

Liste des abréviations et sigles

Abréviations :

°C	:	Degré Celsius.
cm	:	centimètre
g	:	gramme.
m	:	Mètre.
mm	:	millimètre
mg	:	milligramme
ml	:	millilitre.
pH	:	Potentiel hydrogène
SR	:	Système racinaire
%	:	Pourcentage.

Sigles :

LRZA : Laboratoire de **R**echerche sur les **Z**ones **A**rides.

AMAP : bot**A**nique et bioinfor**M**atique de l'Architecture des **P**lantes

CIRAD: Centre de **C**oopération **I**nternationale en **R**echerche **A**gronomique pour le **D**éveloppement

MOCAF : **M**odélisation de la **C**roissance, de l'Architecture et de la **F**loraison de (*Phoenix dactylifera* L.)

Table des illustrations (Figures)

Figure 1: Classification phylogénétique des monocotylédones (Monocots). The Angiosperm Phylogeny Group, APG III (2009) in (Thomas, 2011).....	5
Figure 2: Les différentes phases de développement chez les palmiers (Tomlinson, 1990 in Thomas, 2011)....	10
Figure 3 : Plan de l'étude expérimentale.....	13
Figure 4: Matériel végétal utilisé.....	14
Figure 5: a : « Etude destructive » des graines de palmier dattier cultivées en sacs de pépinière de tailles différents, b: « Etude dynamique » des graines cultivées en rhizotron.....	14
Figure 6: Matériel de prise de mesures.....	17
Figure 7: Relevé sur rhizotron après 06 semaines du repiquage de graines de palmier dattier.....	17
Figure 8: Schéma de l'étude histologique.....	17
Figure 9: Germination de graines de palmier dattier (J 0 : mise en germination).....	20
Figure 10: Graine de palmier dattier après 55 jours du repiquage.....	20
Figure 11: Plantule de palmier dattier après 70 jours du repiquage.....	22
Figure 12: Racine adventive de plantule de palmier dattier cultivée en rhizotron.....	22
Figure 13: Plantule de palmier dattier après 100 jours du repiquage.....	23
Figure 14: Evolution du diamètre à la base racinaire au niveau de la racicule du palmier dattier en fonction du temps.....	23
Figure 15: Evolution de la longueur de la zone ramifiée en fonction de la longueur totale de la racicule chez le palmier dattier.....	23
Figure 16: Evolution de la zone apicale ramifiée et non ramifiée en fonction du temps chez le palmier dattier.....	24
Figure 17: Evolution de la longueur de la racicule et de la plumule chez le palmier dattier.....	24
Figure 18: Evolution de la longueur totale de la racicule en fonction de la plumule chez le palmier dattier.....	24
Figure 19: Vitesse de croissance de la racicule (séminale) et de la racine adventive (étude dynamique).....	26
Figure 20: Vitesse de croissance de la racicule (étude destructive).....	26
Figure 21: Evaluation de la biomasse racinaire (fraîche et sèche) chez le palmier dattier en fonction du temps...	28
Figure 22: Evaluation de la biomasse foliaire (fraîche et sèche) chez le palmier dattier en fonction du temps....	28
Figure 23: Evaluation de la biomasse sèche racinaire et foliaire en fonction du temps.....	28
Figure 24: Vitesse de croissance de la biomasse de la plumule et de la racine.....	29
Figure 25: Coupe histologique transversale réalisée à 2cm de la base de la racicule. J+ 100. Grx10.....	30
Figure 26: Coupe histologique transversale réalisée à 4cm de la base de la racicule.....	31
Figure 27: Coupe histologique transversale réalisée à 2cm de la base racinaire de la racine adventive (J+150). Grx10.....	31
Figure 28: Diagramme architectural du système racinaire jeune chez le palmier dattier âgé de 6 mois.....	32

Table des illustrations (Tableau)

Tableau 1 : Evolution de la longueur au cours du temps (étude destructive).....	21
Tableau 2:Unité architecturale du système racinaire jeune chez le palmier dattier âgé de 6 mois.....	33

Table des illustrations (Annexes)

Annexe 1 : Relevé hebdomadaire de la température durant les 6 mois de l'expérience.....	47
Annexe 2: Evolution de la longueur maximale et du nombre des racines secondaires en fonction du temps chez le palmier dattier (Etude destructive).....	48
Annexe 3: Evolution de la longueur maximale et du nombre des racines tertiaires en fonction du temps chez le palmier dattier (Etude destructive).....	48
Annexe 4: Evolution spatio-temporelle de l'anatomie de la radicule chez le palmier dattier.....	49
Annexe 5 : Relevé hebdomadaire du système racinaire de palmier dattier âgé de 6 mois.....	50

Glossaire

Architecture : l'architecture d'une plante ou d'un système racinaire peut être définie par la nature et la position relative des différents axes qui la constitue. Elle résulte du fonctionnement de ses méristèmes apicaux aériens et souterrains (**Jourdan, 1995**).

Croissance : la croissance est l'ensemble des processus biologiques qui se traduisent par une augmentation irréversible des dimensions et du poids d'un individu ou des organes qui le composent. La croissance résulte de deux processus, la division cellulaire (mérèse) et l'expansion cellulaire (auxèse)

Développement : il représente l'ensemble des transformations qualitatives de la plante liées à l'initiation et à l'apparition de nouveaux organes, le développement est un phénomène repérable dans le temps, il s'agit d'événement discret qu'on peut observer à un instant donnée.

Diagramme architecturale : la synthèse des résultats de l'analyse architecturale est représentée par un tableau récapitulatif et un ensemble de schémas (diagrammes ou représentations schématiques) (**Edelin, 1977**)

Orthotrope : *ortho* ; signifie droit. Ce terme qualifie une croissance verticale (**Kahn, 1977**)

Plagiotrope : se dit d'un organe dont l'axe de croissance s'oriente dans un plan oblique ou horizontal. Antonyme : Orthotrope (**Kahn, 1977**)

Rhizotron : dispositif expérimental qui permet d'observer, de décrire et d'analyser la dynamique de croissance racinaire.

Topologie (racinaire) : un système racinaire peut être vu comme un arrangement ordonné d'axes végétatifs. Cette structuration du système en axes agencés les uns par rapport aux autres définit la topologie du système racinaire. L'agencement de ces axes résulte essentiellement de la création de primordia racinaires par le méristème apical conduisant à une structure ramifiée (**Jourdan, 1995**)

Typologie (racinaire) : classification des différents axes racinaires basée selon des critères morphologiques et fonctionnels (**Jourdan, 1995**)

Unité architecturale racinaire : elle est basée sur la diagnose complète de toutes les catégories de racines présentes au sein du système racinaire étudié. Pour chaque catégorie d'axes racinaires, les caractères servant à leur identification (typologie) sont notés : mode de croissance, de ramification, direction de croissance, nature, ordre topologique, présence ou absence de lignification, caducité, diamètre, durée de vie... (**Edelin, 1977 ; Jourdan, 1995**)

Table des matières

Introduction.....	1
-------------------	---

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

Partie 1 : Notions générales sur le palmier dattier (*Phœnix dactylifera* L.)

1. Classification botanique.....	4
2. Ecologie du palmier dattier.....	5
3. Multiplication du palmier dattier.....	6
4. Contraintes biotiques.....	7
5. Contraintes abiotiques.....	7

Partie 2 : Structure et anatomie du palmier dattier

1. Généralités sur la partie aérienne.....	8
2. Structure de la partie souterraine.....	9
3. Phases de développement des palmiers.....	9
4. Anatomie générale de la partie souterraine (racinaire).....	11

Chapitre 2 : Etude expérimentale

Partie 1 : Matériel et méthodes

Lieux de réalisation du travail.....	13
Plan de l'étude expérimentale.....	13
1.1. Matériel végétal.....	13
a. Désinfection du matériel.....	13
b. Mise en germination	13
c. Repiquage.....	15
1.2. Dispositif d'étude dynamique.....	15
2. Méthode expérimentale.....	15
2.1. Etude destructive.....	18
2.2. Etude dynamique.....	18
2.3. Etude histologique.....	18
a. Confection des coupes à main levée.....	18
b. Coloration et conservation	18

Partie 2 : Résultats

1. Description des éléments du système racinaire.....	20
2. Evaluation du diamètre.....	21
3. Evaluation de la longueur.....	21
4. Vitesse de croissance.....	25
5. Evaluation de la biomasse.....	27
6. Etude histologique.....	29
Discussion	34
Conclusion et perspectives.....	39
Références bibliographiques.....	40
Annexes.....	46

Introduction

Oasis, lieu de vie et d'activités dans les régions sahariennes et présahariennes où le palmier dattier (*Phaenix dactylifera* L.) en est le symbole. *Phaenix dactylifera* est une espèce emblématique des régions arides et semi-arides. C'est une monocotylédone dioïque¹ à reproduction allogame, appartient à la famille des *Arecaceae*.

Le palmier dattier est, en outre, un élément essentiel des écosystèmes oasiens où il joue un rôle très important dans l'équilibre de ces écosystèmes. Il assure d'une part, la protection indispensable des cultures sous-jacentes, et d'autre part, il contribue à la lutte contre l'ensablement et cela grâce à son système racinaire fasciculé. Par ailleurs, le palmier dattier constitue l'axe principal de l'agriculture dans les régions désertiques et assure ainsi l'essentiel des ressources vivrière et financière des oasiens. Actuellement, le dattier vient au 4^{ème} rang des productions fruitières tropicales et subtropicales, avec près de 100 millions d'« arbres » répartis essentiellement au Proche Orient et en Afrique du Nord (**Bouguedoura, 2012**).

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 *Phaenix dactylifera*, 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.

Ce mémoire consiste en l'étude de l'architecture racinaire et fait suite à une première étude entreprise par **Titruc (2012)** sur la mise en place du système racinaire à partir d'une germination.

Les objectifs de notre étude sont de trois sortes et se déclinent comme suit :

- suivre la dynamique de croissance, le développement et la topologie du système racinaire
- quantifier la biomasse foliaire et racinaire
- réalisation d'une étude histologique sur des racines (séminale et adventive) à différents âges et à différentes zones racinaires

Ces objectifs visent à acquérir des connaissances fondamentales sur l'aspect dynamique de croissance, développement et architecture du système racinaire de plantules de palmier dattier au stade juvénile de 0 à 6 mois.

¹ Comporte des sujets mâles et des sujets femelles.

Notre travail est organisé autour de trois chapitres :

- Le premier chapitre consiste en une synthèse bibliographique donnant des notions générales sur le palmier dattier, sur le développement, l'architecture et l'anatomie générale de cette espèce.
- Le deuxième chapitre est l'étude expérimentale qui comprend :
 - une partie décrivant le matériel utilisé.
 - une partie qui consiste à la description des méthodes et des protocoles expérimentaux de notre étude (étude dynamique, étude destructive, digitalisation et étude histologique)
- Un dernier chapitre sur les résultats et discussion.

Synthèse bibliographique

Clicours.COM

Partie 1

Notions générales sur le palmier dattier

(*Phœnix dactylifera* L.)

1. Classification botanique

Le palmier dattier, est dénommé par Linné en 1734 (*Phœnix dactylifera* L.) (**Munier, 1973**). C'est une monocotylédone pérenne dioïque (comportant des sujets mâles et des sujets femelles) à reproduction allogame (**Beal, 1937 in Bouguedoura, 2012**), appartenant à la famille des *Arecaceae*, qui comprend de 170 à 220 genres selon **Spichiger (2004)**. Avec plus de 3000 espèces, la famille des *Arecaceae* est une des plus importantes familles des monocotylédones.

Phœnix : nom de dattier chez les grecs de l'antiquité, qui le considéraient comme l'arbre des phéniciens.

dactylifera : vient du latin **dactylus** ; dérivant du grec **dactulos** : signifiant doigt ; en raison de la forme du fruit (**Munier, 1973**)

Le genre *Phœnix* comporte quatorze espèces, la plus connue est le *dactylifera*, dont les fruits « dattes » font l'objet d'un commerce international important.

La classification botanique du palmier dattier donnée par **Djerbi (1994)** est la suivante :

Règne :	<i>Plantae</i>
Sous-règne :	<i>Tracheobionta</i> (plantes vasculaires)
Division :	<i>Magnoliophyta</i> (angiospermes)
Classe :	<i>Liliopsida</i> (monocotylédones)
Sous-classe :	<i>Arelidae</i>
Ordre :	<i>Arecales</i> (Palmales)
Famille :	<i>Arecaceae</i>
Sous-famille :	<i>Caryophoideae</i>
Genre et espèce:	<i>Phœnix dactylifera</i> L.

Les *Arecaceae* appartiennent aux Commelinidées, selon The Angiosperm Phylogeny Group, **APG III (2009)**, inclus dans le clade des Monocotyledones (59 300 espèces, 22% angiospermes) (Fig.1). La synapomorphie principale des commelinidées se situe au niveau d'un composant de la paroi cellulaire : celle-ci est en partie constituée d'une classe d'acide organique spécifique, les acides coumarique, diférulique et férulique (**Thomas, 2011**).

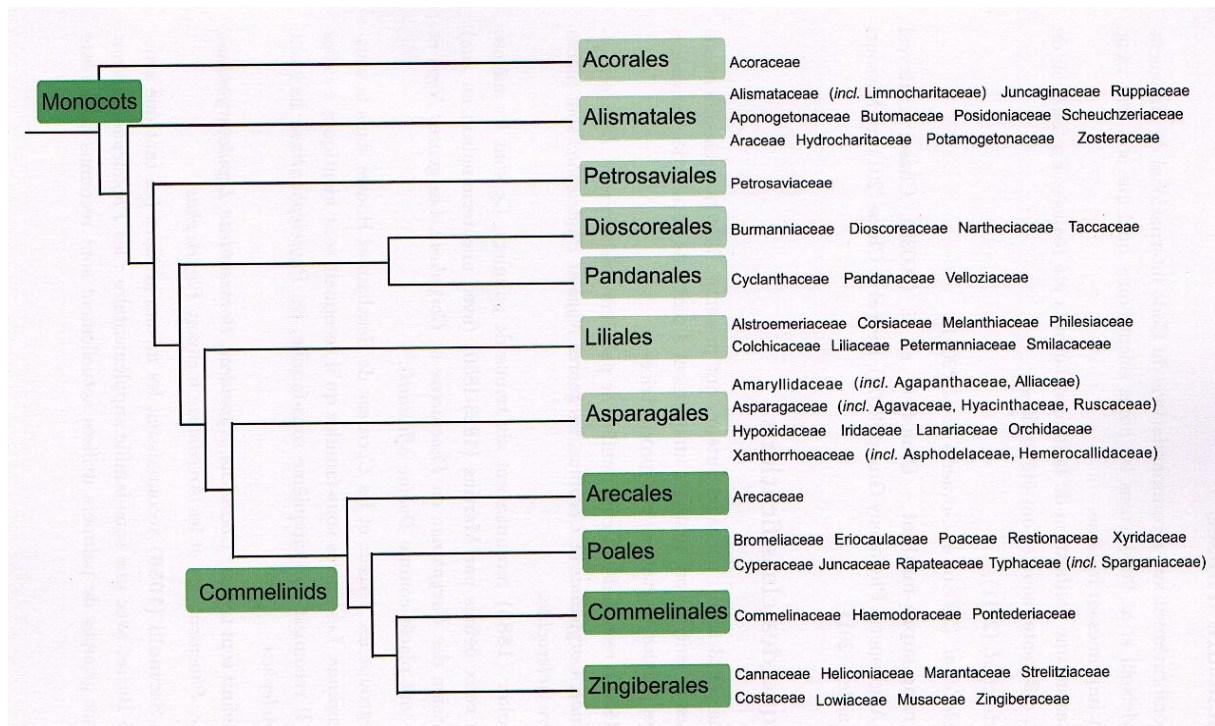


Figure 1: Classification phylogénétique des monocotylédones (Monocots). The Angiosperm Phylogeny Group, APG III (2009) in (Thomas, 2011)

2. Ecologie du palmier dattier

Malgré la résistance du palmier dattier aux climats secs et chaud, il ne peut vivre sans eau souterraine disponible et/ou irrigation. Parmi les exigences écologiques du palmier dattier, nous pouvons citer :

1. **Les exigences hydriques** : Le palmier se trouve à l'état spontané dans la plupart des régions où la pluviométrie est inférieure à 100 mm de pluie/an (**Bounaga, 1990**). Néanmoins, l'irrigation reste primordiale pour le rendement (**Bachta et al., 2006**).
2. **Les exigences édaphiques** : Le palmier manifeste nettement sa préférence pour les sols légers à faible teneur en argile. Le pH du sol varie généralement entre le 7,5 et le 8 selon **Baume (1998)**. De même les sols salins sont redoutables car ils induisent à une baisse du rendement.
3. **La température** : Le palmier dattier est une espèce thermophile qui nécessite pour sa croissance et sa production dattière des températures allant de 30°C à 40°C. Les limites extrêmes de résistance à la température sont +50°C à -6°C (**Munier, 1973**).
4. **La lumière** : Le palmier est considéré comme une plante héliophile (plante qui nécessite une forte luminosité) ; la faible luminosité favorise le développement des organes végétatifs au dépend de la production de dattes (**Munier, 1973**).
5. **L'humidité de l'air** : L'humidité faible de l'air stoppe la fécondation et cause le dessèchement des dattes, l'inverse provoque la pourriture des inflorescences et des dattes. L'humidité qui convient au palmier est souvent inférieure à 40% (**Munier, 1973**).

