans les profils étudiés ..... 57
7. Dates clés de l'expérimentation menée entre 2015 et 2016 à Chetma ..... 58
8. Vitesse d'élongation après une répétition partielle ..... 62
9. Moyenne des propriétés physique-chimique du sol (trois profils) dans le site expérimentale..... 74

## LISTE DES ABREVIATIONS

IPGRI :	Institut International des Ressources phylogénétiques.
ITDAS :	Institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne.
ONFAA :	Observatoire National des Filières Agricoles et Agroalimentaires.
ANAT :	Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire.
RGPH :	Recensement Général de la Population et de l'Habitat.
ANBT :	Agence Nationale des Barrages et Transferts.
DSA :	Direction des Services Agricoles.
DPAT :	Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire.
UNESCO :	United Nations Educational and Cultural Organization.
GPS :	Global Positioning System.
ISO :	Organisation internationale de normalisation
T :	Température.
C° :	Degré Celsius.
P :	Précipitation.
V :	Vent.
H :	Humidité.
SAR :	Sodium Absorption Ratio.
MO :	Matière organique.
Da :	Densité apparente.
Dr :	Densité racinaire.
µm :	Micromètre.
mm :	Millimètre.
cm :	Centimètre.
m <sup>2</sup> :	Mètre carré.
m <sup>3</sup> :	Mètre cube.
ha :	Hectare.
g/m <sup>3</sup> :	Gramme par mètre cube.
g/l :	Gramme par litre.
kg/m <sup>3</sup> :	Kilogramme par mètre cube.
HCL :	Acide chlorhydrique.
AgNO <sub>3</sub> :	Nitrate d'argent.
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> :	Acide sulfurique.
EDTA :	Ethylène Diamine Tétra-Acétique.
pH :	Potentiel hydrogène.
CE :	Conductivité électrique.
CO <sub>2</sub> :	Dioxyde de carbone.
Cl <sup>-</sup> :	Chlorure.
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> :	Sulfate.
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> :	Bicarbonate.
Na <sup>+</sup> :	Sodium.
K <sup>+</sup> :	Potassium.
Ca <sup>++</sup> :	Calcium.
Mg <sup>++</sup> :	Magnésium.

**Introduction générale**



## INTRODUCTION GENERALE

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) est l'arbre providence des régions sahariennes. Il est bien adapté aux conditions du milieu aride (écologique et pédoclimatique) et constitue le pilier des écosystèmes oasiens. Il joue un rôle très important sur le plan écologique et socio-économique. La datte constitue la principale richesse des Oasis. En effet, la production dattière contribue aux revenus agricoles des populations de ces régions (Haddou et *al.*, 2016). Du point de vue production mondiale, l'Algérie occupe la quatrième place du classement avec des productions de 99038 tonnes en 2015 (A.O.A.D, 2016).

Dans nos palmeraies qui s'étendent sur une superficie de 169,380 ha avec un nombre total de palmiers qui dépassent les 18 millions (Ouamen et *al.*, 2017), les racines forment un enchevêtrement très dense sous nos pieds.

Du fait que le système racinaire est la partie cachée de la plante sous le sol, son importance est toujours sous-estimée. Pourtant, l'appareil racinaire peut représenter plus de la moitié de la biomasse d'une plante, c'est le dispositif clé de sa nutrition minérale et l'outil de communication entre le sol et la partie végétative. En ce qui concerne les éléments minéraux et l'eau, il faut toujours avoir présent à l'esprit le fait que l'alimentation des arbres dépend non seulement de la teneur du sol en substances utiles, mais également du volume prospecté par les racines. Or, l'enracinement des arbres est sous la dépendance des propriétés physiques du sol. Celles-ci se trouvent donc intervenir dans la vie des arbres à la fois directement, en mettant à leur disposition une certaine quantité d'air et d'eau par unité de volume, et indirectement en permettant un enracinement plus ou moins profond (Bonneau, 1963).

Beaucoup de recherches se sont orientées vers l'étude des systèmes racinaires du végétal (Jourdan et Rey, 1996 ; Thongo M'bou, 2008 ; Bécel, 2010 ; Pilon, 2011 ; Danquechin Dorval, 2015). Ce n'est que dans les années 1970 que l'architecture des plantes est devenue un objet d'étude à part entière avec les travaux fondateurs de Hallé et Oldeman (1970) (Chaubert-Pereira, 2008). D'autre part, plusieurs études traitant de l'impact des caractéristiques du sol sur l'architecture racinaire ont été réalisées chez de petites plantes comme les céréales (Choprat, 1980 ; Nicoullaud et *al.*, 1995 ; Makumba, 2009), mais assez peu chez les plantes pérennes (Lucot et Bruckert, 1992 ; Drénou, 2000 ; Morlat et *al.*, 2010). C'est sans doute le caractère « caché », de ces dernières, et les techniques d'observation fastidieuses dépendantes de cet état qui ont découragé la plupart des chercheurs (Jourdan,





1995). En effet, les racines des plantes, en particulier, pérennes sont peu accessibles et leur étude exige souvent l'emploi de méthodes destructives.

Pendant des décennies, beaucoup d'études se sont intéressées au palmier dattier et se sont focalisées sur plusieurs axes de recherches à savoir la diversité génétique (Tirichine et *al.*, 2011), la pathologie (Mehaoua, 2014), la conduite culturale (Haddou et *al.*, 2017), la qualité des dattes et les facteurs qui influent sur ses variations (Khechai et Daoud, 2016). Par contre, les études sur le développement du système racinaire du palmier dattier demeurent peu nombreuses (Daddi Bouhoun, 2010 ; Jrad, 2012 ; Mimoun, 2014 ; Bensaada, 2015 ; El Koumsi et *al.*, 2017), aussi bien sur la spatialisation du système racinaire que sur sa dynamique de croissance, ses ordres de ramification et sa structure racinaire.

Pour comprendre les stratégies d'occupation du sol par le système racinaire, il faut tenir compte de toutes les interactions qui se produisent entre les racines elle-même ainsi que les relations entre les propriétés du sol et la croissance racinaire et connaître notamment : leur mode de distribution dans le sol, la forme et l'évolution des systèmes racinaires, ainsi que leurs capacités de recouvrement, d'exclusion, ou de fusion (Atger et Edelin, 1994).

Dans ce contexte, nous nous proposons de mener une étude sur l'architecture du système racinaire de palmier dattier adulte à travers le suivi et la description de son comportement dans son milieu naturel, qui est la palmeraie, pour mieux comprendre et connaître son fonctionnement et les mécanismes de sa croissance. L'intérêt étant d'acquérir des connaissances fondamentales sur le développement, l'architecture et la topologie du système racinaire et plus précisément l'étude de son développement spatial en relation avec quelques caractéristiques du sol.

A cette fin, les objectifs de notre étude se sont organisés autour des points suivants :

- Etude de la dynamique de croissance du système racinaire et de son architecture ;
- Localisation spatiale des racines et description de leur distribution en fonction des caractéristiques du sol ;
- Evaluation de la biomasse racinaire comme indicateur de leur distribution spatiale.

Le travail que nous présentons dans le cadre de ce mémoire s'insère dans un projet de recherche plus global sur la modélisation de l'architecture et du fonctionnement hydrique du palmier dattier dans les oasis du Maghreb. Ce projet prend en compte l'étude de l'architecture aérienne végétative de *Phoenix dactylifera* L., l'organisation de ses

inflorescences et les observations sur le système racinaire dans le but de mieux comprendre le fonctionnement du palmier dattier dans ses différentes zones de culture.

Pour réaliser ce travail, nous avons suivi une méthodologie de recherche qui s'appuie sur une expérimentation au moyen de dispositifs d'observation par rhizotron à une distance de trente centimètre du palmier et jusqu'à une profondeur d'un mètre, qui nous a permis à la fin d'atteindre les objectifs tracés. Ce mémoire est organisé autour des : introduction générale, trois chapitres principaux et conclusion générale.

L'introduction générale est consacrée à la description de la problématique générale de recherche.

Le premier chapitre dresse une synthèse bibliographique des recherches, L'objet de cette première partie est de définir les connaissances relatives au sujet. Tout d'abord, nous focaliserons notre attention sur la structure et le développement racinaire, zone de la plante où sont localisés nos travaux.

Afin de résoudre la problématique de recherche, nous explorons dans le second chapitre, notre plan d'actions, où ont été détaillées l'expérimentation suivant le cadre méthodologique préconisé et l'adaptation référentielle.

Dans le dernier chapitre, l'ensemble des résultats obtenus ont été synthétisés et présentés puis leurs intérêts feront l'objet de discussion, aussi les principales conclusions répondant à nos objectifs seront ressorties.

Enfin, la conclusion générale du manuscrit fait le bilan de notre contribution et propose des perspectives à ce travail.



# **Chapitre I: Synthèse bibliographique**

Sous chapitre 1: Aperçu sur le palmier dattier

Sous chapitre 2: Architecture et développement du système racinaire



## 1. Description générale du palmier dattier

### 1.1. Description botanique

La dénomination donnée au palmier dattier depuis 1734 par Linné est *Phoenix dactylifera*. Le terme *Phoenix* proviendrait de *phoinix*, nom du dattier chez les Grecs de l'Antiquité qui le considéraient comme l'arbre des Phéniciens ; *dactylifera* vient du latin *dactylus* dérivant du grec *daktulos*, signifiant doigt (en raison de la forme du fruit), associé au mot latin *fero*, porté, en référence aux fruits (Munier, 1973).

Du point de vue botanique, Le palmier dattier est une plante, bien que souvent considéré comme une espèce arboricole, elle appartient à l'ordre des Palmales et à la famille des plantes tropicales, Arecaceae (Palmacées). La famille des palmiers est l'une des plus importantes des monocotylédones et une des plus anciennes des angiospermes. Le genre *Phoenix* comprend 12 espèces dont cinq, en dehors du palmier dattier, sont à fruits consommables : *Phoenix atlantica* Chev, *Phoenix reclinata* Jacq, *Phoenix farinifera* Roxb, *Phoenix humilis* Royal et *Phoenix acoulis* Roxb (Gros-Balthazard, 2013).

### 1.2. Description morphologique

Le palmier dattier est une arborescente considérée comme une herbe géante. On distingue 3 parties : un système racinaire, un organe végétatif composé de la tige (stipe) et de feuilles (palmes) et un organe reproductif (spathe) composé d'inflorescences mâles ou femelles (figure 1).



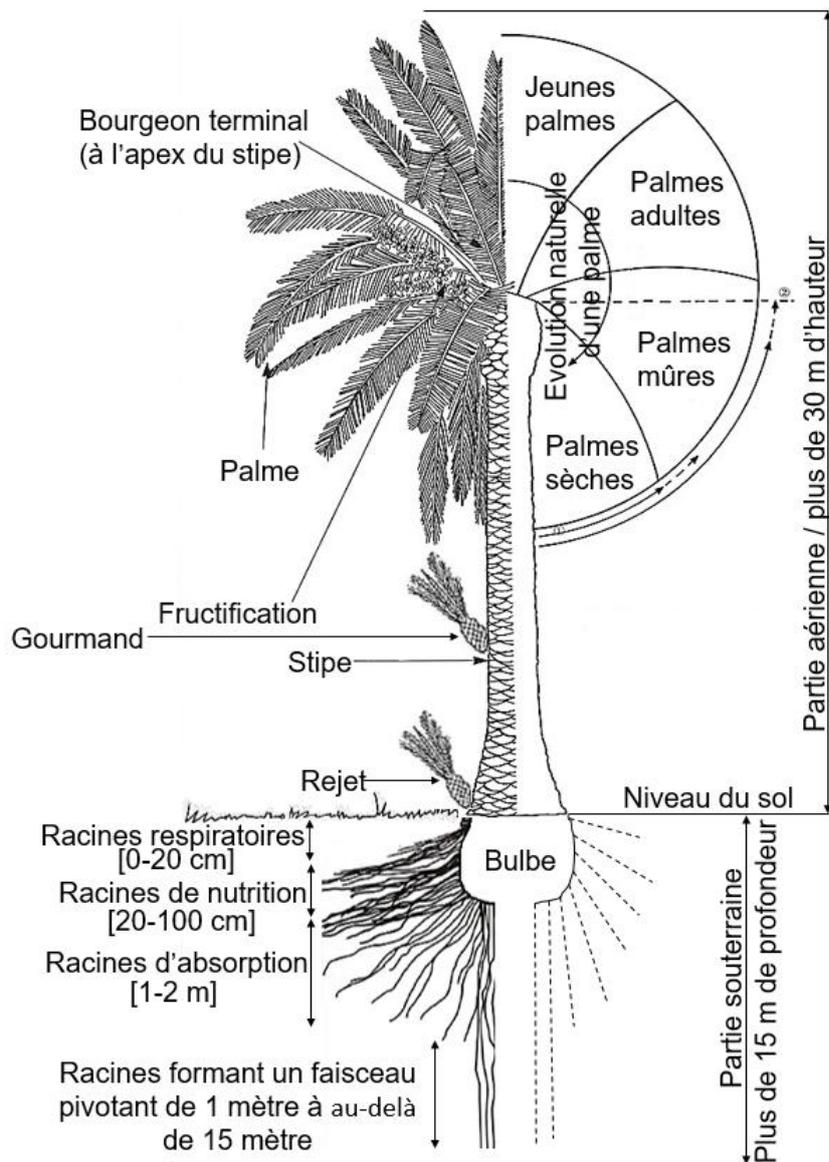


Figure 1: Figuration du palmier dattier (Munier, 1973)

### 1.2.1. Système racinaire

#### a. Types de racines

Le système racinaire du palmier est dense de type fasciculé, formé de plusieurs types de racines dont le diamètre ne dépasse pas 1,5 cm. Ces racines, dépourvues de poils absorbants, sont structurées comme suit : d'abord les racines du premier ordre (auxirhyzes), qui émettent des racines du deuxième ordre (mésorhyses), donnant naissance à leur tour à des racines de troisième ordre (brachyrhyses) et ainsi de suite (Sedra, 2003). Toutes ces racines peuvent présenter des pneumatodes qui sont des petites plaques verrues et farineuses placées sur les racines et qui jouent un rôle respiratoire. Ils sont facilement reconnaissables en palmeraie par leur forme en anneaux farineux blanchâtre ; au microscope, ils se présentent sous forme



de tissus parenchymateux éclatés qui n'occupent pas toujours la même position chez les différentes racines. La répartition et la morphologie des racines sont comme suit (Djerbi, 1994 in Daddi Bouhoun, 2010) :

- Racines de premier ordre "auxirhyzes", sont sensiblement cylindriques sur toute leur longueur ; leur extrémité conique ne présente jamais de poils absorbants ; elles prennent toutes naissance à la base du stipe, leur longueur est en moyenne de 4 à 10 m. leur diamètre varie entre 7 et 12,5 mm ;
- Racines de deuxième ordre "mésorhyzes", sont portées par les racines de premier ordre ; elles ont une longueur variant entre 20 et 25 cm et un diamètre moyen de 3,5 mm. Elles présentent une morphologie et une structure identiques à celles des racines de premier ordre ;
- Racines de troisième ordre "brachyrhizes", portées par les racines de deuxième ordre ont un diamètre de quelques dixièmes de millimètres à 1,5 mm. Ce sont des racines à croissance lente, courtes et très abondantes.

#### **b. Zones d'enracinement**

L'ensemble de ces racines du palmier est lié directement, avec un système vasculaire au niveau de la base du tronc. Le développement et l'importance du système racinaire (quantité, densité, longueur...) dépendent du mode et du système de culture, des caractéristiques physico-chimiques et agronomiques du sol, de la profondeur de la nappe phréatique et probablement du cultivar. Verticalement, les racines prennent une longueur pouvant aller jusqu'à 8 et parfois 15 m, en profondeur (Sedra, 2003).

Dans les sols fertiles à humidité régulièrement favorable, les racines se concentrent généralement dans un horizon de 1 à 1,5 m, ces racines présentes en fonction de la profondeur quatre zones d'enracinement : zone respiratoire, zone de nutrition, zone d'absorption, zone formant un faisceau pivotant (Daddi Bouhoun, 2010).

#### **▪ Racines respiratoires**

Les racines respiratoires sont localisées au pied du palmier dattier, comportant de nombreuses racines adventives aériennes qui se développent à partir de la région basale du stipe. Les racines respiratoires souterraines ne dépassent pas de 0,20 m de profondeur, et s'étendent au maximum à 0,5 m du stipe (Munier, 1973).

La plupart de ces racines ont un géotropisme négatif et jouent un rôle respiratoire grâce à la présence de nombreux méats aérifères ou lenticelles qui permettent les échanges gazeux avec l'air de l'atmosphère du sol (Munier, 1973).



### ▪ Racines de nutrition

Les racines de nutrition se développent dans un horizon, allant de 0,20 m jusqu'à 1,20 m (Munier, 1973), et s'étendent souvent au-delà de la zone de projection de la frondaison, d'où l'importance des grandes cuvettes ou planches d'irrigation, aux pieds des palmiers dattiers (Peyron, 2000). Cette zone racinaire est très étendue et contient la plus forte proportion de racines de premier et de deuxième ordre. La densité des racines de premier ordre est importante, plus de 1000 racines au m<sup>2</sup> et plus de 1,6 g de racines pour 100 g de sol (Oihabi, 1991 in Djerbi, 1994 in Daddi Bouhoun, 2010).

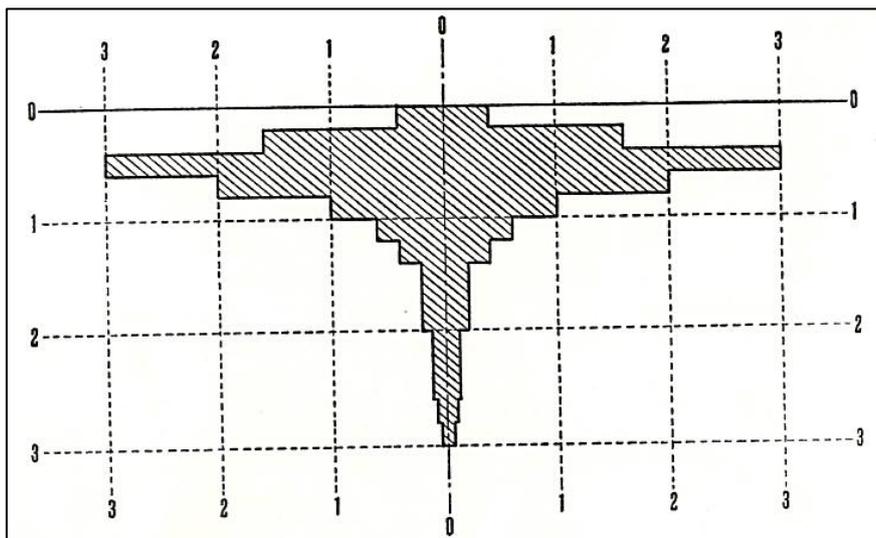
### ▪ Racines d'absorption

Les racines d'absorption ont pour fonction de chercher l'eau. Elles sont plus ou moins importantes selon le mode de culture et la profondeur de la nappe phréatique. La densité racinaire de premier ordre baisse énormément où leur densité est estimée 200 racines au m<sup>2</sup>. Elle se trouve dans un horizon, qui va de 1 à 2 m de profondeur (Peyron, 2000).

### ▪ Racines formant un faisceau pivotant

Les racines d'absorption profonde constituent un faisceau pivotant avec un géotropisme très prononcé. Ils ont pour rôle la recherche de l'eau en profondeur du sol. Elles se trouvent dans une profondeur variable entre 1 et 17 m (Peyron, 2000).

L'extension de ces zones d'enracinement est variable, sont fortement influencés par la nature du sol, de la profondeur du niveau aquifère, ainsi que des cultivars (figure 2) (Munier, 1973).



**Figure 2:** Représentation schématique de la répartition en profondeur et en largeur des racines d'un palmier dattier (Munier, 1973)





### 1.2.2. Organes végétatifs

La tige est un monopodiale couverte des bases des feuilles mortes, porte le nom de stipe qui peut atteindre plus de 30 m d'hauteur, avec une couronne des feuilles à son sommet. Le diamètre moyen du stipe adulte est d'environ 60 cm, mais il peut présenter des zones de rétrécissements, conséquences d'une perturbation de la croissance suite à une période de sécheresse ou de froid (Munier, 1973).

A l'aisselle de chaque palme se trouve un bourgeon axillaire qui en se développant, peut donner naissance à une inflorescence dans la région coronaire, à un rejet dans la région basale (Djerba) ou rarement à un gourmand dans la région moyenne et sous coronaire (Rokeb). Le stipe ne se ramifie pas, mais le développement des gourmands ou des rejets peut donner naissance à des pseudos ramifications (Ben Abdallah, 1990).

Au sommet du stipe, on compte environ 50 à 200 palmes qui peut atteindre 6 m de longueur, forment la couronne du palmier dattier. Ces palmes sont formées d'un limbe complètement segmenté en folioles disposées en paripennés le long du rachis. Les folioles inférieures sont transformées en épines plus ou moins dures et longues.

Les palmes adultes demeurent actives durant trois à sept ans selon la variété et le mode cultural (Peyron, 2000). Puis, elles se dessèchent et tombent en laissant sur le tronc une cicatrice correspondant aux bases pétiolaires, lesquelles servent de protection et d'escalier pour grimper sur le palmier lors de la pollinisation ou de la récolte (Daher Meraneh, 2010).

### 1.2.3. Organes reproductifs

L'inflorescence de palmier dattier porte des milliers de fleurs enfermées dans une bractée appelée spathe. La fécondation est réalisée artificiellement par l'homme. Des pédicelles de fleurs mâles sont introduits et fixés à l'intérieur de l'inflorescence femelle dès l'éclatement de la spathe. Chaque fleur femelle donne une baie ovoïde qui forme la datte (Ben Abdallah, 1990). Le palmier dattier commence à produire des fruits à un âge de 5 à 8 ans, et continue la production avec un taux de 400 à 600 Kg /arbre/an pour plus de 60 ans. La production de la palmeraie dépend largement des opérations culturales appliquées (annexe 1).

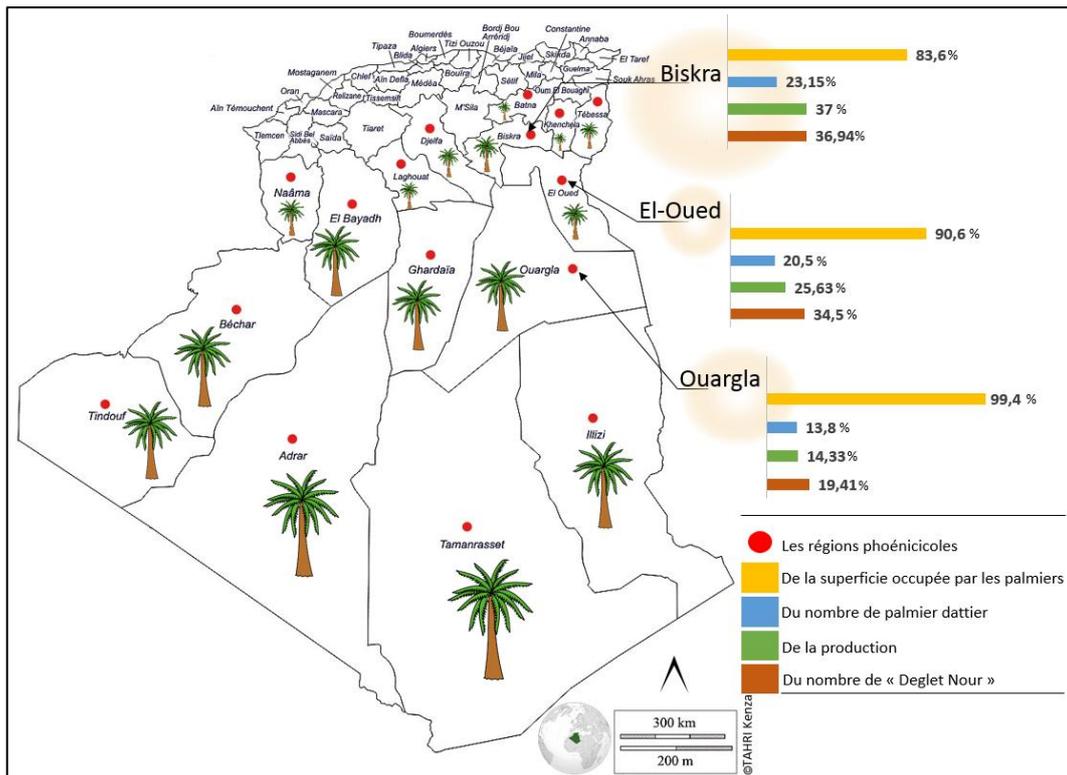
### 1.3. Phénologie du palmier dattier (Stades de croissance)

Selon l'Institut International des Ressources Phytogénétiques IPGRI (2005), le palmier dattier connaît quatre phases de développement :

- **Phase I** : rejet non encore productif (0 à 2 ans) ;
- **Phase II** : jeune (3 à 10 ans) ;
- **Phase III** : adulte (11 à 60 ans) ;
- **Phase IV** : vieux (> 60 ans).

## 2. Distribution géographique

Les palmeraies algériennes sont localisées au Nord-Est du Sahara au niveau des oasis. Le palmier dattier est cultivé au niveau de 17 wilayas, mais en réalité 16 seulement, car M'sila a perdu son potentiel phoénicole (annexe 2). Avec 18201640 palmier dattiers éparpillés sur une surface globale de 163985 ha et une production de 7893570 de quintaux par an, c'est dans les wilayas Biskra, Ouargla et d'El-Oued, où les conditions du milieu sont les plus favorables à son développement et à la maturation de ces fruites que la conduite du palmier est la mieux maîtrisée (figure 3) (Messar, 1993 ; Blama, 2014).



**Figure 3:** Répartition géographique du patrimoine phoénicole avec les principales régions phoénicole (Biskra, Ouargla, El-Oued)

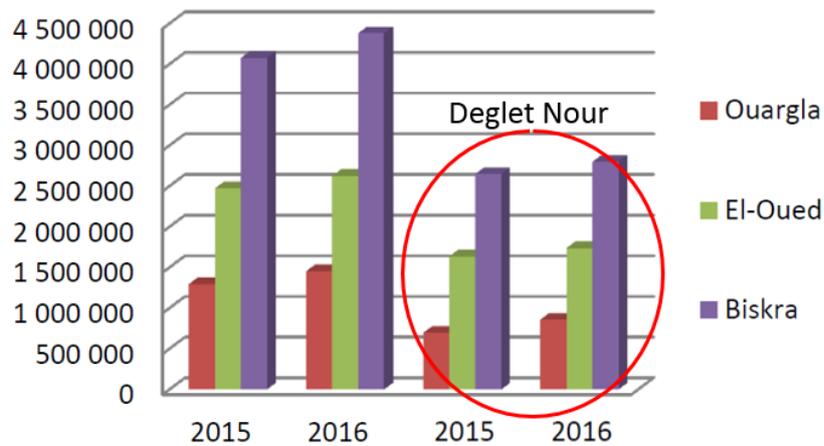


### 3. Commerce national de la datte

La superficie occupée par le palmier dattier a représenté en 2015 environ 2% de la superficie totale de l'Algérie. Les 03 wilayas (Biskra, Ouargla et El-Oued) à vocation phoéniciicole détiennent 61% de la superficie totale occupée par le palmier dattier.

#### 3.1. Production et rendement du palmier dattier en Algérie

La Deglet Nour a représenté 53% de la production totale de dattes en 2015. Avec 51% à Biskra, 31% à El-Oued et 13% à Ouargla. Ces trois wilayas elles seules représentent plus de la moitié de la production totale de datte en Algérie. Les quantités totales récoltées de dattes et de la Deglet Nour (figure 4) ont connu une augmentation considérable en 2016 par rapport à 2015 pour les 03 wilayas potentiellement productrices de la Deglet Nour (ONFAA, 2017).

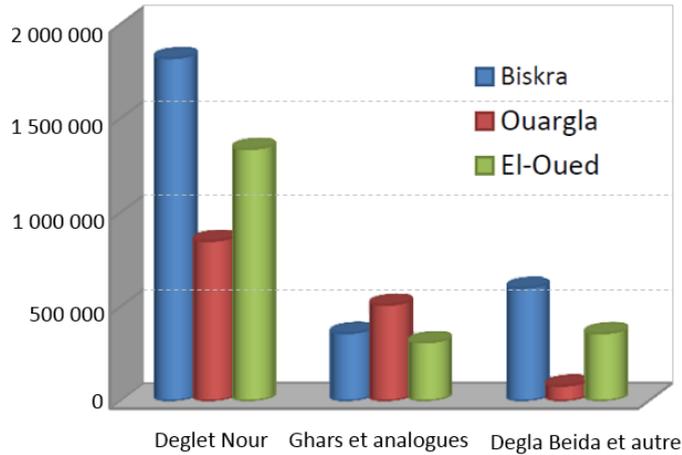


**Figure 4:** Quantités récoltée de datte en totale et de la Deglet Nour en Quintaux (ONFAA, 2017)

La wilaya de Biskra occupe la 1ère place dans la commercialisation des variétés Deglet Nour et Degla Beida (figure 5). Selon la DSA de Biskra, plus de la moitié de la Deglet Nour récoltée dans la wilaya de Biskra a été commercialisée au cours de la campagne 2015/2016.

Quant à la wilaya de Ouargla, elle occupe la 1ère place dans la commercialisation de la variété Ghars (figure 5). Presque la totalité des dattes toutes variétés récoltées dans la wilaya de Ouargla a été commercialisé selon la DSA de Ouargla. Pour les rendements de la variété Deglet Nour ; la wilaya de Biskra a réalisé le rendement le plus performant avec 114 kg/arbre en 2016 (ONFAA, 2017).

