

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Saad Dahleb Blida 1
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biotechnologies



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master

Option : Biotechnologie microbienne

Thème

Biocontrôle de la fusariose vasculaire du palmier dattier due à *Fusarium oxysporum F.sp. albedinis*

Présenté par : M^{elle} BOUMAZA Yasmine

Soutenu devant le jury :

| | | | |
|-------------------------------------|----------------|------------------|---------------------|
| M^{me} BENSAID F. | MAA | U Blida 1 | Promotrice |
| M^{me} BENCHABANE D. | MAA | U Blida 1 | Présidente |
| M^{me} Yala A. | Docteur | U Blida 1 | Examinatrice |

Année universitaire 2020/2021

Dédicaces

Louange à Dieu le tout puissant, pour la force et la volonté qu'il m'a donné pour mener à bien ce modeste travail que Je dédie à :

- *Mes très chers parents, qui m'ont aidé pour atteindre ce niveau d'étude et pour accomplir mon mémoire, je ne sais comment les remercier pour tout ce qu'ils ont fait pour moi, tout ce que je dis est peu à propos d'eux... j'espère avoir réalisé une partie de leurs rêves.*
- *Mes deux sœurs Insaf et Djoumana pour leur soutien.*
- *A tonton Taher pour son assistance.*
- *A ma chère tante Khansa, à mes deux oncles Djamel et Mohamed et à toute ma famille,*
- *A ma copine Achwak, à Chahra également et à tous mes amis,*

A ma promotrice madame BENSALD qui a bénéficié de son expérience, aux membres de jury d'avoir accepté de juger ce travail, et à tous mes chers enseignants,

Sans oublier ma promotion de biotechnologie microbienne.

Yasmine.

Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à manifester ma gratitude à :

- ❖ *Mes parents qui m'ont toujours soutenu, qui ont toujours été à mes côtés dans le bien et le pire, et qui m'ont poussé vers le haut.*
- ❖ *Ma promotrice Madame BENSALD F. Maître assistante à l'Université de Blida 1, faculté des sciences de la nature et de la vie, département de biotechnologie.*
- ❖ *Mes vifs remerciements s'adressent à Madame BENCHABANE D. Maître assistante à l'université Blida 1, d'avoir présidé et jugé ce travail.*
- ❖ *Mes remerciements s'adressent également à Madame YALA.A docteur à l'université Blida 1, d'avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.*

Pour toute personne qui a contribué de près ou de loin à élaborer ce travail.

Résumé

Biocontrôle de la fusariose vasculaire du palmier dattier due à *Fusarium oxysporum f.sp. albedinis*

La fusariose vasculaire du palmier dattier causée par *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* à un impact négatif sur les palmiers dattiers, car elle provoque des pertes économiques importantes. La nature épidémique des fusarioses vasculaires ajoutée au mode d'action du pathogène ont toujours constitué des limites devant la réussite des méthodes de lutte conventionnelle. Pour remédier à ces problèmes, de nombreux travaux ont souligné l'importance de l'expérimentation et de l'utilisation d'antagonistes microbiens naturels. Notre étude a porté sur l'analyse des travaux récents portant sur les principes et les méthodes du biocontrôle à base des microorganismes. Elle rentre aussi dans le contexte de la recherche d'un procédé de lutte biologique économiquement fiable, efficace et durable. Plusieurs travaux de recherches ont montré la possibilité de bio protection par les *Pseudomonas*, les *Trichoderma* et même les mycorhizes vis-à-vis du bayoud. Cette bio protection s'est exprimée à travers l'inhibition des maladies, en inhibant le processus infectieux quantitativement et qualitativement. Cette étude souligne la diversité des mécanismes d'action exercés par ces antagonistes comme la compétition, l'antibiose et la promotion de la croissance chez les palmiers. Les inoculums microbiens bénéfiques peuvent apporter un plus aux méthodes classiques, diminuer le recours systématique aux pesticides chimiques et même participer activement dans la protection de l'environnement terrestre.