3. Multiplication du palmier dattier

1. Multiplication par semis

Le palmier dattier ne se reproduit pas fidèlement par graines (**Peyron, 2000**) car la multiplication par voie sexuée (par semis) aboutit à une population hétérogène, composée de 50 % de pieds femelles et de 50 % de pieds mâles (**Nixon et Fur, 1965**). Donc ce mode de multiplication n'est pas satisfaisant car la moitié de la nouvelle génération est mâle alors qu'un seul pied suffit pour la fécondation d'au moins 50 pieds femelles (**Bouguedoura, 1991 ; Bouguedoura et al., 2010**), ce mode de multiplication reste utilisé pour les travaux de recherche, ou pour obtenir de nouveaux cultivars qui peuvent se révéler d'excellente qualité.

2. Multiplication par rejet

Ce mode de multiplication asexué est usuellement pratiqué par les phœniciculteurs grâce aux rejets conformes du pied mère (**Bouguedoura, 1982**), cette technique de multiplication assure une conformité génétique du cultivar désiré par conséquent c'est la voie de propagation la plus stable et la plus efficace. Cependant elle reste confrontée au vieillissement du jardin phœnicicole qui limite le nombre de rejets. Par ailleurs certains cultivars ne produisent que très peu de rejets durant leur vie.

3. Multiplication par micropropagation

La méthode de multiplication par culture *in vitro* (CIV) est l'une des biotechnologies végétales qui permet la multiplication à l'identique et en masse des espèces végétales. Elle permet en outre la multiplication des tissus indemnes et résistants aux maladies comme la fusariose. Cependant la réussite de cette technique nécessite des conditions d'asepsie rigoureuse ainsi qu'une parfaite maîtrise de la technique (**Djerbi, 1991 ; El Hadrami, 1993 ; Bouguedoura, 2012**). A ce jour en Algérie, plusieurs cultivars ont pu être multipliés par CIV, embryogenèse somatique, organogénèse ou par protoplastes (**Chabane, 1995 ; Chabane et al., 2007 ; Chabane et al., 2010**).

4. Contraintes biotiques

Les maladies du palmier dattier peuvent entraîner soit la mort du palmier dattier, soit des symptômes spécifiques suivis d'une baisse ou de la perte totale de la production dattière. Selon **Bounaga et Djerbi (1991)** les maladies du palmier dattier sont classées sous trois termes :

1. Maladies dues aux ravageurs ou prédateurs, arthropodes principalement

L'étude complète donnée par **Vilardebo (1973)** et **El Haidari (1985)** in **Bounaga et Djerbi (1991)** décrit bien les différentes pathologies à insectes du palmier dattier, nous citons brièvement :

- Boufaroua ou Ghobar (*Oligonychus afrasiaticus* Mc Gr), Takar au Mauritanie.
- Cochenille blanche (*Parlatoria blanchardii* TARG) appelé localement Djreb ou Sem.
- Pyrale de la datte (*Myelois ceratoniae* zell) .

2. Maladies physiologiques ou indéterminées : Maladie des feuilles cassantes.

3. Maladies cryptogamiques à champignons, bactéries ou virus

- La pourriture de l'inflorescence ou Khmedj provoquée par *Mauginiella scaetiae* Cav.
- La pourriture du cœur à *Thielaviopsis*.
- La pourriture du bourgeon à *Phytophthora* sp.
- Le Bayoud ou *Trachéomycose* du dattier due à (*Fusarium oxysporium f.sp.albedinis*) qui est la maladie la plus grave.

5. Contraintes abiotiques

- Remontée de la nappe phréatique superficielle (**Ben Aissa et al., 2004**)
- Salinisation des sols à cause de la mauvaise gestion d'irrigation et du drainage (**Merrouki et al., 2011 ; Daddi Bouhoun et al., 2012**).
- Ensablement des palmeraies (**Kneyta et Doulbeau, 2008**)
- Vieillessement du verger phœnicicole (**Boukhalfa et Leplaideur, 1991 ; Kneyta et Doulbeau, 2008**).
- Délaissement du patrimoine phœnicicole pour d'autres activités rapidement rentable (**Bouguedoura, 2012**).

Partie 2

Structure et développement du palmier dattier

1. Généralités sur la partie aérienne

La structure des stipes des différents palmiers présente une grande variabilité en fonction du genre et il est possible de définir plusieurs ports, selon **Thomas (2011)** :

1. Palmier à tige solitaire en colonne.
2. Palmier à tige cespiteuse de type *Phœnix*.
3. Palmier à tige souterraine.
4. Palmier à tige rampante.
5. Palmier à tige grimpante.

Il existe donc une grande variabilité au niveau de la tige des palmiers. Celle-ci peut être quasiment inexistante ou très réduite (quelques centimètres de hauteur) ou peut atteindre 50 à 60 mètres de hauteur. Le diamètre peut être de quelques millimètres comme chez *Dypsis tenuissima* ou de plus d'un mètre chez *Borassus* ou chez *Jubaea chilensis* (**Thomas, 2011**).

Le palmier dattier (*Phœnix dactylifera* L.) est un « arbre » orthotrope, monopodique sauf exception (**Hallé et Edelin, 1987 ; Barthélémy et al., 1989 in Barthélémy et al., 1995**). Le palmier dattier est classé selon le modèle de **Corner**², il est généralement caractérisé par un seul axe végétatif à croissance apicale et continue (développement monopodial) (**Bouguedoura, 1979**), sur lequel les inflorescences sont produites de façon latérale à l'aisselle des palmes. En présence de rejets, il est classé dans le modèle de **Tomlinson**.

Le stipe est très haut et peut atteindre les 30 m de hauteur, il est cylindrique et se termine par un bouquet de palmes (**Bouguedoura, 1979**).

Les feuilles de palmier dattier se forment à partir du point végétatif suivant une spirale unique (phyllotaxie). La moyenne de l'angle phyllotaxique séparant deux feuilles successives est comprise entre 136° et 137,9°. Cet angle représente l'angle de divergence de la théorie classique (**Masson, 1915**). Les spires apparentes ou parastiches sur lesquelles s'organisent les palmes s'observent sur la couronne foliaire et sur le stipe. (**Masson, 1915**). Les bourgeons végétatifs sont formés à l'aisselle de chaque feuille (**Bouguedoura, 1979**).

Chez le palmier dattier, la gaine est fibreuse, elle entoure le stipe et toutes les feuilles qui lui sont postérieures, le limbe foliaire est composé penné. Les folioles

² Le mode de croissance, le mode de ramification, la position de la floraison, la nature orthotrope ou plagiotrope liées à la phyllotaxie qui accompagne l'orientation verticale ou horizontale des axes sont autant de critères qui permettent de classer un arbre dans un modèle donné.

sont disposées en position oblique le long du rachis, pliées longitudinalement en gouttière. Le pétiole, rigide, porte à sa base des épines provenant d'une modification des folioles basales (**Bouguedoura, 1979 ; Peyron, 1994 in Peyron, 2000**).

2. Structure de la partie souterraine

L'organisation du système racinaire du palmier dattier au stade adulte n'a pas fait objet d'étude approfondie et cela est probablement dû à la difficulté d'accès au système racinaire (**Bouguedoura, 2012**). C'est sans doute leur caractère « caché » et les techniques d'observations fastidieuses dépendantes de cet état qui ont découragé la plupart des chercheurs (**Jourdan, 1995**). Contrairement au système racinaire adulte, le système racinaire de semis de palmier dattier a fait l'objet d'étude de plusieurs recherches, citons par exemple les travaux de **Gatin (1906, 1907)**.

Selon **Munier (1973)** le système racinaire est subdivisé en fonction des zones de profondeur, sans description des ramifications. Le système racinaire du palmier dattier est fasciculé, sans pivot, et disposé en faisceaux de racines plus ou moins ramifiées. On distingue quatre types de racines selon la zone de profondeur :

1. Racines respiratoires : de 0 à 20 cm même jusqu'à 150 cm au-dessous du sol.
2. Racines de nutrition : de 20 à 100 cm.
3. Racines d'absorption : de 1 à 2 m.
4. Racine formant un faisceau pivot : de 1m à au-delà de 15m.

Il existe une autre classification de racines donnée par **Henry et Oihabi (1983) in Bouguedoura (2012)**. Selon ces auteurs il y aurait 3 types de racines différentes par leur vitesse de croissance, toutes fonctionnent en tant que système d'absorption d'eau et de sels minéraux :

1. Les racines à croissance normale mais discontinue (auxirhizes)
2. Les racines à croissance minimale (mésorhizes)
3. Les racines à croissance très lente (Brachyrhizes)

3. Phases de développement des palmiers

a. Développement de la partie aérienne

Comme les autres monocotylédones, les palmacées ne se développent pas par croissance secondaires comme les angiospermes dicotylédones et cela est dû à l'absence de cambium. **Tomlinson (1990)** a défini plusieurs phases de développement lors de la croissance des palmiers (Fig.2) et notamment la phase d'établissement lors de laquelle se met en place la tige. Selon **Schoute (1912) ; Waterhouse et Quinn (1978) in Thomas, (2011)**, il existe deux modes de croissance et de développement de palmiers, l'un est dit de type A et l'autre de type B. Ces deux modes de croissance sont définis par l'anatomie et le diamètre du stipe.

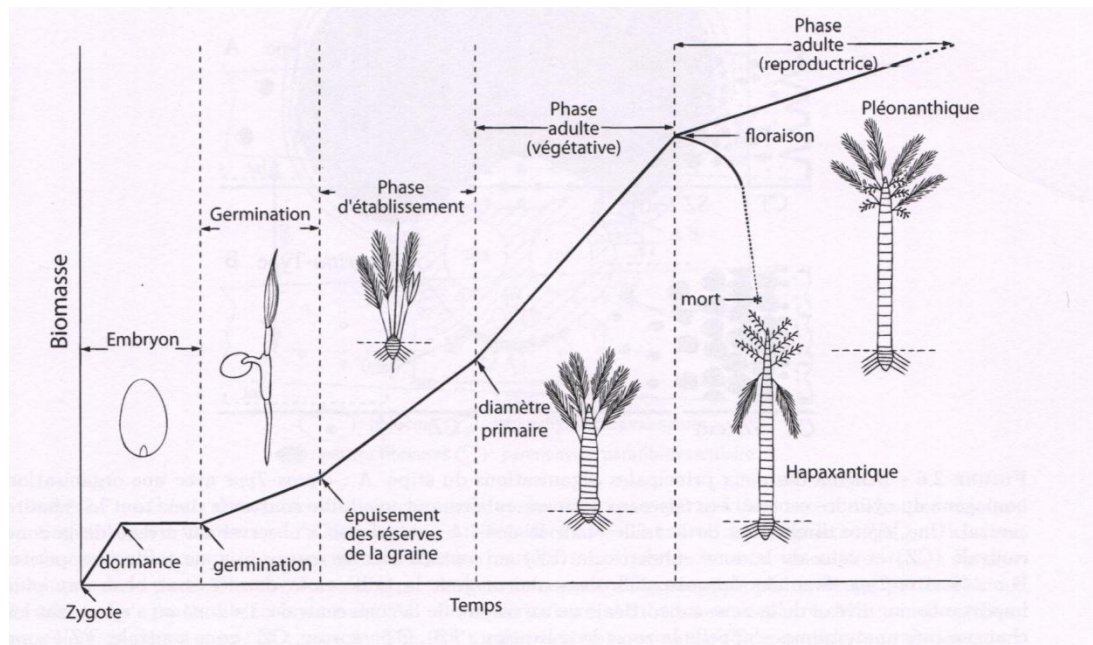


Figure 2: Les différentes phases de développement chez les palmiers (Tomlinson, 1990 in Thomas, 2011)
Espèce hapaxanthique qui ne fleurit qu'une fois contrairement aux espèces pléonanthiques

Les transitions d'une phase à l'autre sont moins rapides que ne le laissent supposer le schéma (Thomas, 2011).

b. Développement de la partie souterraine

À la germination, le palmier développe un système racinaire homologue à celui des dicotylédones, formé par un axe primaire vertical orthotrope à géotropisme positif qui émet des axes latéraux plagiotropes. Cette structure semble bloquée à ce stade et elle sera avortée après un temps variable selon le cultivar (Kahn, 1977).

La racine primaire embryonnaire est très petite qui sera ensuite remplacée par des racines latérales ou adventives (Thomas 2011) ou fasciculées, de différentes tailles, ayant un parcours tantôt horizontal, tantôt vertical (Jourdan, 1995). Ces racines adventives paraissent naître de la base des feuilles et leur poussée est tellement importante qu'elles déchirent la base subérifiée des palmes selon Toutain (1967) in Bouguedoura (1979) où il signale que « le stipe contient des faisceaux criblo-vasculaire qui semblent relier directement chaque racine à une palme bien déterminée ». Selon Tomlinson (1990) in Thomas (2011) les racines peuvent se développer sur toute la longueur de la tige.

La ramification racinaire atteint une hiérarchie d'ordre quatre au maximum avec un brutal changement de longueur et de diamètre entre chaque ordre. 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. Il n'est pas rare chez les palmiers de retrouver les racines d'ordre deux transformées en pneumatophores.

Enfin, la croissance et le développement du système racinaire du palmier dattier adulte sont fortement influencés par les conditions exogènes (climatique, édaphique, système de culture, profondeur de la nappe phréatique) et endogènes de la plante (**Sedra, 2003**). Chez le palmier dattier, le développement maximal des racines correspond au mois les plus chauds (**Hodel et al., 2005**).

4. Anatomie générale de la partie souterraine (racinaire)

La description de l'anatomie des racines de palmiers a été étudiée par plusieurs auteurs, particulièrement par **Drabble (1904)**, **Gatin (1906)** in **Bouguedoura (2012)**, **Mahabale et Udwadia (1959)**, **Tomlinson (1961)**, **Seubert (1997)**, **Fisher et Jayachandron (1999)**, **Yoshida et al., (2002)**, **Hodel et Pittenger (2003)** et **Thomas (2011)**

L'anatomie générale des racines des palmiers est de formation primaire. Les racines ne présentent pas de croissance secondaire (**Tomlinson, 1961 ; Tomlinson et Zimmermann, 1968 ; Fisher et Jayachandron, 1999 ; Thomas, 2011**) et ont une organisation similaire à celle des monocotylédones.

Les tissus composant une racine de palmier sont les suivants: rhizoderme, exoderme, cortex externe, cortex interne, endoderme, cylindre vasculaire ou stèle. (**Seubert, 1997; Fisher et Jayachandron, 1999 ; Tohams, 2011**)

Le rhizoderme des racines de premier ordre est formé par de larges cellules à parois subérifiées ou lignifiées. Sous le rhizoderme, on trouve un exoderme qui se lignifie chez les vieilles racines assurant un rôle protecteur.

La partie interne est divisée en deux : le cortex (interne et externe) et la stèle (ou cylindre vasculaire).

La partie médiane du cortex peut être constituée de larges canaux aérifères ainsi que de faisceaux fibreux très variables d'une espèce à l'autre en fonction de leur disposition, de leur taille et de leur lumière des cellules.

La stèle présente également une forte diversité en fonction de sa forme et de ses types cellulaires. Au sein d'un même individu, les jeunes racines diffèrent parfois des plus vieilles, mais la structure du cylindre vasculaire garde une certaine homogénéité (**Seubert, 1997 in Thomas, 2011**).

Matériel et méthodes

Partie matériel et méthodes

Lieux de réalisation du travail

Site : Serre université d'Oran

GPS: 35° 37' 12,065'' N 0° 36' 21,989 W

Traitement des données et interprétation des résultats : Université d'Oran, UMR AMAP / CIRAD BIOS, Montpellier. Eco&Sols / CIRAD/ INRA, Montpellier.