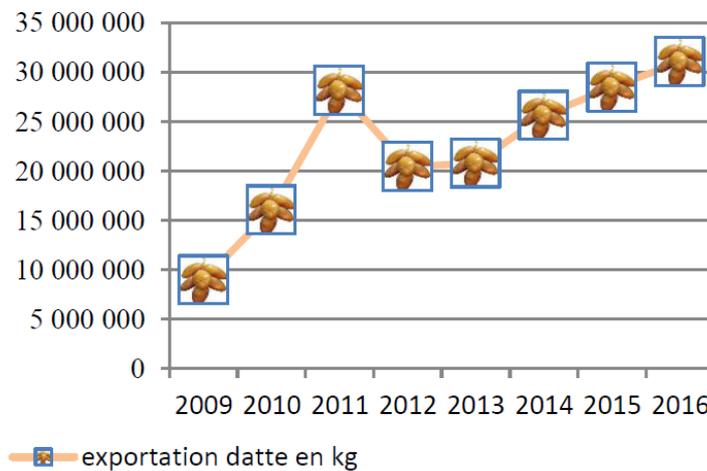




**Figure 5:** Quantités (quintaux) commercialisées de dattes par catégories en 2016 (ONFAA, 2017)

### 3.2. Exportations de la datte en Algérie

Malgré que la production totale de dattes en Algérie a constamment augmenté ces dernières années (figure 6) ; l’exportation par contre a connu une importante fluctuation. Après une hausse de 2009 à 2011, les exportations ont chuté pour connaître à nouveau une hausse à partir de 2013 afin d’atteindre les 31048,184 tonnes en 2016 (ONFAA, 2017).



**Figure 6:** Evolution des exportations de dattes Algérienne en quantité (ONFAA, 2017)

L’Algérie classée parmi les principaux pays producteurs de dattes, elle se distingue par contre par sa faible présence sur le marché international. Les exportations algériennes de dattes n’arrivent toujours pas à suivre la courbe de la production qui est en constante augmentation. Le premier destinataire des dattes algériennes est la France ; notamment la datte Deglet Nour et les autres dattes fraîches. Pour ce qui est de la datte sèche, l’Algérie a produit 272 573.8 tonne en 2015, elle a exporté seulement 0.05% de sa production principalement vers les pays africains (ONFAA, 2017).



## Sous chapitre **2** *Architecture et développement du système racinaire*

### 1. Milieu naturel des racines

Hiltner en 1904 a défini le terme de « rhizosphère » (rhiza = racine, sphair = ce qui est autour) qui correspond au volume de sol influencé par l'activité racinaire dans laquelle la libération de divers composés organiques stimule la croissance des micro-organismes (Perrier, 2004). Il s'agit d'une zone d'interaction entre des partenaires spécifiques, les racines, les micro-organismes et le sol. La rhizosphère peut être décomposée en différents éléments (Groleau-Renaud, 1998) :

- Endorhizosphère est l'épiderme de la racine, lieu de colonisation des micro-organismes ;
- Rhizoplan est l'interface entre la surface de la racine et le sol ;
- Exorhizosphère est constituée du sol proche de la racine (ectorhizosphère).

#### 1.1. Rôles des racines

Les racines, dont l'ensemble constitue l'appareil racinaire, habituellement souterrain (géotropisme positif et phototropisme négatif), Il sert à de multiples fonctions essentielles à la survie des individus (Plourde, 2007). Notamment il permet à la plante :

- de stabiliser et s'ancrer au sol. Selon la granulométrie du substrat, la racine se développe et se ramifie plus ou moins. C'est le développement du système racinaire qui assure le maintien des sols et limite ainsi l'érosion ;
- d'absorber l'eau et les nutriments du sol ;
- l'accumuler des réserves et la production d'hormones.

### 2. Structure et croissance du système racinaire

Le système racinaire est un ensemble ramifié constitué exclusivement de racines (Atger, 1992). La connaissance de la structure de racines est donc indispensable avant d'aborder l'étude du système racinaire dans sa globalité (Groleau-Renaud, 1998).

#### 2.1. Structure d'une racine

La racine peut être divisée en cinq zones distinctes, spécifiques par leur anatomie et leur rôle. On distingue en partant de l'apex racinaire : la coiffe, le méristème apical, la zone d'élongation, la zone pilifère et la zone de maturité (Groleau-Renaud, 1998).



- Coiffe racinaire : il s'agit d'un manchon autour de l'extrémité de la racine qui protège le méristème. La coiffe de la majorité des plantes a la propriété de se renouveler si elle a été mécaniquement supprimée. La régénération de la coiffe a lieu en 4 jours à une température de 23°C. Outre le rôle de protection, la coiffe racinaire possède d'autres fonctions. Elle permet la perception de la gravité. Elle constitue aussi le site de production ou de libération d'inhibiteurs de croissance de la racine, qui sont transportés vers la zone d'extension racinaire ;
- Méristème apical : il est composé d'un centre quiescent, ensemble de cellules qui se divisent peu et d'une autre partie qui est à l'origine des cellules qui constituent les tissus permanents de la racine que sont l'épiderme, le parenchyme et le cylindre central ;
- Zone d'élongation : il s'agit d'une région de courte longueur (2 à 10 mm) comportant des cellules de forme rhomboédrique qui s'allongent avec le temps. Selon Foster (1986), la longueur des cellules peut augmenter de 10 ou même de 20 fois, permettant aux racines de croître de 2 à 9 cm par jour. Il est possible d'induire une augmentation de 73% du taux de croissance de sections de zones d'élongation de coléoptiles de maïs par la présence « d'Epidermal Growth Factor » ;
- Zone pilifère : Les poils absorbants sont courts et ont une durée de vie limitée. Cependant, leur nombre élevé permet d'augmenter considérablement la surface de contact entre la racine et le sol. Chez le palmier dattier, les poils absorbants sont absents, l'absorption se fait par les ramifications d'ordre trois et quatre qui atteignent un diamètre inférieur à 0,5 mm (Mimoun, 2014) ;
- Zone de maturité : il s'agit d'une portion racinaire subérisée qui correspond au lieu d'apparition des premières ramifications de racines secondaires.

## 2.2. Elaboration de la racine

L'élaboration du système racinaire est un processus organisé qui répond à des règles strictes (distances et vitesse d'émission racinaire). L'élaboration des ramifications racinaires intervient en second lieu. Cette organisation du développement permet une prospection accrue du sol qui favorise la croissance entière du végétal.

La croissance des racines se déroule en deux phases distinctes (Leclercq et Verbrugge, 1984 in Groleau-Renaud, 1998) :

- Croissance en longueur a pour principale origine l'élongation cellulaire rapide des cellules situées dans la zone de croissance juste après l'apex ;



- Croissance en épaisseur est fonction de la division radiale et tangentielle des tissus secondaires à partir des méristèmes latéraux (cambium et phellogène). Cependant, chez les monocotylédones, les tissus secondaires ont disparu au cours de l'évolution.

### 3. Architecture des plantes

Il y a plus de 40 ans, Roelof A. A. Oldeman et Francis Hallé isolaient et délimitaient les concepts de base de l'architecture, en forêts humides de Guyane, du Congo et de Côte d'Ivoire. Dans ce type de forêts à très bas niveaux de contraintes climatiques, il est admis que les concepts architecturaux correspondent à une réalité, permettant à la fois de reconnaître les plantes et de mieux les décrire (Hallé et Perrier, 2007), depuis ce temps a commencée l'évolution de l'analyse de l'architecture d'une plante à partir de la description qualitative jusqu'aux méthodes de quantification et d'analyse actuelles.

#### 3.1. Définition de l'architecture racinaire

L'architecture racinaire est décrite par la distribution géométrique des racines dans un espace à trois dimensions et par la topologie : l'agencement des éléments qui composent le système racinaire les uns par rapport aux autres. Les racines formant le système racinaire, comme pour le système aérien, peuvent se décomposer en ordre de ramification (Danquechin Dorval, 2015).

L'analyse architecturale doit donc définir (Thaler, 1996) :

- Les classes d'éléments du système racinaire et leurs propriétés ;
- Les processus dynamiques de développement qui aboutissent à sa construction.

Deux concepts couramment utilisés rendent compte du développement d'un système racinaire : la croissance et la différenciation (Thaler, 1996).

- La croissance d'un système racinaire (ou d'une de ses parties) : est l'ensemble des modifications quantitatives ayant lieu au cours de son développement. Elle se rapporte donc à des changements de taille et de masse et conditionne l'architecture racinaire ;
- La différenciation renvoie aux modifications qualitatives qui se traduisent par l'acquisition des propriétés nouvelles. Elle détermine certains processus racinaire tels que la respiration et la production.

L'architecture du système racinaire est un aspect fondamental de la productivité des forêts, car elle détermine l'efficacité de l'acquisition d'eau et d'éléments nutritifs, en condition de concurrence souterraine et d'interaction entre les racines, le sol et les micro-organismes. Les connaissances acquises sur la croissance et l'architecture des racines



peuvent être rassemblées dans des modèles qui peuvent servir à tester des hypothèses (Lynch, 1995 in Khuder, 2007).

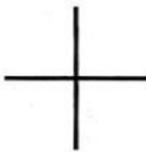
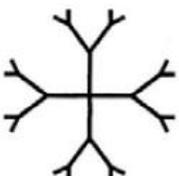
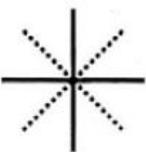
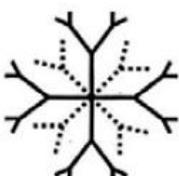
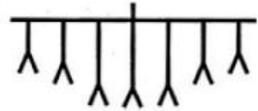
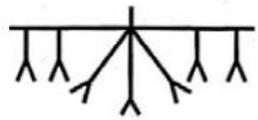
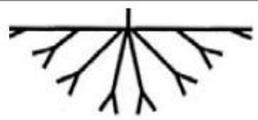
### 3.2. Classification des architectures racinaires adultes

A la lumière des nombreuses observations réalisées après l'ouragan de fin 1999, il est possible aujourd'hui de proposer une nouvelle classification basée sur l'utilisation de trois caractères morphologiques appliqués aux grosses racines ligneuses (Drénou, 2006) :

- 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 des contraintes (épicéa commun, pin maritime...). Des racines obliques dans la partie centrale, puis verticales au-delà (douglas vert, peuplier Raspalje...). Enfin, des racines toutes obliques (hêtre, aulnes...);
- L'aspect linéaire ou fourchu des charpentières : on sait que des fourches d'origine traumatique peuvent se former à tout moment sur n'importe quelle racine. Mais seules certaines essences montrent systématiquement, quel que soit le type de sol, des séries de fourches successives sur l'ensemble de leurs charpentières. Il s'agit alors d'un processus de réitération héréditaire (Atger, 1992 ; Drénou, 2006) très visible chez le hêtre, et complètement absent chez l'épicéa commun ou le pin maritime ;
- 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. Le hêtre et le douglas vert sont dans ce cas. Aussi, leur nombre de charpentières ne cesse de s'accroître avec l'âge de l'arbre (tableau 1).



Tableau 1 : Classification des architectures racinaires adultes (Drénou, 2006)

		Architecture en surface			
		Une seule génération de charpentières		Plusieurs générations de charpentières	
		Sans fourche	Avec fourches	Sans fourche	Avec fourches
					
Architecture en profondeur	A racines verticales	 <p><i>Picea abies</i> (Drénou, 2003) <i>Pinus pinaster</i> (Drénou, 2003) <i>Picea sitchensis</i> (Fraser et Gardiner, 1967) <i>Peupliers Beaupré et I214</i> (Drénou, 2004)</p>	<i>Abies alba</i> (Lucot, 1994)	<i>Acer rubrum</i> (Lyford et Wilson, 1964)	<i>Platanus hybrida</i> (Atger., 1992) <i>Sorbus aucuparia</i> (Mauer et Palatova, 2002)
	A racines verticales et obliques	 <p><i>Quercus rubra</i> (Lyford, 1980) <i>Peuplier Raspalje</i> (Drénou, 2004)</p>		<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Eis, 1973, Drénou, 2003) <i>Cupressus 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	 <p><i>Peuplier Dorskamp</i> (Drénou, 2004)</p>		<i>Alnus incana</i> (Berben, 1968)	<i>Fagus sylvatica</i> (Drénou, 2003) <i>Tilia cordata</i> (Raimbault, 1991, Köstler et al., 1968)



### 3.3. Moyens d'études du système racinaire

Une des caractéristiques de l'appareil racinaire est sa grande longueur. Cette extension, difficile à apprécier dans les conditions naturelles, est habituellement très supérieure à celle de la partie aérienne de la plante. La racine traverse et établit des relations d'échanges avec un milieu très particulier, le sol, et elle montre par sa croissance, sa ramification, sa structure et son fonctionnement, de remarquables propriétés d'adaptation à cet environnement (Roland *et al.*, 2008).

Malgré l'importance de système racinaire, les parties aériennes des végétaux ont fait l'objet d'études depuis près d'un siècle alors que leurs parties racinaires ont été longtemps ignorées parce que, les études portant sur les systèmes racinaires rencontrent des difficultés importantes, le principal obstacle consistant à se procurer les racines, sa difficulté d'accès a limite le nombre d'études. En effet, toute extraction provoque une modification des structures extraites : perte de racines, changement dans la répartition, perte des caractéristiques du sol (Fitter 1994 in Plourde, 2007).

Actuellement, les méthodes les plus utilisées en prairie pour l'analyse du système racinaire restent les carottages, les ingrowth core, et les (Mini)-rhizotron car elles apportent le plus d'informations (tableau 2) (Pilon, 2011).

**Tableau 2 : Liste des paramètres accessibles par les différentes méthodes d'analyse du système racinaire**

Paramètres mesurables ou traits	Destructrice (avec ou sans marquage isotopique)				Non-destructrice
	Extraction totale	Profil	carottage	Ingrowth core	(Mini) rhizotron
Nombre	+	+	+	+	+
Longueur	+	+/-	+	+	+
Diamètre	+	+	+	+	+
Densité	+	+	+	+	+
Croissance				+	+
Distribution	+	+	+/-	+/-	+
Turnover	*	*	*	+/-	+
Durée de vie					+
Saisonnalité				+	+
Composition chimique	+	+	+	+	

(+ : mesure, +/- : incertitude ou estimation, \* : avec marquage isotopique)

En fonction des objectifs de l'étude et de la taille du système racinaire, les méthodes d'analyse architecturale permettent des mesures sur une partie ou la totalité du système, sur un type racinaire ou sur tout le système. Parmi elles, les techniques non destructives les plus largement répandue : mini-rhizotron et rhizotron.

Ce sont deux méthodes d'observation directe de la dynamique de croissance du système racinaire. Ces méthodes non destructives permettent le suivi de la croissance individuelle des racines. Ainsi, elles permettent de caractériser au cours du temps, l'élongation, la mortalité et la durée de vie des racines (Lauenroth et Gill, 2003) :

#### a. Mini-rhizotron

C'est une méthode visuelle d'étude de la dynamique de croissance racinaire à travers un tube transparent inséré dans le sol, et la partie extérieure de tube est recouvert d'un plastique opaque pour se soustraire des effets de la pluie et de la lumière. L'inclinaison du tube est souvent variable selon les études. Les images du mini-rhizotron (racines en croissance et mortes) sont souvent prises avec une caméra ou un scanner (Lauenroth et Gill, 2003).

#### b. Rhizotron

Le rhizotron consiste en une surface vitrée (ou en plexiglas) placé au contact du sol et permettant de suivre la croissance des racines (Jourdan et Rey, 1997). Le rhizotron a été rafraîchi quand il était plein de racines ou endommagé par les intempéries. Le rafraîchissement consiste à enlever la vitre et à couper les racines, puis à refaire un bon contact sol/vitre. Pour obtenir une base de données exploitable, les élongations racinaires mesurées à travers le rhizotron doivent être numérisées par l'utilisation d'un logiciel qui permet une acquisition semi-automatique des données de croissance racinaire (Thongo M'bou, 2008).

### 4. Effet de milieu naturel sur la croissance et le développement racinaire

Les paramètres physico-chimiques du sol tels que la structure, la texture, la densité, la distribution de taille des pores interfèrent dans la croissance et le développement racinaires en plus des conditions climatiques. Les sols sableux induisent une plus forte résistance mécanique à la pénétration des racines que les sols argileux, facilitant la pénétration racinaire car les argiles agissent comme des lubrifiants (Madsen, 1985 in Groleau-Renaud, 1998).

Dans les sables grossiers, les pores permettent l'entrée de l'apex racinaire. A cause de la taille des grains de sable, les effets de la compaction sont de faible intensité. La racine gonfle entre les pores et occupe tout l'espace poral. L'épaississement continue jusqu'à ce qu'il se produise une reprise de la pénétration ou bien que la racine se soit incurvée dans une zone où l'élongation est possible. La présence de la contrainte mécanique induit, quel que soit la technique d'application (sol, sable ou billes de verre), une modification du diamètre des racines. L'augmentation de diamètre varie suivant la force de la contrainte mécanique appliquée et l'épaisseur propre à chaque type de plante (Warnaars et Eavis, 1972 in Groleau-Renaud, 1998).



## **Chapitre II : Matériel et méthodes**

Sous chapitre 1: Présentation de la région d'étude

Sous chapitre 2: Présentation de l'approche méthodologique



# 1 *Présentation de la région d'étude*

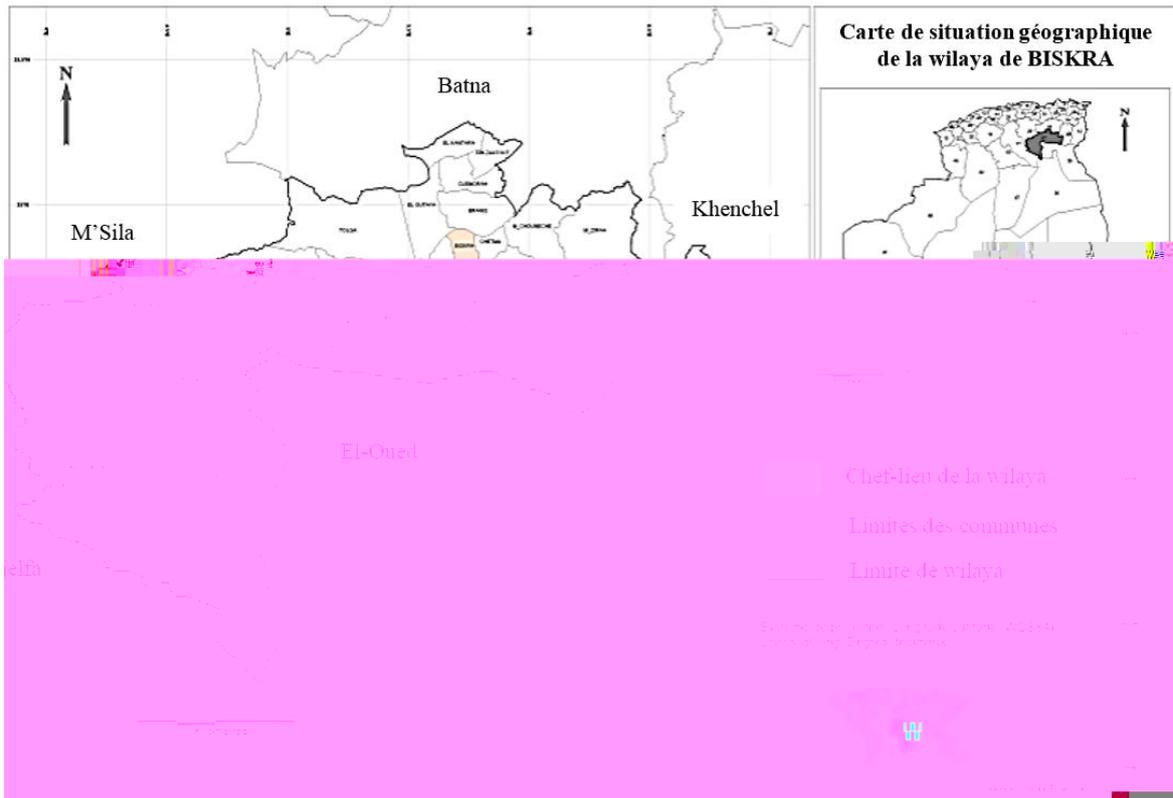
L'Algérie est caractérisée par le contraste entre le climat méditerranéen de la bordure littorale et le climat désertique du Sud, en passant par le climat montagneux des plateaux (Meguenni Tani, 2013). Les milieux naturels de la wilaya de Biskra comprennent des milieux steppiques diversifiés, selon la présence ou non de sable, l'affleurement de rocher, la concentration de sels divers. Cette dernière est sous l'effet de remontée de la nappe phréatique, et également des dépressions humides plus ou moins salées. Au niveau des cultures traditionnelles, la palmeraie est la plus ancienne forme pratiquée. Une flore originale se développe et comprend des halophytes dont la présence s'explique par la remontée de sels ainsi que des adventices liées aux cultures elles-mêmes. Cependant pendant les trois dernières décennies, la région de Biskra a connu des transformations considérables au niveau des paysages et de l'occupation du sol à cause des mutations agricoles et l'extension des agglomérations (Moussi, 2012). Ce chapitre a été consacré à l'étude du contexte climatique, géophysique, hydrogéologique et les différentes végétations existantes dans la région d'étude.

## 1. Situation et limite de la région d'étude

La région de Biskra est située au centre-est de l'Algérie, aux portes du Sahara algérien. Le Chef-lieu de la wilaya est située à 400 km au Sud-est de la capitale, Alger. Son altitude est de 125 mètre/au niveau de la mer, sa latitude est de 34.48 (N) est sa longitude est 5.44 (E) (A.N.A.T., 2002). Elle s'étend sur une superficie de 21 671.24 km<sup>2</sup>, avec une population qui est estimée selon le dernier recensement de 2008 à presque de 721 356 habitants pour une densité de population de 35 habitants/Km<sup>2</sup> (R.G.P.H., 2008). Selon le découpage administratif de 1984, elle se compose de douze Dairas et trente-trois communes ; ses limites territoriales se résument comme suit (Sedrati, 2011) :

- Au Nord : La Wilaya de Batna ;
- Au Nord-Ouest : La Wilaya de M'Sila ;
- Au Sud-Ouest : La Wilaya de Djelfa ;
- Au Sud : La Wilaya d'El-Oued ;
- Au Nord Est : La Wilaya de Khenchela (figure 1).





**Figure 1:** Carte de situation géographique de la wilaya de BISKRA

Publié par Elhachmi Arour sur :

<http://decoupageadministratifalgerie.blogspot.com/2014/10/cartegeographiqueBISKRA.html>

## 2. Caractéristiques climatiques

Nous présentons les principales caractéristiques climatiques de la région de Biskra. D'une manière générale, à partir des données climatiques moyennes qu'ont été recueillies pour la période de 2006 à 2015 auprès de l'Office de la météorologie de Biskra, complétées par les données durant la période de l'étude expérimental (d'Avril 2016 à Octobre 2016) (annexe 3).

**Tableau 1:** Caractéristiques de la station météorologique de Biskra

		Coordonnées Lambert	
Caractéristiques de la station de mesure	Biskra	X : 778,27 km	Y : 171,54 km
		Altitude (m)	
	Biskra	85	



**Tableau 2:** Données climatiques moyennes de Biskra entre 2006 - 2015

	<i>Température (C°)</i>			<i>P (mm)</i>	<i>V (Km/h)</i>	<i>H (%)</i>
	<i>T min</i>	<i>T max</i>	<i>T moy</i>			
<i>Janvier</i>	6,86	17,78	12,32	15,38	11,3	55,6
<i>Février</i>	7,75	18,71	13,23	8,54	20,7	55,4
<i>Mars</i>	11,23	22,95	17,09	15,93	20,5	44,2
<i>Avril</i>	15,38	27,28	21,33	13,97	11,7	36,6
<i>Mai</i>	19,85	32,6	26,225	11,61	16,2	30,3
<i>Juin</i>	24,53	37,74	31,135	9,96	15,1	28
<i>Juillet</i>	28,06	41,37	34,715	0,59	12,1	26,1
<i>Août</i>	27,07	40,57	33,82	1,86	12,9	32,6
<i>Septembre</i>	23,37	35	29,185	18,95	12,5	45
<i>Octobre</i>	18,27	29,55	23,91	23,12	14	52,2
<i>Novembre</i>	12,11	22,67	17,39	10,63	10,7	54,1
<i>Décembre</i>	7,84	18,18	13,01	7,6	4,3	61,7
<b><i>Moyenne annuelle</i></b>	<b>16,86</b>	<b>28,7</b>	<b>22,78</b>		<b>13,5</b>	<b>43,48</b>
<b><i>Cumul annuel</i></b>				<b>128,14</b>		

- a. Température :** d'après le tableau n°02, la wilaya de Biskra est caractérisée par des fortes températures d'une moyenne annuelle de (22.78°C) entre 2006 et 2015. Ce paramètre présente une grande alternance durant cette période ; la température moyenne mensuelle la plus élevée est enregistrée au mois de Juillet (34,715°C), et la plus faible au mois de Janvier (12.32°C).
- b. Précipitations :** le terme « précipitations» englobe toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, que ce soit sous forme liquide (pluie) ou sous forme solide (neige, grêle). Dans notre région d'étude, les précipitations sont faibles moins de 150 mm/an de pluies annuelles (Aidaoui, 1994).

D'après les valeurs de la pluviométrie moyenne mensuelle au cours de la période 2006 - 2015 indiquées dans le tableau n°02, on remarque un minimum de précipitations durant le mois le plus chaud (juillet) avec une pluviométrie de (0.59 mm), par contre le mois le plus pluvieux c'est le mois d'Octobre (23.12 mm).



- c. Vent :** la vitesse maximale du vent a été enregistrée au cours du mois février (tableau n°02) avec une moyenne de 20,7 km/h. Par contre, la minimale a été relevée en décembre 4.3 km/h.
- d. Humidité relative de l'air :** ce paramètre est relativement faible dans la zone d'étude. Cette faible valeur s'explique par l'aridité du climat et la concentration des masses d'air chaud du Sahara. Les données de tableau n°02 ci-dessus montre que le mois de décembre est le plus humide avec 61,7 % par contre le taux d'humidité le plus faible est noté au mois de Juin avec 28 %.
- e. Synthèse climatique :** consiste à déterminer la période sèche et la période humide par le diagramme ombrothermique de Gausсен (GAUSSEN, 1955) ainsi que l'étage bioclimatique des régions d'étude grâce au climagramme pluviométrique d'Emberger (STEWART, 1969) par le calcul du quotient pluviométrique ( $Q_2$ ) adapté pour l'Algérie selon la formule de STEWART (1969), qui se présente comme suit :

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

Avec :

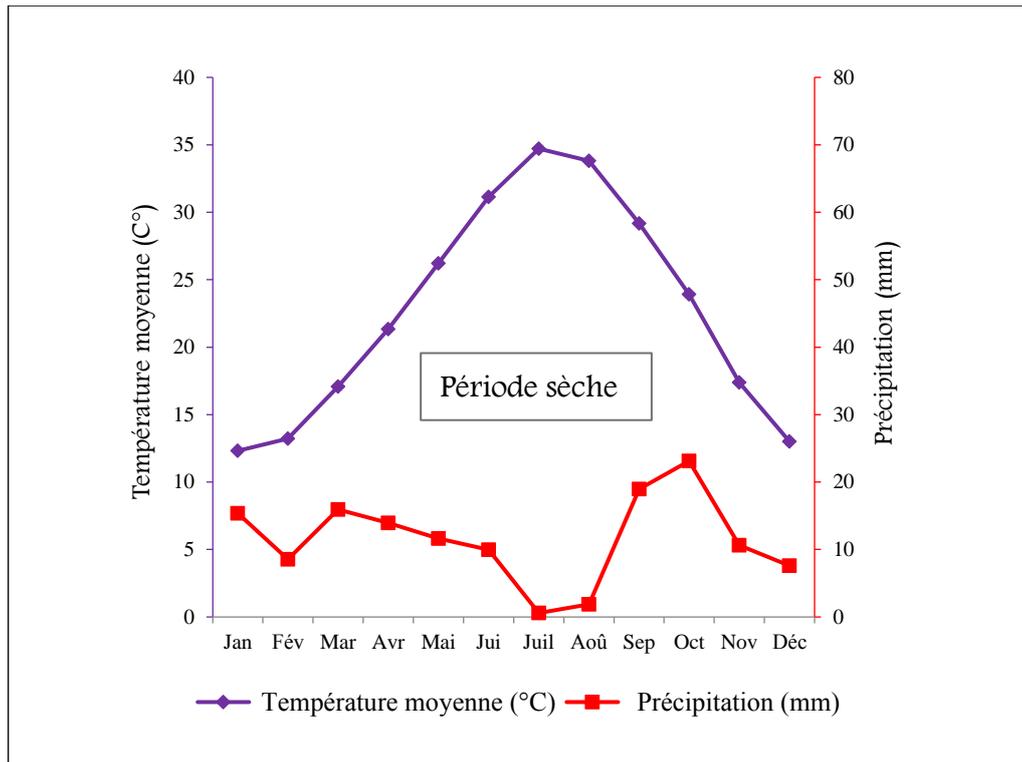
$Q_2$  : quotient pluviométrique d'EMBERGER.

P : pluviométrie moyenne annuelle en mm.

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C.

m : moyenne des minima du mois le plus froid en °C.





**Figure 2:** Diagramme ombrothermique de GAUSSEN de Biskra durant la période 2006 – 2015

L'analyse du diagramme ombrothermique de GAUSSEN montre que la période sèche dans la région de Biskra durant la période 2006 à 2015 s'étale sur toute l'année, elle est plus accentuée en été (juillet, août) à cause des faibles précipitations et des températures élevées ce qui confirme l'aridité de cette zone (figure 2).

Pour déterminer l'étage bioclimatique de la région de Biskra, nous avons calculé le quotient pluviométrique d'Emberger (Q<sub>2</sub>) par l'utilisation des données climatiques de la période (2006 - 2015) :

$$Q_2 = 3,43 [P / (M - m)] \leftrightarrow Q_2 = 3,43 [128,14 / (41,37 - 6,86)]$$

$$Q_2 = 12,73$$

La valeur de quotient pluviométrique d'Emberger est de 12,73 où P est égal à 128,14 mm ; M à 41,37 °C et m à 6,86 °C. En rapportant cette valeur sur le climagramme d'Emberger (Figure 3) nous notons que la région de Biskra se situe dans l'étage bioclimatique saharien à hiver tempéré elle se caractérise par des précipitations faibles et de fortes températures.