Mots clés : Palmier dattier, biocontrôle, *Fusarium oxysporum f.sp. albedinis*, bayoud

Biocontrol of Fusarium wilt of date palm due to *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*

The *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* caused by *Fusarium oxysporum* have a negative impact on date palms by causing significant economic losses. The epidemic nature of vascular fusarium blight added to the pathogen's mode of action has always been a limitation on the success of conventional control methods. To address these issues, numerous studies have highlighted the importance of experimenting with and using natural microbial antagonists. Our study examined recent work on the principles and methods of micro-organism-based biocontrol. It also fits into the context of the search for an economically reliable, effective and sustainable biological control process. Several research studies have shown the possibility of bioprotection by *Pseudomonas*, *Trichoderma* and even mycorrhizae vis-à-vis the bayoud. This bioprotection has been expressed through the inhibition of diseases, inhibiting the infectious process quantitatively and qualitatively. This study highlights the diversity of the mechanisms of action exerted by these antagonists such as competition, antibiosis and the promotion of growth in palm trees. Beneficial microbial inoculums can add value to conventional methods, reduce the systematic use of chemical pesticides and even actively participate in the protection of the terrestrial environment.

Keywords: Date palm, biocontrol, *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis*, bayoud

المكافحة الحيوية لذبول الفوزاريوم لنخيل التمر بسبب ال *Fusarium oxysporum f. sp. albedinis*

طريقة عمل ذبول الفوزاريوم لنخيل التمر الذي يسببه العامل *Fusarium oxysporum f. sp. albedinis*

ليؤثر تأثيراً سلبياً في هذا التاريخ عن طريق إحداث خسائر اقتصادية كبيرة. وما فتئت الطبيعة الوبائية للوعائية أضيفت إلى المرض تشكل دائماً تعبيداً لنجاح أساليب المراقبة التقليدية. ولمعالجة هذه المسائل، أبرزت دراسات عديدة أهمية إجراء التجارب على العداوات الميكروبية الطبيعية واستخدامها. وقد بحثت دراستنا الأعمال الأخيرة المتعلقة بمبادئ وأساليب الاستعمال الأحيائي للكائنات الدقيقة. كما أنه ينسجم مع سياق البحث عن عملية مراقبة بيولوجية موثوق بها اقتصادياً وفعالة ومستدامة وأظهرت عدة دراسات بحثية إمكانية الاستخدام البيولوجي من قبل *Pseudomonas* و *Trichoderma* وحتى *mycorrhizae* مقابل *bayod*. وقد تم التعبير عن هذا التحول البيولوجي من خلال تثبيط الأمراض، وإعاقة العملية المعدية كميّاً ونوعياً. وتبرز هذه الدراسة تنوع آليات العمل التي يقوم بها هؤلاء المعادون مثل المنافسة والمضادات الحيوية وتعزيز نمو أشجار النخيل. ويمكن للتلقيح الميكروبي المفيد أن يضيف قيمة للطرق التقليدية، ويقلل الاستخدام المنهجي لمبيدات الآفات الكيميائية، بل ويشارك بنشاط في حماية البيئة الأرضية.

الكلمات الرئيسية: نخيل التمر، البيوض، المكافحة الحيوية، *Fusarium oxysporum f.sp. albedinis* البيوض.

Liste des abréviations

| | |
|--------|--|
| Fo : | Fusarium oxysporum |
| Foa : | <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>albedinis</i> |
| CMA : | Champignon Mycorhizien Arbusculaire |
| Ha : | Hectar |
| C° : | Degré Celsius |
| PDA : | Potato Dextrose Agar |
| IAA : | Indol-3- Acetic Acid |
| ISR : | Induced Systemic Resistance (La résistance systémique induite) |
| PGPR : | Plant Growth Promotion Rizhobacteria |
| FAO : | Food and Agriculture Organisation |
| sp. | Espèce |
| PGPF | Plant Growth Promoting Fungi |
| PGPB | Plant Growth Promoting Bacteria |

Liste des figures

| | | |
|----|---|----|
| 01 | Modèle architectural (modèle de Corner) le plus rencontré chez le palmier | 09 |
| 02 | Schéma typique d'un palmier dattier adulte | 11 |
| 03 | Schéma d'une palme | 13 |
| 04 | Inflorescences mâle et femelle | 16 |
| 05 | Inflorescences du dattier portant des fruits | 16 |
| 06 | Une inflorescence du palmier dattier | 18 |
| 07 | Schéma d'une fleur male (a) et d'une fleur femelle (b) | 19 |
| 08 | Une fleur détaillée | 19 |
| 09 | Datte et graine | 20 |
| 10 | La production de dattes par région | 10 |
| 11 | La distribution de la tradition phœnicicole en rouge à travers le monde | 27 |
| 12 | Photo et représentation d'une palme atteinte de fusariose | 35 |
| 13 | Organisation morphologique du Foa | 38 |
| 14 | Cycle infectieux du <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>albedinis</i> | 41 |
| 15 | Perte de palmiers dattiers Bayoudés durant la période 1950-2000 | 48 |
| 16 | Aspect des champignons mycorhiziens intra-racinaires | 54 |
| 17 | Les effets bénéfiques des rhizobactéries sur les plantes | 58 |