Plan de l'étude expérimentale (figure 03)

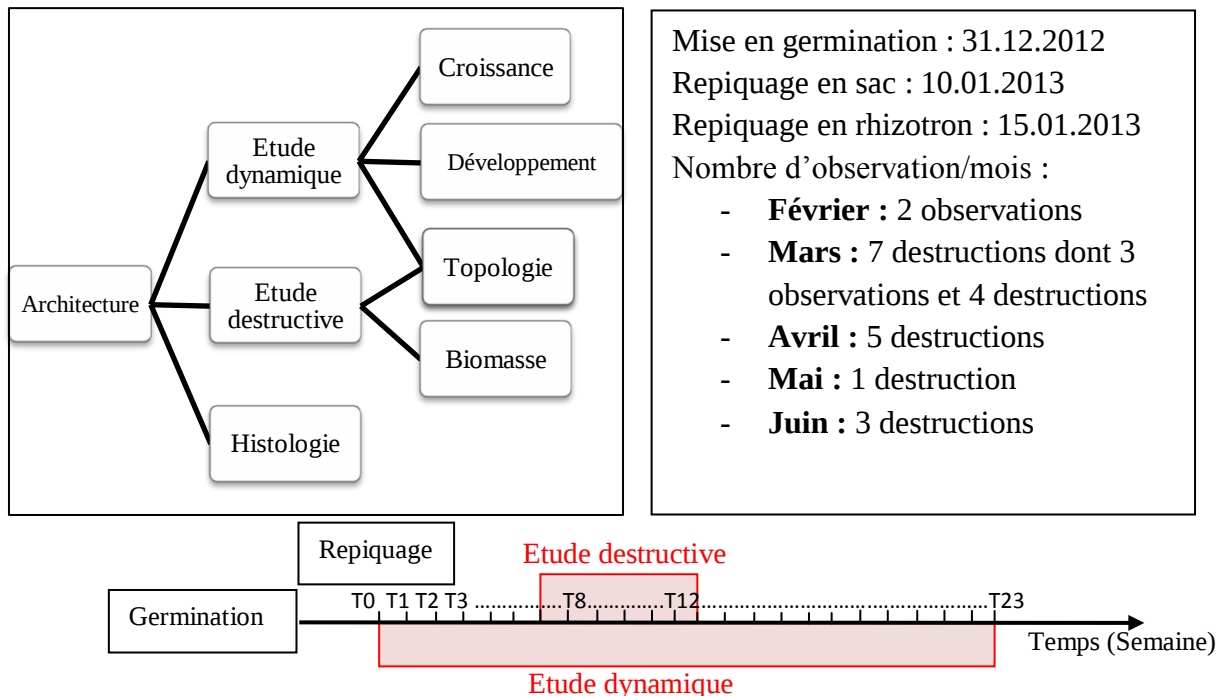


Figure 3 : Plan de l'étude expérimentale

1. Matériel

1.1. Matériel végétal : Des graines de palmier dattier, issues du même régime pour éviter une forte hétérogénéité des échantillons, ont été mises en germination (Fig.4 a et b).

a. Désinfection du matériel

Nettoyage des graines :

- Grattage des graines
- Trempage pendant 24h dans l'eau tiède
- Brossage des graines

Désinfection :

Les graines sont ensuite trempées dans une solution d'hypochlorite de sodium à 12° pendant 48h.

b. Mise en germination

Les graines nettoyées et désinfectées sont mises en germination dans des boîtes de Pétri à raison de 4 à 5 graines par boîte. Ensuite les boîtes sont mises en incubation dans une étuve à 28°C.



Figure 4: Matériel végétal utilisé. a : Graines de palmier dattier, b : Graines germées j+10. Rad : radicule



Figure 5: a : « Etude destructive » des graines de palmier dattier cultivées en sacs de pépinière de tailles différents, b: « Etude dynamique » des graines cultivées en rhizotron

c. Repiquage

Le substrat est constitué d'un mélange de sable et de terreau (V/V) pour les deux expériences. Préalablement, le sable a été lavé à l'eau et séché pour éviter la contrainte de la salinité. Les plantules ont été arrosées régulièrement à l'eau de robinet ($\text{pH} = [6,27 - 7,2]$).

Deux semaines après la germination, les graines germées ont été repiquées, toutes au même moment, dans des sacs de pépinière en polyéthylène de tailles différentes : (10cm/25cm), (12cm/30cm), (15cm/45cm), (15/70cm) à raison d'une graine par sac (Fig.5a). En ce qui concerne l'étude dynamique 4 graines ont été mises dans le rhizotron.

Afin d'éviter toute contrainte abiotique et pour avoir un milieu stable au niveau température et humidité, les échantillons ont été cultivés en serre avec un suivi hebdomadaire de température (Annexe 1).

1.2. Dispositif d'étude dynamique

Le rhizotron est de forme parallélépipédique (de 50 cm x 1m x 10cm) dont le côté inférieur est constitué d'une plaque de verre transparente (6mm d'épaisseur) qui permet de suivre la croissance racinaire. Une plaque en bois coulissante est utilisée pour éviter l'exposition des racines à la lumière, la plaque n'est tirée qu'au moment des observations. Une couche de gravier de 5 cm d'épaisseur est disposée au fond de chaque rhizotron pour faciliter le drainage. Après semis, les rhizotrons sont inclinés à 30° par rapport à l'horizontale pour permettre aux racines de se plaquer contre la plaque de verre ce qui permet de suivre la vitesse de croissance et de décrire la ramification et la géométrie du système racinaire (Fig.5b).

2. Méthode expérimentale

Ce travail a été inspiré des travaux préliminaires de **Jourdan (1995)** sur le palmier à huile (*Elaeis guinensis*) de **Pagès (1995)** sur l'hévéa (*Hevea brasiliensis*) de **Titruc (2012)** et de **Jrad (2012)** sur le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.).

L'identification et la classification des axes racinaires ont été effectuées en se basant sur des critères morphologiques et anatomiques simples (longueur, diamètre, couleur, ramification, croissance, nombre de pôles vasculaires, etc.) et parmi ces différents critères plusieurs d'entre eux nécessitent obligatoirement une observation dynamique, non destructive, pour être évalués (**Riedacker, 1974 ; Huck et Taylor, 1986 ; Neufeld et al., 1989 et Pagès, 1992**) in (**Pagès, 1995**).

Pour notre étude, deux expériences ont été réalisées parallèlement : l'une est destructive et l'autre est dynamique (Fig.5 a et b). Ces expériences permettent d'observer, de décrire et d'analyser l'architecture du système racinaire durant le stade juvénile chez le palmier dattier (de 0 à 6 mois). Parallèlement, nous présentons les relations entre les paramètres morphologiques et anatomiques. En fin de cette étude, l'ensemble des résultats de l'analyse architecturale sont synthétisés dans l'unité architecturale et dans le diagramme architectural racinaire.

Prise de mesures et observations

Les observations par destruction

Des analyses ont été effectuées sur des paramètres de la racicule, de la racine secondaire maximale (la plus longue) et de la racine tertiaire maximale (la plus longue) sur une période d'observation de 120 jours à différents âges (70, 80, 90, 100 et 110 jours après le repiquage) à l'aide d'un pied à coulisse, d'un mètre ruban, d'une ficelle et d'un double décimètre (Fig.6).

Evaluation de la biomasse

Un suivi périodique de la biomasse a été effectué à différents âges (70, 80, 90, 100 et 110 jours après le repiquage). La mesure du poids sec du système racinaire et foliaire est la donnée la plus fréquente utilisée pour chiffrer la quantité des racines.

Après avoir pesé la biomasse fraîche des parties racinaires et foliaires à l'aide d'une balance à précision, ces dernières sont placées à l'étuve à 80°C jusqu'à l'obtention d'un poids sec constant (pendant 48h).

Les observations dynamiques

Un suivi périodique du système racinaire (hebdomadaire) a été effectué sur une période d'observation de 6 mois. Il a été procédé à 24 relevés hebdomadaires réalisés sur un plastique transparent en utilisant une série de marqueurs de 4 couleurs (noir, rouge, vert et bleu), à raison d'une couleur par semaine et en tenant compte de l'ordre de l'axe racinaire et de la classe du diamètre (Fig.7). Ces observations ont pour objectifs de décrire la topologie, la typologie et la dynamique de croissance en particulier la vitesse de croissance.



Figure 6: Matériel de prise de mesures.



Figure 7: Relevé sur rhizotron après 06 semaines du repiquage de graines de palmier dattier.

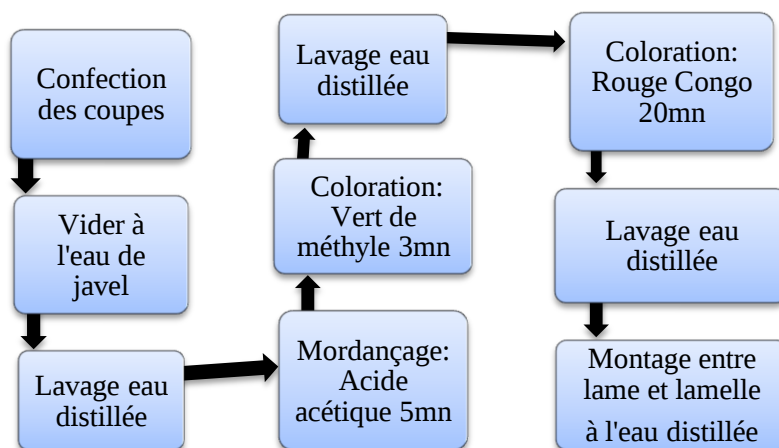


Figure 8: Schéma du protocole de l'étude histologique.

2.1. Etude destructive

Les 17 destructions ont été effectuées pour décrire les paramètres suivants :

- Diamètre à la base racinaire,
- Longueur et diamètre de la zone racinaire ramifiée et non ramifiée,
- Longueur et diamètre de la racine II et III (maximale),
- Longueur et largeur de la plumule,
- Nombre total des racines II et III,
- Poids de la masse fraîche et sèche de la partie racinaire et foliaire,

2.2. Etude dynamique

Un suivi hebdomadaire a été réalisé en effectuant des séries de relevés de 4 couleurs (noir, rouge, vert et bleu), un numéro est attribué à la fin de chaque série (1 série à 4 couleurs = 1mois). Ensuite, les feuilles de relevés de croissance racinaire ont été digitalisées au laboratoire sur table à digitaliser pilotée par le logiciel RhizoDigit.

2.3. Etude histologique

Afin de mettre en évidence les différents tissus et leur évolution dans les racines, des coupes transversales des racines ont été réalisées à différents âges et à différentes zones racinaires: à 2cm, 4 cm et 8 cm de la base racinaire, à 2cm de l'apex et au niveau de la racine adventive.

La confection des coupes transversales se fait à « main levée ». Cette technique nécessite l'utilisation d'une lame de rasoir neuve. Les coupes histologiques transversales sont réalisées avec du matériel frais ainsi que du matériel fixé dans l'alcool à 70%. Les coupes ainsi obtenues sont vidées pendant 20 minutes dans de l'hypochlorite de sodium (eau de javel) puis soigneusement lavées à l'eau distillée plusieurs fois.

Coloration et conservation : Un mordantage est effectué dans l'acide acétique 5% pour neutraliser l'hypochlorite de sodium et pour permettre la fixation ultérieure des colorants. Ensuite, les coupes sont plongées dans des colorants: Vert de méthyle (coloration des parois cellulaires lignifiées « Vert ») et rouge Congo (coloration des parois cellulaires celluloseux « Rouge »). Enfin les coupes sont rincées dans l'eau distillée et conservées au réfrigérateur (Fig.8).

Résultats

1. Description des éléments du système racinaire (étude dynamique et destructive)

À la germination, on note l'ouverture de l'opercule et la sortie de la racine embryonnaire de couleur blanche, de 3 mm de hauteur qui évolue en fonction du temps (Fig.9). Après 50 jours du repiquage, on remarque un allongement de la gaine cotylédonaire, du pétiole cotylédonaire et de la racicule. Cette dernière est marquée par une extrémité blanche ayant la structure d'un apex racinaire pointu blanc (Fig.10). Après 60 jours de repiquage, on observe un allongement de la racicule avec apparition de quelques radicelles au niveau de la base racinaire qui ne dépassent pas 4 mm de longueur. On observe aussi l'apparition de la gaine poste cotylédonaire surmontée d'une plumule (Fig.11).

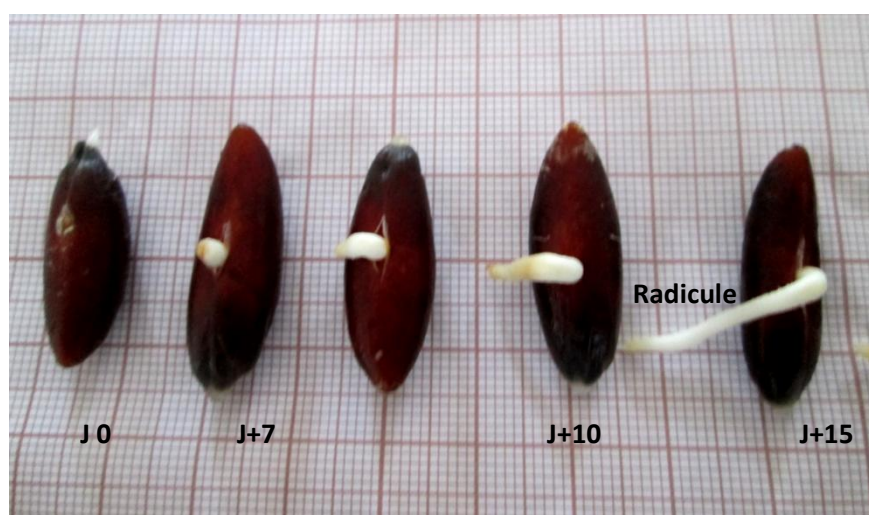


Figure 9: Phase post embryonnaire de graines de palmier dattier (J 0 : mise en germination)

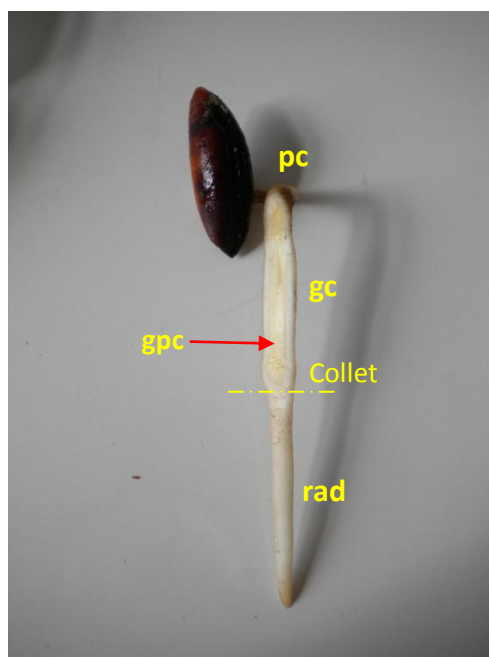


Figure 10: Graine de palmier dattier après 55 jours du repiquage
(**pc** : pétiole cotylédonaire, **gc** : gaine cotylédonaire, **gpc** : gaine post cotylédonaire, **rad** : racicule),
observé en coupe longitudinale à l'œil nu

Après repiquage de la graine, le système racinaire se met en place :

- La radicule apparaît un mois après la mise en germination. Le système racinaire est en cours d'évolution sous forme d'un axe orthotrope de couleur blanchâtre orienté vers le bas et terminé par un apex blanc pointu.
- Des racines secondaires latérales se mettent en place progressivement sur la partie basale de la radicule à partir de 70 jours après repiquage (Fig.11).
- Une deuxième racine primaire adventive apparaît environ 05 mois après le repiquage. Sa croissance est orientée vers le bas, avec une légère inclinaison à l'insertion (Fig.12).
- Après 6 mois du repiquage, on observe que la ramification des axes latéraux sur la radicule est acropète (les racines les plus jeunes sont celles qui sont les plus éloignées de la base racinaire) et couvre la majorité de la radicule à l'exception de la zone apicale racinaire non ramifiée, qui correspond à la zone d'élongation (Fig.13).

2. Evaluation des diamètres (étude destructive)

On remarque une légère évolution du diamètre à la base de la radicule en fonction du temps (Fig.14). Par contre, le diamètre à l'apex de la radicule et à l'insertion de la racine secondaire « longue » est quasiment stable et varie respectivement, de 1,3 à 1,4 mm et de 0,7 à 0,8 mm.

3. Evaluation des longueurs (études dynamique et destructive)

La longueur de la zone apicale racinaire ramifiée LTZAR augmente en fonction de la longueur totale de la radicule, par contre il y a une relation inverse entre la longueur de la zone ramifiée et la zone non ramifiée LTZANR au niveau de la radicule (Fig.15 et 16).

Les analyses faites sur les relevés de la digitalisation montrent que LTZANR varie positivement avec la vitesse d'allongement de la radicule.

On remarque que la radicule évolue parallèlement avec la plumule en fonction du temps (Fig.17). Il existe une forte corrélation entre l'évolution de la longueur totale de la radicule et la longueur totale de la plumule en fonction du temps, avec un coefficient de corrélation ($R^2 = 0,9189$)

Tableau 1 : Evolution de la longueur au cours du temps (étude destructive).

(LTR : Longueur totale de la radicule, LTZAR : Longueur totale de la zone apicale ramifiée, LTZANR : Longueur totale de la zone apicale non ramifiée). T : correspond à un temps T après le repiquage, exprimé en semaine, Exemple : T8 correspond à la huitième semaine après le repiquage.