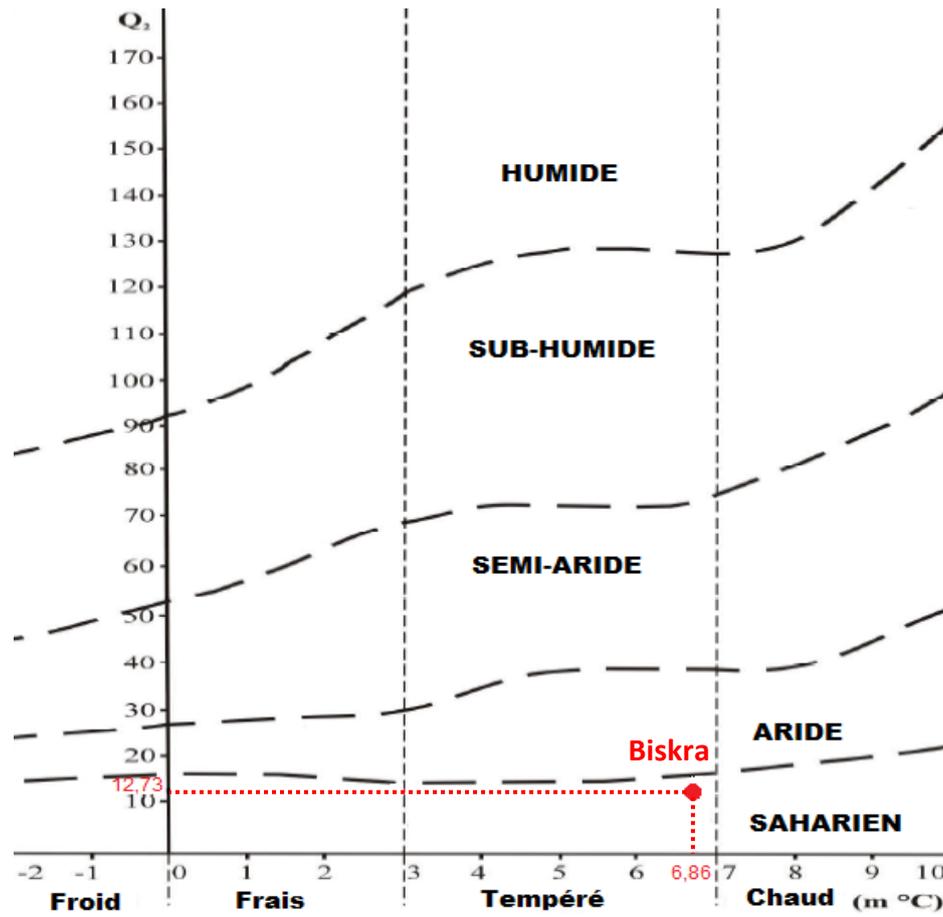


Figure 3: Localisation de la région de Biskra sur le climagramme d'EMBERGER

### 3. Caractéristiques hydrologiques

Les ressources hydrauliques de la région de Biskra sont renforcées par deux barrages (figure 4) destinés à l'irrigation de couverture végétale (A.N.B.T., 2013) :

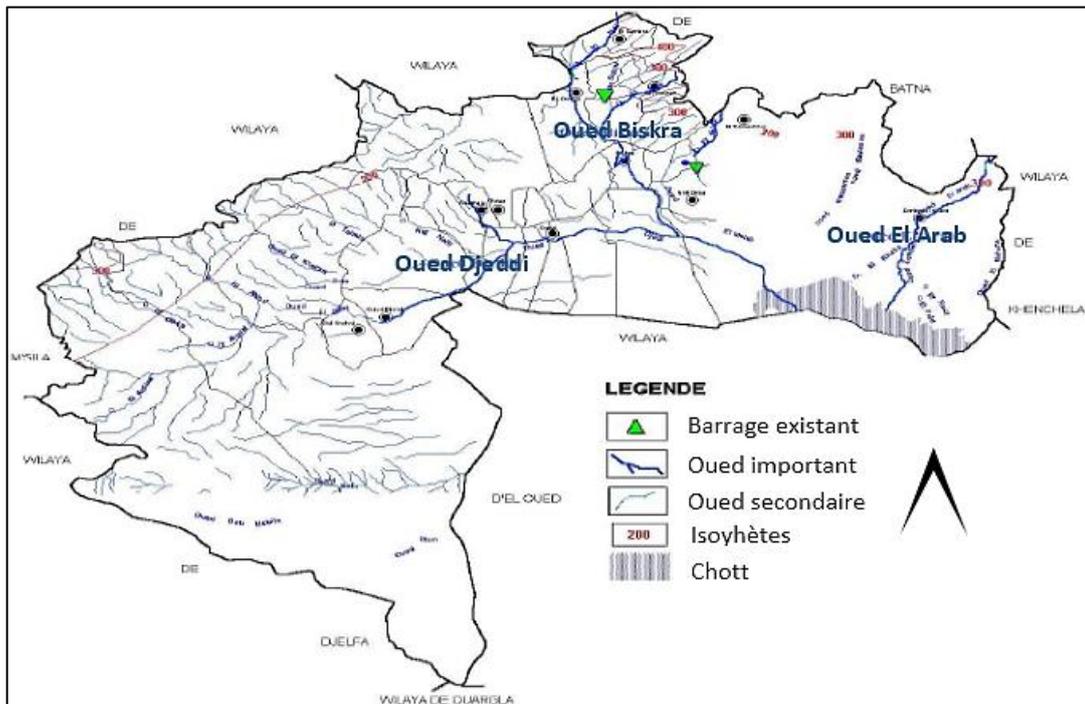
- **Foum El Gherza** : avec une hauteur de 67 m et une capacité de 15 millions de mètres cubes ;
- **Fontaine des gazelles** : d'une hauteur de 43 m et une capacité de 55 millions de mètres cubes.

Biskra est drainée aussi par une série d'Oueds dont les plus importants sont, Oued Biskra, Oued El-Arab et Oued Djeddi L'ensemble des Oueds parcourent la région fait partie du grand bassin versant Saharien du chott Melghir (Sedrati, 2011) :

- Oued Biskra, son réseau hydrographique est constitué par un grand nombre d'affluent qui collectent les eaux de ruissellement du Sud-Ouest de l'Aurès ;



- Oued El Arab prend sa source des monts qui constituent la partie Orientale des Aurès et se jette dans la zone dépressionnaire du chott Melghir ;
- Oued Djeddi (l'oued le plus important du bassin), présente l'axe de drainage d'un bassin versant de 9130 Km<sup>2</sup> ; il constitue un collecteur des eaux de ruissellement d'une superficie importante du flanc Sud de l'Atlas Saharien (figure 4).



**Figure 4:** Carte du réseau hydrographique de la wilaya de Biskra (Sedrati, 2011)

Les ressources hydriques souterraines dans la wilaya de Biskra sont constituées principalement par quatre nappes (Bouammar, 2010) :

- **La nappe phréatique du quaternaire** : elle est connue au niveau des palmeraies de Tolga et se localise souvent sur des accumulations alluvionnaires. On classe dans cette catégorie, la nappe de l'oued de Biskra et celle de l'oued Djeddi. Elles doivent leur alimentation normalement à partir des précipitations et des eaux d'irrigation. La plupart des eaux de cette nappe sont salées ou très salées ;
- **La nappe profonde** : cette nappe souvent appelée albienne, elle est caractérisée par une température très élevée. Elle est rarement exploitée, sauf à l'Ouled Djellal ou Sidi Khaled où les formations gréseuses de l'albien ou de barrémien sont touchées à une profondeur de 1500 à 2500 mètres. L'utilisation de cette eau nécessite un refroidissement ;
- **La nappe calcaire** : cette nappe est localisée dans la totalité de la région de Biskra. Elle est plus exploitée à l'Ouest qu'à l'Est de Biskra, à cause des faibles profondeurs



relatives de captage. A l'Ouest, la profondeur de 150 à plus de 200 m alors qu'à l'Est, la profondeur dépasse les 400 m. L'alimentation de cette nappe se fait par deux zones d'affleurement de l'éocène inférieur, la première à l'Ouest de Daoucen et Ouled Djellal, la seconde au Nord de Tolga, entre Foughala et Bouchagroune et les versants de la plaine de l'Outaya. Cette nappe subit une baisse de niveau piézométrique suite à la surexploitation ;

- **La nappe du Miopliocène :** cette nappe a une extension considérable. Elle est capturée par de nombreux forages dans les plaines. Son épaisseur reste faible sur les piémonts et augmente au milieu de la plaine. Son alimentation est assurée par les pluies exceptionnelles. Finalement, l'écoulement de cette nappe se fait du nord-ouest vers le Sud-Est pour déboucher au chott Melghir.

#### 4. Caractéristique édaphiques

##### a. Reliefs

La région de Biskra constitue la transition entre les domaines atlasiques plissés du Nord et les étendues plates et désertiques du Sahara au Sud. Le relief de la région de Biskra est constitué de quatre grands ensembles géographiques (A.N.A.T. de Biskra, 2006 in Bouamar, 2010) (figure 5) :

- **Les montagnes :** dans la partie Nord (El-Kantara, Djemoura et M'Chounech) se découpent plusieurs chaînons atlasiques dont l'altitude maximale peut aller de 1500 à 1700 m .alors que la moyenne est de l'ordre de 300m ;
- **Les plateaux :** à l'ouest, ils s'étendent du nord au sud englobant presque les daïras d'Ouled Djellal, Sidi Khaled et une partie de Tolga. , les dépôts grossiers que l'on trouve au pied des montagnes passent à des dépôts argilo sableux, vers le Sud ;
- **Les plaines :** vers le Sud, la plaine saharienne occupe approximativement les deux tiers de la superficie. Du point de vue morphologique, elle se présente en générale, comme un piémont sans relief marqué, qui relie par une pente douce les chaînes atlasique aux étendues sahariennes du Sud ;
- **Les dépressions :** dans la partie sud-est de la wilaya de Biskra, le relief est caractérisé par le développement d'une vaste plaine découpée par lits d'oueds qui s'écoulent des monts de l'atlas et disparaissent dans la grande dépression fermée du Melghir (Chott Melghir).



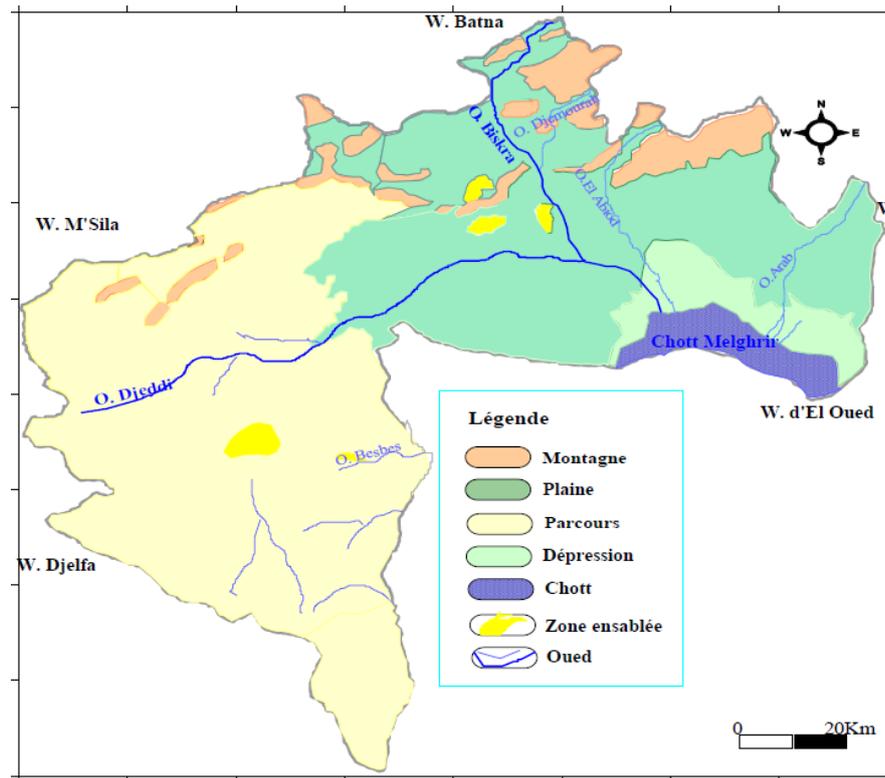


Figure 5: Carte du milieu physique de la wilaya de Biskra (Sedrati, 2011)

### b. Sol

L'étude morpho analytique des sols de la région de Biskra montre l'existence de plusieurs types de sols. A ce propos, Khachai (2001) a défini plusieurs groupes de sols répartis comme suit :

- Les régions Sud, sont surtout caractérisées par les accumulations salées, gypseuses et calcaires. Ces régions sont influencées par l'effet des nappes phréatiques et les apports éoliens ;
- Les régions Est, sont définies par les sols alluvionnaires et les sols argileux fertiles ;
- Les zones du Nord (ou zones de montagne) sont le siège de la formation des sols peu-évolués et peu fertiles. Ils sont soumis à l'action de l'érosion hydrique ;
- Enfin, la plaine située au Nord-ouest de Biskra où les sols argileux-sodiques irrigués par les eaux fortement minéralisées constituent le caractère de la pédogenèse de la plaine de l'Outaya.

### 5. Couvert végétal

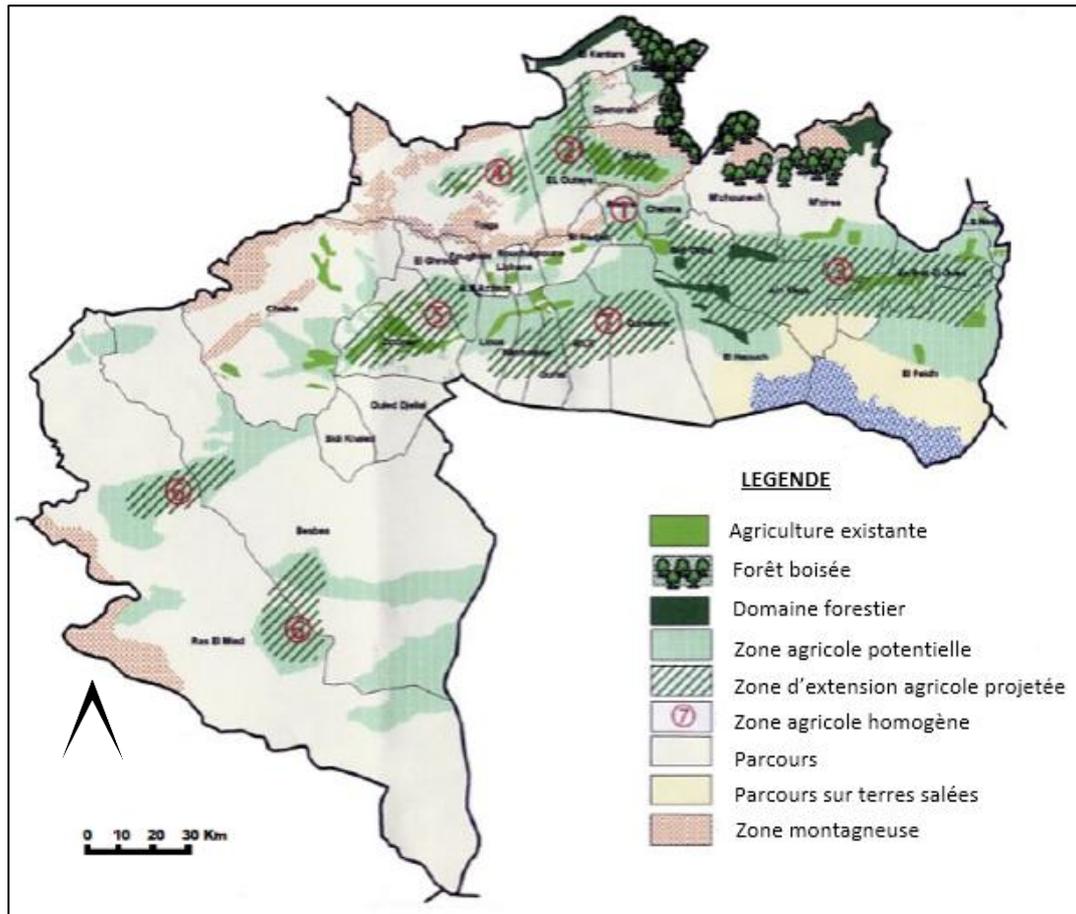
La végétation des zones arides, en particulier celle du Sahara, est très clairsemée, à aspect en général nu et désolé, les arbres sont aussi rares que dispersés et les herbes n'y apparaissent que pendant une période très brèves de l'année, quand les conditions deviennent favorables, (UNESCO, 1960 in Rekis, 2012).



Dans notre région d'étude la végétation présente des caractéristiques similaires à celle du milieu physique (figure 6) pour les massifs montagneux au Nord-Est où prédominent des formations essentiellement arborées et/ou arbustives ce qu'on appelle forêt boisée (Bougherara et Lacaze, 2009). L'essentiel du paysage végétal du territoire est constitué par des formations steppiques naturelles (Gousskov, 1979) et des oasis (Dubost et Larbi, 1999). Elles comprennent l'association de plantes herbacées, vivaces microthermiques et xérophytes. Ce tapis végétal est constitué principalement de graminées cespitueuses ou en touffes (steppe à *Stipa tenacissima*, steppe à *Lygeum spartum*), chaméphytique (steppe à *Artemisia herba-alba*) et les steppes crossulantes (halophytes). Cette végétation reflète les conditions édapho-climatiques (steppe halophile à Salsolacées et la forêt-steppe à *Tamarix articulata* (Houerou, 1977 ; Kaabeche, 1990 ; Khachai, 2001).

Les Oasis sont particulièrement et essentiellement des palmeraies avec une estimation de 4 361 098,00 palmiers dont 2 701 217,00 de la variété Deglet Nour (D.S.A., 2017). Le palmier dattier *Phoenix dactylifera* L. est en association avec une flore originale qui comprend des halophytes. La présence de ces dernières s'expliquent par la remontée de sels et des adventices liées aux cultures elles-mêmes. Elle constitue l'essentiel du paysage dont la végétation très dense et stratifiée se compose de jardins-vergers. Les arbres fruitiers diversifiés : oliviers (*Olea europaea*), figuiers (*Ficus carica*), grenadiers (*Punica protopunica*), vigne grimpante (*Vitis vinifera*) sont d'autant plus rares que les palmiers qui les dominent sont plus nombreux (Moussi, 2012).





**Figure 6:** Carte des activités agricoles et sylvicoles de la région de Biskra  
(D.P.A.T., 2005 in Bensalah, 2009)



## Sous chapitre **2** *Présentation de l'approche méthodologique*

### 1. Méthode d'approche

L'importance de la connaissance du développement de système racinaire de palmier dattier dans le sol est mise en relief, surtout pour les pays qui caractérisée par une forte potentialité phoenicicole qui intervient à la production agricole nationale, d'un point de vue pratique et agronomique, l'intérêt d'étudier l'architecture de système racinaire, leur biomasse, et leur distribution spatiale dans le sol s'avère un objectif complexe.

Un défi majeur dans ce domaine de recherche est de mieux comprendre comment les racines perçoivent et intègrent des signaux multiples et souvent contrastés rencontrés dans le sol afin d'optimiser leur capacité d'exploration et d'acquisition les ressources nutritionnelles. La compréhension des mécanismes impliqués dans ces réponses adaptatives s'est largement développée grâce à des études combinant des approches génétiques, physiologiques, biochimiques et génomiques (Morot-Gaudry, 2013).

### 2. Objectif global

Dans ce contexte, nous nous proposons de mener une étude sur l'architecture de système racinaire de palmier dattier adulte qui a été entreprise dans le but de connaître leurs caractéristiques fondamentales. Au moyen de dispositifs d'observation par rhizotron, des mesures ont été effectuées en conditions naturelles, les données acquises concernent :

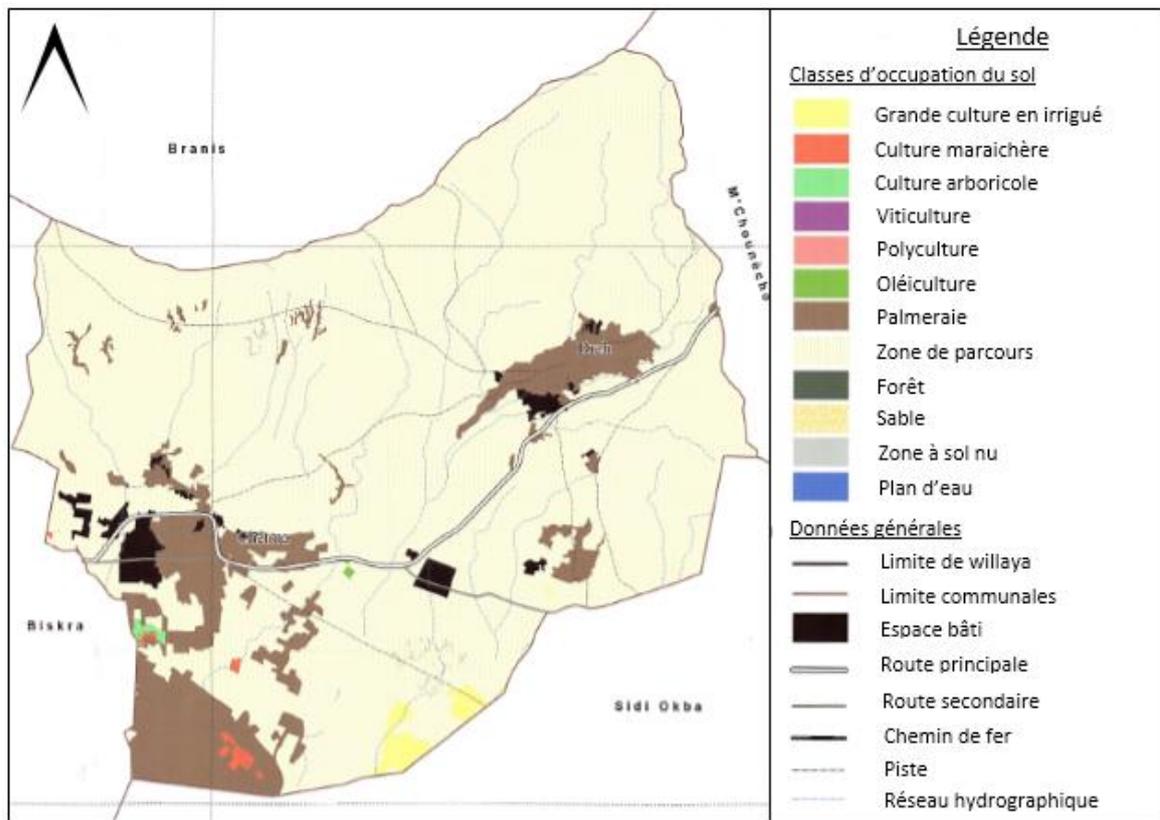
- La localisation spatiale des racines en fonction des caractéristiques du sol ;
- Réalisation des mesures de diamètre des racines dans le but de classifier les racines ;
- Déterminer la densité racinaire en fonction de la profondeur de sol (nombre de racine par unité de surface ou de volume) ;
- Mise en évidence les différents types racinaires existants chez le palmier dattier et leur dynamique de mise en place au cours du temps.



### 3. Site expérimental

La région des Ziban est composée de deux entités distinctes. Celle située à l'Ouest de Biskra, est appelée le Zab Gherbi. Elle regroupe administrativement les communes de Tolga, El Ghrous, Bordj ben azouz, Lichana, Doucen, Bouchagroune, Foughala et El Hadjeb, qui forment un premier groupement constituant l'axe nord de l'oasis ; l'axe sud est formé par l'ensemble des communes suivantes : Oumeche, Mlili, Ourelal, Mekhadema. L'Oasis du Zab chergui se situe à l'est de Biskra, elle regroupe les communes de Sidi Okba, Chetma, avec les palmeraies de Thouda, Seriana et Ain Naga (Alkama et Tacherift, 2001).

Nous avons installé les rhizotron dans les palmeraies de Chetma, localisées au sud de la commune surmontent par des sols à texture limono-sableux. Différents auteurs (Bonneau, 1963 ; Levy, 1968) suggèrent que la texture sableuse favorise l'enracinement et la ramification de la couche rhizosphérique. A ce propos, les palmeraies de Chetma (figure 7) représente par excellence la zone exemplaire pour entamer l'étude de l'architecture racinaire.



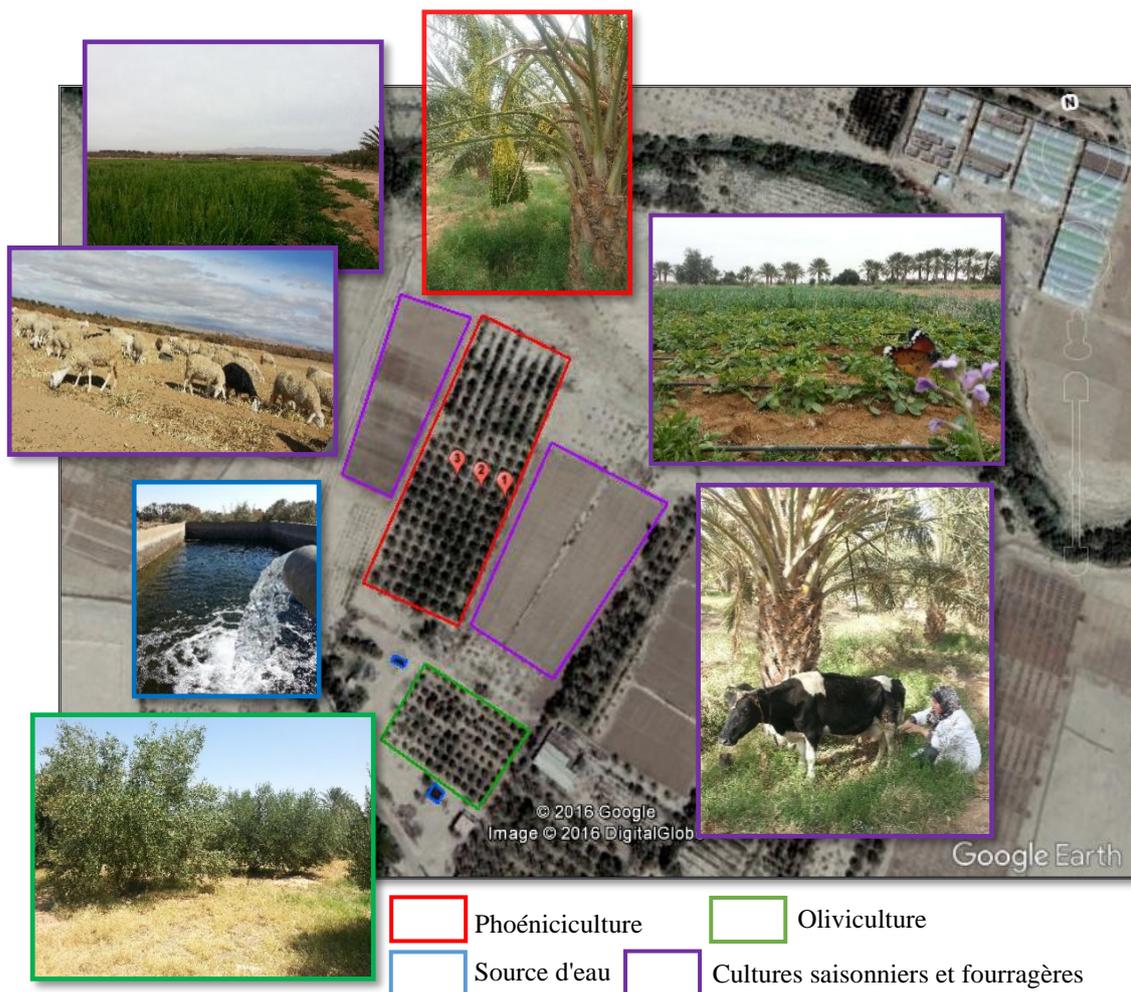
**Figure 7:** Carte d'occupation de sol de la commune de Chetma

Les palmeraies sont entrelacées par Sidi Okba au sud, Baranis au Nord, M'chounech à l'Est et Biskra à l'Ouest. Le nom de Chetma est composé de deux mots : Chott et El-Ma qui signifient plan d'eau, elle est distante de 8 km du chef-lieu de la wilaya de Biskra. Le



patrimoine phoénicole de cette commune est diversifiée et important ; selon la direction des services agricoles (D.S.A., 2017), le nombre total des pieds de palmier dattier est estimé à 122 400 pieds avec 90 200 pieds de Deglet Nour, 14 300 pieds de Ghars et de 17 900 pieds de Mech Dagla.

La palmeraie où nous avons réalisé notre expérimentation appartient à un particulier privée individuelle, elle est créée en 2000, elle se situe à 6.5 kilomètres au Sud-Est du chef-lieu. Cette palmeraie renferme différentes activités comme la phoéniculture, l'arboriculture, cultures saisonniers et fourragères. Sa surface phoénicole (monovariétale) est 1.7 hectares, avec un effectif de 168 pieds (Deglet Nour) (figure 8).



**Figure 8:** Vue d'ensemble du site expérimentale

#### 4. Matériel végétal

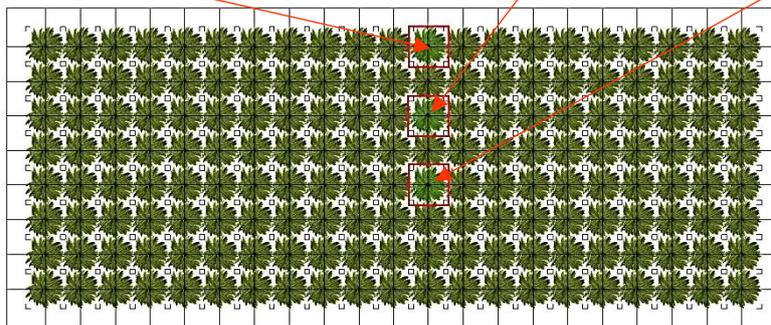
Le matériel qui est utilisé dans cette étude est le cultivar Deglet Nour. Elle est la plus réputée et la plus demandée sur le marché national et international ; elle est considérée comme la variété la plus économique et la plus appréciée suite à son aspect, sa valeur nutritive et sa bonne qualité gustative (Ben Sayah, 2014).

Le matériel végétal comporte trois pieds de 16 ans, indemnes de maladies, distancés de 9 m, ayant subi les mêmes pratiques agricoles (travail du sol, dose d'irrigation, amendements à base de fumier, désherbage et nettoyage des cuvettes de plantation).