Liste des tableaux

| Numéro | Titre | Page |
|--------|---|------|
| 01 | Caractéristiques morphologiques des trois variétés de dattes | 22 |
| 02 | Répartition de production de dattes par wilaya (Sidaoui, 2018). | 29 |

Table des matières

| | |
|---|----|
| Résumé | |
| Introduction | 1 |
| Chapitre 1 : Le palmier dattier | |
| 1. Généralités sur le palmier dattier | 3 |
| 2. Taxonomie du palmier dattier | 4 |
| 2.1 Position systématique du palmier dattier | 4 |
| 2.2 Classification botanique du palmier dattier | 5 |
| 2.3 Carte de répartition du genre <i>Phoenix</i> | 5 |
| 2.4 La diversité variétale | 6 |
| 3. Morphologie du palmier dattier | 7 |
| 3.1 Historique des descripteurs morphologiques du palmier dattier | 7 |
| 3.2 Architecture et topologie du palmier dattier | 8 |
| 3.3 Le système racinaire | 9 |
| 3.3.1 Les racines | 10 |
| 3.4 Le système végétatif | 12 |
| 3.4.1 Le stipe | 12 |
| 3.4.2 La couronne | 12 |
| 3.4.3 Les palmes | 13 |
| 3.4.4 Les bourgeons | 14 |
| 3.4.5 Les folioles | 14 |
| 3.5 L'appareil reproducteur | 14 |
| 3.5.1 Les inflorescences | 14 |
| 3.5.2 La fleur | 17 |
| 3.5.2.1 Fleur femelle | 18 |
| 3.5.2.2 Fleur mâle | 18 |
| 4. Le fruit | 19 |
| 4.1 La classification des dattes | 20 |
| 4.2 Les différentes variétés de dattes | 21 |
| 4.3 Les éléments nutritifs des dattes | 22 |
| 4.3.1 L'eau | 22 |
| 4.3.2 Le sucre | 23 |
| 4.3.3 Les minéraux | 23 |
| 4.3.4 Autres composants | 23 |
| 5. Le cycle de développement du dattier | 24 |
| 6. Les principales exigences écologiques du palmier dattier | 24 |
| 6.1 Exigences climatiques | 24 |
| 6.2 Exigences hydriques | 25 |
| 6.3 Exigences pédologiques..... | 26 |
| 7. L'importance économique du palmier | 26 |

| | |
|--|----|
| 7.1 Au niveau mondial | 27 |
| 7.2 Au niveau national (en Algérie) | 28 |
| 8. Les ravageurs et les maladies du palmier dattier | 29 |
| 8.1 Les contraintes abiotiques | 30 |
| 8.1.1 La sécheresse | 30 |
| 8.1.2 La salinité | 30 |
| 8.2 Les contraintes biotiques | 30 |
| 8.2.1 Pathologies dues aux insectes et acariens | 30 |
| 8.2.1.1 Les pyrales de la datte | 30 |
| 8.2.1.2 La cochenille blanche (<i>Parlatoria blanchardi</i>) | 31 |
| 8.2.1.3 Le Bouferoua | 31 |
| 8.2.2 Pathologie microbienne | 31 |
| 8.2.2.1 Le Khamedj ou pourriture de l'inflorescence | 31 |
| 8.2.2.2 La maladie des feuilles cassantes | 32 |
| 8.2.2.3 La pourriture du cœur de <i>Thielaviopsis</i> | 32 |
| 8.2.2.4 Le Bayoud | 32 |

Chapitre 02 : La fusariose vasculaire du palmier dattier (le bayoud)

| | |
|---|----|
| 1. Historique et progression du bayoud | 33 |
| 1.1 Répartition et dispersion du bayoud en Algérie | 33 |
| 2. Les symptômes de la maladie du bayoud | 34 |
| 2.1 Symptômes internes | 34 |
| 2.2 Symptômes externes | 35 |
| 3. Epidémiologie | 37 |
| 4. L'agent causal de la maladie | 37 |
| 4.1 Taxonomie | 37 |
| 4.2 Caractères morphologiques | 38 |
| 4.2.1 Les microconidies | 38 |
| 4.2.2 Les macroconidies | 38 |
| 4.2.3 Les chlamydospores | 38 |
| 4.2.4 Les sclérotés | 39 |
| 4.3 Cycle de développement | 39 |
| 5. Conditions favorables au développement de la maladie | 42 |
| 5.1 Exigences climatiques | 42 |
| 5.2 Exigences édaphiques | 43 |
| 5.3 Exigences hydriques | 43 |
| 6. La propagation de cette maladie | 43 |
| 7. Mode de progression du Bayoud dans les palmeraies | 45 |
| 7.1 Le parasite dans les palmiers | 46 |
| 7.2 Le parasite dans le sol | 46 |
| 8. Les modes d'action de <i>Fusarium oxysporum f. sp. albedinis</i> | 48 |