	(T8) 70 jours	(T9) 80 jours	(T10) 90 jours	(T11) 100 jours	(T12) 110 jours
LTR (cm)	13,13 ± 1,88	17,92 ± 0,93	18,27 ± 3	21,36 ± 6,35	27,9 ± 2,71
LTZAR (cm)	2,35 ± 0,6	10,65 ± 1,35	12,25 ± 1,66	15,88 ± 4,2	25,17 ± 4,19
LTZANR (cm)	11,63 ± 0,78	7,35 ± 0,98	3,70 ± 1,09	6,85 ± 4,7	2,73 ± 1,62
Vitesse (cm/j)	0,19	0,22	0,20	0,21	0,25

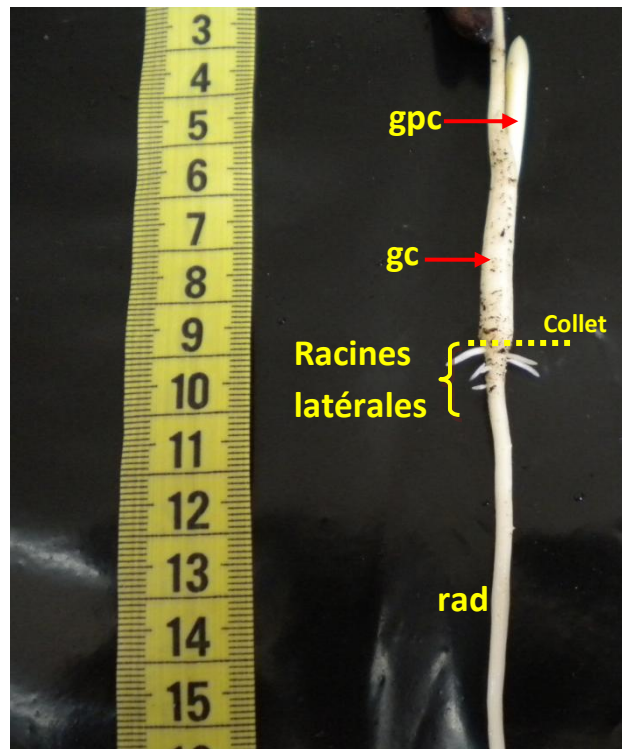


Figure 11: Plantule de palmier dattier après 70 jours du repiquage

(Etude destructive)

(**gc** : gaine cotylédonaire, **gpc** : gaine post cotylédonaire, **rad** : radicule)

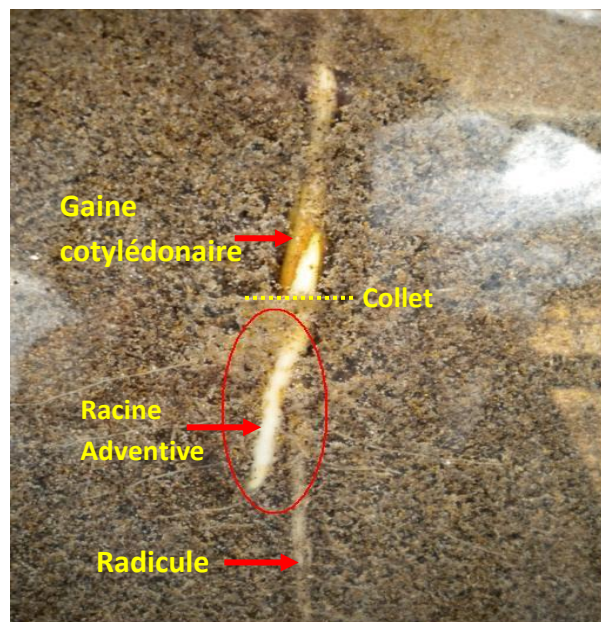


Figure 12: Racine adventive de plantule de palmier dattier cultivée en rhizotron (apparue 5 mois après le repiquage)

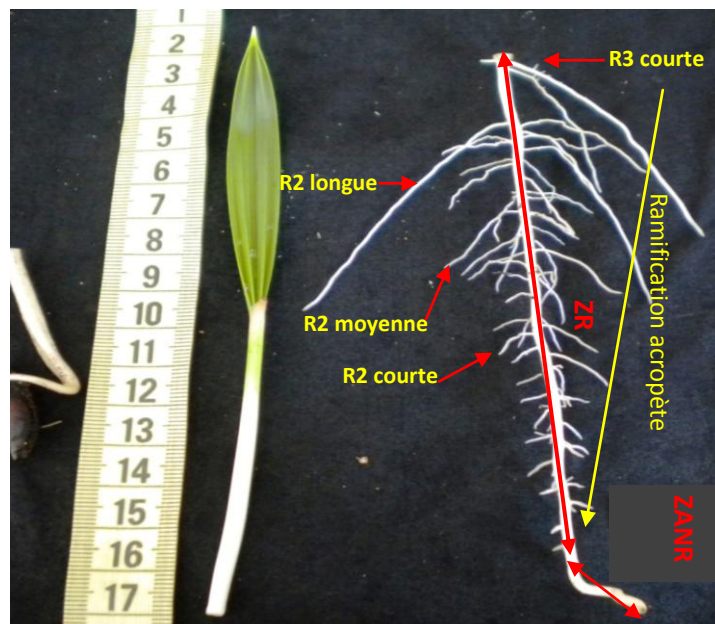


Figure 13: Plantule de palmier dattier après 100 jours du repiquage

Partie racinaire et foliaire de plantule de palmier dattier (ZR : zone ramifiée. ZANR : zone apicale non ramifiée)

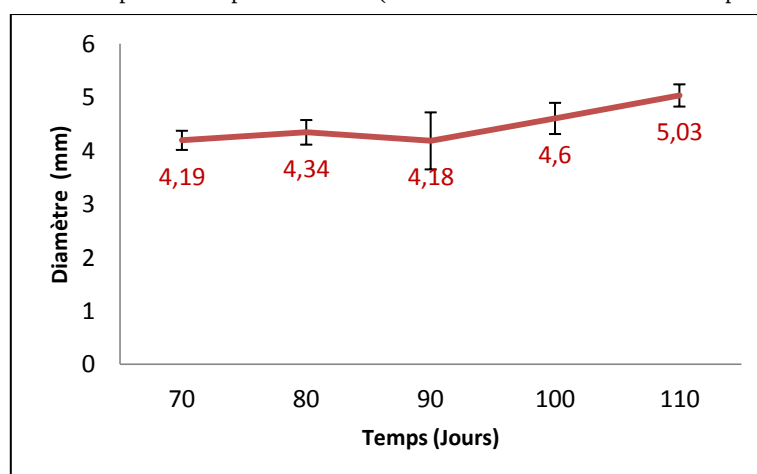


Figure 14: Evolution du diamètre à la base racinaire au niveau de la radicule du palmier dattier en fonction du temps

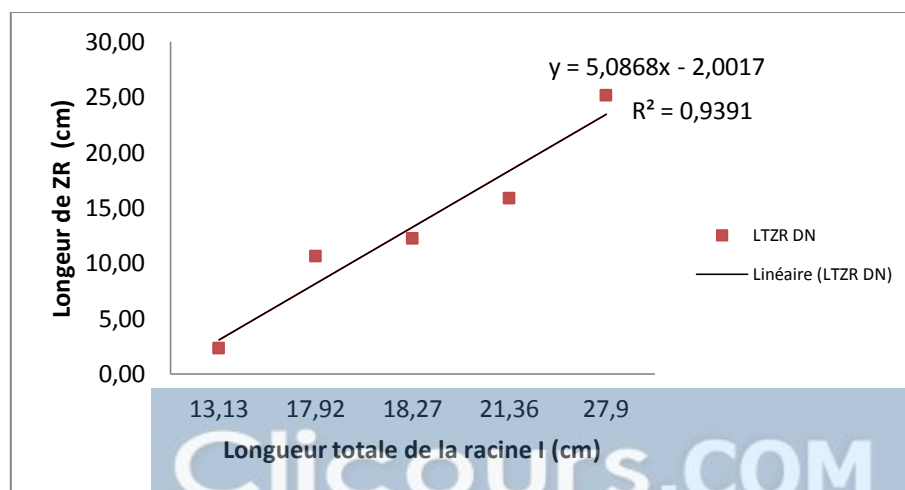


Figure 15: Evolution de la longueur de la zone ramifiée en fonction de la longueur totale de la racine chez le palmier dattier.

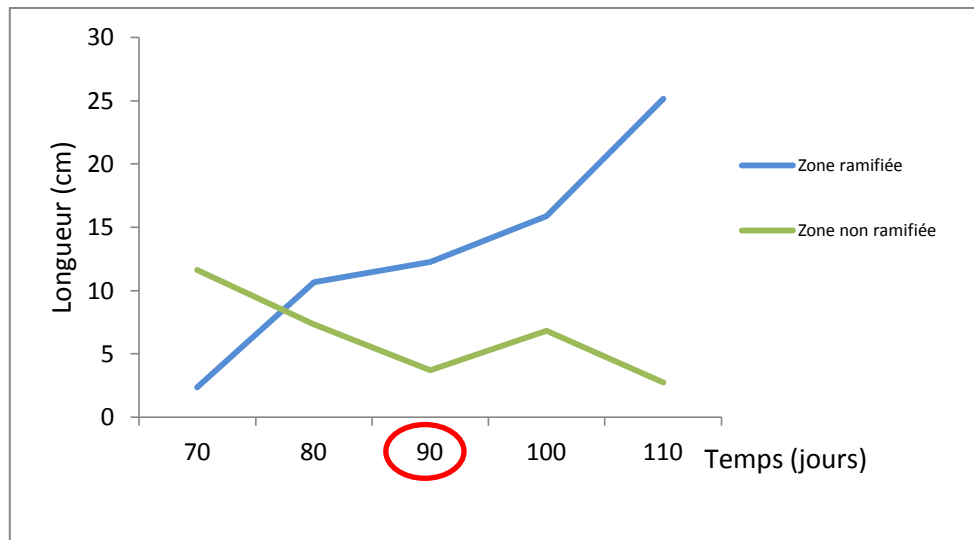


Figure 16: Evolution de la zone apicale ramifiée et non ramifiée en fonction du temps chez le palmier dattier

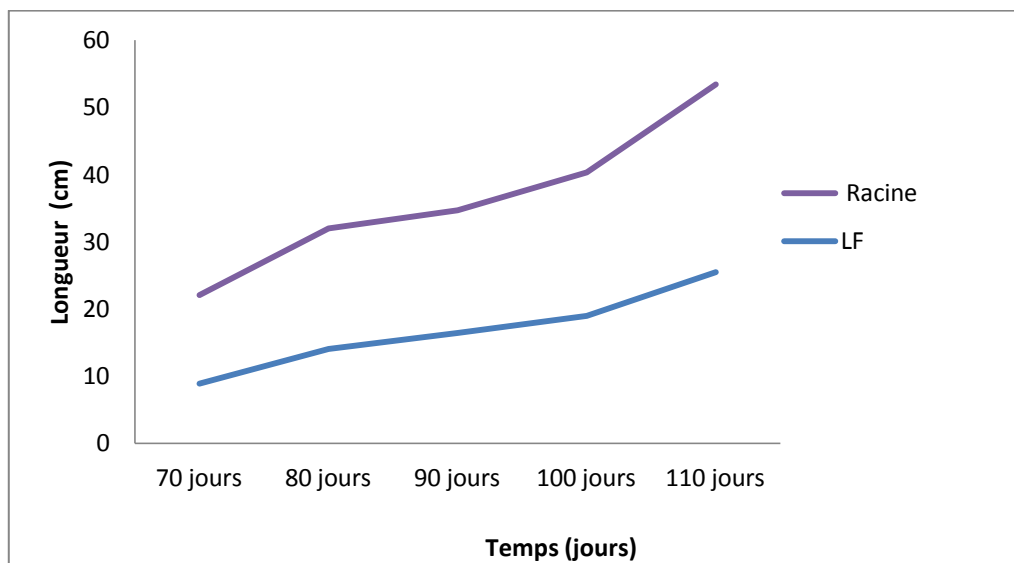


Figure 17: Evolution de la longueur de la racine et de la plumule en fonction du temps chez le palmier dattier

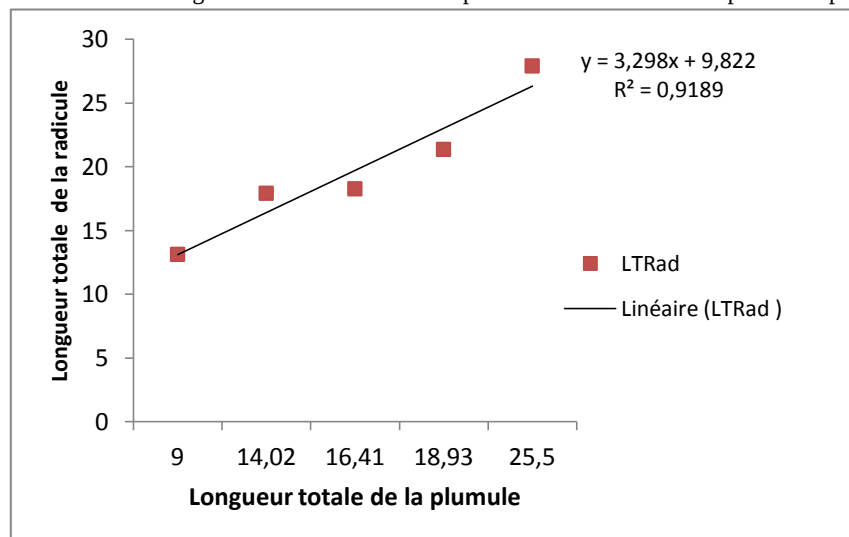


Figure 18: Evolution de la longueur totale de la racine en fonction de la plumule chez le palmier dattier

4. Vitesse de croissance, longueur (études dynamique et destructive)

Les résultats présentés dans les graphes des figures 19 et 20 montrent que pendant le période de 70 à 110 jours, la vitesse de croissance des longueurs des deux expériences, dynamique et destructive, est continue. On remarque que la vitesse de croissance en rhizotron se manifeste par des rythmes apparents et elle est deux fois plus grande par rapport à celle de l'étude destructive.

Les résultats obtenus montrent que le développement de la racicule en rhizotron est marqué par des pics de croissances qui correspondent aux pics de chaleur notamment à la 16^{ème} et à la 17^{ème} semaine après le repiquage.

Etude dynamique (en rhizotron)

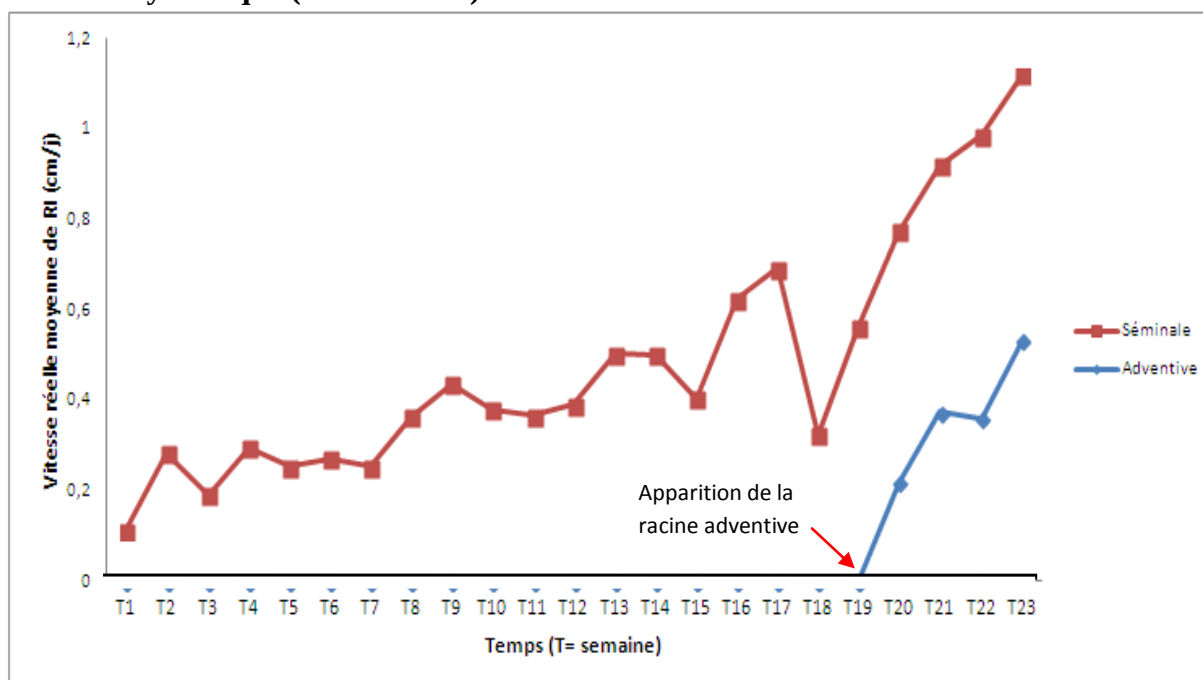


Figure 19: Vitesse de croissance de la racine (séminal) et de la racine adventive (étude dynamique)

Etude destructive (en sacs de pépinière)

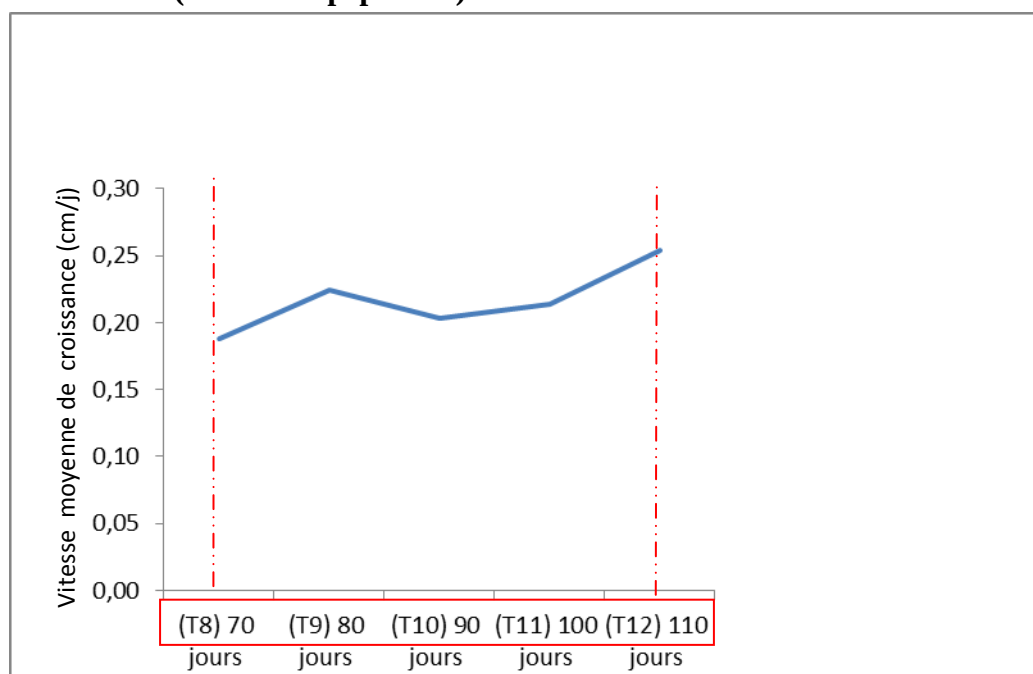


Figure 20: Vitesse de croissance de la racine (étude destructive)

5. Evaluation de la biomasse

Un suivi périodique de la production en biomasse du système foliaire et de l'ensemble du système racinaire est représenté en histogramme (Fig.21 et 22) et (Fig.23).