Les doses mensuelles d'irrigation et leurs fréquence au niveau de palmerais sont difficiles à mesurer, puisque elles dépendent de la gestion des agriculteurs. Généralement, elles sont d'une à deux irrigations par quinzaine en hiver et de deux irrigations par semaine en été. Pour minimisée le maximum d'hétérogénéité entre les trois pieds étudiés, nous avons pratiqué la même dose d'irrigation vue que l'équivalence de la superficie des planches (13 m<sup>2</sup>) et la durée d'irrigation.

La figure ci-dessous représente les coordonnées GPS des trois palmiers étudiés :

<b><u>Pied N°01 :</u></b>	<b><u>Pied N°02 :</u></b>	<b><u>Pied N°03 :</u></b>
Latitude : 34°49'38.66'' N	Latitude : 34°49'38.94'' N	Latitude : 34°49'39.27'' N
Longitude : 5°47'38.14'' E	Longitude : 5°47'37.51'' E	Longitude : 5°47'36.88'' E



**Figure 9:** Coordonnées GPS des pieds étudiés



## 5. Etude architectural

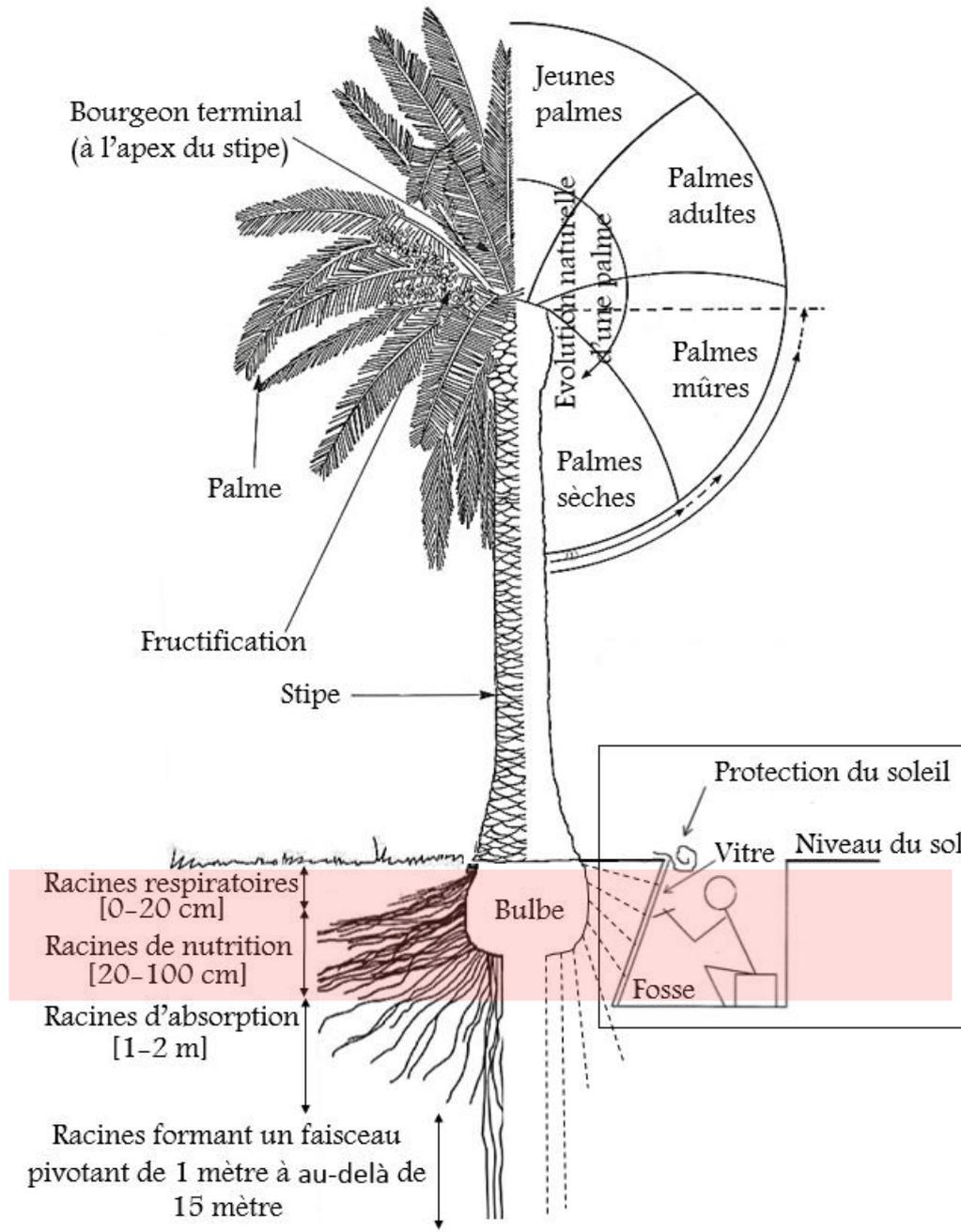
### 5.1. Rhizotron

Plusieurs méthodes non-destructives ont été mises au point dans le but de décrire l'architecture racinaire. Parmi elles, la technique de rhizotron. C'est une méthode d'observation directe de l'architecture et surtout de la dynamique de croissance racinaire. Ainsi, elle permet de caractériser au cours du temps, l'élongation, la durée de vie, la mortalité et la distribution spatiale du système racinaire en deux dimensions. Cette technique d'observation est utilisée classiquement chez les arbres tropicaux (Jourdan et Rey, 1997 ; Metcalfe et *al.*, 2007 ; Thongo M'bou et *al.*, 2008), est aussi appliquée sur les plantules de palmier dattier (Jrad, 2012 ; Mimoun, 2014 ; Bensaada, 2015).

Dans le cadre de cette étude, nous avons adopté une démarche similaire pour l'observation de l'appareil racinaire du palmier (*Phoenix dactylifera* L.) adulte, dépourvu de rejets, dans les conditions naturelles (palmeraie).

Le principe du rhizotron consiste à appliquer une vitre (ou d'un plexiglas) contre la paroi d'une fosse creusée et suivre la dynamique racinaire (Jourdan et Rey, 1997 ; Metcalfe et *al.*, 2007 ; Thongo M'bou et *al.*, 2008 ; Jrad, 2012 ; Mimoun, 2014). Selon (Peyron, 2000), les racines de palmier dattier présentes en fonction de la profondeur quatre grands types de racines répartie en quatre zones d'enracinement : racines respiratoires (0 à 20 cm), racines de nutrition (20 à 100 cm), racines d'absorption (1 à 2 m) et racines formant un faisceau pivotant (de 1 m à au-delà de 15 m). Les rhizotron d'une surface vitrée de 1 m de profondeur nous permettront à intercepter les racines respiratoires et les racines de nutrition afin de décrire le développement d'une face de la couche rhizosphérique (figure 10).



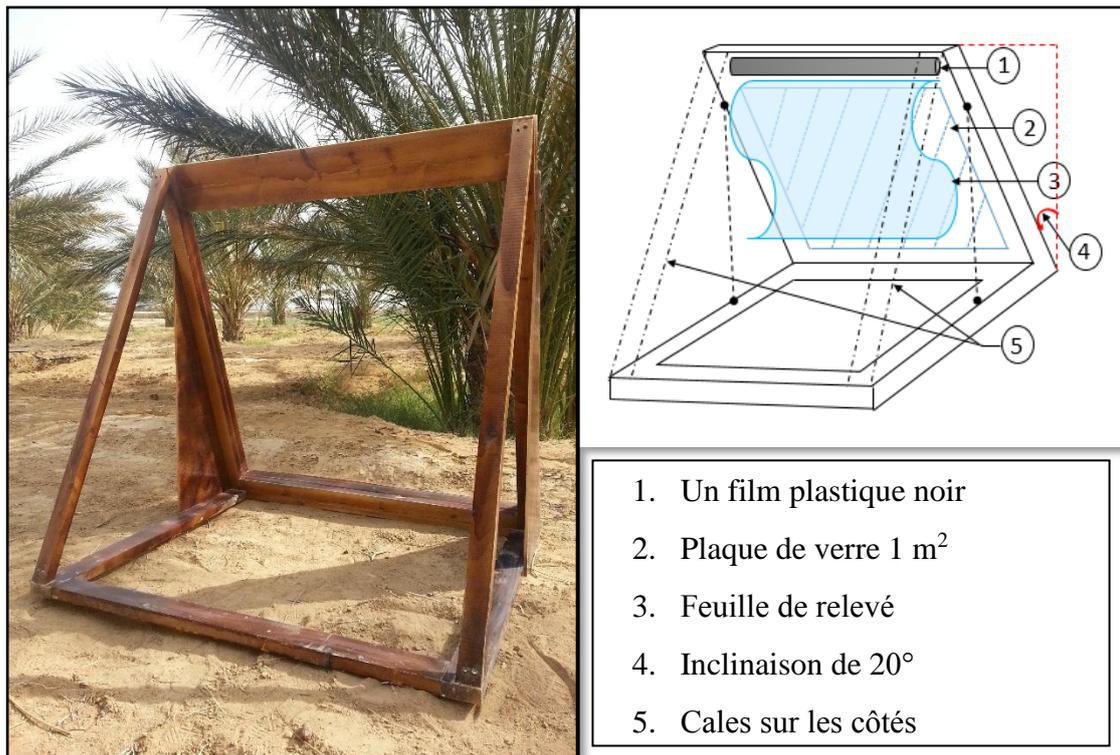


**Figure 10:** Schéma de principe de l'installation d'un rhizotron pour le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.)

## 5.2. Installation des rhizotrons

Les rhizotrons ont été installés selon des positions proches de la verticale, à 30 cm du stipe. Ce dispositif a permis de suivre le développement racinaire. Le rhizotron se compose, d'une fenêtre en verre de 1 m<sup>2</sup> dont épaisseur est de 0,8 mm. Il est légèrement incliné (20° par rapport à la verticale) de manière à intercepter et à conserver contre la surface vitrée le maximum de racines émises (Jourdan, 1995). La surface vitrée est maintenue plaquée contre le sol par un cadre en bois étayé sur les côtés par des cales en bois (figure 11).





**Figure 11:** Vu axonométrique de support utilisé pour la mise en place de rhizotron

La mise en place des rhizotrons a été réalisée vers la fin décembre 2015. Après l'installation de rhizotron, la vitre a été recouverte par un film plastique transparent qui constitue la feuille d'enregistrement sur laquelle le suivi de la croissance des racines sera relevé. Un autre film plastique opaque a été fixé contre la face vitrée du rhizotron afin d'éviter la condensation des gouttelettes d'eau et de procurer les conditions d'obscurité habituelles au milieu racinaire. L'ensemble du dispositif a été protégé par une bordure surélevée de 30 cm, un toit (plaque en métal peinte en blanc) et une bâche de plastique pour empêcher l'eau d'irrigation, les insectes et les rongeurs d'y pénétrer (figure 12).





**Figure 12:** La mise en place de rhizotron

### 5.3. Mesure de la dynamique des racines

L'observation a débuté quelques jours après l'installation des rhizotrons, tandis que les premières ramifications racinaires sont apparues le 06/04/2016. Un suivi hebdomadaire de la croissance du système racinaire est effectué jusque le 21/10/2016. Les données ont été recueillies tous les 7 jours.

Le relevé de la croissance des racines a été tracé en utilisant une série de marqueurs indélébiles de 4 couleurs (noir, rouge, vert et bleu), chacun possède 4 épaisseurs, à raison d'une couleur par semaine. A chaque relevé, des enregistrements de la température est effectué pour chaque 10 cm de profondeur.

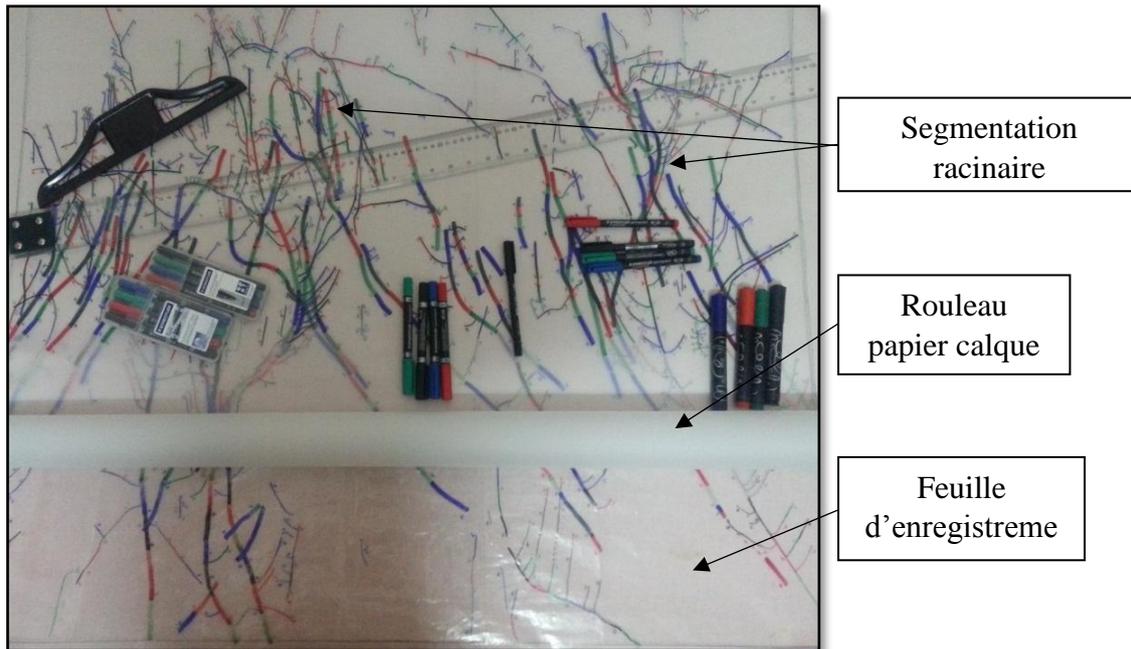
Les données de la croissance racinaire ont été collectées en traçant le chemin visible suivi par les racines, à partir du point où elles sont apparues jusqu'à la coiffe en tenant compte du diamètre de racine par l'utilisation des marqueurs de différent épaisseur.

Pour mieux apprécier l'évolution racinaire par mois chaque couleur de marqueurs est utilisée pour une semaine donnée. Un numéro de série est attribué à chaque segmentation racinaire, il représente l'élongation racinaire dans le mois d'observation. A ce propos la croissance racinaire pour chaque semaine est distinguée par une couleur donnée du marqueur. L'absence d'une segmentation racinaire donnée désigne l'arrêt du développement



des racines. Par la suite toutes les informations requises de chaque relevé (couleur, numéro de série, date d'observation) sont mentionnées dans un cadre sur la feuille d'enregistrement.

A la fin de l'essai expérimental, la feuille de relevé de croissance racinaire a été calquée avec fidélité sur un papier calque (figure 13) pour la conservation des données pour une éventuelle numérisation à l'aide d'une table à digitaliser pilotée par le logiciel RhizoDigit (© Cirad) qui permet une acquisition semi-automatique des données de croissance racinaire.



**Figure 13:** Calquer le relevé de croissance racinaire après 06 mois de suivi

## 6. Echantillonnage du sol et des racines

L'échantillonnage a été réalisé dans une fosse de 1 m<sup>3</sup> dans la cuvette d'irrigation à 30 cm du stipe de chaque palmier. Pour l'analyse morpho-analytique du sol, un échantillonnage est effectué chaque 10 cm de profondeur, trois répétition sont exécutées pour chaque couche.

Après le prélèvement des couches du sol (sol + racine), un tamisage est réalisé suivi par un triage (l'élimination des racines des mauvaises herbes) pour l'obtention de la totalité des racines du palmier dattier de chaque couche du sol (figure 14). Les racines recueillies ont été lavées pour se débarrasser du sol et étiquetée, puis conservées au réfrigérateur à 4°C comme il a été suggéré par Makumba et al (2009), en attendant la mesure de diamètre.





**Figure 14:** Le tamisage et le triage des racines

## 7. Paramètres étudiés

### 7.1. Paramètres racinaires mesurés lors de l'analyse architecturale

#### 7.1.1. Etude de densité racinaire

L'évaluation de la densité racinaire ( $D_r$ ) a été faite par la méthode de Armstrong et Furr (1959), réalisée sur le cultivar "Khadrawy" aux États-Unis d'Amérique. Elle est basée sur l'emploi des cylindres, utilisés au préalable pour le calcul de la densité apparente des sols (Baize, 1988). Elle consiste à prélever dans le profil un volume de sol avec une masse racinaire donnée dans un cylindre de volume connu à des profondeurs et distances à la plante bien référencée (Daddi Bouhoun, 2010).

Les échantillons sont prélevés par sondage horizontal avec des cylindres en acier de 8 cm de diamètre et 5 cm de hauteur. Au départ, les racines apparentes au niveau du profil sont coupées à ras du sol par un sécateur. Ensuite, trois cylindres sont enfoncés horizontalement à chaque 10 cm du profil et à une distance de 30 cm du stipe de palmier (figure 15). Après, les cylindres sont libérés avec précaution sans perdre les racines et le sol contenus dans celui-ci. Les racines, dépassant le volume des cylindres, sont coupées à ras avec le cutter.

Les échantillons obtenus sont transportés au laboratoire pour mesurer la densité racinaire, en même temps que la densité apparente du sol. Les échantillons sont séchés à 70 °C, température recommandée pour la végétation ; cela évitera d'abîmer les racines en cours



de séchage (Martin-prevel, 1984 in Daddi Bouhoun, 2010). Les racines sont séparées du sol et lavées avec l'eau distillée ensuite séchées à 70 °C afin d'estimer leurs densités par cylindre, en  $\text{Kg.m}^{-3}$ .



**Figure 15:** Prélèvements d'échantillons par sondages (Enfoncement et libération des cylindres dans le profil)

### 7.1.2. Etude du diamètre racinaire

Pour l'analyse du diamètre des racines, la classification de Jourdan et Rey (1997) est adoptée dont le principe consiste à définir des classes racinaires en se basant sur l'ordre topologique (l'agencement des différents éléments du système racinaire et sa géométrie) : grossier (ordre 1) ; moyen (ordre 2) ; fin (ordre 3) ; très fin (ordre 4). Vu le nombre de racines limité et l'absence de certaines classes racinaires récoltées par la méthode de cylindre suggérée par Daddi Bouhoun (2010), le prélèvement racinaire par couche de sol est adopté dans cette étude.

Par ailleurs, compte tenu du nombre important de racines, les mesures du diamètre des racines sont effectuées sur 25% de la quantité totale de racines. Après avoir mesuré le diamètre, toute la quantité des racines présente par couche a été séchée à l'air libre pour la mesure du poids sec.





### 7.1.3. Etude de l'occupation spatiale du système racinaire

La cartographie des impacts racinaires sur un front de tranchée est un outil essentiel pour caractériser la distribution spatiale du système racinaire et sa répartition en profondeur. A l'aide des feuilles de relevé de croissance racinaire nous avons adopté la méthode de la grille ou *profile wall* (Jourdan et Rey, 1996 ; El Khoumsi et *al.*, 2017) par le traçage de grille virtuelle de taille identique ayant une maille de 10 cm de côté sur un plan horizontal de 1m<sup>2</sup>.

Dans chaque cellule, la présence ou l'absence de racine a été notée par l'utilisation d'une gamme de couleur contenant six teintes, du blanc au noir pour la totalité des racines et du blanc au rouge pour les racines primaire, l'intensité du grisé et de rouge est proportionnelle au nombre de racines. La cellule blanche signifie l'absence totale des racines et la cellule noire et rouge symbolise la présence maximale des racines.

## 7.2. Paramètres mesurés lors de l'analyse de sol et l'eau d'irrigation

### 7.2.1. Etude du sol

#### a. Etude morphologique

L'étude morphologique des sols a été réalisée au niveau des profils consacrés à l'étude de l'architecture racinaire. Elle consiste à faire une description morphologique de deux horizons distincts, et étudier leurs caractéristiques physiques et biologiques.

#### b. Etude physico-chimique

Les différentes analyses du sol ont été effectuées au laboratoire du département des sciences agronomiques de l'université de Biskra. Un séchage à l'air et un tamisage à 2 mm sont effectués pour préparer les échantillons aux analyses de sol.

- **Fractionnement des sols** : par l'utilisation des tamis de 500 $\mu$ m, 250 $\mu$ m et 45 $\mu$ m, sur des échantillons de sols inférieur à 2 mm, on a effectué la séparation des fractions suivantes :
  - sable grossier : supérieur à 500 $\mu$ m ;
  - sable fine : [250 $\mu$ m - 500 $\mu$ m] ;
  - limon grossier : [45 $\mu$ m - 250 $\mu$ m] ;
  - limon fins et l'argile : Inférieur 45 $\mu$ m.
- **Réaction du sol** : méthode électrométrique, effectuée au pH mètre à électrodes étalonné avec une solution tampon de pH connu avec un rapport sol/ eau de 1/5.
- **Conductivité électrique (CE)** : est déterminée par le conductimètre, avec un rapport sol/eau de 1/5, elle est exprimée en dS/m à 25°C.

- **Calcaire total** : est réalisé par la méthode du Calcimètre de Bernard. Le principe, de la méthode consiste à décomposer le carbonate de calcium par l'HCL à 50 %, et mesurer le volume de CO<sub>2</sub> dégagé.
- **Calcaire actif** : est effectuée par la méthode de Drouineau-Galet. L'oxalate d'ammonium se combine au calcium du calcaire facile à dissoudre, le calcaire actif, pour former de l'oxalate de calcium complexé, insoluble. L'excès d'oxalate d'ammonium est ensuite dosé par une solution de permanganate de potassium en milieu sulfurique. Le résultat est exprimé en %.
- **Densité apparente** : calculée par la méthode de cylindre.
- **Chlorures** : les ions Cl<sup>-</sup> sont dosés suivant la méthode Argentométrique de Mohr. Ils précipitent sous forme d'AgCl en présence d'AgNO<sub>3</sub>.
- **Sulfates** : sont dosés par la méthode colorimétrie.
- **Carbonates** : sont dosés sur l'extrait 1/5 par titrimétrie avec H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en présence d'un indicateur phénolphthaléine.
- **Matière organique** : le carbone organique est dosé par la méthode ANNE. L'échantillon est oxydé par l'acide sulfurique concentré en présence du bichromate de potassium. Le pourcentage de la matière organique est obtenu en multipliant le taux du carbone organique obtenu par 1,724.
- **Cations solubles** : les cations Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> sont dosés par spectrophotomètre à flamme et pour Ca<sup>++</sup> et Mg<sup>++</sup> sont dosés par complexométrie avec l'EDTA.

### 7.2.2. Etude de l'eau d'irrigation

Un échantillon de l'eau d'irrigation est prélevé et analysé au laboratoire pour déterminer la qualité de l'eau d'irrigation. Les analyses effectuées sont : conductivité électrique (CE), pH, sulfate, carbonate, chlorure, magnésium, calcium, sodium et potassium. Ensuite, la réalisation de diagramme du laboratoire de Riverside et diagramme de Piper, aussi la détermination de :

- Sodium Adsorption Ration (SAR) par l'utilisation de l'équation suivante (Richards, 1954) :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Ca^{++} + Mg^{++})}{2}}}$$

- Index de perméabilité (PI) par l'utilisation de l'équation suivante (Doneen, 1964 in Sappa et al., 2013) :

$$PI = \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}}{Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^+} \times 100$$



## Chapitre III : Résultats et discussion



# Chapitre III *Résultats et discussion*

Dans ce chapitre, après avoir rappelé les objectifs de recherche, et la démarche méthodologique (stratégie de recherche) mise en œuvre, nous discuterons des principaux résultats obtenus selon une vision agronomique et environnementale. Cette discussion nous permettra ensuite d'analyser la distribution et la densité de biomasse de système racinaire de palmier dattier, les atouts et les limites de développement du système racinaire. Elle débouchera enfin sur une conclusion générale assortie de perspectives.

## 1. Qualité des eaux d'irrigation

L'eau d'irrigation provient d'un forage, collectée dans un bassin d'accumulation d'un volume de 56,85 m<sup>3</sup>. L'irrigation s'effectue par submersion. Deux irrigations par quinzaine en hiver sont appliquées et deux irrigations par semaine en été. Notons la profondeur de la nappe phréatique dans une palmeraie limitrophe était au 30 m.

Les analyses physico-chimiques qui ont été fait de l'échantillon de l'eau prélevé au niveau de la palmeraie d'étude sont présentes dans le tableau 1.

*Tableau 1: Analyses physico-chimiques de l'eau d'irrigation*

		<i>Les ions solubles (meq/l)</i>								
		<i>Cations</i>				<i>Anions</i>				
	<b>pH</b>	<b>CE (dS/m)</b>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>SAR</b>
<i>Eau</i>	7,54	3,6	10,6	10,4	16,83	0,41	11,56	11,2	4,25	5,19

D'après le tableau 1, nos résultats montrent que :

Selon l'échelle établie par Baize (1988), le pH de l'eau d'irrigation est basique 7,54 suite à la concentration du Ca<sup>++</sup> (10,6 meq/l) et de Mg<sup>++</sup> (10,4 meq/l).

La conductivité électrique (CE) de l'eau selon Aubert (1978) montre qu'elle est très salée avec une valeur de 3,6 dS/m soit 2,3 g/l, et un SAR de 5,19. La concentration de sel ne porte aucune préjudice au palmier puisque elle est au-dessous du seuil toléré par le dattier qui issu de 9 à 10 g/l. A cette concentration limite on observe une diminution de la qualité de la production (Sedra, 2003).



La concentration de  $\text{Na}^+$  est la plus importante avec 16,83 meq/l tandis que le  $\text{K}^+$  est pratiquement faible par rapport aux autres éléments avec une valeur de 0,41 meq/l. De même que pour les anions, l'eau contient des quantités relativement importantes en  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{Cl}^-$  respectivement avec 11,56 meq/l et 11,2 meq/l.

Le danger d'alcalinisation est exprimé par la valeur du SAR (Sodium Adsorption Ratio). Il est déterminé par l'équation suivante (Richards, 1954) :

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})}{2}}}$$

L'eau avec un SAR se situant entre 0 et 6 généralement être utilisée sur tout type de sol avec une faible accumulation de sodium. Quand le SAR se situe entre 6 et 9, les risques de problèmes liés avec la perméabilité du sol augmentent. L'eau d'irrigation de la palmeraie dont le SAR est de 5,19, dans ce cas le sol devrait être échantillonné tous les 1 ou 2 ans pour déterminer si l'eau augmente la teneur en sodium du sol.

Doneen en 1964, à classé les eaux d'irrigation en se basant sur l'index de perméabilité. Il est défini par la relation suivante :

$$\text{PI} = \frac{\text{Na}^+ + \sqrt{\text{HCO}_3^-}}{\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{Na}^+} \times 100$$

Si  $\text{PI} < 25 \%$ , l'eau n'est plus utilisable, si  $\text{PI} > 75 \%$ , l'eau est bonne pour l'irrigation et si  $25 \% < \text{PI} < 75 \%$  l'eau est admissible sous certaines conditions pour son utilisation. Dans le cas de l'eau d'irrigation de la palmeraie leur index de perméabilité est de 49,93 %.

Le report des résultats d'analyse sur le diagramme de classification des eaux d'irrigation (figure 1), montre que l'eau utilisée à l'irrigation dans la palmeraie est catégorisée dans la classe C4-S2. Selon Richards (1954), cette classe est caractérisée par une salinité très élevée ne convient pas à l'irrigation dans des conditions normales mais elle pourra être l'utilisée dans des conditions spéciales : sols perméables, drainage adéquat, application d'un excès d'eau pour les besoins du lessivage et si les espèces ont une très bonne tolérance à la salinité.



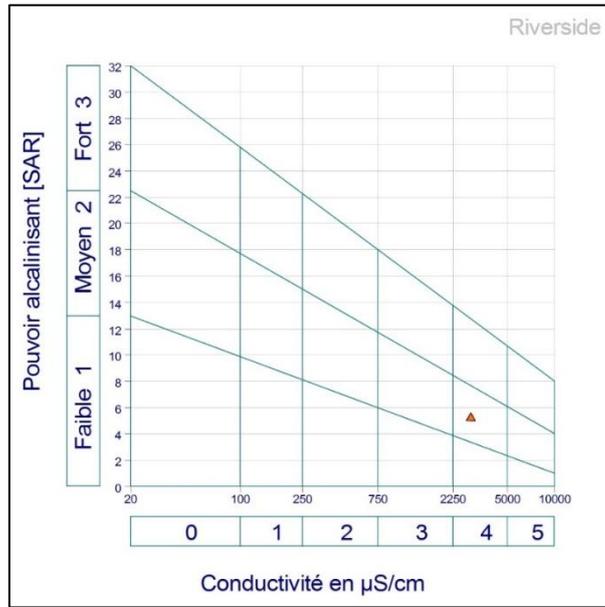


Figure 1: Qualité de l'eau d'irrigation utilisée (D'après le Diagramme du laboratoire de Riverside, 1954)

Dans le but de bien identifier les faciès hydro-chimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif de l'eau, on a eu recours au diagramme de Piper. La réalisation de ce diagramme a été faite en utilisant le logiciel Diagramme, conçu par Roland Simler du Laboratoire d'hydrogéologie, de l'Université d'Avignon.

Ce type de diagramme est composé de deux triangles, permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique, et d'un losange synthétisant le faciès global. D'après le diagramme de Piper représenté dans la figure 2, le faciès chimique des eaux d'irrigation montre un faciès Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne.