| | |
|--|----|
| 8.1 Les toxines | 48 |
| 8.2 Les enzymes | 48 |
| 9. Importance des dégâts du bayoud | 48 |
| 10. Techniques de lutte | 49 |
| 10.1 La lutte culturale | 49 |
| 10.2 La lutte chimique | 50 |
| 10.3 La lutte génétique | 50 |
| 10.4 La lutte biologique | 50 |
| 10.5 La lutte intégrée | 51 |

Chapitre 03 : Le biocontrôle du bayoud

| | |
|--|----|
| 1. Généralités sur le biocontrôle | 52 |
| 1.1 Avantages des agents de lutte biologiques | 53 |
| 2. Les microorganismes qui interviennent dans le biocontrôle du bayoud | 53 |
| 2.1 Champignon Trychoderma | 53 |
| 2.2 Les mycorhizes | 54 |
| 2.2.1 Les modes d'action des mycorhizes | 55 |
| 2.3 Les cyanobactéries | 56 |
| 2.3.1 Les mécanismes d'action des cyanobactéries | 56 |
| 2.4 Les bactéries testées pour le contrôle biologique de la maladie du Bayoud | 57 |
| 2.4.1 Les Pseudomonas f.spp. fluorescents | 57 |
| 2.4.1.1 Les effets bénéfiques des Pseudomonas f.spp. fluorescents | 58 |
| 2.4.1.2 Stimulation de la croissance des végétaux | 58 |
| 2.4.1.3 Biocontrôle et induction de la résistance chez les plantes | 59 |
| 2.4.1.3.1 Production de sidérophores | 60 |
| 2.4.1.3.2 Production de l'acide indole acétique AIA par les pseudomonas f.spp. fluorescents | 61 |
| 2.4.1.3.1 Production d'antibiotiques par les Pseudomonas f.spp. fluorescents | 61 |
| 2.4.1.3.4 Production des HCN | 62 |
| 2.4.2 Les bactéries endophytes | 63 |
| 2.4.2.1 La sélection des microorganismes antagonistes du Foa à partir du « compost » de grignon d'olives | 64 |
| 2.4.2.1.1 Définition des grignons d'olives | 64 |
| 2.4.2.2 Différentes étapes de la préparation du compost de grignon d'olives..... | 64 |
| 2.4.2.3 Efficacité des deux bactéries en biocontrôle | 63 |
| 2.5 Les métabolites secondaires antimicrobiens..... | 63 |
| 2.5.1 Les flavonoïdes | 66 |
| 2.5.2 Activités biologiques des flavonoïdes | 66 |
| 2.5.3 Rôles des flavonoïdes chez les plantes..... | 67 |
| Conclusion | 68 |
| Références bibliographiques | 70 |

Introduction

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*) présente la principale culture de l'agriculture saharienne algérienne traditionnelle et moderne, il est considéré comme le deuxième groupe végétal par ordre d'importance économique. Il donne une gamme étendue de produits, et en premier lieu : la datté, aliment de grande valeur énergétique. L'économie des wilayas du sud repose principalement sur la culture du palmier dattier et l'utilisation de ses sous-produits fruitiers tels que la pâte, la farine, le sirop, le vinaigre, l'alcool, la levure et la confiserie, et aussi une multitude d'utilisations secondaires en menuiserie, construction, activités culinaires et artisanales. Cela constitue une source majeure de revenus et contribue à la préservation de l'écosystème oasis fragile. Sa distribution géographique est assez large dans l'hémisphère nord (AMORSI G, 1975).

Cette espèce fruitière est connue pour sa tolérance aux conditions climatiques extrêmes d'aridité et de continentalité. Elle est répandue principalement au Maroc et dans une grande partie des palmeraies en Algérie.