Selon les analyses des résultats présentés par les histogrammes, on remarque que l'augmentation de la biomasse racinaire et foliaire est fortement liée au temps (Fig.23), les corrélations enregistrées sont respectivement 0,92 et 0,95.

L'analyse de l'histogramme (Fig.23) révèle que la biomasse racinaire sèche est à peu près égale à la moitié de la biomasse sèche de la partie foliaire. On note que la partie foliaire forme la partie la plus importante en termes de biomasse par rapport à la partie racinaire.

On observe aussi, que la biomasse racinaire est fortement liée aux autres paramètres tels que la longueur de la plumule ⁽¹⁾, la longueur de la racicule ⁽²⁾ ainsi qu'au diamètre de la base racinaire ⁽³⁾. Les corrélations entre l'évolution de la biomasse racinaire et les autres paramètres sont positives : $r^2_{(1)} = 0,97$, $r^2_{(2)} = 0,95$, $r^2_{(3)} = 0,99$.

En outre, le suivi de la biomasse sèche racinaire et foliaire montre que les deux parties sont dépendantes. On constate qu'il y a une forte corrélation entre ces deux parties ($r^2 = 0,98$). De plus, ces deux parties (racinaire et foliaire) évoluent en relation linéaire en fonction temps, ($y=33x-9$), ($y=63x-5$) respectivement. Cette évolution est parallèle avec un rythme continu.

La vitesse d'accroissement de la biomasse racinaire est lente, elle varie entre 5,82 mg/jour et 6,90 mg/jour. Par contre, la vitesse d'accroissement du système foliaire est plus élevée et augmente pour atteindre son maximum à 110 jours pour une valeur de 9,54 mg/jour (Fig.24).

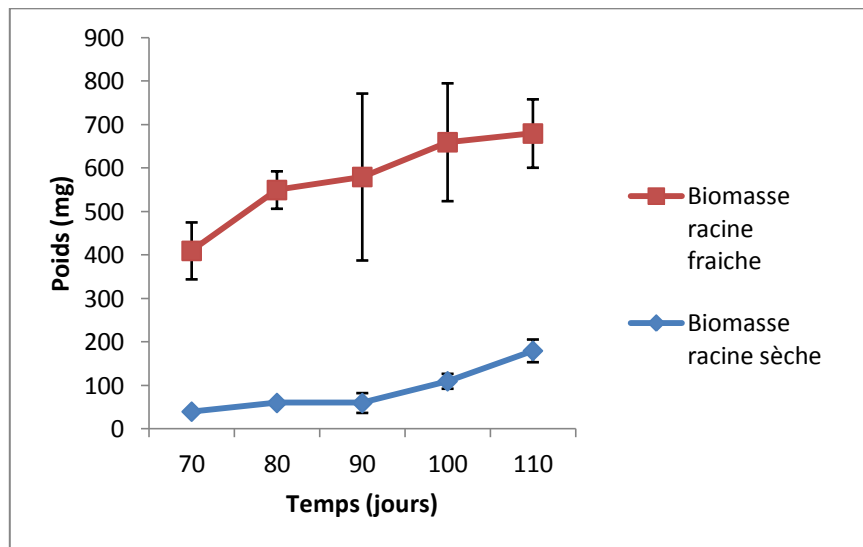


Figure 21: Evaluation de la biomasse racinaire (fraîche et sèche) chez le palmier dattier en fonction du temps

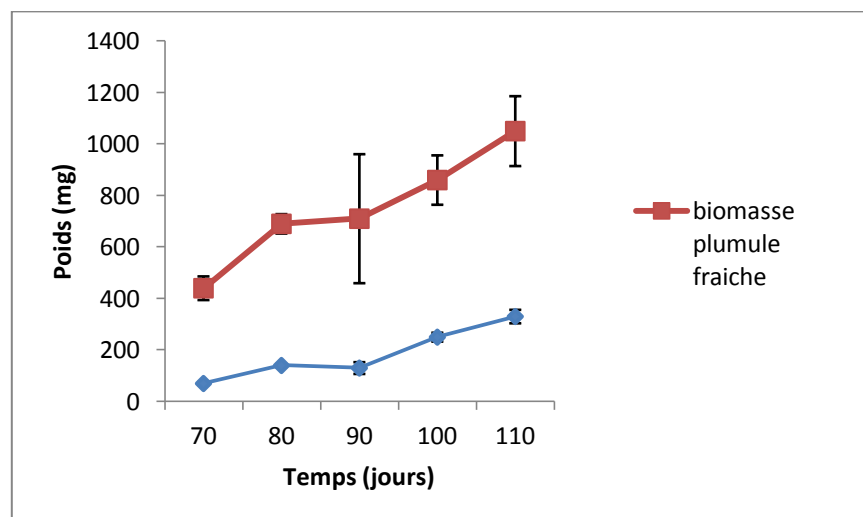


Figure 22: Evaluation de la biomasse foliaire (fraîche et sèche) chez le palmier dattier en fonction du temps

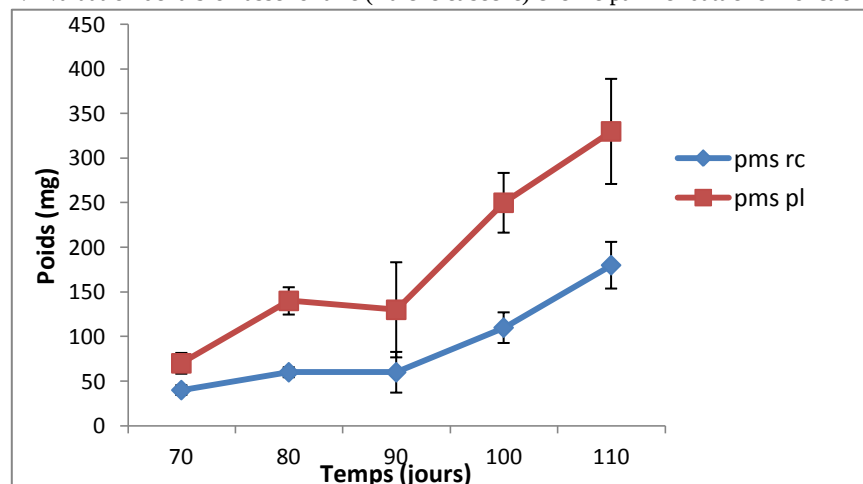


Figure 23: Evaluation de la biomasse sèche racinaire et foliaire en fonction du temps.

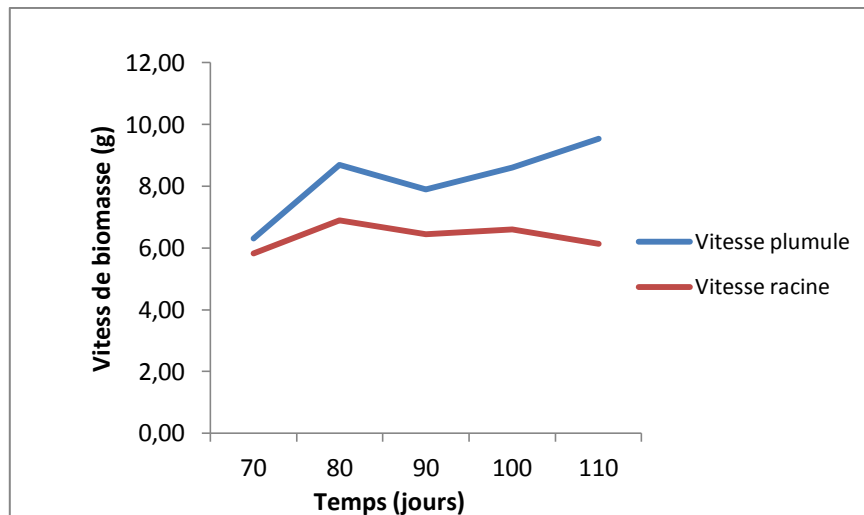


Figure 24: Vitesse de croissance de la biomasse de la plumule et de la racine

6. Etude histologique

Les coupes histologiques réalisées au cours des différents âges de croissance et à différentes zones racinaires montrent les différents tissus du système racinaire. Pendant les premiers mois de la germination, la racine est caractérisée par une très jeune formation, le cylindre central avec une petite taille par contre le cortex est plus important.

A partir de 70 jours du repiquage, les tissus de la radicule sont en cours de différenciation, l'anatomie racinaire est à symétrie axiale. Les tissus racinaires de l'extérieur vers l'intérieur sont:

- Rhizoderme composé d'une assise subéreuse (cellules subérifiées).
- Parenchyme corticale comprenant des lacunes et occupe une grande surface du cortex quel que soit la zone d'échantillonnage.
- Présence de fibres corticales qui assurent le soutien
- Endoderme subérifié en U (subérification de toutes les faces sauf l'externe)
- Péricycle avec une à deux assises.
- Tissus conducteurs uniquement primaires avec alternance de xylème et de phloème. Le nombre des pôles de xylème est supérieur à 6 marqué par de gros faisceaux de métaxylème. Le xylème est caractérisé par une différenciation centripète. On note l'absence de structure secondaire.
- Parenchyme médullaire lignifié vers l'extérieur.

Nous avons observé aussi qu'il existe une évolution de l'anatomie racinaire en fonction du temps et en fonction de la zone d'échantillonnage.

En outre, l'anatomie de la racicule est différente par rapport à celle de la racine adventive. Nous avons noté que la racicule est caractérisée par une jeune formation après 45 jours du repiquage qui évolue en fonction du temps. En ce qui concerne la racicule, le nombre de faisceaux vasculaires est compris entre 10 et 14, contrairement à la racine adventive qui comprend entre 21 à 24 faisceaux vasculaires (Fig.26 et 27).

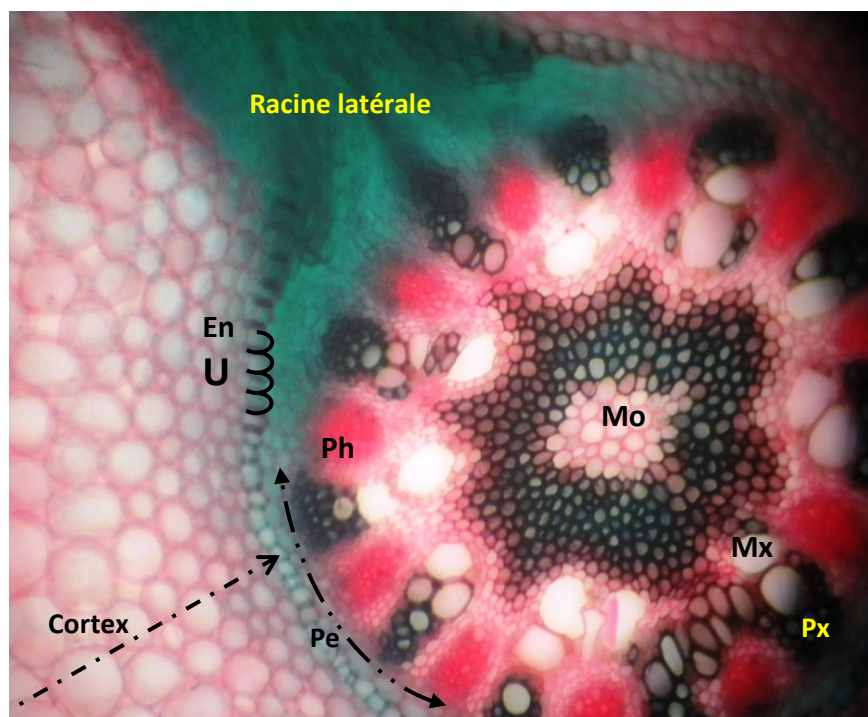


Figure 25: Coupe histologique transversale réalisée à 2cm de la base de la racicule. J+ 100. Grx10

(En U : endoderme en U, Ph : phloème, Mx: métaxylème, Px : protoxylème, Mo: Moelle,
Pe : Pericycle)

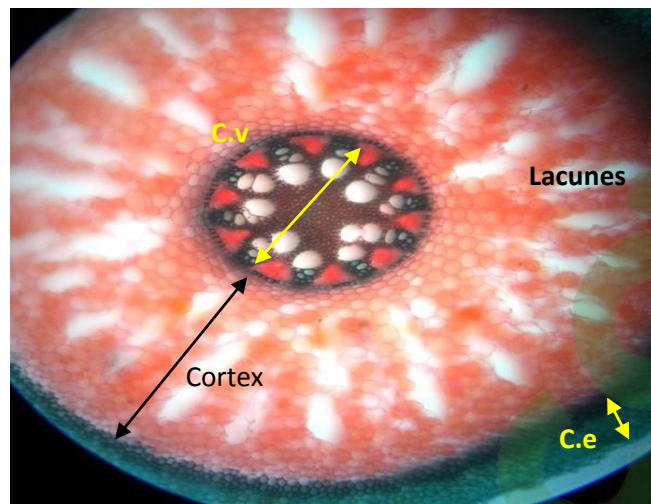


Figure 26: Coupe histologique transversale réalisée à 4cm de la base de la racine (cv : cylindre vasculaire, c.e : cortex externe ou assise subéreuse, selon Seubert, 1997) (J+90). Grx10

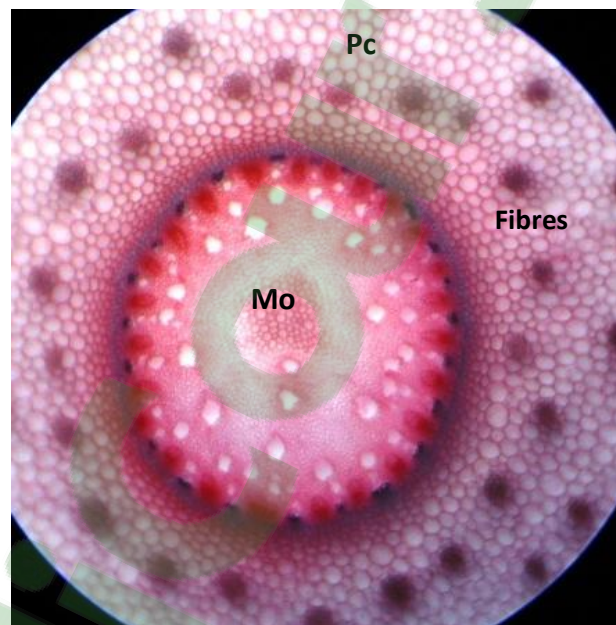


Figure 27: Coupe histologique transversale réalisée à 2cm de la base racinaire de la racine adventive (J+150). Grx10

(Mo : Moelle, Pc : Parenchyme corticale)

Synthèse des résultats

La synthèse des résultats de l'analyse architecturale du système racinaire des jeunes plantules du palmier dattier est présentée sous forme d'unité architecturale racinaire (tableau 2) et illustrée dans la figure n° 28 sous forme d'un diagramme architectural racinaire.