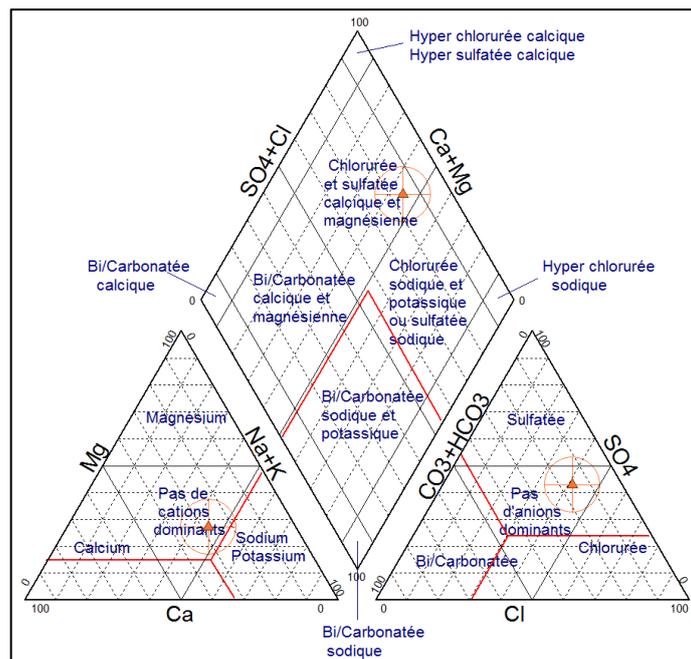


Figure 2: Diagramme de piper de l'eau d'irrigation utilisée



## 2. Caractérisation pédologique des profils étudiés

Les principales caractéristiques pédologiques ainsi que l'enracinement du palmier sont appréciées la description morphologiques par horizons. Les tranchées sont ouvertes à l'endroit où on veut observer les racines. L'observation de la couche rhizosphérique (racinaire) est aussi effectuée dans les mêmes profils pédologiques de 1 m<sup>3</sup> de volume marquée par une couche organique de fumier de 7 cm d'épaisseur.

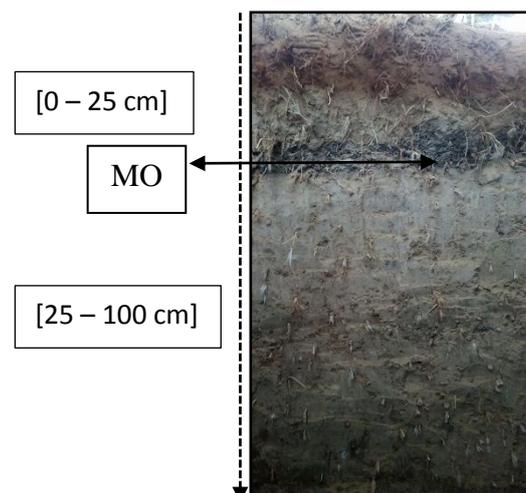
### a. Description pédologique du profil 1

**Horizon [0 - 25 cm] :** la couleur est variable de 10 YZ 7/4 (very pale brown) à 6/4 (light yellowish brown) avec une texture limono-sableux, il est humide et riche en matière organique, quelques macropores et débris végétaux.

**Horizon [25-100 cm] :** la couleur est variable de 7.5 YR 6/4 (light brown) à 5/4 (brown), de texture sablo-limoneux peu compact, de structure massive.

L'ensemble des horizons dans le profil (1) présentent des racines de diamètre fin à grossier, la couleur des racines variée en fonction de leur diamètres et de l'âge : jaune pour les racines jeune de diamètre fin et brun à rougeâtre pour les racines moyennes à grossières. Les horizons superficiels contiennent des racines de diamètre fin qui augmente légèrement dans le dernier horizon de profil (tableau 2).

Tableau 2: Profil pédologique 1

Profil pédologique	Texture
	—
	—20 cm
	—40 cm
	—60 cm
	—80 cm
	—100 cm
	Limono-sableux
	Limono-sableux
	Sablo-limoneux
	Sablo-limoneux
Sablo-limoneux	
Sablo-limoneux	
Sablo-limoneux	
Sableux	
Sableux	



### b. Description pédologique du profil 2

**Horizon [0-40 cm] :** la couleur est variable de 10 YZ 7/4 (very pale brown) à 6/4 (light yellowish brown) avec une texture limono-sableux, il est peu compact et sec.

**Horizon [40-100 cm] :** la couleur est variable de 10YR 6/4 (light yellowish brown) à 6/6 et 6/8 (brownish yellow) avec une texture sablo-limoneux il est friable et riche en matière organique.

Dans ce profil les deux horizons présentent des racines de diamètre fin à grossier. L'horizon superficiel présente une très faible densité racinaire de diamètre fin par contre l'horizon du profondeur a une densité racinaire élevée contenant de nombreuses racines de palmier dattier de différents diamètres (tableau 3).

*Tableau 3: Profil pédologique 2*

Profil pédologique		Texture	
[0 – 40 cm]		Limono-sableux	
		20 cm	Limono-sableux
			Sableux
		40 cm	Limono-sableux
			Sablo-limoneux
		60 cm	Limono-sableux
			Limono-sableux
		80 cm	Sablo-limoneux
			Sablo-limoneux
		100 cm	Sablo-limoneux

### c. Description pédologique du profil 3

**Horizon [0-35cm] :** la couleur est variable de 7,5 YZ 5/6 et 4/6 (strong brown) avec une texture sableux, de structure grenue, riche en matière organique.

**Horizon [35-100 cm] :** la couleur est variable de 7,5 YZ 5/6 et 4/6 (strong brown) de structure granuleuse et une texture sableux, il est peu compact.

Dans ce profil, il y a de nombreuses racines de palmier dattier dans l'horizon de surface, de diamètre fin à moyen, la densité et le diamètre racinaire augmente avec la profondeur. L'horizon souterrain contient de nombreuses racines de diamètre grossier (tableau 4).



Tableau 4: Profil pédologique 3

Profil pédologique		Texture
[0 – 35 cm]		Sableux
MO		Sableux
[35 – 100 cm]		Sableux
		Sablo-limoneux
		Sableux
		Sableux
		Sableux
		Limono-sableux
		Limono-sableux

### 3. Caractérisation physico-chimique du sol

Les analyses de laboratoires des principales caractéristiques physico-chimiques permettent d'obtenir une idée globale sur la nature du sol du site expérimental (tableau 5).

Les analyses effectuées sur les trois horizons [0-20 cm], [20-80 cm], [80-100 cm] ont permis de constater une variabilité au niveau de leurs caractéristiques.

Tableau 5: Analyses physico-chimiques du sol

Profils	Horizons (cm)	CE (dS/m)	PH	Calcaire total (%)	Calcaire actif (%)	MO (%)	Les ions solubles (meq/L)						
							Cations				Anions		
		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	So <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Hco <sub>3</sub> <sup>-</sup>					
1	0 - 20	1,61	8,11	50,32	12,5	0,06	5	2,6	3,28	0,12	7,72	2,4	1,25
	20 - 80	4,7	8,1	40,56	24	3,88	25,2	13,4	25,76	0,17	19,9	7,2	1,25
	80 - 100	2,8	8,02	45,48	25	0,06	8	7	16,13	0,13	15,53	4	1
2	0 - 20	0,93	7,84	49,35	16,5	3,08	2,4	2,2	3,43	0,06	4,94	2,4	1,25
	20 - 80	0,9	8,19	46,45	11,5	3,41	2,8	1,6	2,95	0,004	2,24	1,6	1
	80 - 100	1,5	8,11	57,09	7,5	2,07	7	1	3,86	0,01	7,91	1,6	1
3	0 - 20	0,89	7,58	49,35	14,5	0,73	2	2	3,28	0,07	3,79	1,6	1,25
	20 - 80	1,09	8,32	41,4	12,5	4,69	0,8	3	3,82	0,04	2,56	4	1,5
	80 - 100	2,9	8,06	44,78	14	3,21	10,2	3,4	7,56	0,03	15,65	2,4	1



### 3.1. Salinité et réaction du sol

Les profils (1, 2, 3) présentent des horizons de salinités variables de peu salés à très salés (figure 3) : profil 1 ( $1,61 \text{ dS.m}^{-1} \leq \text{CE} \leq 4,7 \text{ dS.m}^{-1}$ ), profil 2 ( $0,9 \text{ dS.m}^{-1} \leq \text{CE} \leq 1,5 \text{ dS.m}^{-1}$ ), profil 3 ( $0,89 \text{ dS.m}^{-1} \leq \text{CE} \leq 2,9 \text{ dS.m}^{-1}$ ). La salinité est élevée dans l'horizon [20-80 cm] de profil 1 avec une valeur de  $4,7 \text{ dS.m}^{-1}$  et faible dans l'horizon [0-20 cm] de profil 3 avec une valeur de  $0,89 \text{ dS.m}^{-1}$ . Les résultats montrent aussi que la salinité des couches souterraines est plus élevée par rapport aux horizons de surface, à cause des sels qui s'accumulent en profondeur des profils par l'effet lixiviation des eaux d'irrigation.

Les profils présentent des pH variables, ils sont entre légèrement alcalin à alcalin (figure 3) : profil 1 ( $8,02 \leq \text{pH} \leq 8,11$ ), profil 2 ( $7,84 \leq \text{pH} \leq 8,19$ ), profil 3 ( $7,58 \leq \text{pH} \leq 8,32$ ). Le pH augmente généralement avec les teneurs en calcaire. Dans les régions arides, les sols sont généralement alcalins ( $7,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$ ) (Halitim, 1988).

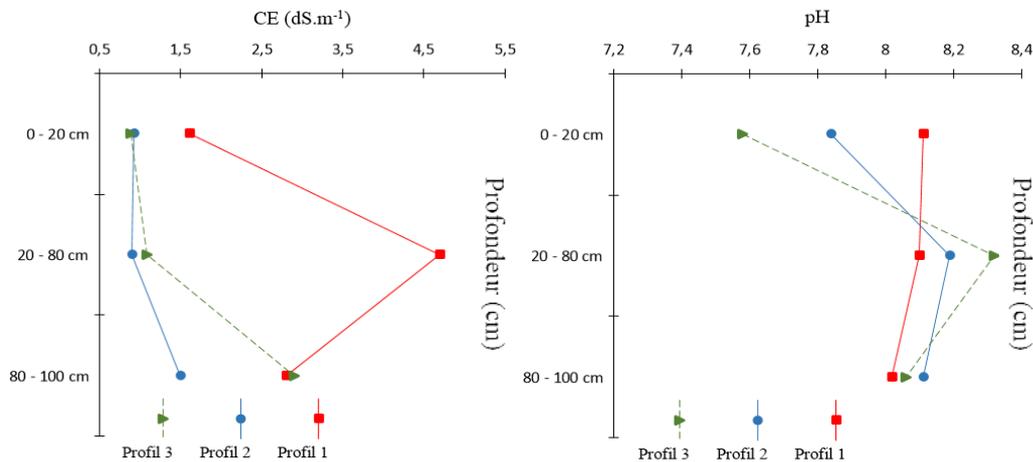


Figure 3: Evolution des CE et des pH du sol

### 3.2. Calcaire total et actif

Les profils présentent des horizons fortement calcaires à très fortement calcaire. Le calcaire total varié de 40,56 % et 57,09 % tandis que le calcaire actif oscille entre 7,5 % et 25 % (figure 4).

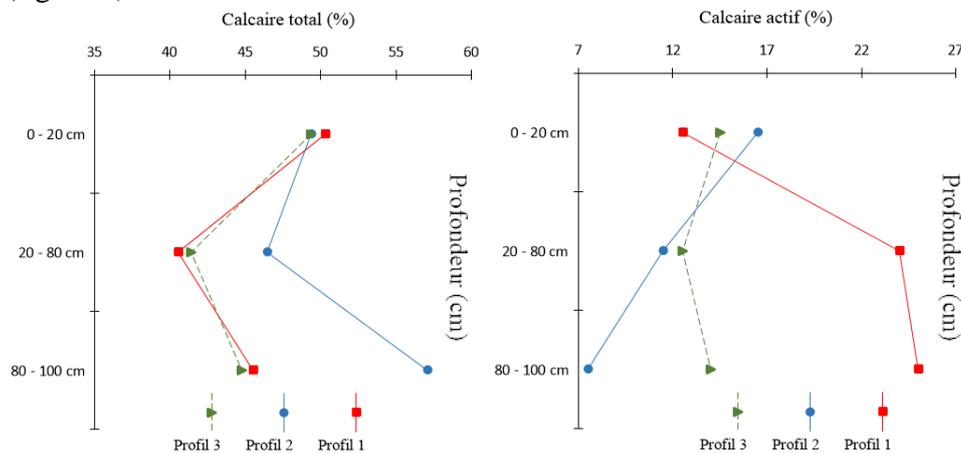


Figure 4: Répartition du calcaire



### 3.3. Cations solubles du sol

Le sodium et le calcium sont les éléments les plus dominants (figure 5) avec une teneur de 2,95 et 25,76 meq/l pour le sodium et entre 0,8 et 25,2 meq/l pour le calcium. Les teneurs en magnésium sont relativement importantes, le potassium montre les teneurs les plus faibles dans les profils étudiés, les teneurs en cet élément varient de 0,004 et 0,17 meq/l.

Ces données analytiques montrent également, que la teneur des cations solubles dans le profil 1 est la plus importante par rapport aux profils 2 et 3. L'horizon [20 – 80 cm] de profil 1 présente les teneurs les plus élevées en  $\text{Na}^+$  (25,76 meq/l) et en  $\text{Ca}^{++}$  (25,2 meq/l), l'importance du  $\text{Na}^+$  explique la teneur élevée de la salinité dans l'horizon [20-80 cm], ce dernier peut être nuisible sur la croissance des jeunes racines.

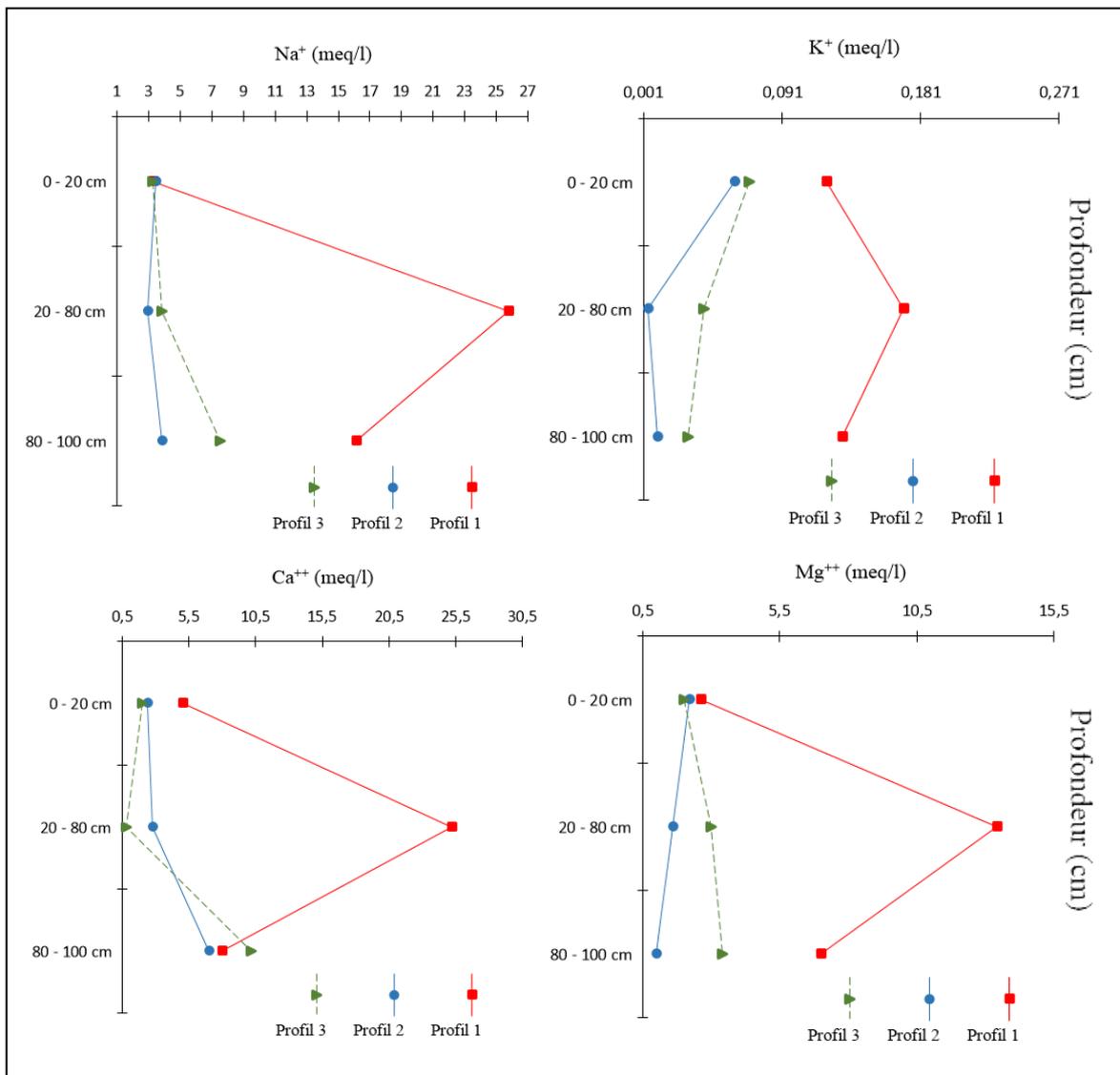
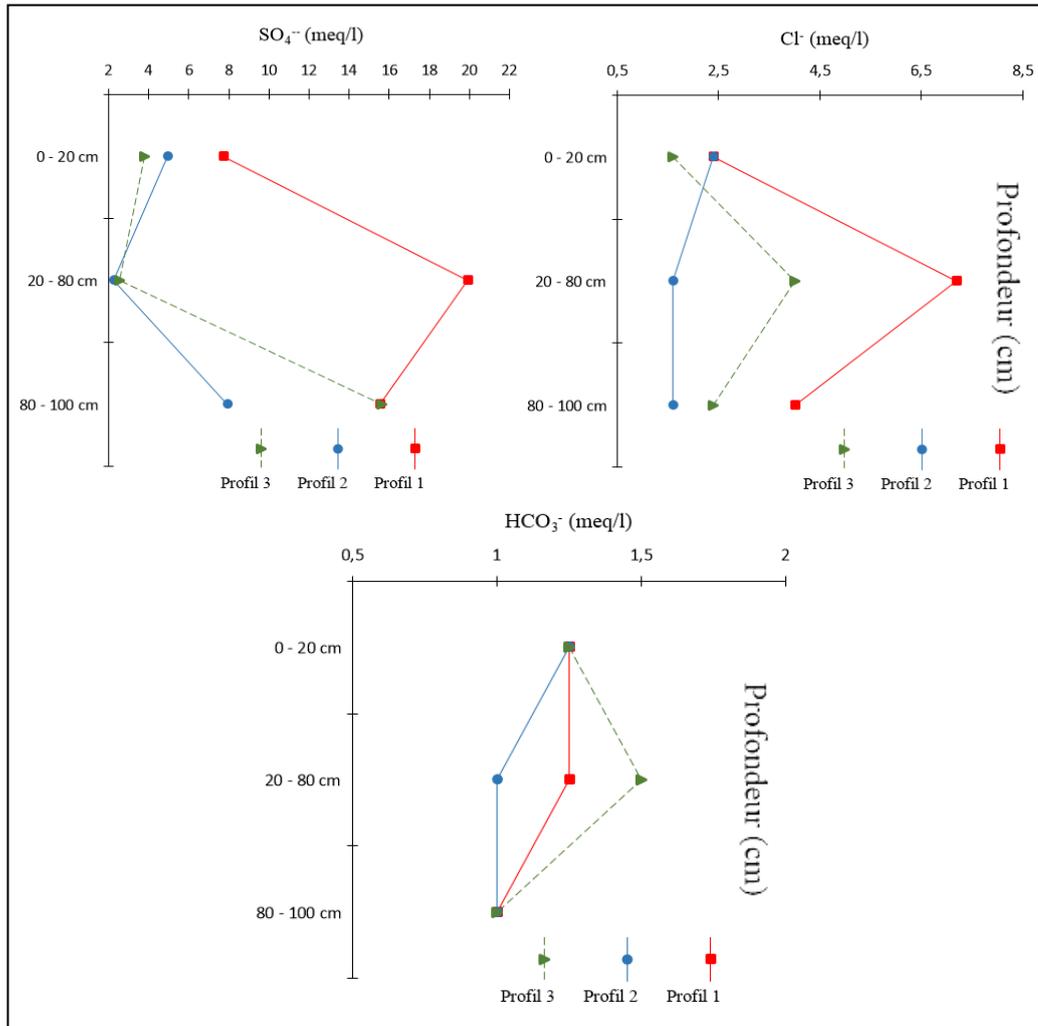


Figure 5: Bilan cationique des profils étudiés



### 3.4. Anions solubles du sol

Les données analytiques de la figure 6 montrent que, les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) sont les plus dominants dans l'ensemble des profils, avec des teneurs comprises entre 2,24 et 19.9 meq/l. Les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) viennent en seconde position avec des concentrations variant de 1,6 à 7,2 meq/l. Les carbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) se manifestent par des faibles concentrations par rapport aux deux anions précédents (figure 6).

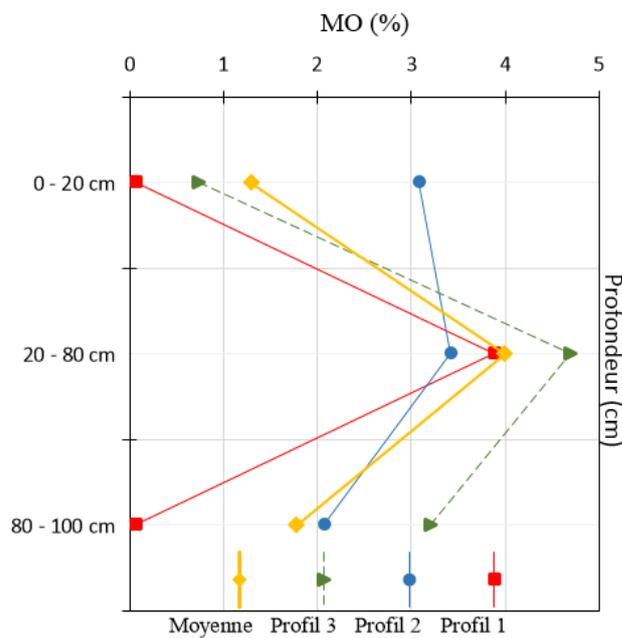


**Figure 6:** Bilan anionique des profils étudiés



### 3.5. Matière organique

Selon les normes d'interprétations (méthode Anne ISO : 10693) de la matière organique (annexe 4). On remarque que, l'évolution de la teneur en matière organique varie entre très pauvre et riche avec des valeurs comprises entre 0,06 % et 4,69 %. En effet, les horizons de surface et de fond dans l'ensemble des profils sont pauvres en matière organique avec des teneurs moyennes variant entre 1,29 % et 1,78 % dans le même ordre. Cependant l'horizon médian [20 - 80 cm] est moyennement riche avec 3,99 % de matière organique (figure 7). Cette richesse est expliquée par l'importance des apports organiques et de système racinaire de palmier dattier dans cet horizon.



**Figure 7:** Distribution de la teneur de matière organique dans les profils étudiés



### 3.6. Densité apparente et porosité du sol

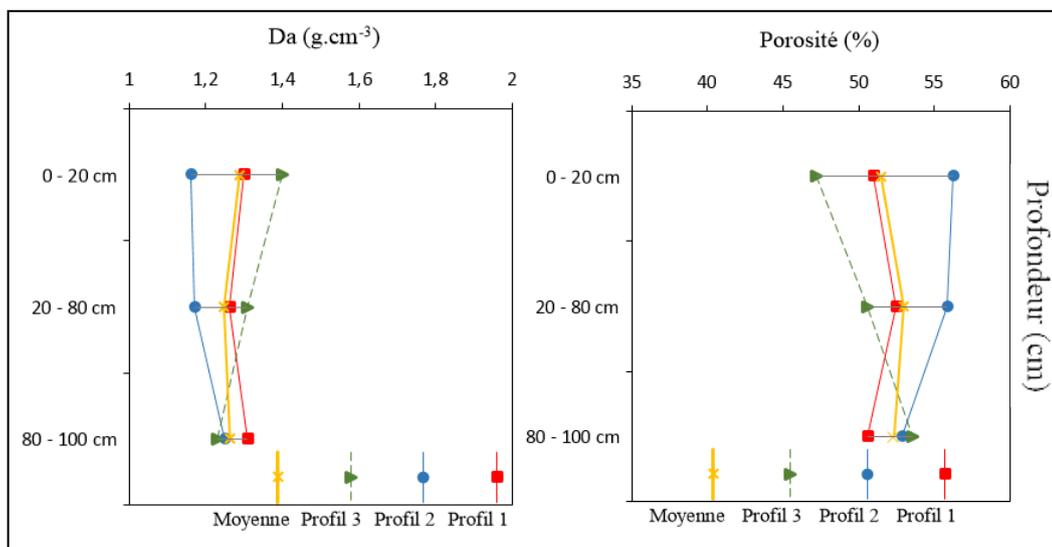
Les profils de l'évolution de densité apparente du sol montrent des horizons avec une compacité variable entre 1,16 et 1,4 g.cm<sup>-3</sup> et porosité entre 47,17 % et 56,23, l'ensemble des données sont montrés dans le tableau 6.

**Tableau 6:** Evolution de la densité apparente et la porosité du sol dans les profils étudiés

Profils	Horizons (cm)	Da (g.cm <sup>-3</sup> )	Porosité (%)
1	0 - 20	1,3	50,94
	20 - 80	1,26	52,45
	80 - 100	1,31	50,57
2	0 - 20	1,16	56,23
	20 - 80	1,17	55,85
	80 - 100	1,25	52,83
3	0 - 20	1,4	47,17
	20 - 80	1,31	50,57
	80 - 100	1,23	53,58

D'une façon générale, Les densités élevées ont été relevées en surface et en bas des profils avec une moyenne de 1,29 g.cm<sup>-3</sup> et 1,26 g.cm<sup>-3</sup> selon le même ordre, alors que les faibles densités ont été enregistrées à l'horizon [20 - 80 cm] de l'ensemble des profils avec une moyenne de 1,25 g.cm<sup>-3</sup>, ceci pourrait être expliqué par leur richesse en matière organique (figure 8).

La porosité totale du sol (figure 8) évolue dans le sens contraire de la densité apparente elle atteint des valeurs élevées avec une moyenne de 52,96 % dans l'horizon [20 - 80 cm] de l'ensemble des profils.



**Figure 8:** Evolution de la densité apparente et la porosité du sol dans les profils étudiés



#### 4. Fonctionnement de système racinaire en conditions naturelles

Après 104 jours de l'installation des rhizotron, les premiers segments de système racinaire apparu sur la vitre (tableau 7). Nous pouvons expliquer ce retard par la période nécessaire pour l'élongation des racines après la coupure, et la période de repos végétatif, pendant la période froide d'hiver (annexe 3). Les faibles températures seraient d'ailleurs le principal facteur explicatif de la faible croissance racinaire en hiver (Pregitzer et *al.*, 2000 ; Bécel, 2010).

**Tableau 7:** Dates clés de l'expérimentation menée entre 2015 et 2016 à Chetma

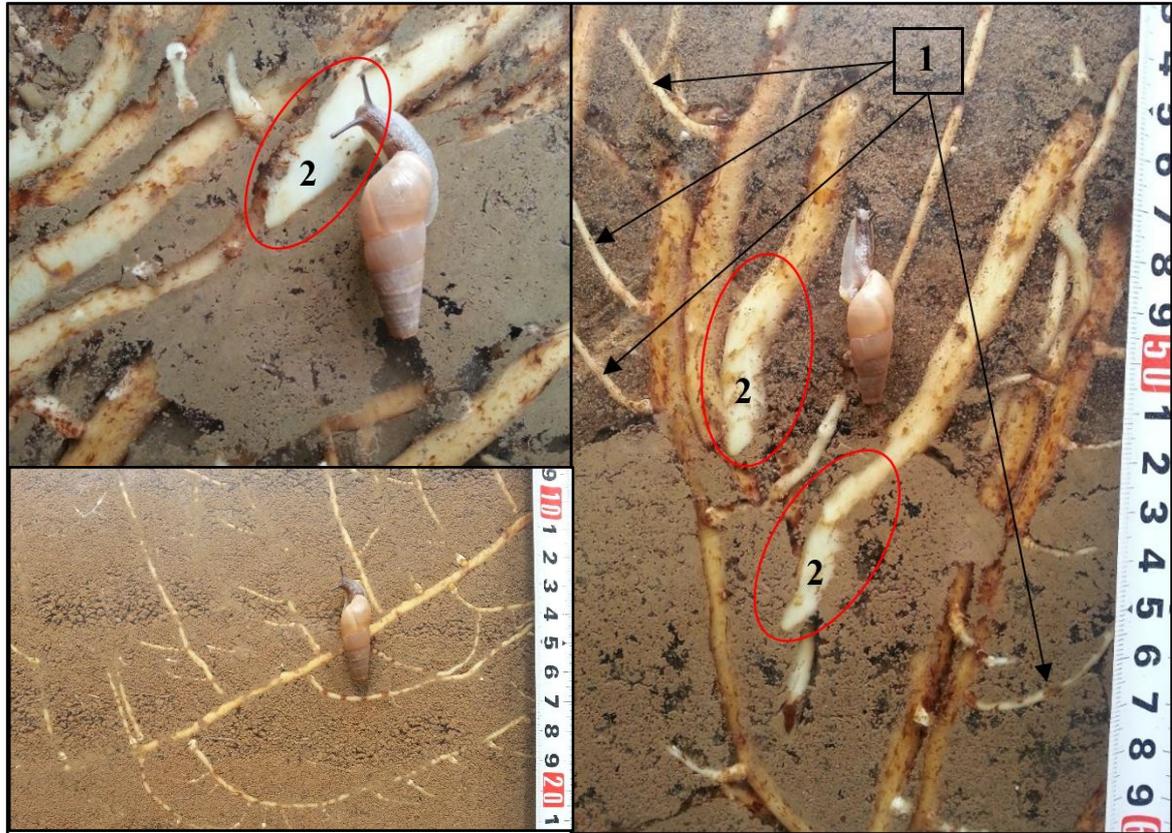
	Rhizotron n°01	Rhizotron n°02	Rhizotron n°03
<i>La mise en place des rhizotrons</i>	24-12-2015	31-12-2015	13-01-2016
<i>Début de suivi dynamique de système racinaire</i>	06-04-2016	27-04-2016	13-05-2016
<i>Fin de suivi dynamique de système racinaire</i>	23-09-2016	07-10-2016	21-10-2016

##### 4.1. Description morphologique de la ramification de système racinaire

En ce qui concerne la morphologie générale des systèmes racinaires, nous avons observé, que le premier segment apparu appartient au premier ordre topologique qui se développe verticalement vers le bas (racine orthotrope) avec un rythme de croissance très accéléré et continu, ce sont les racines primaires. Elles poussent avec un diamètre important puis deviennent fines vers l'apex, leur couleur change avec le temps de blanchâtre à jaunâtre ensuite rougeâtre puis se lignifient avec le temps. Alors que la couleur de son extrémité reste toujours blanchâtre dans tout le système racinaire parce que c'est une zone méristématique où se déroule la croissance des cellules (Pilon, 2011). Par contre, Jourdan (1995) a noté que les racines de premier ordre chez le palmier à huile sont noires. Ces racines se ramifient et les racines portées sont des racines d'ordre 2 ou racines secondaires (figure 9), de croissance généralement oblique (racine plagiotrope). La tendance ascendante de ces racines est justifiée soit par l'appel de la MO dans les couches supérieures ou bien la transformation en pneumatophores même s'ils ont à une profondeur de 60 cm. Elles émettent des racines de troisième ordre ou racines tertiaires qui émettent à leurs tours des racines de quatrième ordre ou racines quaternaires, qui se développent avec un diamètre très fin. Ces racines ne sont pas lignifiées. Nous avons remarqué que les racines tertiaires et quaternaire ne changent pas de couleur au rougeâtre, selon Bécel (2010), les racines blanches ont une plus forte respiration que les racines brunes et un taux d'absorption plus important de macroéléments (azote, potassium, magnésium), ce qui amène à suggérer que les racines tertiaires et quaternaires de



palmier dattier sont responsables en grande partie de l'absorption des éléments nutritifs par rapport aux racines primaires.