La palmeraie algérienne ne cesse pas d'être confrontée à divers problèmes, biotiques, tel que la sécheresse, la salinité, et abiotiques tel que la cochenille blanche et le bayoud, ... qu'il s'agit des bactéries, champignons ou virus. La présence des agents phytopathogènes dans l'environnement tellurique peut causer des dommages sévères ; les dégâts peuvent atteindre la destruction totale des cultures (Munier, 1973).

La fusariose vasculaire du palmier dattier connue localement sous le nom de "Bayoud" est l'une des maladies les plus dévastatrices sur cette culture en Afrique du Nord. Elle attaque généralement les plantes d'intérêt économiques, lorsqu'elle progresse dans l'espace et dans le temps précisément en cas d'épidémie, de très grandes pertes économiques en déroulent liées à la diminution du rendement. Elle est répandue principalement au Maroc et dans une grande partie des palmeraies en Algérie.

L'agent causal de la désertification et du flétrissement fusarien du palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*) est un microbe tellurique qui vit dans le sol (champignon tellurique) appelé *Fusarium oxysporum f. sp. albedinis*, doté d'une spécificité stricte d'hôtes, capable d'envahir l'ensemble du système vasculaire en infectant les racines du palmier en pénétrant à travers la sécrétion de quelques substances par les radicules, l'agent pathogène étant un champignon tellurique, se propage par les vaisseaux du xylème jusqu'au bourgeon terminal (HADJRAOUI et al, 2017).

Elle entraîne un blocage de la circulation de la sève et là les symptômes commencent à apparaître, les feuilles des palmes se dessèchent et deviennent jaunes ou blanches et le palme finit par mourir.

La lutte biologique par introduction des microorganismes antagonistes s'avère une voie très prometteuse dans le contrôle de plusieurs maladies d'origine tellurique tel que le bayoud, pour lutter contre les agents phytopathogènes (*Fusarium oxysporum f. sp. albedinis* dans ce cas), tout en diminuant l'emploi des produits chimiques vu les inconvénients et les conséquences

Introduction

néfastes de la lutte chimique sur l'environnement, le déséquilibre écologique et l'apparition des mécanismes de résistance chez le pathogène (Zaïd, 2002).

Dans le cadre de lutte biologique contre la fusariose vasculaire du palmier dattier, notre travail consiste en une étude bibliographique portant sur les principaux moyens de bio contrôle de cette maladie. Notre bibliographie a porté sur les points suivant :

1. Des généralités sur le palmier dattier
2. Des généralités sur le bayoud
3. Les mécanismes d'action des principaux microorganismes utilisés dans le bio contrôle de la fusariose vasculaire du palmier dattier.

Chapitre 01 : Le palmier dattier

1. Généralités sur le palmier dattier

Le Palmier dattier, date palm en anglais et aussi Nakhil en arabe, a été dénommé *Phoenix dactylifera L.* par Linné en 1734 (Zaïd, 2002). Le terme Phoenix dérive de *Phoinix*, nom du dattier chez les Grecs de l'antiquité qui le considéraient comme l'arbre des phéniciens, la dénomination du terme dactylifera découle de la forme des dattes qui se présentent sous forme de doigts (du grec dactylus en latin), Son nom d'espèce est composé de « dactyles = dattes » et « fero = porté », soit porteur de dattes. Une autre hypothèse veut que les Grecs aient appelé Phoenix l'oiseau renaissant de ses cendres et qu'il ait été attribué au dattier en raison de sa capacité à survivre après avoir été partiellement brûlé (Baaziz, 2003).

Le Palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*) est une plante fruitière à très longue durée de vie (de l'ordre de 100ans), anciennement cultivée par l'homme, les fossiles des palmiers à feuilles pennées remontent au début de première tertiaire, ils ont été trouvés dans l'Eocène du Velay et du Bassin Parisien et à l'Oligocène dans les basses Alpes. Les premières plantations dattières seraient apparues sur les bords du Golfe arabo-persique au niveau du Moyen-Orient (Munier, 1973).

Au cours du temps, la culture du palmier dattier a connu une extension croissante hors de son aire de culture traditionnelle, comme elle avait gagnée l'Europe, plus récemment (la fin du 19e siècle et le début du 20e siècle), elle s'est propagée en Australie notamment et en Amérique du Nord et du Sud et en Afrique. Actuellement, l'aire de répartition du palmier dattier couvre les cinq continents.

C'est un arbre de providence des régions désertiques où il croît, il est bien adapté aux conditions du milieu aride (écologique et pédoclimatique) et constitue la principale richesse des Oasis. Il permet la subsistance, dans un milieu aux ressources limitées, des populations oasiennes dont les moyens d'existence sont basés sur l'exploitation du dattier et des cultures associées (Toutain, 1979).