Diagramme architectural du système racinaire du palmier dattier âgé de 6 mois :

Remarque : angle d'insertion est schématique et la ramification de l'adventive n'ont pas été observées

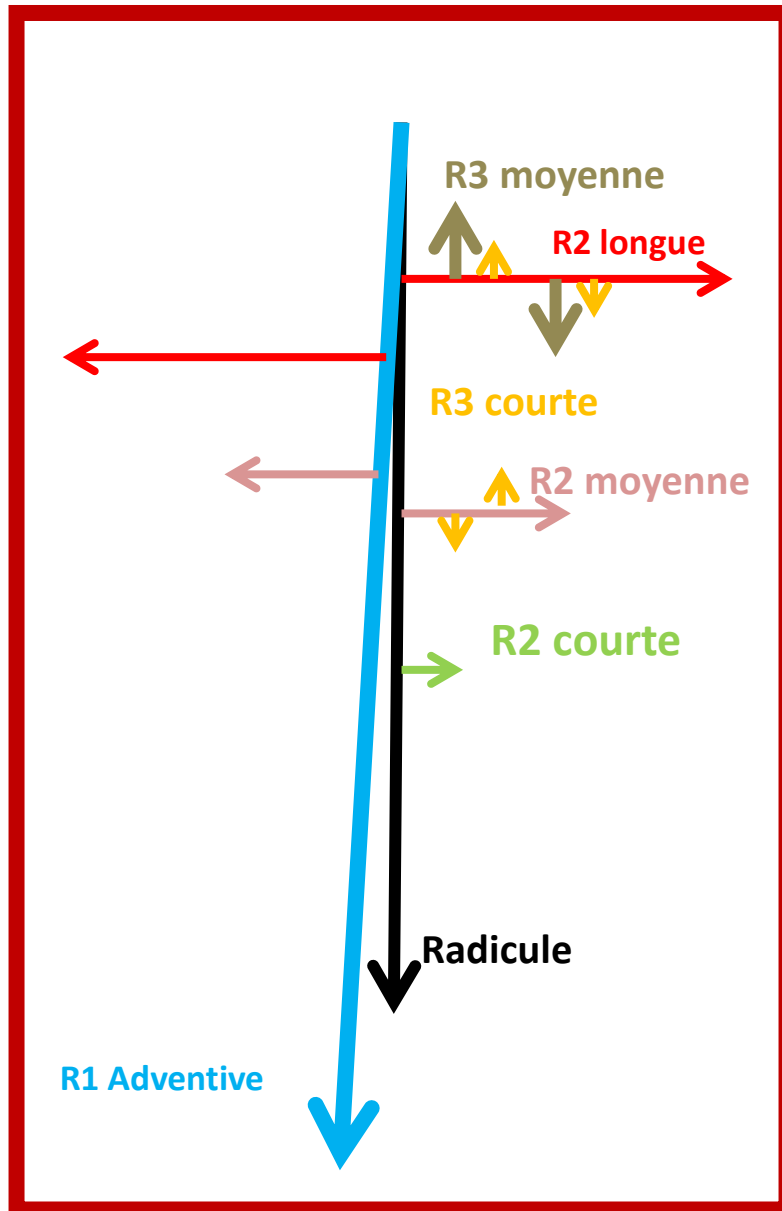


Figure 28: Diagramme architectural du système racinaire jeune chez le palmier dattier âgé de 6 mois.

Tableau 2: Unité architecturale du système racinaire jeune chez le palmier dattier âgé de 6 mois :

Type racinaire	Ordre de ramification	Croissance et direction	Ramification	Origine	Date d'apparition (J+ : nombre de jours après le repiquage)	Diamètre maximal à l'insertion (mm)	Tropisme	pôle xylème (nombre maximal)	Paquets de fibres (nombre maximal)
Radicule	1	Indéfinie (de 0 à 6 mois), vers le bas	Oui	Séminale	Juste après la germination	4,61	Orthotrope	10 - 14	0 - 39
R1 Adventive	1	Indéfinie, vers le bas	Oui	Tige	J+150	5,25	Orthotrope avec inclinaison initiale $\approx 20^\circ$ par rapport à la verticale	21 - 24	0 - 52
R2 longue	2	Indéfinie, latérale, horizontale	Oui	Radicule, R1	J+70	0,9	Plagiotrope	-	-
R2 moyenne	2	Indéfinie, latérale, horizontale	Oui	Radicule, R1	J+70 – J+80	0,8	Plagiotrope	-	-
R2 courte	2	Définie toute direction	Non	Radicule, R1	J+90	0,7	Agéotrope	-	-
R3 moyenne	3	Définie toute direction	Oui	R2 longue	J+90	0,3	Agéotrope	-	-
R3 courte	3	Définie toute direction	Non	R2 Longue et moyenne	J+90	0,3	Agéotrope	-	-

Discussions

Afin de décrire l'architecture et le développement du système racinaire, nous avons effectué une analyse de la topologie et de la typologie des différents axes composant le système racinaire du palmier dattier durant le stade juvénile (de 0 à 6 mois).

La discussion s'articulera autour de trois points :

- présentation des caractéristiques topologiques et typologiques des différents axes composant le système racinaire ainsi que leurs modes de ramification.
- étude des conditions d'expérimentation.
- comparaison des méthodes de travail (étude dynamique et étude destructive).

Caractéristiques topologiques et typologiques

Nous avons observé qu'au sein du même système racinaire, il existe une grande diversité des caractères morphologiques et anatomiques des différentes racines. Cette diversité racinaire s'exprime à travers plusieurs paramètres (diamètres, longueurs, vitesse de croissance, direction de croissance, mode de ramification et durée de vie). Ces observations sur ces paramètres ont déjà fait l'objet d'étude par **Jourdan (1995)**.

Les différents axes du système racinaire ont été groupés sous forme d'une unité architecturale en se référant à l'ordre topologique (**Jourdan, 1995 ; Pagès et al., 1995**). Ce classement est organisé en catégories de groupes de racines homogènes selon leurs caractéristiques morphologiques, anatomiques et fonctionnelles (**Edelin, 1977 ; Barthélémy et al., 1989 ; Heuret et al., 2003**).

Les résultats obtenus durant le stade juvénile ont mis en évidence 7 types racinaires ayant des caractéristiques distinctes et répartis sur 3 ordres topologiques différents. Ces types de racines représentent une unité architecturale et caractérisent l'architecture racinaire du palmier dattier au stade juvénile (de 0 à 6 mois).

Cette architecture est décrite comme suit :

La racine d'ordre 1 est issue de la graine et constitue la radicule ou racine séminale : axe primaire orthotrope générateur des axes latéraux horizontaux plagiotropes (**Kahn, 1977**).

La radicule porte les racines secondaires d'ordre 2 qui elles-mêmes se ramifient en tertiaires agéotropes. Les quaternaires ne sont apparues qu'à la fin de l'expérimentation (au 9 ième mois).

Nous avons observé sans l'ordre 1 la présence de la racine adventive.

Les racines d'ordre 2 et d'ordre 3 ont un géotropisme négatif (**Jourdan, 1995 ; Pargès et al., 1995 ; Fisher et Jayachandron, 1999**). Ces résultats sont comparables à ceux trouvés par **Timothy (1998)** sur 4 espèces de palmiers : palmier royale (*Roystonea regia*), Cocotier (*Cocos nucifera* L.), palmier de la reine (*Syagrus romanzoffiana*) et palmier nain (*Phœnix roebelenii*) et aux travaux de **Jourdan (1995)**. Ce dernier a en effet montré qu'au cours de la

phase juvénile du palmier à huile, il existe 6 à 7 types de racines répartis sur 4 ordres. Cependant, dans nos conditions d'étude, nous n'avons pas pu observer des racines d'ordre 4.

Les différents types d'axes racinaires se mettent en place en fonction du temps ; en outre la radicule et la racine adventive se caractérisent par une croissance continue au cours du stade juvénile chez le palmier dattier. Nos résultats sont similaires aux observations de **Jrad (2012)** et **Titruc (2012)**.

Le développement de la radicule en rhizotron indique un enracinement profond qui se développe verticalement. La longueur maximale de la radicule est enregistrée après 6 mois de culture en rhizotron, elle est égale à 80 cm.

La ramification des axes latéraux sur la radicule est acropète, les racines latérales (secondaires) les plus âgées sont situées à la base de la radicule. Des résultats semblables ont été observés chez le maïs (**Mollier, 1999**), le palmier à huile (**Jourdan, 1995**) et le palmier dattier (**Jrad, 2012 ; Titruc, 2012**).

La zone racinaire apicale non ramifiée (ZANR) correspond à la zone située entre l'apex et la racine latérale la plus distale, cette zone résulte de l'allongement de la radicule d'une part et de la progression du front de ramification d'autre part. Ces deux paramètres (allongement de la radicule et progression du front de ramification) sont dépendants l'un de l'autre mais non strictement liés (**Mollier, 1999**).

Nos observations montrent que la longueur de la zone racinaire apicale non ramifiée (ZANR) évolue au cours du temps. De plus, les analyses faites sur les relevés de la digitalisation montrent que la ZANR varie positivement avec la vitesse d'allongement de la radicule.

Les travaux de **Pellerin et Tabourel (1995)** sur le maïs, de **Aguirrezabal et Tardieu (1996)** sur le tournesol, et de **Pagès et Serra (1994)** sur le chêne, révèlent que la ZANR varie avec la vitesse d'élongation. De même que la pente de la ZANR et la vitesse d'allongement de la racine sont interprétées comme délai entre l'initiation des primordia et l'émergence des racines secondaires (**Mollier, 1999**). Par contre, d'autres travaux ont permis de mettre en évidence que ce délai est lié négativement à la vitesse d'allongement de la racine et varie en fonction des conditions de culture (compaction du sol, humidité, etc.) (**Aguirrezabal et Tardieu (1996) in Mollier, 1999**).

Il est important de noter que la vitesse de croissance en rhizotron est deux fois plus importante que celle enregistrée en étude destructive et en plus elle se produit sur un rythme irrégulier. Contrairement à ces résultats sur le palmier dattier, les travaux de **Jourdan (1995)** sur le palmier à huile durant la phase juvénile montrent que, sur une période d'observation de 75 jours, la radicule en minirhizotron présente une croissance continue et sans rythme apparent.

La vitesse d'élongation de l'étude destructive présente une vitesse constante, elle est égale à environ 0,21cm/j. On remarque qu'elle est plus élevée par rapport à celle trouvée par **Titruc (2012)**.

Nous avons observé que pendant la période de 0 à 6 mois, il n'a pas eu de mortalité de la racicule, disparition des racines suite à une phase de vieillissement ou sénescence d'après **Jourdan (1995)**. Par contre il y a eu des arrêts de croissance des racines d'ordre 2 (secondaires courtes) et d'ordre 3 (tertiaires moyennes et courtes).

Dans le cas de notre étude la mortalité n'a pas été mise en évidence à cause de la courte durée d'observation.

En se basant sur l'analyse de la typologie et de la topologie racinaire, on peut penser que les résultats obtenus correspondent aux observations de **Pagès et al (1995)** et de **Jourdan (1995)**; chaque type racinaire représente une population de racines considérée homogène et possédant une structure et un mode de fonctionnement similaires. Donc, chaque type de racine possède des propriétés qui le démarquent des autres types racinaires (**Atger, 1995**).

Par ailleurs, pour décrire un système racinaire on ajoute aussi d'autres paramètres évaluable comme la biomasse et l'anatomie racinaire.

À la suite des observations menées sur la totalité du système racinaire du palmier dattier, pour les âges différents, nous avons pu mettre en évidence que la biomasse racinaire sèche est à peu près égale à la moitié de la biomasse sèche de la partie foliaire. Des résultats analogues ont été enregistrés chez le palmier à huile en stade juvénile (**Jourdan, 1995**), chez le palmier dattier (**Jrad, 2012**) et également pour l'Eucalyptus durant les premiers mois de développement (**Thongo M'bou, 2008**).

L'augmentation de la biomasse sèche racinaire et foliaire au cours du temps est due à l'augmentation du nombre de racines et de feuilles de chaque palmier.

D'après **Jourdan (1995)**, cette augmentation est liée à l'augmentation du poids moyen des nouvelles racines et feuilles émises. Le diamètre et la longueur finale des racines s'accroissent, les feuilles se transforment (passage des feuilles simples aux feuilles bifides puis pennées) et leur taille augmente (**Bouguedoura, 1979**).

Les corrélations enregistrées dans notre étude entre l'évolution de la biomasse et les différents paramètres mesurés confirment les observations ci-dessus.

Selon **Ouvrier (1995)** (*in Jourdan, 1995*) la biomasse racinaire des RI représente la part la plus importante avec plus de 40 % alors que l'ensemble RIII+RIV représente une part voisine de 30 %. Par contre, pour des palmiers à huile âgés de 13 ans, **Dufrêne (1989)** a montré que la biomasse racinaire des RIII+RIV est bien supérieure (11,79 t 1ha) à celle des RI (8,33 t 1ha).

Cependant, on peut se trouver en présence d'un ensemble du système racinaire de même poids sec, mais composé de différents axes ayant des aspects totalement différents, la longueur totale, l'anatomie et le diamètre moyen. Ce qui fait penser que la mesure du poids sec de l'ensemble des axes racinaires est insuffisante pour caractériser un système racinaire, il est intéressant de disposer d'un 2^e paramètre qui puisse se mesurer en série et ne varie qu'en fonction de la longueur et du diamètre des racines (**Bonzon et Picard, 1969**), exemples du 2^{ème} paramètre : surface d'occupation des fibres, progression de la moelle sclérifiée, rapport cortex et cylindre central, etc. En partant de ces observations, on remarque que la description de l'anatomie est très intéressante pour caractériser un système racinaire (**Bonzon et Picard, 1969 ; Jourdan, 1995 ; Pagès, 1995 ; Timothy K, 1998 ; Fisher et Jayachandron, 1999**).

Les résultats de l'anatomie montrent un développement spatio-temporel de la racine du palmier dattier durant le stade juvénile.

Nos résultats sont comparables aux travaux d'autres auteurs. Ainsi, **Jourdan (1995) ; Seubert (1997) ; Fisher et Jayachandron, (1999) ; Ghayoor (2011) ; Tohams (2011) et Bouguedoura (2012)**, ont montré la présence de 6 régions principales bien distinctes : rhizoderme, exoderme, cortex externe, cortex interne, endoderme, cylindre vasculaire ou stèle.

L'anatomie du système racinaire, après 70 jours du repiquage, présente des caractéristiques typiques de l'anatomie des racines des monocotylédones. On remarque que les tissus sont en voie de différenciation et on observe une grande proportion des aérénchymes et un métaxylème caractérisé par de gros vaisseaux. Ces résultats sont aussi comparables à ceux trouvés par **Jourdan (1995), Ghayoor (2011), Yoshida (2002) et Bouguedoura (2012)**. Ces caractéristiques peuvent jouer un rôle essentiel dans la conservation de l'humidité (**Fisher et al., 2002**), ce qui est extrêmement utile dans des conditions de sécheresse (**Ghayoor, 2011**).

Nos résultats ont mis en évidence la présence de 10 à 13 faisceaux conducteurs dans la racine et de 21 à 24 faisceaux dans la racine adventive. Des résultats similaires ont été observés chez le palmier à huile au stade juvénile.

Conditions d'expérimentation

Du point de vue de la vitesse d'élongation, on remarque que celle-ci se manifeste par des rythmes apparents. Ce résultat est différent par rapport à ce qui a été observé chez le palmier à huile au stade juvénile (**Jourdan, 1995**). On peut supposer que la vitesse d'élongation de la racine est influencée par la température du sol et de l'air, cette hypothèse se justifie par les pics de vitesse qui correspondent aux pics de chaleur notamment à la 16^{ème} et à la 17^{ème} semaine après le repiquage. Cette hypothèse est comparable aux résultats de **Briske et Wilson (1977)** sur les racines adventives de *Bouteloua gracilis*, les auteurs constatent une augmentation de la longueur des racines en présence des températures variant entre 20° et 25°C et d'humidité variant entre 96% et 100%.

Les travaux de **Hodel et al., (2005)** montrent que chez le palmier dattier, le développement maximal des racines correspond au mois les plus chauds. Les travaux de **Beauchamp et Lathwell (1967)** montrent que la température des racines a une influence directe sur le méristème des pousses et sur les besoins en éléments nutritifs chez le maïs.

Nous avons eu une difficulté à décrire convenablement la longueur après 90 jours du repiquage car nous avons eu la contrainte de l'enroulement des racines au fond du sac. Ces résultats suggèrent d'améliorer le protocole d'observation par destruction et de prévoir à l'avenir des sacs plus profonds.

Comparaison des méthodes de travail

La précision et la nature des informations à recueillir varient suivant le but à atteindre. Ces méthodes sont, soit des méthodes permettant une étude qualitative et exigeant peu de moyens, soit des méthodes spécifiques ayant une parfaite valeur démonstrative, qui demandent un matériel spécialement conçu, tel que le suivi en rhizotron (**Bonzon et Picard, 1969**).

La méthode de suivi de croissance et du développement du système racinaire en rhizotron pendant le stade juvénile, nous a permis d'analyser et de décrire l'architecture racinaire. Cette analyse a abouti à une topologie des axes et à une caractérisation de leur position d'apparition dans le temps et dans l'espace. Cependant, il a été observé que les racines secondaires et tertiaires s'expriment mieux en sacs de pépinière qu'en rhizotron.

La méthode d'observation par destruction est basée sur l'étude morphologique et géométrique du système racinaire (**Bonzon et Picard, 1969 ; Jourdan, 1995 ; Pagès, 1995**). Cette méthode ne s'effectue qu'à un stade donné du développement.

La différence entre les deux méthodes se manifeste par la vitesse d'élongation de la racicule. Nos résultats ont montré que la vitesse en rhizotron est plus importante que celle enregistrée par destruction, cette différence est probablement due à l'absence d'obstacle et à la présence de la vitre qui favorise le glissement de la racicule. Par contre, il a été observé que les racines latérales (secondaires et tertiaires) s'expriment mieux en sacs de pépinière qu'en rhizotron. Cette observation a été confirmée par la différence enregistrée entre le nombre de racines secondaires et tertiaires des deux expériences. On remarque aussi que la densité de ramification des racines cultivées en sacs est plus importante que celles cultivées en rhizotron.