**Figure 9:** Partie vivant du système racinaire du palmier dattier avec différents ordre topologique à une profondeur de (10 - 20 cm) et (40 - 60 cm) : (1) Racines secondaires, (2) L'apex des racines

## 4.2. Description de la croissance de système racinaire

### a. Mort et réitération des racines

Pendant le suivi de l'évolution de système racinaire, on a observé des blessures à la base des racines ce qui a induit la mort de l'apex et la régénération de la racine (figure 10). Rappelons que la zone de division cellulaire intense et la croissance en longueur est localisée à quelques millimètres de l'apex de la racine (Bécel, 2010). La mort de l'apex n'entraîne pas forcément la mortalité de l'axe. On peut identifier ce processus comme une réitération partielle, dont les dommages subit ont entraîné la perte de la partie terminale des racines (l'apex).

D'après nos observations, nous avons constaté que cette réitération se produit seulement au niveau des racines primaires et secondaire ayant un diamètre important ce qui empêcherait leur mouvement aisé dans le sol suite à leur manque souplesse en les comparant aux racines tertiaires et quaternaires de faible diamètre.



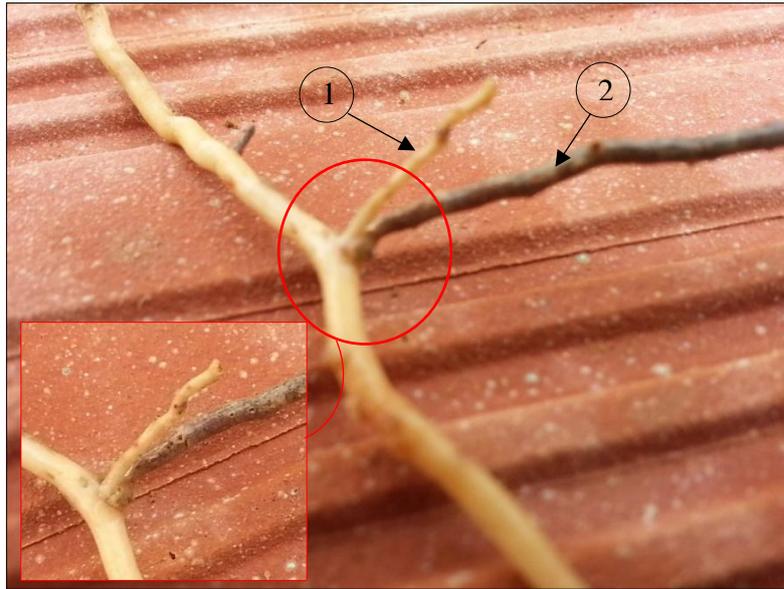
Selon (Vogt et *al*, 1991 in Pilon ; 2011), La discrimination des racines vivantes et mortes porte souvent sur des critères visuels tels que la couleur et la résistance racinaire, ce qui rend la distinction entre les racines mortes, vivantes ou bien en dormance pendant le suivi dynamique très difficile. Certains auteurs Sabatier (1999), Vester (2001) in Thongo M'Bou (2008) montrent que les mêmes processus peuvent se produire automatiquement au cours du développement de la plante.

Au moment du triage des racines nous avons observé la présence de racines noires qui étaient totalement desséchées contient une poudre noire (transformation des cellules en poudre) suite à l'arrêt de croissance et la mort définitive de l'axe racinaire. Ici on peut identifier ce processus comme une réitération totale qui nécessite une duplication de toute l'unité architecturale (figure 11).



**Figure 10:** Réitération partielle sur racine de palmier dattier (1) : Blessure à la base de racine, (2) : Perte de la partie apicale, (3) : Régénération de racine





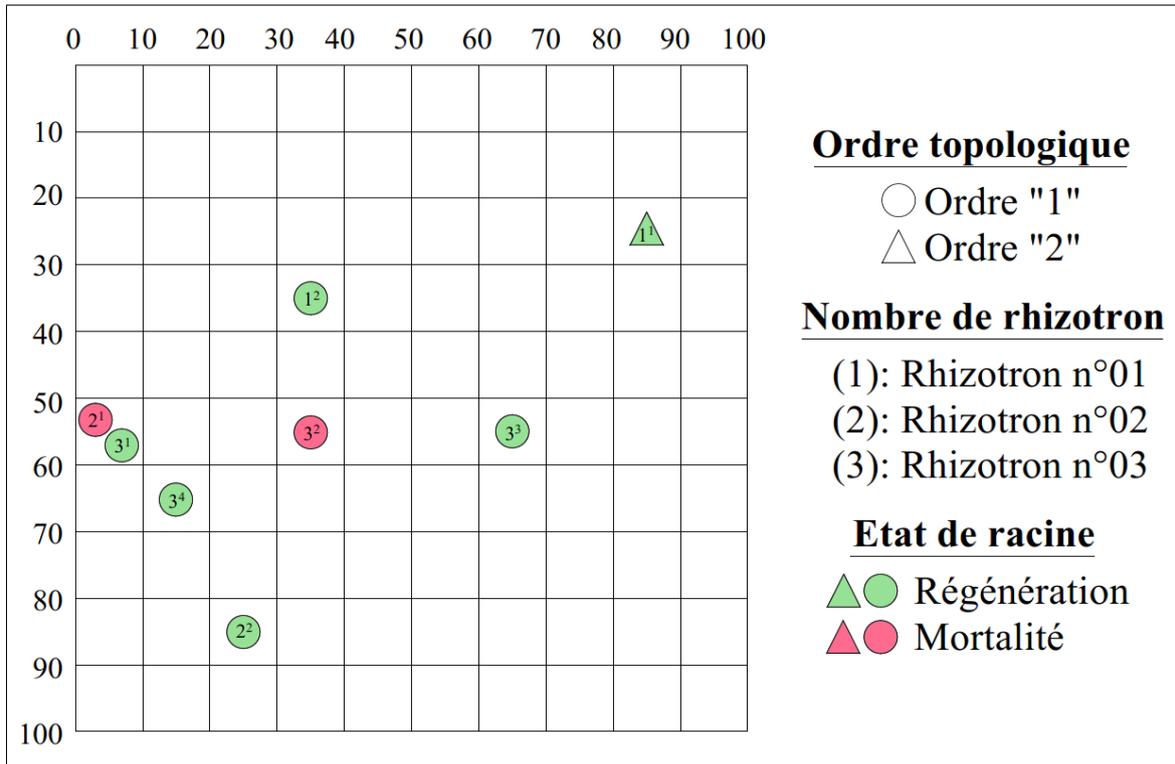
**Figure 11:** Réitération totale sur le système racinaire de palmier dattier (1) Nouvelle racine, (2) Racine morte (noire)

#### b. Vitesse d'élongation après une réitération partielle

Les rhizotats ont permis le suivi des racines pendant 6 mois d'observation, l'étude de l'architecture peut être utilisée pour calculer leurs vitesses d'élongation. Nous avons considéré la date de coupure des racines comme la date du début de la croissance, la vitesse d'élongation de racines est obtenue en divisant la longueur totale de segment racinaire régénérer par le nombre de jours qui s'écoulent entre les dates d'observation.

Les résultats présentés dans la figure 12 donnent la localisation spatiale des racines mortes et réitérées et leurs vitesses de régénération. D'après nos observations l'horizon superficiel [0 – 20 cm] est dépourvu de racines réitérées, qui sont localisées plutôt entre 20 et 90 cm de profondeur. D'autre part, on a remarqué que ces réitérations se produisent presque exclusivement chez les racines d'ordre 1 et 2 dont le diamètre est important. Deux mortalités seulement ont été observées pendant les 6 mois de suivi dynamique.





**Figure 12:** Localisation spatiale des réitérations et des racines mortes et leurs vitesses de régénération

L'étude montre, également, que les mesures de la vitesse d'élongation des racines de premier ordre vont de 0,102 à 0,285 cm j<sup>-1</sup> avec une moyenne de 0,186 cm j<sup>-1</sup> alors que celle de la racine de deuxième ordre est de 0,19 cm j<sup>-1</sup> (tableau 8).

**Tableau 8:** Vitesse d'élongation après une réitération partielle

Nombre de racine	(1 <sup>2</sup> )	(2 <sup>2</sup> )	(3 <sup>1</sup> )	(3 <sup>3</sup> )	(3 <sup>4</sup> )	Moyenne
Vitesse d'élongation (cm/jour)	0.102	0.214	0.208	0.120	0.285	0.186
Vitesse d'élongation de racine (1 <sup>1</sup> ) = 0.190 cm/jour						





## 5. Distribution de la biomasse racinaire

La distribution de la biomasse racinaire a révélé une variabilité entre les trois profils étudiés, on remarque d'après la figure 13, que la biomasse racinaire présente au niveau de profil 1 ( $41,64 \leq \text{poids sec (g/10}^{-1} \text{ m}^3) \leq 354,85$ ) est la plus faible en comparaison à celles présentes dans le profil 2 ( $37,56 \leq \text{poids sec (g/10}^{-1} \text{ m}^3) \leq 629,17$ ) et le profil 3 ( $14,59 \leq \text{poids sec (g/10}^{-1} \text{ m}^3) \leq 925,6$ ).

Les valeurs maximales de la biomasse pour les profils 1, 2 et 3 respectivement sont contenues dans les couches [40 – 50 cm], [50 – 60 cm] et [80 – 90 cm].

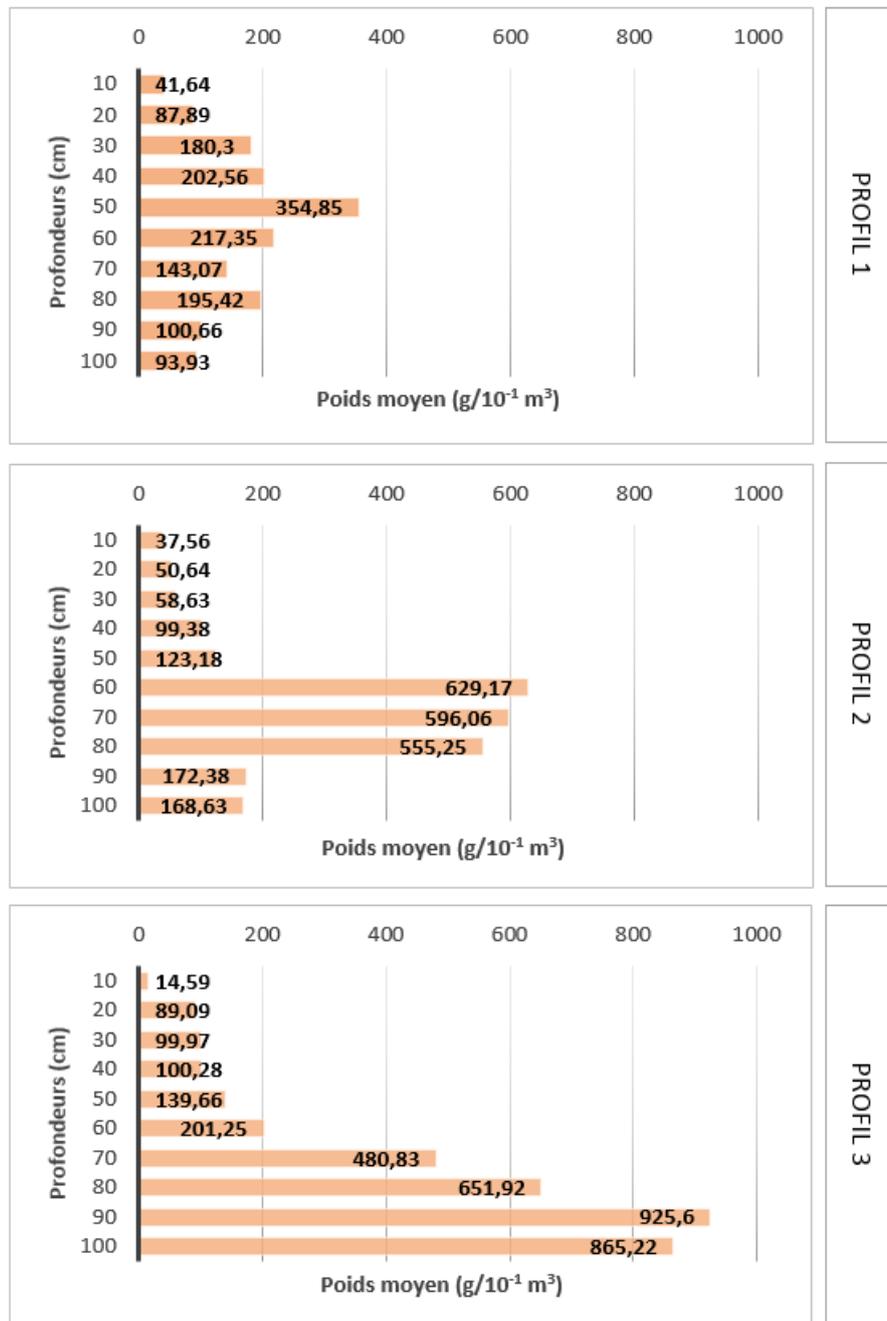
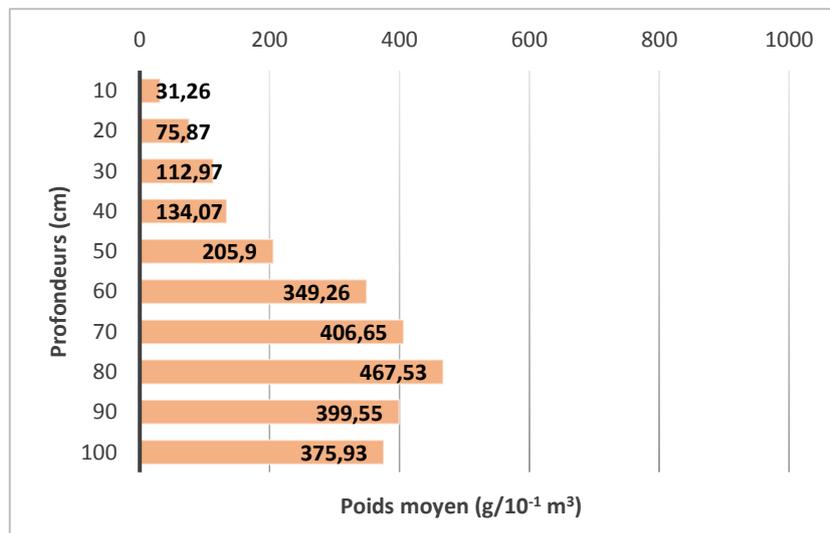


Figure 13: Distribution de la biomasse racinaire en fonction de la profondeur du sol

L'examen des systèmes racinaires dégagés en totalité dans un mètre cube à une distance de 30 cm de stipe de palmier dattier, nous a permis de calculer une biomasse racinaire moyenne de  $2558,987 \text{ g/m}^3$  exprimée en poids sec, la figure 14 révèle la répartition verticale de cette biomasse ( $2558,987 \text{ g/m}^3$ ) par couche de 10 cm de profondeur.

On remarque, une répartition verticale inégale de la biomasse racinaire moyenne entre les couches. En effet, les 20 premiers centimètres du sol présente l'enracinement le plus faible ne dépassant pas  $100 \text{ g/10}^{-1} \text{ m}^3$ , en suite il augmente progressivement dans les couches intermédiaire qu'on aborde le pic des valeurs maximums ( $467,53 \text{ g/10}^{-1} \text{ m}^3$  à 80 cm de profondeur) puis déclinent légèrement vers la profondeur de 1 m. Ce résultat est en accord avec la description des profils racinaire observés réalisée préalablement.



**Figure 14:** Répartition de la biomasse racinaire moyenne de palmier dattier en fonction de la profondeur

## 6. Densités racinaires

Les résultats de l'étude des densités racinaires ( $D_r$ ) ont indiqué une variation verticale inégale de  $1,39$  à  $12,5 \text{ kg/m}^{-3}$  pour les trois profils étudiés. On remarque que les mesures des densités racinaires des palmiers dattiers ont varié au niveau des trois profils existants, avec valeurs croissantes vers le fond des profils (figure 15).

Nos résultats montrent que la densité racinaire moyenne en surface est plus faible, et continue d'accroître progressivement vers les couches intermédiaires qu'on aborde le pic des valeurs maximales avec  $7,64 \text{ kg/m}^{-3}$  entre 80 et 90 cm de profondeur, puis déclinent



légèrement vers la profondeur de 1 m. Ce résultat a été confirmé lors de l'examen des systèmes racinaires dégagés en totalité.

Daddi Bouhoun (2010) a trouvé, dans un travail récent réalisé sur deux profils dans la cuvette de Ouargla, une densité très élevée variant entre 0 à 13,29 kg/m<sup>-3</sup> et 3,85 à 44,08 kg/m<sup>-3</sup>, Il semble dû aux conditions édaphiques de milieu et à l'impact de niveaux de la nappe phréatique qui oblige les palmiers dattiers à fuir la zone hydromorphe et à concentrer leur développement racinaire au-dessus de celle-ci.

(cm)	Profil 1	Profil 2	Profil 3	Moyenne
10	2,12	1,47	1,39	1,66
20	3,79	3,84	3,20	3,61
30	2,64	2,56	1,95	2,38
40	5,31	1,91	1,51	2,91
50	3,76	2,51	3,81	3,36
60	3,65	5,68	1,64	3,66
70	4,17	3,97	4,64	4,26
80	8,67	5,96	1,91	5,51
90	1,84	11,47	9,63	7,64
100	1,44	12,50	8,18	7,37

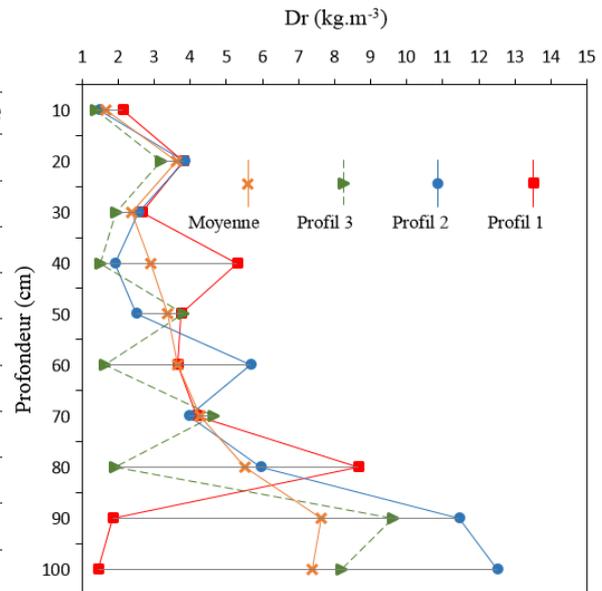


Figure 15: Evolution de la densité racinaire avec la profondeur

### 7. Diamètre racinaires

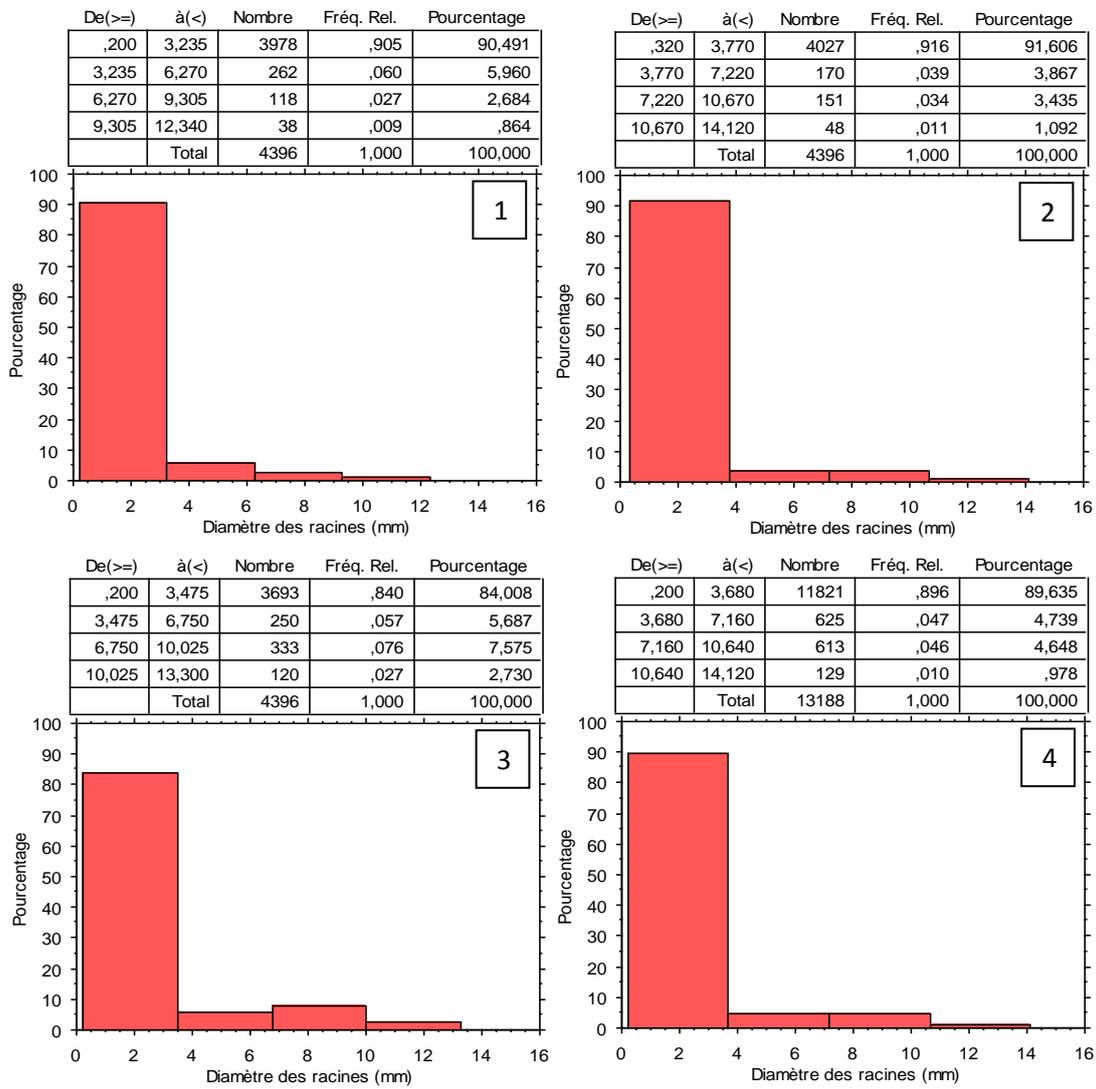
L'étude des diamètres des racines a été réalisée sur la base de la topologie racinaire. Deux types racinaires ont été étudiés ; les racines respiratoires et les racines de nutrition. Toutes ces racines peuvent présenter une structure de ramification racinaire qui atteint une hiérarchie d'ordre quatre au maximum avec un brutal changement de longueur et de diamètre entre chaque ordre : les racines du premier ordre émettent des racines du deuxième ordre, donnant naissance à leur tour à des racines de troisième ordre, ces dernières portent des racines de quatrième ordre. Les fréquences des mesures de diamètre effectuées ont été distribuées en quatre classes en vue de déterminer l'intervalle de diamètre de chaque ordre racinaire.

Les valeurs de diamètre effectuées sur les racines ayant colonisé le sol à une profondeur allant jusqu'à 100 cm ont été très variables. Le nombre de racines appartenant à un même



ordre racinaire variaient largement d'un ordre à un autre. Les racines les plus abondantes dans les trois palmiers étudiés étaient les racines quaternaires représentant 89,63 % du total, suivies par les racines secondaires et tertiaires avec 4,64 % et 4,73 % respectivement et enfin les racines primaires qui étaient les plus rares avec seulement 0,97 %. Les racines étudiées sont réparties en fonction de leur diamètre en quatre classes (figure 16) :

- Racines primaires (premier ordre) :  $10,64 < \text{Ør (mm)} < 14,12$  ;
- Racines secondaires (deuxième ordre) :  $7,16 < \text{Ør (mm)} < 10,64$  ;
- Racines tertiaires (troisième ordre) :  $3,68 < \text{Ør (mm)} < 7,16$  ;
- Racines quaternaires (quatrième ordre) :  $0,2 < \text{Ør (mm)} < 3,68$ .



**Figure 16:** Histogramme de distribution en fréquence de diamètre des racines (mm), (1) : Racines de palmier 1, (2) : Racines de palmier 2, (3) : Racines de palmier 3, (4) : Racines des trois palmiers



## 8. Corrélation entre le diamètre des racines et la densité racinaire

Les résultats ont montré une corrélation positive liant la densité racinaire et le diamètre des racines au niveau des différentes couches des profils. En effet, le coefficient de régression  $R^2$  enregistré entre les deux paramètres était important ( $R^2 = 0,69$ ) (figure 17). Notons que cette densité est la plus faible en surface du fait de l'absence des racines primaires à diamètres grands.

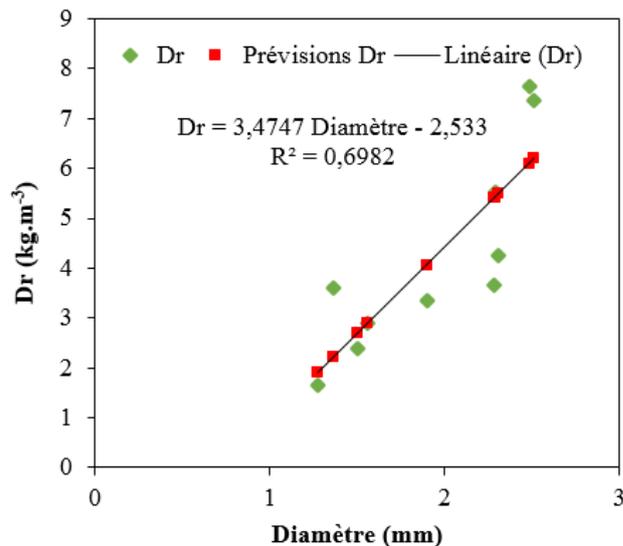


Figure 17: Régression linéaire de diamètre des racines et la densité racinaire

## 9. Cartographie des impacts racinaire

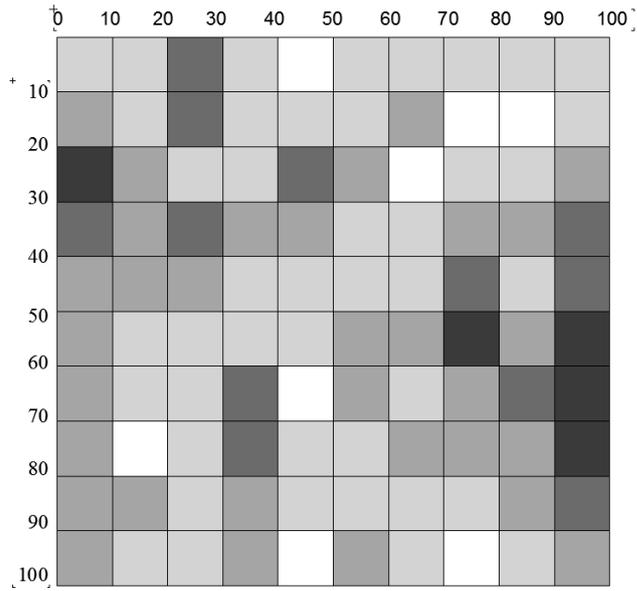
La cartographie des impacts racinaires sur un front de tranchée est un outil essentiel pour l'étude de la répartition spatiale des racines dans le sol. L'objectif est de déterminer les zones de fortes densités racinaires et la colonisation du système racinaire.

L'étude des trois rhizotrons ont permis d'établir une cartographie des impacts de racines de 1 m<sup>2</sup> dans un plan horizontal. Dans chaque cellule, la présence ou l'absence de racines a été mentionnée par l'utilisation d'une gamme de couleur contenant six teintes, du blanc au noir pour la totalité des racines et du blanc au rouge pour les racines primaire. L'intensité du grisé et de rouge est proportionnelle au nombre de racines. La cellule blanche signifie l'absence totale des racines et la cellule noire et rouge symbolise la présence maximale des racines.

### 9.1. Répartition spatiale de la totalité des racines

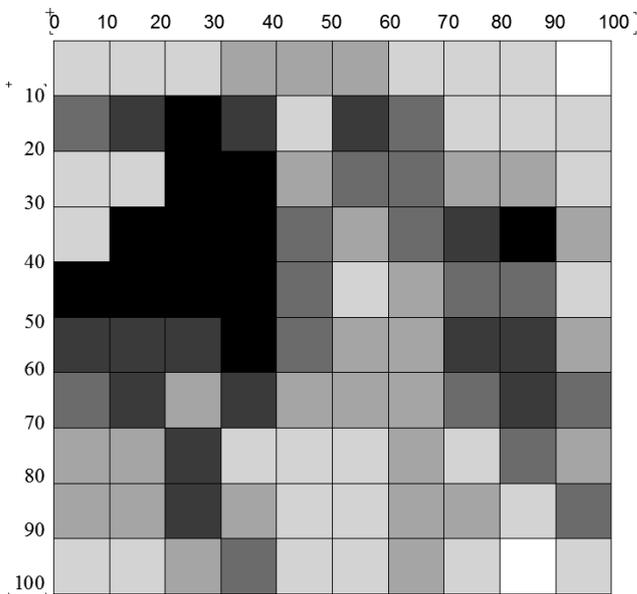
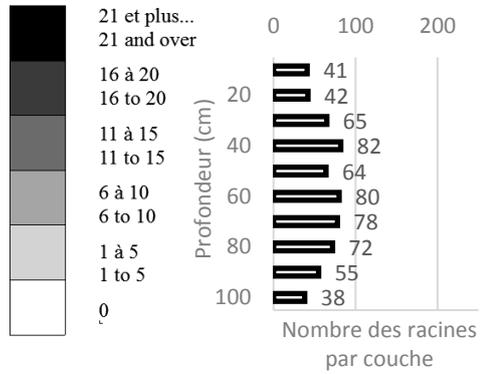
Trois cartes d'impacts racinaires ont été obtenues montrant, l'occupation des cellules par la totalité des racines. Ces observations sur la colonisation résultent de 6 mois de la croissance du système racinaire (figure 18).





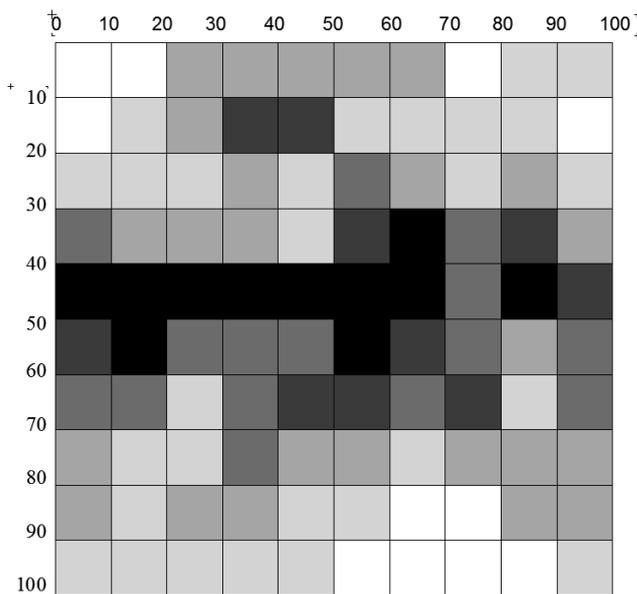
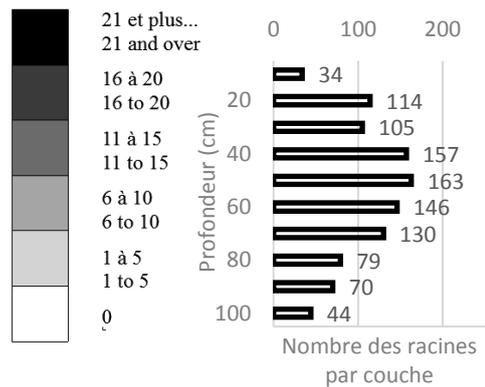
**Rhizotron 1**

†  
+  
Nombre des racines  
Number of roots



**Rhizotron 2**

†  
+  
Nombre des racines  
Number of roots



**Rhizotron 3**

†  
+  
Nombre des racines  
Number of roots

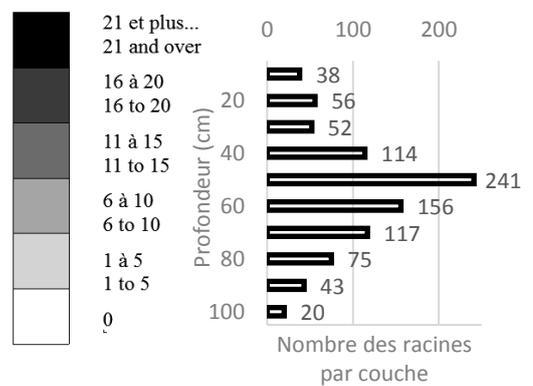


Figure 18: Cartographies des impacts racinaires de trois rhizotrons



A partir de la figure 18 on remarquons que le pourcentage de cellules occupées sur l'ensemble des cartes 1, 2 et 3 par un nombre de racines de 10 et plus a été de de 49 %, 69 % et 61% respectivement. Par ailleurs, le pourcentage de cellules occupées par un nombre de racines de 16 et plus a été de 5 %, 26 % et 21 % respectivement. Aussi, le pourcentage de cellules occupées de 21 racines et plus a été de 0 %, 12 % et 11 % selon le même ordre. A la lumière de ces données, on peut souligner globalement une hétérogénéité dans la répartition des racines notée en particulier au niveau de rhizotron 1 par rapport aux rhizotrons 1 et 2 qui sont relativement semblable. Cette différence pourrait être expliquée par l'emplacement du rhizotron 1 sur la bordure de la palmeraie (effet de bordure) et le mauvais état sanitaire des racines qu'on a observé pendant le suivi dynamique de système racinaire (présence des taches noire autour des racines, insectes, champignons, brunissement des racines...) (figure 19).

On remarque aussi, que la colonisation racinaire au niveau de rhizotron 2 et 3 ont été plus importante dans l'horizon entre 20 et 80 cm de profondeur sur l'ensemble des rhizotrons par rapport aux horizons de surface et de fond. Ce résultat a été confirmé lors de l'examen de la distribution de la biomasse racinaire et la densité racinaire.

Dans ce contexte, El Khoumsi et *al.* (2017) ont réalisé un essai sur un pied de cultivar Mejhoul (*Phoenix dactylifera* L.) âgé de 30 ans et éloigné de 10 m par rapport aux palmiers voisins) en vue d'élaborer une carte d'impact des racines (figure 20, A). Leurs résultats ont montré une nette colonisation racinaire latérale et une densité qui était la plus importante observée à côté du stipe. En effet, 50 % des racines étaient concentrées sur une distance latérale de 2 m du tronc ; au-delà de 3 m, la densité des racines était très faible voire négligeable. Egalement, concernant la distribution des racines en profondeur, 80 % des racines se concentraient dans les premiers 1,5 m avec une densité maximale d'enracinement de 7 racines par  $\text{dm}^2$ . Ces résultats permettent donc de considérer que la portion de racines que nous étudiées qui était de  $1 \text{ m}^3$  constitue un échantillon représentatif.

La comparaison de nos résultats sur la répartition spatiale des racines avec ceux décrits par El Khoumsi et *al.* (2017) sur le premier mètre (figure 20, B), a montré des similitudes entre les deux essais en ce qui est de la colonisation racinaire. En effet, cette dernière était importante dans la couche intermédiaire (0,2 – 0,8 m) par rapport aux couches de surface et de fond.





Figure 19: Problème sanitaires de système racinaire dans le rhizotron N°01

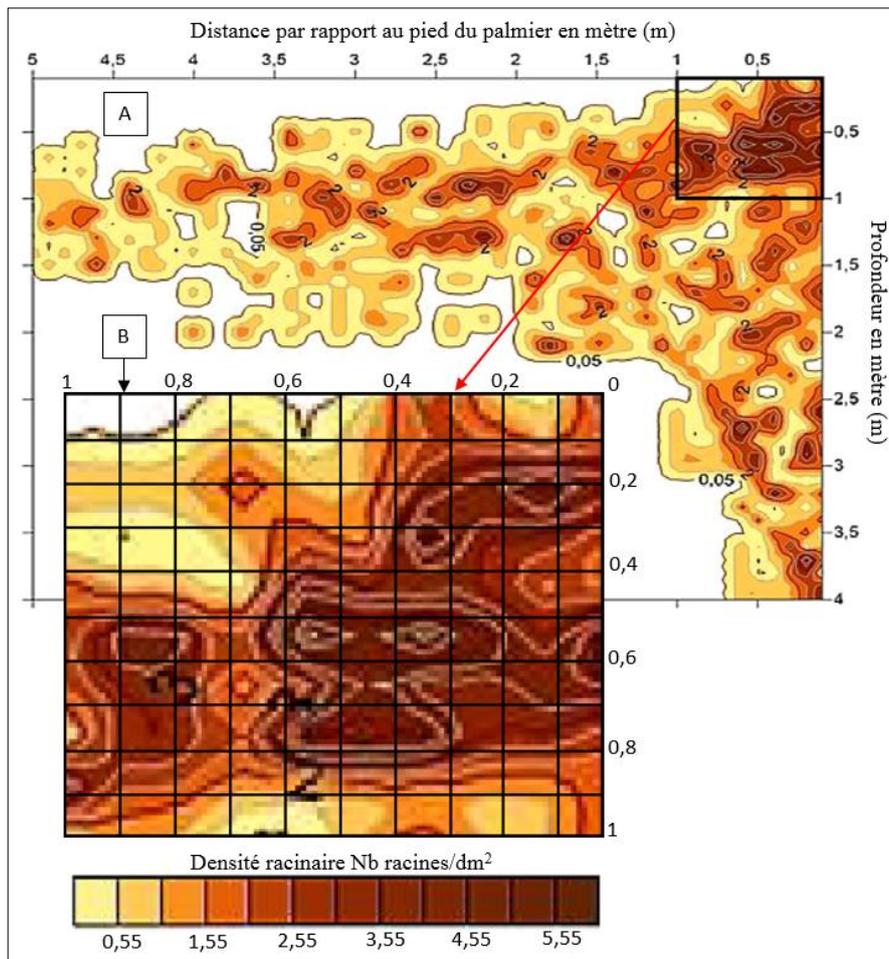


Figure 20: Cartographie de la répartition du système racinaire du palmier dattier adulte (El Khoumsi et al., 2017)

## 9.2. Répartition spatiale des racines primaires

De même que pour la répartition spatiale de la totalité des racines, trois cartes d'impacts des racines primaires ont été réalisées (figure 21).

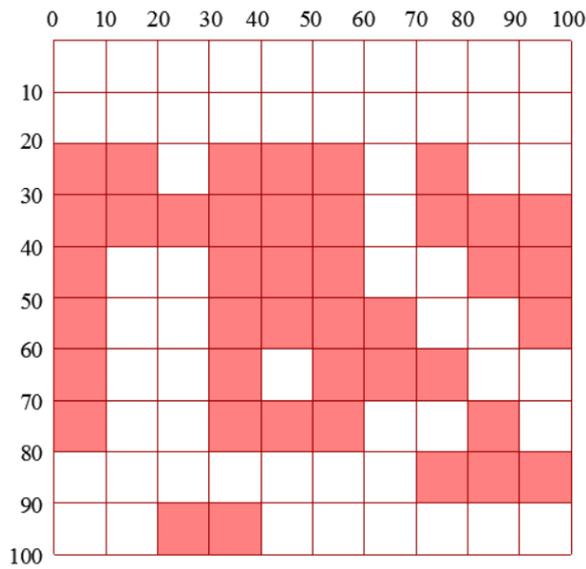
Le pourcentage de cellules occupées sur l'ensemble des cartes 1, 2 et 3 par les racines primaires est respectivement de 42 %, 59 % et 62 %. Ce pourcentage est le plus faible au niveau du rhizotron 1 pour les mêmes raisons précitées (effet bordure).

Nos résultats ont montré également que la colonisation des racines primaire dans l'ensemble des rhizotrons, n'est pas apparue dans les horizons superficiels [0 – 20 cm] mais dans les horizons sous-jacents et a diminué légèrement vers les horizons de fond [80 – 100 cm]. Ce qui confirme l'existence, déjà montrée par nos résultats, d'une corrélation positive entre le diamètre des racines et la densité racinaire.

Nos résultats diffèrent de ceux obtenus par Jourdan et Rey (1996) qui ont élaboré une carte d'impact de racines primaires (1 mètre carré de surface) sur un palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq) (famille des Arécacées) âgé de 10 ans. D'après leurs résultats la colonisation des racines était concentrée au niveau des premiers 50cm (figure 22).

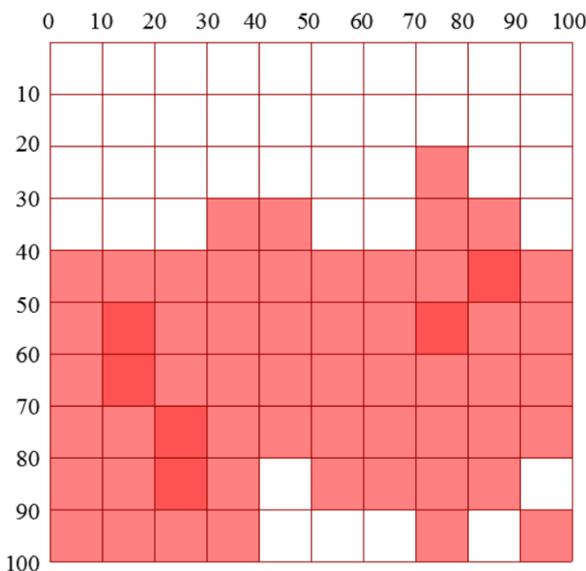
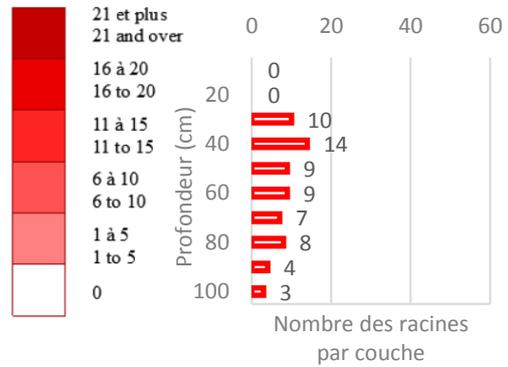
Les variations dans le comportement du système racinaire observées à la lumière de ces données peut avoir différentes origines à savoir l'hétérogénéité des conditions de l'étude expérimentale (espèce, variété, durée des suivis de croissance racinaire, milieu hydro-édaphique, pratiques culturales, climat....).





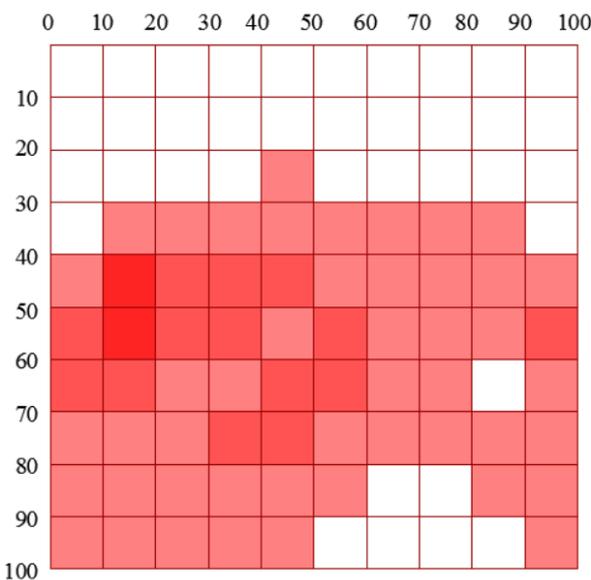
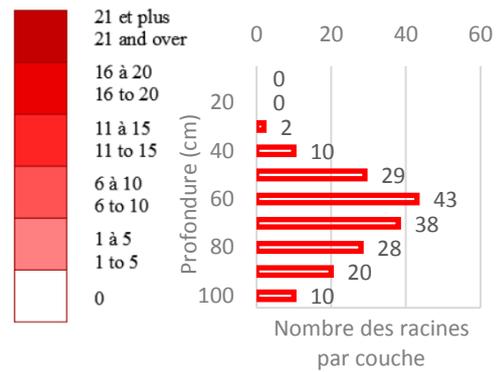
**Rhizotron 1**

Nombre des racines  
Number of roots



**Rhizotron 2**

Nombre des racines  
Number of roots



**Rhizotron 3**

Nombre des racines  
Number of roots

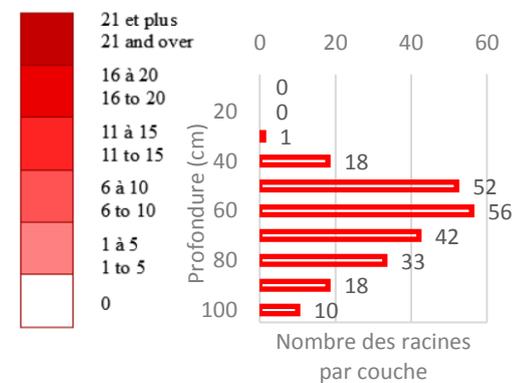
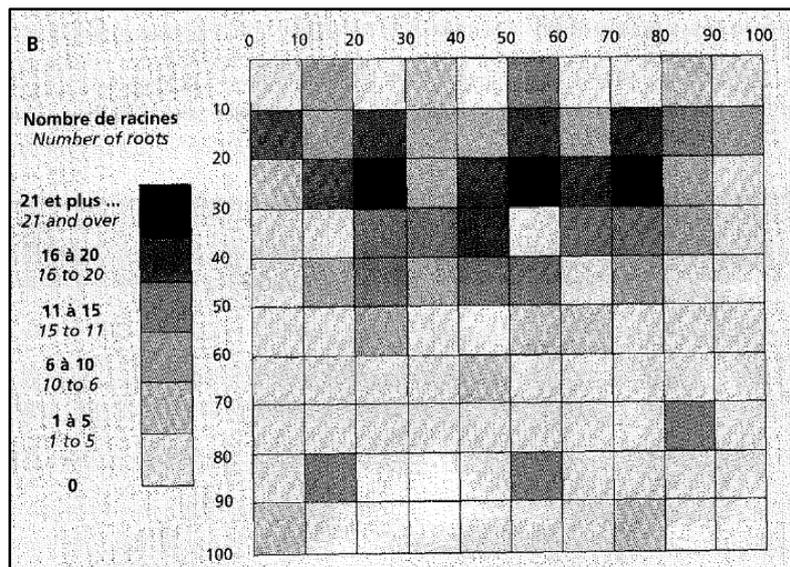


Figure 21: Cartographies des impacts racinaires (racines primaires) de trois rhizotrons





**Figure 22:** Carte d'impact des racines primaires obtenu par Jourdan et Rey (1996) sur palmier à huile âgé de 10 ans

Le nombre de l'ensemble des racines et celui des racines primaires pour les trois palmiers étudiés sont donnés dans la Figure 24. Le nombre maximal des racines a atteint 156 observé à 50 cm de profondeur, alors que celui des racines primaires était de 36 racines observé à 60 cm de profondeur. La croissance du système racinaire représentée par le nombre de racines au cours de la période de suivi dynamique, la densité racinaire et la répartition verticale de la moyenne de biomasse racinaire ( $2558,987 \text{ g/m}^3$ ) était homogène. En effet, ces derniers paramètres avaient un comportement presque similaire de sorte que les valeurs les plus faibles étaient enregistrées en surface et augmentaient au fur et à mesure qu'on aborde le deuxième horizon (20 - 80 cm) puis déclinent légèrement vers la profondeur de 1m. A la lumière de nos résultats (figure 23), nous avons trouvé que la légère concordance du paramètre qui concerne la densité racinaire à la description précédente pourrait être expliquée par la méthode utilisée qui est basée sur l'emploi des cylindres. L'échantillonnage, dans ce cas, peut ne pas être assez représentatif vue la grande superficie explorée par le système racinaire et l'hétérogénéité dans de la distribution de ce dernier.





**Figure 23:** Evolution moyenne du nombre total des racines et des racines primaires pour les trois palmiers avec la température moyenne du sol en fonction de la profondeur

### 10. Interprétation du comportement du système racinaire en relation avec quelques caractéristiques du milieu édaphique

Chaque sol présente aux racines des conditions particulières d'expansion, liées à ses caractéristiques nutritionnelles et à ses propriétés, il est parmi les principaux facteurs qui influencent la distribution du système racinaire.

Afin de mieux comprendre le comportement du système racinaire nous avons procédé à une analyse physico-chimique des sols d'où nous avons pris nos trois échantillons. Leurs principales caractéristiques sont présentées dans le tableau 9.

**Tableau 9:** Moyenne des propriétés physique-chimique du sol (trois profils) dans le site expérimentale

		Profondeur du sol (cm)			
		[0 - 20]	[20 - 80]	[80 - 100]	
CE (dS/m)		1,14	2,23	2,4	
pH		7,84	8,2	8,06	
Calcaire total (%)		49,67	42,8	49,11	
Calcaire actif (%)		14,5	16	15,5	
Matière organique (%)		1,29	3,99	1,78	
Ions solubles (meq/L)	Cations	Ca <sup>++</sup>	3,13	9,6	8,4
		Mg <sup>++</sup>	2,26	6	3,8
		Na <sup>+</sup>	3,33	10,84	9,18
		K <sup>+</sup>	0,08	0,07	0,05
	Anions	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	5,48	8,23	13,03
		Cl <sup>-</sup>	2,13	4,26	2,66
		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,25	1,25	1
Densité apparente (g/cm <sup>3</sup> )		1,29	1,25	1,26	
Porosité (%)		51,35	52,96	52,33	
Densité racinaire par nombre sur surface de 1 m <sup>2</sup>		54,17	109,78	45	



D'après le tableau 8 et en se référant aux normes de classification des sols, sur la base de leur conductivité électrique (CE), proposées par Aubert (1978), il apparaît qu'en surface le sol est peu salé (1,14 dS/m soit 0,72 g/l). Puis il devient salé au niveau de l'horizon intermédiaire (2,23 dS/m ; 1,42 g/l) et en profondeur (2,4 dS/m ; 1,53 g/l). La faible valeur de CE enregistrée en surface s'expliquerait par le mode d'irrigation (submersion) et la quantité importante de l'eau d'irrigation appliquée qui provoque à la fois un lessivage des sels en surface et leur précipitations en profondeur. De même, l'eau d'irrigation est classée, selon le même auteur, comme étant très salée (3,6 dS/m soit 2,3 g/l). Notons que cette teneur en sel ne porte aucun préjudice au palmier dattier puisqu'elle est éloignée du seuil toléré en teneur en sel par le palmier dattier qui est de 9 à 10 g/l (Sedra, 2003).

Pour la plupart des plantes les besoins en potassium sont très importants. En raison de sa très grande solubilité, cet élément est très souvent en quantité insuffisante dans les sols sableux, d'autant plus qu'il y est facilement lessivé (Hopkins, 2003), ce qui explique les faibles concentrations de potassium ( $0,05 < K^+ \text{ (meq/l)} < 0,08$ ) par rapport des autres éléments.

A l'horizon de surface, on observe une baisse du taux de matière organique où une faible densité racinaire a été relevée au même temps qu'une forte densité apparente accompagnée par une minéralisation favorisée par la température élevée du sol. Dans l'horizon du dessous [20 - 80 cm] la matière organique a augmenté pour atteindre 3,99 % avec une densité racinaire (109 racines) et une densité apparente en baisse ( $1,25 \text{ g/cm}^3$ ) favorisant ainsi la pénétrabilité et le développement des racines dans le sol. Ce qui explique l'importance de la porosité observée dans cet horizon qui était de 52,96 % par rapport à l'horizon de surface (0 - 20 cm) et de fond (80 - 100 cm). Soulignons le rôle important de cette caractéristique qui est la porosité dans la mobilisation des substances nutritives et la bonne aération de la zone racinaire.



**Conclusion générale**



## CONCLUSION GENERALE

Pour une meilleure connaissance de la croissance des racines et de leur répartition dans le sol, l'évaluation du développement spatial et temporel du système racinaire du palmier dattier et la détermination de ses axes racinaires sont nécessaires.

Le travail entrepris a visé à mieux appréhender le développement du système racinaire du palmier dattier adulte dans son milieu naturel et d'acquisition de connaissances fondamentales sur l'aspect dynamique de la croissance du développement et de l'architecture du système racinaire.

L'architecture racinaire a été suivie pendant 6 mois, sur des palmiers adultes de l'oasis de Chetma (wilaya de Biskra, Algérie) âgée de 16 ans. Cette étude a permis en premier lieu d'identifier les différents éléments constituant le système racinaire. Les ordres topologiques ont été déterminée au coure de suivi dynamique en se basant sur des critères morphologiques (racines latérales sur les racines porteuses, diamètre).

Au terme de cette modeste contribution travail, nous sommes parvenus à tirer une série de conclusions que nous résumons dans les points qui suivent.

La détermination de quatre ordres topologiques sur la base des diamètres des racines répartis en intervalles correspondant à chaque ordre : racines primaires (premier ordre), racines secondaires (deuxième ordre), racines tertiaires (troisième ordre), racines quaternaires (quatrième ordre).

La variation de la vitesse de croissance racinaire dépendait de l'ordre de ramification. Les vitesses d'élongation, après une réitération opportuniste, des racines de premier ordre était de  $0,186 \text{ cm j}^{-1}$  et celles du deuxième ordre de  $0,19 \text{ cm j}^{-1}$ . Ces racines se mettent en place progressivement au cours du temps formant ensemble un système racinaire plus ou moins complexe. Lors de son développement, les racines colonisent le sol et se répartissent dans ses horizons.

Les résultats de la présente étude montrent que la biomasse racinaire moyenne dans un mètre cube à une distance de 30 cm de stipe de palmier dattier est de  $2558,987 \text{ g/m}^3$  exprimée en poids sec. Cette biomasse se distribue verticalement dans les horizons du sol d'une manière inégale. En effet, les 20 premiers centimètres de sol présente l'enracinement le plus faible ne dépassant pas  $100 \text{ g/10}^{-1} \text{ m}^3$ , il augmente progressivement par la suite dans les couches intermédiaires qu'on aborde le pic des valeurs maximales ( $467,53 \text{ g/10}^{-1} \text{ m}^3$  à 80 cm de profondeur) puis déclinent légèrement vers la profondeur de 1 m.





La densité racinaire moyenne calculée, dans un profil d'un mètre de sol, par l'emploi des cylindres, utilisés au préalable pour le calcul de la densité apparente des sols, montre qu'elle est plus faible en surface et continue d'accroître progressivement vers les couches intermédiaires qu'on aborde le pic des valeurs maximales avec  $7,64 \text{ kg/m}^{-3}$  entre 80 et 90 cm de profondeur. Puis déclinent légèrement vers la profondeur de 1 m. Ce paramètre avait un comportement presque similaire avec la répartition verticale de la moyenne de biomasse racinaire, de sorte que les valeurs les plus faibles étaient enregistrées en surface et augmentaient au fur et à mesure vers la profondeur de 1 m.

Nos résultats ont mis en évidence une corrélation positive entre la densité racinaire et le diamètre des racines. En effet, l'absence des racines primaires (à grand diamètre) dans la couche superficielle (les premiers 20 cm) a entraîné une faible densité racinaire.

La cartographie des impacts de la totalité des racines sur un front de tranchée de  $1 \text{ m}^2$  réalisée par la méthode de la grille, a permis de dénombrer l'ensemble des racines et les racines primaires par couche de 10 cm, pour les trois palmiers étudiés et en calculer la moyenne. Les résultats montrent que, le nombre total de racines était plus faibles au niveau de l'horizon de surface (0 - 20 cm) et augmentait au fur et à mesure qu'on aborde le deuxième horizon (20 - 80 cm) puis décline légèrement vers la profondeur de 1m. Alors que les racines primaires ne sont pas apparues que dans l'horizon sous-jacent (20 - 80 cm) pour diminuer légèrement, par la suite, vers l'horizon de fond.

En fin, il ressort de cette étude que les propriétés du sol influent sur le développement des racines du palmier dattier dans les conditions édaphiques des sols expérimentaux. On suggère que les propriétés physiques du sol, notamment les densités apparentes contrôlent la distribution et l'architecture du système racinaire. Les densités apparentes les plus importantes coïncident avec les faibles valeurs de la biomasse racinaire. Ceci atteste que l'augmentation de la biomasse, la densité et l'occupation racinaire du sol sont tributaires de l'état d'ameublissement du sol en profondeur et aussi de sa richesse en matière organique.

En perspective, d'un point de vue méthodologique, l'étude menée devrait être complétée par d'autres où différents cultivars (génotypes) seront étudiés avec augmentation du nombre de répétition et prolongation de la durée de suivi. De plus, il serait important de réaliser des observations sur des individus à différents âges et aussi sous des conditions différentes, tels que le stress salin et le stress hydrique.

Une étude histologique approfondie devrait également être réalisée de façon à mieux appréhender la différence entre les différents ordres topologique.

La biomasse du système racinaire reste très difficile à estimer au champ. L'excavation est une mesure directe, si tant est que l'on puisse espérer récolter la totalité des racines, mais aussi laborieuse. Une estimation indirecte de la biomasse des racines par la méthode de tranchée Voronoï est fortement recommandée lors de l'estimation de la biomasse racinaire totale d'une plantation, mais elle reste une méthode destructive qui induit la mort du pied de palmier dattiers étudiés.