Bien que les deux méthodes soient complémentaires, on note que les résultats (la longueur, la vitesse, nombre de racines) sont liés à la méthode d'observation et non aux conditions physiques d'expérimentation. Notre travail a été limité par une courte durée d'observation par destruction. En effet, il nous a été difficile dans le cas de l'étude destructive d'effectuer suffisamment d'analyses morpho-anatomiques de la racine adventive.

Conclusion et perspectives

Notre travail vise à contribuer au développement d'une production et d'une acquisition de connaissances fondamentales sur l'aspect dynamique de la croissance, du développement et de l'architecture du système racinaire de plantule de palmier dattier au stade juvénile de 0 à 6 mois.

Les deux expériences, destructive et dynamique, développées dans ce travail ont permis d'identifier les différents éléments du système racinaire.

La typologie et la topologie racinaire ont été définies en se basant sur des caractères morpho-anatomiques divers, comme la longueur des axes, les diamètres des axes et l'histologie. L'analyse de la typologie et de la topologie durant la période de 0 à 6 mois révèle qu'il existe 7 types racinaires ayant des caractéristiques distinctes et répartis sur 3 ordres topologiques différents.

La mise en place des différents types d'axes racinaires évolue en fonction du temps et en fonction du type racinaire. Quant à la vitesse de croissance racinaire, elle est variable selon le type racinaire, l'ordre de ramification et selon la classe du diamètre.

La racicule est caractérisée par une croissance continue durant la période de 0 à 6 mois, par contre la croissance des racines secondaires et tertiaires est variable selon le type racinaire et selon la position relative sur l'axe porteur.

La ramification des racines secondaires sur la racicule est de type acropète, autrement dit les racines secondaires les plus longues se situent à la base racinaire et les plus courtes sont situées vers la partie apicale non ramifiée.

Nous avons remarqué une absence "d'élagage" de la racicule durant la période de 0 à 6 mois, par contre il y a eu un arrêt de croissance au niveau des racines secondaires courtes.

Ce travail vise, en outre, à mettre en évidence les différentes relations qui existent entre la partie aérienne (foliaire) et souterraine (racinaire). L'évaluation de l'évolution de la longueur et de la biomasse racinaire et foliaire montre que la croissance des deux compartiments est continue en fonction du temps pour la période de 0 à 6 mois.

Le suivi de la biomasse révèle que la partie racinaire est liée à la partie foliaire dans la mesure où elles évoluent toutes les deux mais pas à la même vitesse. On note que la biomasse racinaire sèche est environ égale à la moitié de la biomasse sèche de la partie foliaire.

L'histologie du système racinaire est variable selon la nature de l'axe racinaire (la racicule et la racine adventive), la partie de la racine observée (par rapport à la position relative sur l'axe) et selon l'âge de la plantule.

En perspective, il serait intéressant de décrire les caractères géométriques tels que l'angle d'insertion et la rhizotaxie.

De plus, il serait important de réaliser des observations sur champs et sur des individus à différents âges (semis, rejets, palmier dattier adulte) et aussi sous des conditions différentes, tels que le stress salin et le stress hydrique.

Références bibliographiques

- A -

Atger C. (1995) - Le développement par intercalation dans les systèmes racinaires des arbres. Compte rendu du séminaire annuel du Groupe de Physiologie de l'Arbre. La racine et le système racinaire. 8- 19.

Aguirrezabal L., Dellens E., Tardieu F. (1994) - Root elongation rate is accounted for by intercepted PPFD and source-sink relations in field and laboratory-grown sunflower. *Plant, cell and environment*. 17. 443-450.

Aguirrezabal L. et Tardieu F. (1996) - An architectural analysis of the elongation of field-grown sunflower root systems. Elements for modelling the effects of temperature and intercepted radiation. *Journal of experimental botany*. Vol 47. N° 296. 411-420.

- B -

Bachta M. S., Le Gal P Y., Rhouma A. et Kuper M. (2006) - Economie des systèmes irrigués au Maghreb. Deuxième atelier régional du projet Sirma, Marrakech, Maroc.

Barthélémy D., Edelin C. et Hallé F. (1989) - Architectural concepts for tropical trees. *In : Tropical forests : botanical dynamics, speciation and diversity*. L.B. Holm Nielsen, I.C. Nielsen, H. Balslev Eds. San Diego : Academic Press. 89-1.

Barthélémy D., Blaise F., Fourcaud T et Nicolini E. (1995) - Modélisation et simulation de l'architecture des arbres : Bilan et perspective. *Rev. For. Fr.* XL VII.

Baume N. (1988) - Arbres et arbustes de l'Egypte ancienne, n° 81. Peters Publisher. 381p.

Beauchamp EG., Lathwell DJ. (1967) - Root-zone temperature effects on the early development of Maize. *Plant and soil* XXVI, n°2. 224-234.

Beal J.M. (1937) – Cytological studies in the genus *Phoenix*. *Bot. Gaz.*, 99. 400-407.

Ben Aisa I., Bouksila F., Bahri A., Bouarfa S., Chaumont C. et Hirchi W. (2004) - Gestion de l'eau et des sels au sein d'une oasis du sud Tunisien. Actes du séminaire : Modernisation de l'agriculture irriguée. Rabat. 12p.

Bonzon B. et Picard D. (1969) - Matériel et méthodes pour l'étude de la croissance et du développement en pleine terre des systèmes racinaires. *Cah. ORSTOM. Séri. Biol.*, n° 9. 3-18.

Bouguedoura N. (1979) - Contribution à la connaissance du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). Etude des productions axillaires. Thèse Doct 3^{ème} cycle. USTHB. Alger, 64p.

Bouguedoura N. (1982) – Development and distribution of axillary buds in *Phoenix dactylifera* L. The first symposium on the date palm, King Faisal University, Al Hassa, Saudi Arabia. 23-25 mars 1982. 40-45.

Bouguedoura N. (1991) - Connaissance de la morphogenèse du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). Etude *in situ* et *in vitro* du développement morphogénétique des appareils végétatif et reproducteur. Thèse Doct d'état, USTHB. Alger. 201p.

Bouguedoura N. (2012) – Le palmier dattier : Développement morphogénétique des appareils végétatifs et reproducteurs. Ed Universitaire Européenne. 180p.

Bouguedoura N., Bennaceur M., Benkhalifa A. (2010) - Le palmier dattier en Algérie : Situation, contraintes et apports de la recherche. In : Biotechnologie du palmier dattier. Editions IRD, France. 15-22.

Boukhalfa M. et Leplaideur Schmidt M.A. (1991) – Le palmier dattier en Algérie. Un don de Dieu oublié des hommes. Syphia. 25. 8-9.

Bounaga N. (1990) - Les apports de la physiologie des palmiers dattiers à la régénération des palmeraies: Le palmier dattier: rappels biologique et problèmes physiologiques. Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi arides. Groupes d'étude de l'arbre, Paris-France. 323-336.

Bounaga N. et Djerbi M. (1991) - Pathologie du palmier dattier. CIHEAM Opt Médit, Sér. A. N°11. 127-132.

Briske D.D et Wilson A.M. (1977) - Moisture and temperature requirements for adventitious root development in blue grama seedlings. Journal of range management 31 (3). 174- 178.

- C -

Chabane D. (1995) - Etude des aptitudes morphogénétiques de divers explants des rejets du palmier dattier (*Phaenix dactylifera* L.) chez deux variétés Takerboucht et Deglet nour pour induire une embryogenèse somatique. Thèse de Magister, USTHB. Alger. 103 p.

Chabane D., Assani A., Bouguedoura N., Haïcour R. et Ducreux G. (2007) - Induction of callus formation from difficile date palm protoplasts by means of nurse culture. C.R.Biologies 330. 392-401

Chabane D, Bouguedoura N, Assani A (2010) Importance of protoplast culture in the genetic improvement of date palm (*Phoenix dactylifera* L.). Proc. 4th Int. Date Palm Conference Eds.: A. Zaid and G.A. Al Hadrami Acta Hort. (ISHS) 882. 185-192.

- D -

Daddi Bouhoun M., Saker ML., Boutoutaou D., Brinis L., Kemassi A. et Ould El Hadj M.D. (2012) – Impact des eaux phréatiques sur la salinité et le rendement du palmier dattier à Ouargla. Algerian journal of arid environment. Vol 2. N° 2. 71-77.

Djerbi M. (1991) - Biotechnologie du palmier dattier (*Phaenix dactylifera* L.): Voies de propagation des clones résistantes au Bayoud et de haute qualité dattière. CIHEAM-Opt Médit. Séminaires, N°14. 31-38.

Djerbi M. (1994) - Précis de phœniculture, F.A.O, Rome. 191 p.

Drabble E. (1904) - On the anatomy of the roots palms. Trans. Linn. Soc. Lond. Ser. 2.6. 427-490.

Dufrêne E. (1989) - Photosynthèse, consommation en eau et modélisation de la production chez le palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.). Thèse 3e cycle, Univ. Paris-Orsay. 156p.

- E -

Edelin C. (1977) - Images de l'architecture des Conifères. Thèse de Doctorat à Université des Sciences et Techniques du Languedoc - Montpellier II. 278 p.

El Hadrami L. (1993) - Rapport de synthèse de l'atelier « Culture *in vitro* du Palmier dattier ». Ciheam-Opti Médit. Maroc. 167-176.

El Haidari H. (1985) – Palm and date arthropod pest in the Near East and North Africa. Rome. FAO. 62p.

Emberger L. (1960) – Les végétaux vasculaires. Masson, Paris.

- F -

Fisher J.B. et K. Jayachandran K. (1999) - Root structure and arbuscular mycorrhizal colonization of the palm *Serenoa repens* under field conditions. Pl. Soil 217. 229-241.

Fisher J.B., Tan H.T.W. and Toh L.P.L. (2002) - Xylem of rattans: vessel dimensions in climbing palms. Am. J. Bot. 89. 196-202.

- G -

Gatin C.L. (1906) – Recherches anatomiques et chimiques sur la germination des palmiers. Ann. Sc. Nat. Bot. 9^e série, 3. 191-315.

Gatin C.L. (1907) – Observation sur l'appareil respiratoire des organes souterrains de palmiers. Rev. Gen. Bot., 19. 193-207.

Ghayoor F. (2011) – Root anatomical characteristics of some date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars of diverse origin. Master of Science (HONS.). Horticulture. University of agriculture. Faisalabad. 120p.

- H -

Hallé F et Edelin C. (1987) – L'analyse architecturale des arbres. in : 6^e colloque sur les recherches fruitières. Bordeaux. 10-11 décembre 1986. Pont-de-la Maye. CTIFL ; Paris, INRA. 1987. 5-19.

Henry P. et Oihabi A. (1983) – Contribution à l'étude du système racinaire chez le palmier dattier. Bull. Fac. Sc. Marrakech (Sect. Sc. Vie). 2. 171-178.

Heuret P., Nicolini E., Edelin C., Roggy J.C. (2003) – Approche architecturale pour l'étude des arbres de forêt tropicale humide Guyanaise. Rev. For. Fr. LV. Numéro spécial. 158-178.

Hodel D.R. et Pittenger D. R., 2003. Studies on the establishment of date palm (*Phoenix dactylifera* 'Deglet Noor') offshoots. Part I. Observations on root development and leaf growth. PALMS. 47 (4). 191-200.

Hodel D.R., Pittenger D.R. et Downer A.J. (2005) - Palm root growth and implications for transplanting. Arboriculture 31(4). 171-181.

Huck M.G. et Taylor H.M. (1986) – The rhizotron as a tool of root research. Advances in agronomy 35. 1-35.

- J -

Jourdan C. (1995) - Modélisation de l'architecture et du développement du système racinaire du palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.). Thèse de doctorat. Biologie des Systèmes Intégrés, Agronomie et Environnement. 278p.

Jrad A. (2012) - Développement du système racinaire chez le palmier dattier issu de semis. Mémoire de master. Biologie & Environnement. Université de Gabès, Tunisie. 64p.

- K -

Kahn F. (1977) - Analyse structurale des systèmes racinaires des plantes ligneuses de la forêt tropicale dense humide. CODEN: CNDLAR, 32(2). 321-358.

Kneyta M., Doubeau S. (2008) – Le palmier dattier en Mauritanie. Contrainte de la phœniciculture en Mauritanie. 3^e séminaire du réseau AUF-BIOVEG. « Biotechnologie du palmier dattier ». Montpellier, France.

- M -

Mahabale T.S et Udwadia E.E (1959) - Studies on palm : Part IV : Anatomy of palm roots. Proc. Natn. Inst. Sci. India. 20B. 37-104.

Masson C. (1915) - Botanical characters of the leaves of the date palm used in distinguishing cultivated varieties. Bulletin of the US department of agriculture. Washington. n° 223. June 23. 1915.

Merrouki K., Cherfouh R. et Derridj A. (2011) - Eaux d'irrigation et comportement des cultures sous palmiers dattier dans l'oued righ (Sud-Est algérien). Troisième conférence internationale Watarid. France.

Mollier A. (1999) - Croissance racinaire du maïs (*Zea mays* L.) sous déficience en phosphore. Etude expérimentale et modélisation. Thèse de doctorat. Unité d'agronomie. Université Paris-Sud. 200p.

Munier P. (1973) - Le palmier dattier : Technique agricoles et production tropicales. Ed. Maisonneuve et la rose. 221p.

- N -

Neufeld N.M., Durall D.M., Rich P.M et Tingey D.T. (1989) - A rootbox for quantitative observations on intact root systems. Plant and soil 117. 295-298.

Nixon R.W. et Fur J.R. (1965) - Problems and progress in date breeding. Date growers' Institute report. 2-5.

- O -

Ouvrier M. (1995) - Etude du système racinaire. Rapport interne, IDEFOR – DPO. 20 p.

- P -

Pagès L. (1992) – Mini-rhizotrons transparents pour l'étude du système racinaire de jeunes plantes. Application à la caractérisation du développement racinaire de jeunes chênes (*Quercus robur* L.). Canadian journal of botany 70. 1840-1847.

Pagès L. (1995) – Architecture racinaire : Analyse et modélisation. Compte rendu du séminaire annuel du Groupe de Physiologie de l'Arbre. La racine et le système racinaire. 7-14.

Pagès L., Serra V. (1994) – Growth and branching of the tap root of young oak trees: a dynamic study. Journal of experimental botany. 45. 1327-1334.

Pagès L., Le Roux Y. et Thaler P. (1995) – Modélisation de l'architecture racinaire. Plantation, recherche, développement, au carrefour des cultures pérennes de la zone tropicale humide. 19-34.

Pellerin S., Tabourel F. (1995) – Length of the apical unbranched zone of maize axile roots: its relationship to elongation rate. Environmental and experimental Botany. 35. 193-200.

Peyron G. (2000) - Cultiver le palmier dattier. Ed. Gridao. 110p.

Peyron G. (1994, 1995) – Formation et vulgarisation phœnicicole. Documents 1 et 2. Gridao. In : **Peyron G. (2000)** - Cultiver le palmier dattier. Ed. Gridao. 110p.

- R -

Riedacker A. (1974) – Un nouvel outil pour l'étude des racines et de la rhizosphère : le minirhizotron. Annales des sciences forestières 31. 129-134.

- S -

Schoute J. (1912) - Uber das Dickenwachstum der palmen. Annales du jardin botanique de Buitenzorg. 2^e série. 11(26). 1- 209.

Sedra M.H., 2001. Descripteurs du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). INRA (Institut National de la Recherche Agronomique). 195p.

Sedra M.H. (2003) - Le palmier dattier base de la mise en valeur des oasis au Maroc. Techniques phénicicoles et création d'oasis. INRA Maroc. 265p.

Seubert R. (1997) - Root anatomy of palms (Coryphoideae). Flora 192. 81-103.

Spichiger R. (2004) - Botanique systématique des plantes à fleurs: Une approche phylogénétique nouvelle des angiospermes des régions tempérés et tropicales. 3^{ème} Ed. Presses polytechnique et universitaire romandes. 148-149.

- T -

Thomas R. (2011) – Anatomie comparée des palmiers : identification assistée par ordinateur, applications en paléobotanique et en archéobotanique. Thèse de doctorat, Muséum national d'histoire naturelle. Paris.

Thongo M'bou A. (2008) - Etude du système racinaire de l'Eucalyptus en plantation tropicale : Analyse architecturale, croissance et respiration. Thèse de doctorat. Université Henri Poincaré : 181p.

Timothy K.B. (1998) – Root and shoot growth patterns in four palm species and their relationships with Air and Soil Temperatures. Hort science Vol 33(6) .995-998.

Titruc N.A. (2012) - L'analyse de l'architecture et croissance du système racinaire du jeune palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). Mémoire de Master2. Université de Montpellier 2. 45p.

Tomlinson P.B. (1961) – Palmae. In C.R Metcalf, ed. Anatomy of the monocotyledons 2. Clarendron Press. Oxford. 453p.

Tomlinson PB et Zimmerman MH. (1968) – Anatomy of the palm *Rhapis excelsa*, VI . Root and branch insertion. Journal of Arnold arboretum, 47. 307-318.