## Références bibliographiques



## Référence bibliographique

- A.O.A.D., 2016\_(Arab Organization for Agricultural development) Arab Agricultural Statistics Yearbook, Vol.36.
- AIDAOUI Salah., 1994\_Ressource en eau et aménagement hydro-agricole dans la région de Biskra « ZIBAN ». Thèse. Doct. Univ. Nancy II, 327p.
- ALKAMA Djamel et TACHERIFT Abdelmalek., 2001\_Essai d'analyse typomorphologique des noyaux urbains traditionnels dans la région des Ziban. Courrier du savoir, N°01, pp 81-88.
- ATGER Claire et EDELIN Claude., 1994\_Stratégies d'occupation du milieu souterrain par les systèmes racinaires des arbres. Revue. Ecol. (Terre Vie), vol. 49, pp 343-356.
- ATGER Claire., 1992\_Essai sur l'architecture racinaire des arbres. Thèse. Doct. Univ. Montpellier II, 292p.
- BECCEL Carole., 2010\_Croissance racinaire en verger de pêcheurs. Influence de la distribution de l'eau dans le sol et de la disponibilité en assimilats carbonés. Thèse. Doct. Univ. d'avignon et des pays de vaucluse, 147p.
- BEN ABDALLAH Abdallah., 1990\_La phoeniciculture. INRAT. Options Méditerranéennes N°11, pp 106-120.
- BEN SAYAH Faiza., 2014\_Influence des conditions de stockage au froid des dattes sur leur qualité organoleptique dans la région des Zibans (Cas des dattes -variété Deglet Nour). Mém. Mag. Univ. Ouargla, 128p.
- BENSAADA Khadidja., 2015\_Etude du développement, de l'architecture et de la croissance racinaire de plantules de palmier dattier sous stress salin. Mém. Mag. Univ. Oran, 50p.
- BENSALAH Mohamed Kame., 2009\_Etude de quelques aspects bioécologiques du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Orthoptera, Acrididae) durant

- l'invasion 2004 - 2005 dans la région de Biskra. Mém. Mag. ENSA El Harrach-Alger ,111p.
- BONNEAU M Maurice., 1963\_L'importance des propriétés physiques du sol dans la production forestière. Revue forestière française, pp 19-31.
- BLAMA, Aicha., 2014\_Dix sept wilayas productrices de datte : Une richesse inépuisable pour l'Algérie, in *Le monde des Dattes*, N°1(2014), pp15.
- BOUAMMAR Boualem., 2010\_Le développement agricole dans les régions sahariennes, Etude de cas de la région d'Ouargla et de la région de Biskra. Thèse. Doct. Univ. Ouargla, 269p.
- CHAUBERT-PEREIRA Florence., 2008\_Combinaisons markoviennes et semi-markoviennes de modèles de régression. Application à la croissance d'arbres forestiers. Thèse. Doct. Univ. Montpellier II, 213p.
- CHOPART Jean Lious. ,1980\_ Etude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales au Sénégal (arachide-milsorghoriz pluvial). Thèse. Institut National Polytechnique de Toulouse .France, 160p.
- D.S.A de Biskra., 2017\_(Direction des Services Agricoles de la wilaya de Biskra). Rapport de statistique, 1p.
- DADDI BOUHOUN Mustapha., 2010\_Contribution à l'étude de l'impact de la nappe phréatique et des accumulations gypso-salines sur l'enracinement et la nutrition du palmier dattier dans la cuvette d'Ouargla (Sud-Est Algérien). Thèse. Doct. Univ. Annaba, 365p.
- DAHER MERANEH Abdourahman., 2010\_Détermination du sexe chez le palmier dattier : Approches histo-cytologiques et moléculaires. Thèse. Doct. Univ. Montpellier II, 160p.
- DAQUECHIN DORVAL Antonie., 2015\_Architecture racinaire et stabilité chez le pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.) au stade jeune. Thèse. Doct. UMR BIOGECO – INRA, Univ. Bordeaux, 204p.

- DRENOU Christophe., 2000\_ Étude des relations entre systèmes racinaires et stabilité des arbres (à la suite de la tempête de décembre 1999). Les Dossiers de l'environnement de l'INRA, N°20, pp 153-159.
- DRENOU Christophe., 2006\_Les racines : Face cachée des arbres. Institut de Développement Forestier ,335p.
- EL KHOUMSI Wafae., HAMMANI Ali, BOUARFA Sami, BOUAZIZ Ahmed et BEN AÏSSA Imed., 2017\_Contribution de la nappe phréatique à l'alimentation hydrique du palmier dattier (*Phoenix dactylifera*) dans les zones oasiennes. Cahiers Agricultures Vol. 26, N°4,10p.
- GROLEAU-RENAUD Virginie., 1998\_Contrainte mécanique et exsudation racinaire du maïs : Incidence de la morphologie du système racinaire. Thèse. Doct. INPL, 268p.
- GROS-BALTHAZARD Muriel, NEWTON Claire, IVORRA Sarah, TENGBERG Margareta, PINTAUD Jean-Christophe et TERRAL Jean-Frédéric., 2013\_ Origines et domestication du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) : Etat de l'art et perspectives d'étude. Revue d'ethnoécologie N° 4. En ligne : <http://ethnoecologie.revues.org/1524>.
- HADDOU M, BABAHANI S et IDDER A., 2016\_Conduite du Palmier Dattier Deglet Nour dans la région d'Ouargla. Revue des Bioressources . Vol. 6 ,N°2, pp 46-55.
- Halitim Amor., 1988\_Sols des régions arides d'Algérie. O.P.U. Alger, 384p.
- HALLE Francis, DANTON Philippe et PERRIER Christophe, 2007\_Architectures de plantes de l'Île Robinson Crusoe, archipel Juan Fernández, Chili. Adansonia, sér N°3, 29 (2), pp 333-350.
- HOPKINS William-G., 2003\_Physiologie végétale. La 2<sup>e</sup> édition américaine de boeck, 532p.
- IPGRI., 2005\_(International Plant Genetic Resources Institute). Descripteur du Palmier Dattier. Rome. Italie, 79 p.

- JOURDAN Christophe et REY Hervé., 1996\_Architecture racinaire du palmier à huile. Modélisation et simulation. Plantation, recherche, développement, pp 313-323.
- JOURDAN Christophe et REY Herve., 1997\_Architecture and development of the oil-palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) root system .Plant Soil 189, pp 33-48.
- JOURDAN Christophe., 1995\_Modélisation de l'architecture et du développement du système racinaire du palmier à huile (*Elaeis guineensis* jacq.). Biologie des Systèmes Intégrés, Agronomie et Environnement, 278p.
- JRAD Amira., 2012\_Développement du système racinaire chez le palmier dattier issu de semis. Mém. Master. Biologie & Environnement. Univ. Gabès, Tunisie, 64p.
- KHACHAI Salim., 2001\_Contribution à l'étude du comportement hydro physiques des soles des périmètres d'I.T.D.A.S, plaine de l'Outaya. Mém. Mag. Ins. Agro. Univ. Batna, 223 p.
- KHECHAI Salim et DAOUD Youcef., 2017\_Qualité De La Datte Deglet-Nour Produites sur des sols salés et gypseux dans les oasis des Zibans - Algérie. Courrier du Savoir, N°22, pp 27-34.
- KHUDER Hayfa., 2007\_Effet d'une pente sur l'architecture et les propriétés mécaniques des systèmes racinaires de semis d'arbres .Thèse. Doct. Sciences du Bois. Univ. Bordeaux I, Talence, France, 182p.
- LAUENROTH William K et GILL Richard., 2003\_Turnover of root systems. In H de Kroon and EJW Visser, eds. Root Ecology. Springer-Verlag, Berlin. Vol.168, pp 61-89.
- LEVY G., 1968\_Importance des propriétés du sol pour l'enracinement de *Picea excelsa* et de *Pinus sylvestris*. Annales des sciences forestières, INRA/EDP Sciences, 25 (3), pp 157-188.
- LUCOT E, BRUCKERT S., 1992\_Organisation du système racinaire du chêne pédonculé (*Quercus robur*) développé en conditions édaphiques non contraignantes (sol brun lessivé colluvial). Annales des sciences forestières, INRA/EDP Sciences, 49, pp 465-479.

- MAKUMBA Wilkson, AFINNIFESI Festus K et JANSSEN Bert H., 2009\_Spatial rooting patterns of gliricidia, pigeon pea and maize intercrops and effect on profile soil N and P distribution in southern Malawi. *African Journal of Agricultural Research* Vol 4, pp 278-288.
- MEGUENNI-TANI Abdelkader., 2013\_Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe du mio-plio-quadernaire de la région sud de la ville de Biskra, Algérie. *Mém. Master. Univ. Tlemcen*, 58p.
- MEHAOUA Mohamed Seghir., 2015\_Abondance saisonnière de la pyrale des dattes (*Ectomyelois ceratoniae* Zeller., 1839), bioécologie, comportement et essai de lutte. Thèse. Doct. Univ. Biskra, 125p.
- MESSAR EM., 1993\_Le secteur phoenicicole Algérien : Situation et perspectives à l'horizon 2010. In FERRY Michel. (ed.), GREINER Didier. (ed.). *Le palmier dattier dans l'agriculture d'oasis des pays méditerranéens*. Zaragoza : CIHEAM, (Options Méditerranéennes : Sér A. Séminaires Méditerranéens ; N° 28),pp 23-44.
- METCALFE Daniel, MEIR Patrick et WILLIAMS Mathew., 2007\_A comparison of methods for converting rhizotron root length measurements into estimates of root mass production per unit ground area. *Plant Soil*, 10p.
- MIMOUN Asmaa., 2014\_Etude du développement et architecture racinaire de plantules de Palmier Dattier. *Mém. Mag. Univ. Oran*, 50p.
- MORLAT .R, PUISSANT .A, ASSELIN .C, LEON. H, et REMOUE .M., 2010\_Quelques aspects de l'influence du milieu édaphique sur l'enracinement de la vigne conséquences sur la qualité du vin. *Association Française pour l'Etude du Sol*, pp 125-146.
- MOROT-GAUDRY Jean François., 2013\_Nutrition minérale des plantes : Aspects moléculaires. *Académie d'agriculture de France*, 21p.
- MOUSSI Abdelhamid., 2012\_Analyse systématique et étude bio-écologique de la faune des acridiens (Orthoptera, Acridomorpha) de la région de Biskra. Thèse. Doct.Univ. Constantine,112 p.

- MUNIER Pierre., 1973\_Le palmier dattier. Ed.G.-P. Maisonneuve et Larose. Paris. 221 p.
- NICOULLAUD Bernard, R. Darhout, et Odile Duval.,1995\_Etude de l'enracinement du blé tendre d'hiver et du maïs dans les sols argilo-limoneux de Petite Beauce, Etude et Gestion des Sols, 2.INRA, Centre de recherches d'Orléans, pp 183-200.
- O.N.F.A.A., 2017\_(Observatoire National des Filières Agricoles et Agroalimentaires). Rapport sur le commerce extérieur des dattes.
- OUAMANE Abdelmoneim Tarek, BENSALAH Mohamed Kamel, et DJAZOULI Zahr-Eddine., 2017\_Approche au monitoring de la pyrale des dattes « *ectomyeloides ceratoniae* » zeller par le recours aux moyens biologiques. Revue Agrobiologia 7(1), pp 312-320.
- PEYRON Gilles., 2000\_Cultiver le palmier dattier. Ed. Gridao, 110p.
- PILON Rém., 2011\_Dynamique du système racinaire de l'écosystème prairial et contribution au bilan de carbone du sol sous changement climatique. Sciences agricoles. Thèse. Doct. Univ. Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, 268p.
- PLOURDE Annie., 2007\_Croissance, développement et architecture des structures aériennes et souterraines de pins gris (*Pinus banksiana Lamd.*) dans un peuplement naturel et une plantation. Thèse. Doct. Univ. Québec, 155p.
- PREGITZER Kurt S, JOHN S King, BURTON Andrew J et BROWN Shannon E., 2000\_Responses of tree fine roots to temperature. Research review. New Phytol.147, pp 105-115.
- R.G.P.H., 2008\_(Recensements généraux de la population et de l'habitat). Amature urbain.
- REKIS Abdelkrim., 2012\_Etude spatio-temporelle du changement de la végétation de la région ouest de Biskra. Approche cartographique par télédétection. Mém. Mag. Univ. Biskra, 110p.
- ROLAND Jean-Claude, ROLAND Françoise, BOUTEAU François et BOUTEAU Hayat El Maarouf., 2008\_ Atlas de biologie végétale : Organisation des plantes à fleurs, 9<sup>ème</sup> édition. Dunod, 152p.

- SAPPA Giuseppe, ERGUL Sibel et FERRANTI Flavia., 2013\_Water quality assessment of carbonate aquifers in southern latium region, Central Italy : a case study for irrigation and drinking purposes. Springer. Water Sci, pp115-128.
- SEDRA Moulay Hassan., 2003\_Le palmier dattier base de la mise en valeur des oasis au Maroc. INRA, 265p.
- SEDRATI Nassima., 2011\_Origines et caractéristiques physico-chimiques des eaux de la wilaya de Biskra-sud est Algérien. Mém. Mag. Univ. Annaba, 252p.
- THALER Philippe., 1996\_Relations entre développement racinaire et développement aérien : Modélisation de l'influence de la disponibilité en assimilats carbonés sur l'architecture racinaire d'Hevea brasiliensis.Thèse.Doct. Univ. Montpellier 2.160p.
- THONGO M'BOU Armel., 2008\_Etude du système racinaire de l'Eucalyptus en plantation tropicale : analyse architecturale, croissance et respiration. Thèse. Doct. Univ. Henri Poincaré, Nancy I, 181p.
- TIRICHINE Aissa, BELGUEDJ Malek, BENKHALIFA Abderrahmane et GUERRADI Messaouda., 2011\_ Application des indicateurs ethnobotaniques de la diversité au palmier dattier. ISSN- 2170-1318, Algerian Journal of Arid Environment, vol. 27, N° 1, pp 19-27.

**Annexes**



## Annexe 1 : Calendrier des opérations culturales du palmier cultivar Deglet Nour

رنامة العمليات الفلاحيّة للنخلة نوعية دقلة نور  
CALENDRIER DES OPERATIONS CULTURALES  
DU PALMIER VARIETE DEGLET NOUR

العمل	جانفي	فيفري	مارس	أفريل	ماي	جوان	جويلية	أوت	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	OBSERVATIONS ملاحظات
Travaux de sol - Labour - Refection planche/cuvettes خدمة الأرض الحرث													
Fertilisation : - Organique - Minerale التسميد العضوي الطبيعي													
Desherbage - Manuel - mecanique - chimique الأعشاب الضارة الطريقة اليدوية الميكانيكية الكيميائية													
Curage des drains تنظيف الخنادق													
Pollinisation التلقيح													
Ciselage التقيب													
Limitation التجمام													
Descente des regimes التعدال													
Traitement - boufaroua - meylois - Avis culture العلاج بوفروة سوسة النمر تربية النحل													
Taille des palmes الحزم													
Protection des regimes بلاستيك													
Récolte الجنّي													
Triage - Conditionnement - Stockage الفرز التعليب التخزين													
Toilette du palmier نضافة الحقل													
Nettoyage de la palmeraie المسقى													
Irrigation المسافة بين النخلة والأخرى entre palmier et l'autre													

8-8

**Annexe 2 : Wilayas productrices de datte**

	<i>Superficie (ha)</i>	<i>Superficie occupée par les palmiers (%)</i>	<i>Nombre de palmier dattier</i>	<i>Production (Qx)</i>	<i>Deglet Nour (Arbres)</i>
<i>Biskra</i>	42040	83,6	4213332	2917184	2585251
<i>Adrar</i>	27748	100	3704782	865083	0
<i>Laghouat</i>	310	4,9	32595	10858	8970
<i>Batna</i>	192	1,1	28556	12789	8506
<i>Khenchela</i>	746	3,7	122042	58900	50200
<i>Naâma</i>	506	9,3	50600	8800	1790
<i>Bechar</i>	13870	82,7	1590722	239240	0
<i>Tamanrasset</i>	7000	85,7	688882	108590	0
<i>El-Oued</i>	36191	90,6	3729820	2022870	2413301
<i>Tébessa</i>	812	9,3	61400	18000	39000
<i>Djelfa</i>	100	0,6	9283	1490	6310
<i>Ourgla</i>	21374	99,4	2506620	1131301	1358198
<i>Ghardaïa</i>	10525	76	1214110	470000	516750
<i>El Bayadh</i>	917	7,8	77990	6806	2140
<i>Illizi</i>	1220	83	125700	15584	7727
<i>Tindouf</i>	434	87,5	45206	6075	0
<i>M'sila</i>	0	0	0	0	0

**Annexe 3 : Données climatiques durant la période de l'étude expérimental (Avril 2016 – Octobre 2016) (Office de la météorologie de Biskra)**

Les jours	Avril - 2016					
	T <sub>moy</sub> (c°)	T <sub>max</sub> (c°)	T <sub>min</sub> (c°)	H (%)	PP (mm)	V (km/h)
1	23,75	31,5	16	44	0	30,9
2	15,65	20,3	11	80	25,91	40,4
3	18,7	24,2	13,2	71	1,02	11,1
4	19,8	25,8	13,8	73	0	5,9
5	20,85	27	14,7	54	0	20,2
6	18,75	24	13,5	70	0	28,3
7	17,8	22,4	13,2	60	23,88	24,4
8	17,65	22,5	12,8	58	0	17
9	16,25	20,5	12	50	3,05	30,7
10	17	24	10	41	0	12,2
11	20,9	28,3	13,5	31	0	16,3
12	25,85	34	17,7	24	0	24,4
13	28,5	34	23	34	0	34,4
14	24	30	18	47	0	19,1
15	22,85	28	17,7	45	0	9,8
16	24,45	33	15,9	37	0	5,7
17	28	36,5	19,5	32	0	10,9
18	28,35	34,2	22,5	33	0	11,5
19	26	32	20	39	0	4,4
20	24,75	31,5	18	33	0	11,1
21	26,25	32	20,5	39	0	11,3
22	23,75	29,5	18	45	0	10,4
23	24,25	30,5	18	39	0	7,4
24	25,5	30	21	31	0	27,8
25	21,6	27,2	16	37	0	12,4
26	17,05	27	7,1	40	0	20,7
27	25	33	17	35	0	0,7
28	27,5	36	19	30	0	15,4
29	25,9	31,2	20,6	35	0	17,2
30	24,9	32,5	17,3	40	0	12,6

T<sub>moy</sub> (c°) : Température moyenne

H (%) : Humidité relative de l'aire

T<sub>max</sub> (c°) : Température maximale

PP (mm) : Précipitations

T<sub>min</sub> (c°) : Température minimale

V (km/h) : Vent

Mai - 2016						
Les jours	T <sub>moy</sub> (c°)	T <sub>max</sub> (c°)	T <sub>min</sub> (c°)	H (%)	PP (mm)	V (km/h)
1	22	27	17	33	0	30,9
2	19,15	25	13,3	31	0	21,1
3	21	27	15	35	0	14,4
4	22,2	31,2	13,2	28	0	7,2
5	23,6	27,2	20	29	0	20,4
6	25,75	32	19,5	39	0	15
7	19	28	10	49	0,25	31,1
8	22,65	29,1	16,2	51	0	19,8
9	23,75	32	15,5	42	0	38,2
10	30,75	36,5	25	30	0	28,9
11	31,75	38	25,5	28	0	26,1
12	25	29	21	30	0,25	32,6
13	25	29	21	45	0	37,8
14	21,75	27	16,5	39	0	29,4
15	22,45	29	15,9	38	0	7,8
16	26,25	36,5	16	38	0	9,1
17	25,4	33	17,8	37	0	13,1
18	27,75	34,5	21	32	0	15,9
19	27,7	31,9	23,5	43	1,02	22,6
20	26,4	32,5	20,3	36	0	18
21	22,5	30,5	14,5	38	0	7,6
22	26,5	33,5	19,5	28	0	8,1
23	29,8	37,1	22,5	25	0	8,1
24	28,8	36,1	21,5	33	0	5,4
25	30,75	39	22,5	23	0	20,4
26	33,1	42,7	23,5	19	0	7,6
27	35,3	44,2	26,4	20	0	12,6
28	36	42	30	23	0	21,5
29	28,25	35,5	21	23	0	46,7
30	28,75	35	22,5	33	0	8
31	27,8	33	22,6	35	0	19,6

T<sub>moy</sub> (c°) : Température moyenne

H (%) : Humidité relative de l'aire

T<sub>max</sub> (c°) : Température maximale

PP (mm) : Précipitations

T<sub>min</sub> (c°) : Température minimale

V (km/h) : Vent

Juin - 2016						
Les jours	T <sub>moy</sub> (c°)	T <sub>max</sub> (c°)	T <sub>min</sub> (c°)	H (%)	PP (mm)	V (km/h)
1	25,15	32,3	18	41	19,05	21,9
2	26,45	33	19,9	48	0	4,8
3	28,25	34	22,5	37	0	14,6
4	31,8	39,1	24,5	26	0	23,5
5	32,05	37,7	26,4	31	0	18,3
6	30	38	22	32	0	4,1
7	30,5	37	24	34	0	9,3
8	31,5	37,6	25,4	35	0	10,9
9	31,3	38,4	24,2	36	0	7
10	33,75	41,5	26	31	0	15,6
11	32,5	38,5	26,5	35	0	21,3
12	36,85	41,2	32,5	24	0	14,3
13	34,15	39,5	28,8	22	0	21,7
14	32,45	39	25,9	28	0	6,9
15	36,75	46,5	27	22	0	12,8
16	32,25	37	27,5	32	0	42,4
17	30,4	37,6	23,2	37	0	23,5
18	31,35	37,5	25,2	34	0	9,1
19	31	36	26	45	0	25,7
20	25,6	31,2	20	50	0	12,6
21	25,6	32,4	18,8	43	0	6,3
22	27,4	33,4	21,4	41	0	11,7
23	29,5	36	23	39	0	13,3
24	31,55	38,6	24,5	34	0	10
25	32,7	40,4	25	36	0	6,9
26	34,25	43	25,5	28	0	15,9
27	36,25	41,5	31	22	0	20,4
28	26	29	23	28	0	6,7
29	33,95	40,4	27,5	28	0	25,9
30	37,7	43,5	31,9	22	0	23

T<sub>moy</sub> (c°) : Température moyenne

H (%) : Humidité relative de l'aire

T<sub>max</sub> (c°) : Température maximale

PP (mm) : Précipitations

T<sub>min</sub> (c°) : Température minimale

V (km/h) : Vent

Juillet - 2016						
Les jours	T <sub>moy</sub> (c°)	T <sub>max</sub> (c°)	T <sub>min</sub> (c°)	H (%)	PP (mm)	V (km/h)
1	37	43	31	26	0	13,1
2	37	44	30	23	0	21,3
3	35,15	41,4	28,9	29	0	6,9
4	36,25	41	31,5	23	0	17,8
5	37,75	45	30,5	21	0	17,4
6	38,2	45	31,4	19	0	17,8
7	34,9	41	28,8	34	0	5,2
8	34,75	40	29,5	27	0	10,6
9	33,9	38,4	29,4	29	0	11,5
10	34,95	42,5	27,4	24	0	11,9
11	38,55	45,3	31,8	16	0	21,3
12	39,65	45,5	33,8	18	0	22,6
13	37	44,3	29,7	20	0	15,7
14	33,75	38,5	29	30	0	13,1
15	30,75	35,5	26	41	0	15,7
16	28,25	34	22,5	41	0	10,9
17	29,25	35	23,5	41	0	10,7
18	31,25	37,1	25,4	36	0	8,5
19	32,45	39,2	25,7	35	0	12,2
20	32,6	38,5	26,7	35	0	7
21	32,55	40,1	25	26	0	7,2
22	34,05	40,4	27,7	25	0	16,1
23	34	40,3	27,7	22	0	20,4
24	31,75	37,5	26	21	0	15,6
25	32,5	39,4	25,6	28	0	13,1
26	32,25	38,5	26	31	0	12,6
27	30,85	38	23,7	36	0	9,2
28	33,5	41	26	30	0	9,4
29	35,8	43,2	28,4	26	0	12,2
30	36,8	43,3	30,3	27	0	13,7
31	37	43	31	25	0	10,6

T<sub>moy</sub> (c°) : Température moyenne

H (%) : Humidité relative de l'aire

T<sub>max</sub> (c°) : Température maximale

PP (mm) : Précipitations

T<sub>min</sub> (c°) : Température minimale

V (km/h) : Vent

Août - 2016						
Les jours	T <sub>moy</sub> (c°)	T <sub>max</sub> (c°)	T <sub>min</sub> (c°)	H (%)	PP (mm)	V (km/h)
1	37	43	31	23	0	8,5
2	36,35	43,2	29,5	26	0	15,4
3	34,65	41,4	27,9	29	0	12,4
4	33,5	39,5	27,5	34	0	10
5	34,75	40,5	29	29	0	11,7
6	34	39,5	28,5	35	0	9,1
7	31,65	37,1	26,2	33	0	11,5
8	29,5	36	23	41	0	10,6
9	31,4	38	24,8	32	0	12
10	34,6	41,5	27,7	26	0	18,3
11	29	33	25	50	0	10,2
12	28,95	35,5	22,4	44	0,76	8,1
13	29,15	34,8	23,5	44	0	8,9
14	30,1	36	24,2	43	0	8,3
15	31,8	37,6	26	39	0	10,2
16	33,4	39,8	27	36	0	9,8
17	35,1	41	29,2	25	0	15,2
18	33,05	39,6	26,5	33	0	3,5
19	33,4	40	26,8	34	0	10,9
20	34,5	42,6	26,4	28	0	8,9
21	36,85	44,2	29,5	33	0	10,2
22	34,2	40,4	28	30	0	11,3
23	31,9	37,4	26,4	37	0	7,8
24	30,05	35,5	24,6	43	0	9,3
25	30,25	36	24,5	39	0	11,1
26	31,5	36,5	26,5	36	0	11,5
27	32,5	39	26	35	0	8
28	33,8	41	26,6	28	0	13,9
29	35,3	42,1	28,5	21	0	10,4
30	36	42	30	28	0	18,3
31	35,5	42,4	28,6	26	0	15

T<sub>moy</sub> (c°) : Température moyenne

H (%) : Humidité relative de l'aire

T<sub>max</sub> (c°) : Température maximale

PP (mm) : Précipitations

T<sub>min</sub> (c°) : Température minimale

V (km/h) : Vent

Septembre - 2016						
Les jours	T <sub>moy</sub> (c°)	T <sub>max</sub> (c°)	T <sub>min</sub> (c°)	H (%)	PP (mm)	V (km/h)
1	36	41,5	30,5	27	0	11,5
2	33,2	38,5	27,9	43	0	15,2
3	31,7	37,4	26	42	0	12,2
4	32,15	37,6	26,7	36	0	12,2
5	31,9	39,3	24,5	31	0	6,1
6	33,1	40,2	26	22	0	21,9
7	30,5	36	25	36	0	17,4
8	31,4	37,4	25,4	34	0	14,6
9	29,45	36	22,9	39	0	4,6
10	31	37,7	24,3	35	0	10,6
11	32,7	38,4	27	31	0	12,4
12	29,8	35	24,6	41	0	6,3
13	31,45	36,4	26,5	39	0	13,3
14	30	35,4	24,6	50	1,02	15
15	30,6	37,2	24	43	7,11	30,9
16	32,25	37,5	27	38	0	29,3
17	30	35,5	24,5	42	0	13,5
18	29,95	35,4	24,5	40	0	14,3
19	28,6	33,2	24	37	0	16,3
20	25,6	30,2	21	48	0	14,4
21	27,25	33	21,5	37	0,51	16,9
22	27,75	34	21,5	38	0	10,7
23	28	32	24	39	0	16,5
24	29,95	39,9	20	68	2,03	7,8
25	23,85	32,2	15,5	61	6,1	14,4
26	24,6	30,3	18,9	61	0	10,6
27	23,55	28,1	19	76	0	9,3
28	23,8	29	18,6	72	13,97	8,7
29	23,2	29,2	17,2	61	0	8
30	23,85	28,2	19,5	72	0,76	10,2

T<sub>moy</sub> (c°) : Température moyenne

H (%) : Humidité relative de l'aire

T<sub>max</sub> (c°) : Température maximale

PP (mm) : Précipitations

T<sub>min</sub> (c°) : Température minimale

V (km/h) : Vent

Octobre - 2016						
Les jours	T <sub>moy</sub> (c°)	T <sub>max</sub> (c°)	T <sub>min</sub> (c°)	H (%)	PP (mm)	V (km/h)
1	26,05	31,1	21	69	0	11,3
2	27,9	34	21,8	54	0	5,4
3	29,5	35,5	23,5	46	0	8,3
4	30	36,5	23,5	49	0	5,7
5	29,55	35,1	24	53	0	6,7
6	27,95	34	21,9	45	0	1,5
7	28,75	35,5	22	35	0	9,3
8	28	33	23	50	0	10,9
9	25,3	29,6	21	54	0,76	13,1
10	24	30	18	51	0,51	12,6
11	23,5	30	17	47	0	8,5
12	25,35	32	18,7	38	0	14,8
13	30,2	34,4	26	30	0	30,7
14	23,8	28,2	19,4	44	0,25	35,6
15	25,4	30,5	20,3	30	0	20,2
16	24,9	31	18,8	42	0	5,2
17	24,15	31,1	17,2	45	0	5,7
18	24,25	30,5	18	52	0	4,1
19	24,75	30,5	19	49	0	7,8
20	24	29	19	47	0	6,5
21	24,7	29	20,4	50	0	0,6
22	25,5	32	19	45	0,25	11,1
23	28,05	34,1	22	40	0	11,1
24	26,05	34,6	17,5	30	0	13
25	27,65	35,3	20	31	0	11,1
26	27,6	35,4	19,8	28	0	11,9
27	28,95	35,2	22,7	25	0	24,8
28	24,05	29,1	19	35	0	15,9
29	21,25	26,5	16	37	0	11,7
30	19,4	25,1	13,7	48	0	1,7
31	20,05	27,1	13	40	0	0,6

T<sub>moy</sub> (c°) : Température moyenne

H (%) : Humidité relative de l'aire

T<sub>max</sub> (c°) : Température maximale

PP (mm) : Précipitations

T<sub>min</sub> (c°) : Température minimale

V (km/h) : Vent

**Annexe 4 : Norme d'interprétation de la matière organique (méthode Anne ISO : 10693)**

Sol	Taux de matière organique (%)
Très pauvre	<1
Pauvre	1 - 2
Moyen	2 - 4
Riche	> 4

**Annexe 5 : classification du sol selon la teneur on CaCO<sub>3</sub> (Baize, 1988)**

CaCO <sub>3</sub> (%)	Teneur
1%	Non calcaire
1 – 5 %	Peu calcaire
5 – 25 %	Modérément calcaire
25 – 50 %	Fortement calcaire
50 – 80 %	Très fortement calcaire
> 80 %	Excessivement calcaire

**Annexe 6 : Classification selon le pH (Baize, 1988)**

Valeur du pH	Qualification
pH inférieur à 3,5	Hyper acide
pH entre 3,5 et 5	Très acide
pH entre 5 et 6,5	Acide
pH entre 6,5 et 7,5	Neutre
pH entre 7,5 et 8,5	Basique
pH supérieur à 8,7	Très basique

**Annexe 7 : Echelle de salinité des sols (Aubert, 1978)**

Valeur de CE (dS/m)	Degré de salinité
<0,6	Non salé
0,6 – 1,2	Peu salé
1,2 – 2,4	Salé
2,4 – 6	Très salé
>6	Extrêmement