Tomlinson PB. (1990) - The structural biology of palms. Clarendron Press, Oxford.

Toutain G. (1966) – Note sur la reprise végétative des rejets de palmier dattier. AL Awamia Rabat 20. 125-130.

Toutain G. (1967) - Le Palmier dattier. Culture et production. Al Awamia Rabat 25: 83-151.

- V -

Vilardebo A. (1973)- Principaux parasites de la datte et du dattier. In Munier P. Le Palmier dattier. Paris. Maisonneuve et Larose. 221p. 67-95.

- W -

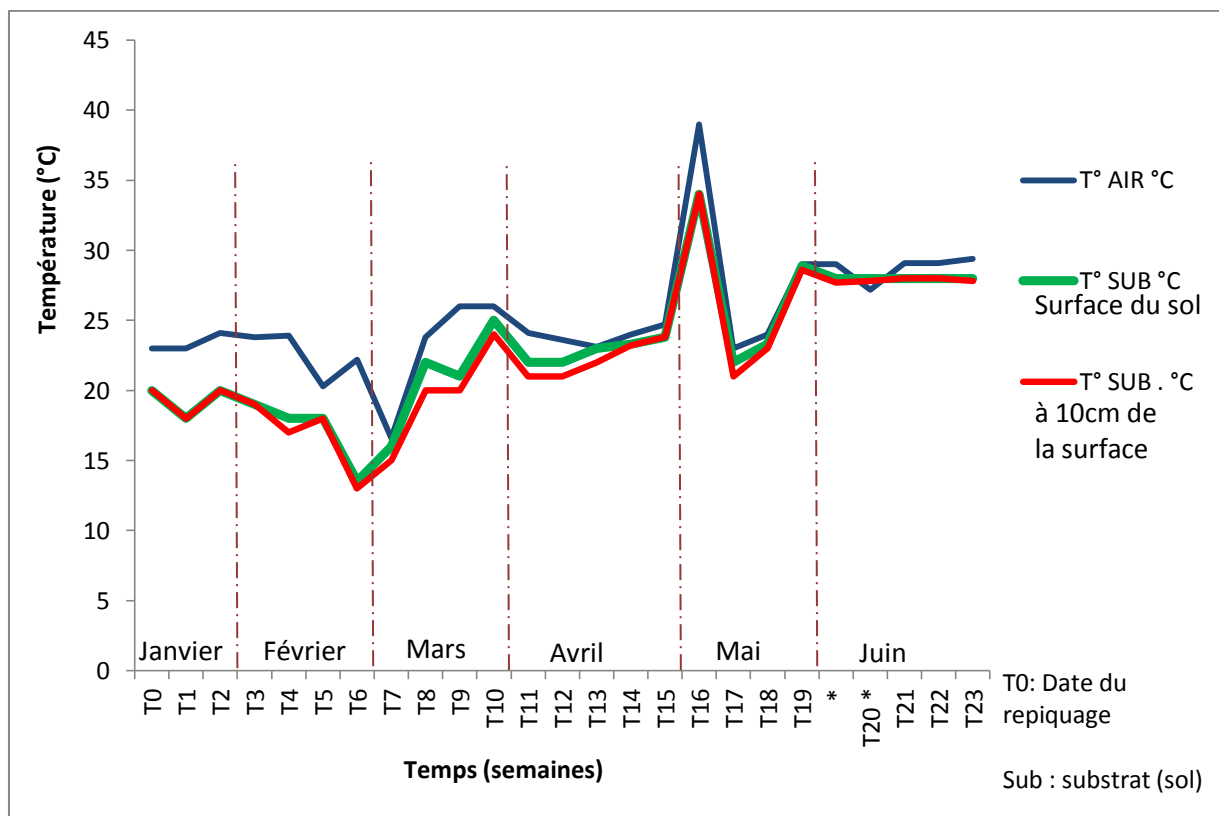
Waterhouse J et Quinn C. (1978) – Growth patterns in the stem of palm *Archantophænix cunninghamiana*. Botanical journal of the Linnean Society. 77(2). 73-93.

- Y –

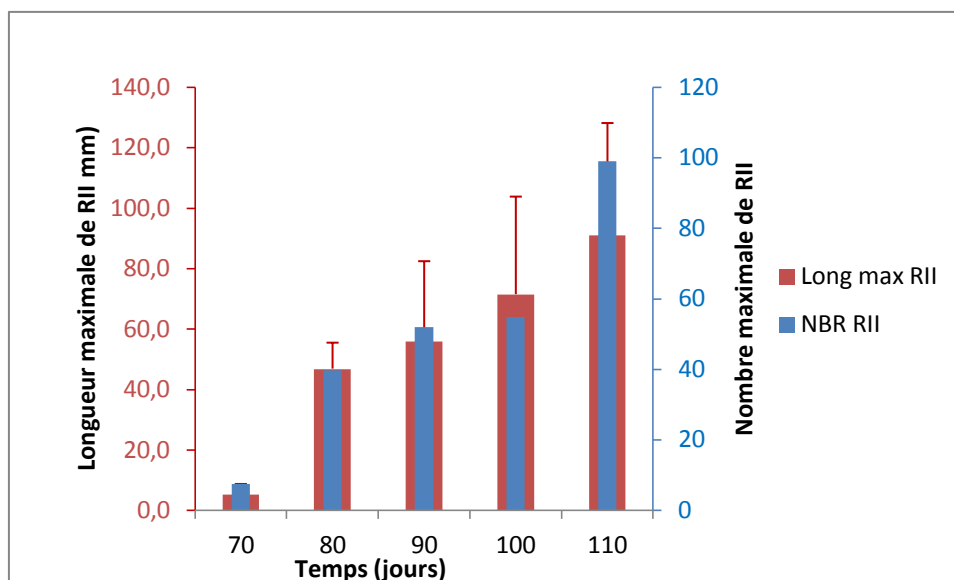
Yoshida T., Yamamoto Y., Matsuda T., Nitta Y., Goto Y., Kakuda K., Ehara H., Ando H., Jong F.S., Hassan A.H. (2002) – Morphological and anatomical observations of Adventitious and lateral roots of sago palm. Plant prod. Sci. 5(2). 139-145.

Annexes

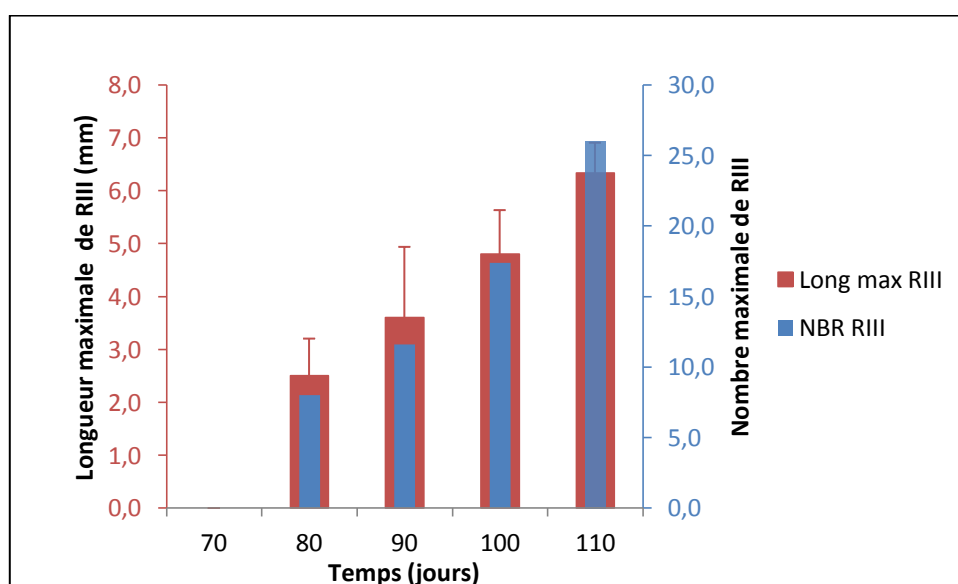
Annexe 1 : Relevé hebdomadaire de la température durant les 6 mois de l'expérience.



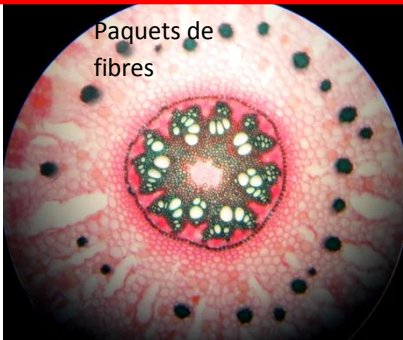
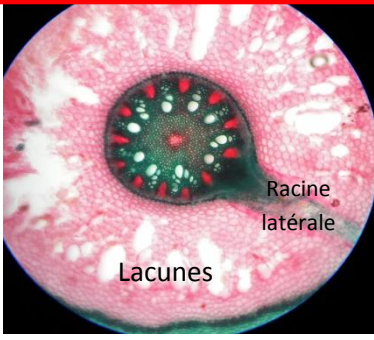
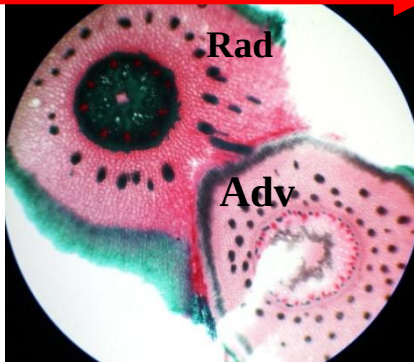
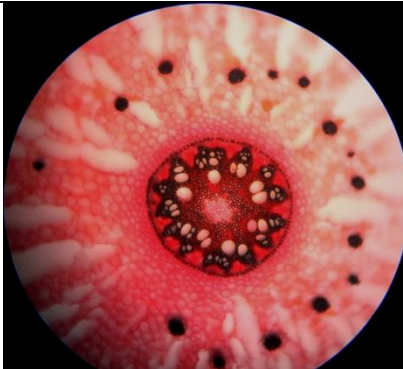
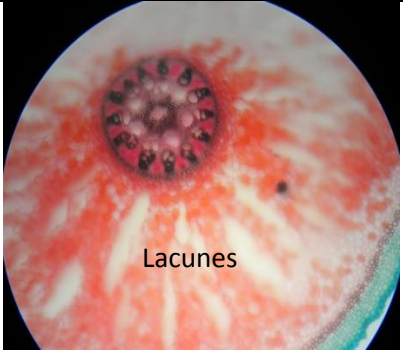
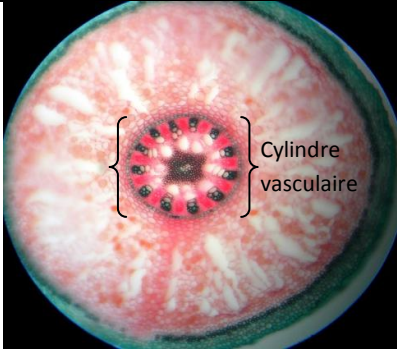
Annexe 2: Evolution de la longueur maximale et du nombre des racines secondaires en fonction du temps chez le palmier dattier (Etude destructive)



Annexe 3: Evolution de la longueur maximale et du nombre des racines tertiaires en fonction du temps chez le palmier dattier (Etude destructive)

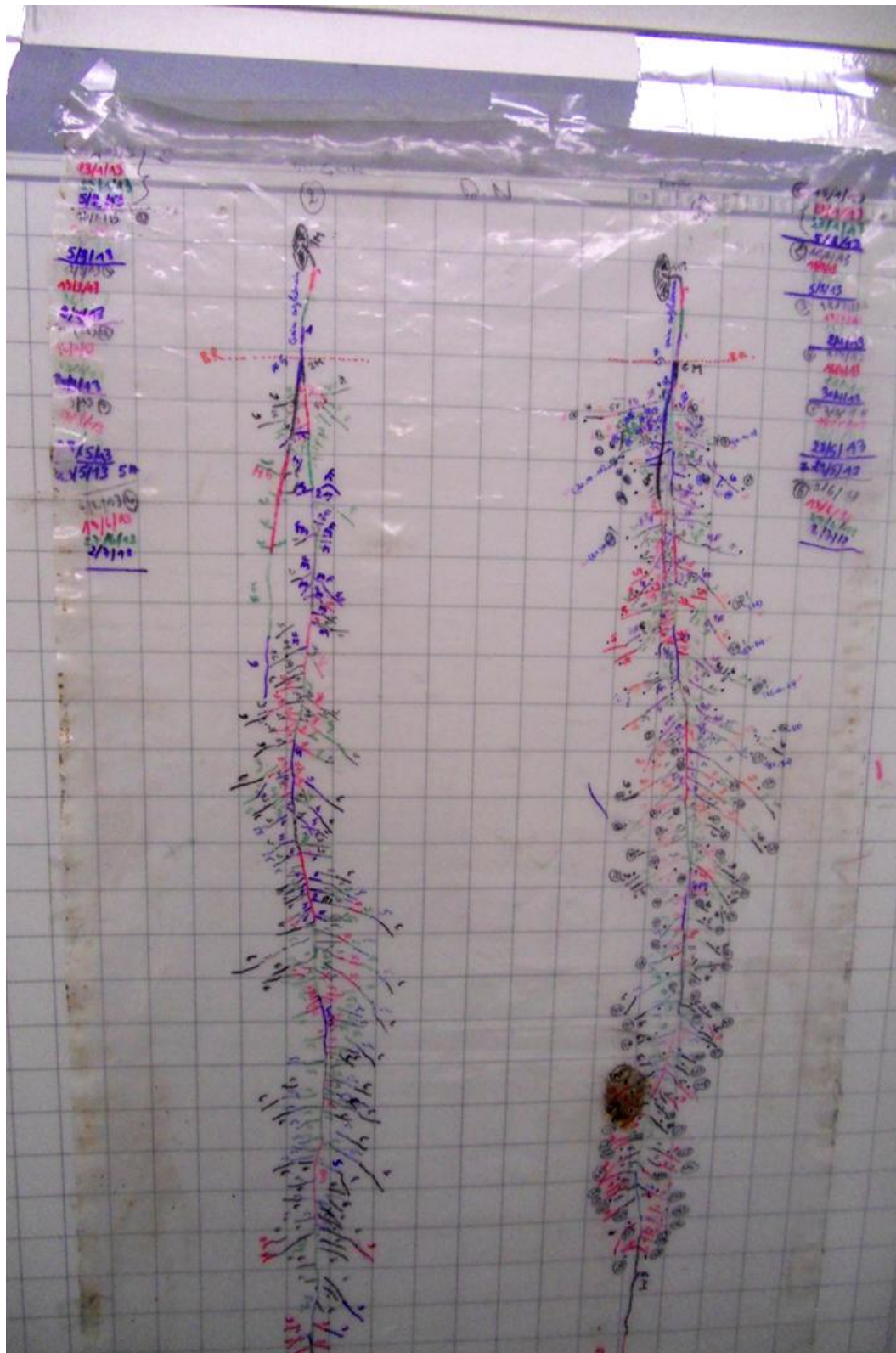


Annexe 4: Evolution spatio-temporelle de l'anatomie de la racine chez le palmier dattier

Collet	80 jours après repiquage	90 jours après repiquage	100 jours après repiquage	150 jours après repiquage
2 cm du collet				
5 cm du collet				
8 cm du collet				

Apex

Annexe 5 : Relevé hebdomadaire du système racinaire de palmier dattier âgé de 6 mois.



Résumé

Les objectifs de cette étude visent à acquérir des connaissances fondamentales sur l'aspect dynamique de croissance, développement et architecture du système racinaire de plantules de palmier dattier au stade juvénile de 0 à 6 mois. Afin de caractériser l'architecture du système racinaire, deux expériences ont été réalisées parallèlement, l'une en rhizotron dite dynamique et l'autre en sacs de pépinière dite destructive. Il a été alors procédé à des mesures sur des longueurs et des diamètres des racines à différents âges. Ces expériences permettent d'observer, de décrire et d'analyser l'architecture du système racinaire durant le stade juvénile. Ces expériences ont révélé l'existence de 7 types racinaires répartis sur 3 ordres topologiques différents et ayant des caractéristiques distinctes. La mise en place des différents types d'axes racinaires évolue en fonction du temps. La racine séminale ou radicule est d'ordre 1, celle-ci porte les racines secondaires d'ordre 2 (longues, moyennes et courtes). Les racines secondaires longues et moyennes se ramifient en tertiaires d'ordre 3 (moyennes et courtes). La vitesse de croissance racinaire est variable selon le type racinaire, et selon la méthode d'étude. Il est à remarquer une absence "d'élagage" de la radicule durant la période de 0 à 6 mois, par contre il y a eu un arrêt de croissance au niveau des racines secondaires courtes. La biomasse racinaire sèche est à peu près égale à la moitié de la biomasse sèche de la partie foliaire. L'anatomie de la radicule et de la racine adventive présente des caractéristiques typiques des racines des monocotylédones. En outre, la description de l'anatomie montre un développement spatio-temporel de la radicule du palmier dattier durant le stade juvénile.

Mots clés :

Phoenix Dactylifera L.; Plantule; Croissance; Développement; Architecture Racinaire; Rhizotron; Histologie; Biomasse; Palmier Dattier; Typologie; Monocotylédones.