C'est la seule espèce du genre à être cultivée pour ses fruits. *Phoenix sylvestris* est cultivé pour sa sève transformée en sirop ou sucre et d'autres espèces sont cultivées par l'industrie horticole (notamment *P.canariensis* et *P.roebelenii*) ; toutes les autres sont exploitées (pour la construction ; l'alimentation humaine et animale (Peyron et al, 1988).

Il donne une gamme étendue de produits, et en premier lieu : la datte, aliment de grande valeur énergétique ; elle permet à des millions de familles de se maintenir dans des régions à climats difficiles. La datte est un produit à haute valeur alimentaire, il représente le pilier de l'économie régionale elle trouve de larges débouchés dans des pays divers. La variété Deglet-Nour est la plus estimée au niveau national et international du fait de son goût, couleur, saveur, richesse en sucres et en polyphénols. Ces derniers, ont un effet antioxydant ce qui leur a permis d'être l'objet de la phytothérapie et de l'hygiène alimentaire.

Ceci fait du palmier dattier l'axe principal de l'agriculture dans les régions arides dans de nombreux pays qui comptent parmi les plus pauvres du globe, et représente la principale ressource vivrière et financière des populations oasiennes. Mais malgré son importance économique et sociale il reste toujours menacé par plusieurs maladies et ravageurs qui le détruisent.

La fusariose vasculaire du palmier dattier est une maladie cryptogamique, dénommée communément bayoud, elle est causée par le champignon imparfait *Fusarium oxysporum f. sp. albedinis* abrégé Foa, elle est considérée comme une infection fongique la plus destructive dans les palmeraies algériennes et représente une menace sur non seulement le côté agro-économique sur les meilleures variétés commerciales de renommée mondiale, mais aussi il a contribué à accentuer le phénomène de désertification (Bouguedoura et al., 2015).

2. Taxonomie du palmier dattier

2.1 Position systématique

Le palmier dattier est une plante dioïque qui appartient à l'une des plus grandes familles d'angiospermes monocotylédone et diploïde.

Les palmiers sont classés en quatre groupes en fonction de leur taille et la forme du stipe en : (arborescents, arbustes, acaules et grimpants). Le palmier dattier appartient au groupe des palmiers arborescents. Il fait partie de la famille des *Arecaceae* (anciennement *Palmaceae*), représentée par plus de 200 genres et 2800 espèces, répartie en six sous-familles. Selon les règles scientifiques qui exigent que le nom de la famille dérive de celui du genre le plus représentatif (Peyron et al, 1988).

La sous famille des *Coryphoideae* est elle-même subdivisée en trois tribus. Le palmier dattier fait partie de la tribu des *Phoeniceae* qui occupe une position intermédiaire au point de vue évolution, fondée sur des critères morphologiques du pollen et de la feuille et qui ne comporte qu'un seul genre : « *Phoenix* » (Bounaga, 1991). Douze espèces appartiennent à ce

genre, mais cinq seulement d'entre elles, en dehors du Palmier dattier, sont à fruits consommables : *P. atlantica*, *P. reclinata*, *P. farinifera*, *P. humilis* et *P. acoulis* (Munier, 1973).

2.2 Classification botanique du palmier dattier

Sur le plan botanique, le palmier dattier est une plante Angiosperme, Monocotylédone, classé dans (Al- Khalifa et al, 2013) :

- Domaine : Eukarya
- Règne : Plantae
- Embranchement : Angiospermes
- Sous-règne : Tracheobionta
- Classe : Monocotylédones
- Sous-classe : Arecidae
- Ordre : Arecales (anciennement Palmales)
- Famille : Areaceae
- Sous-famille : Coryphoideae.
- Tribu : Phoeniceae
- Genre : *Phoenix*
- Espèce : *Phoenix dactylifera* L.

2.3 Carte de répartition du genre Phoenix

Le palmier dattier est une plante pérenne dioïque, Il comporte des pieds mâles (dokkar) et des pieds femelles (nakhla), dont les pieds femelles sont pollinies à la main en culture. Il peut atteindre jusqu'à 24 m de hauteur au point croissant. Normalement la limite d'âge utile est moins et par conséquent la taille ne sera pas au maximum plus de 15 à 20 m (Barreveld, 1993).

Le palmier dattier est très proche des herbes il n'a pas de branches, pas de rameaux. Son tronc ou Stipe est un faux tronc (Brac de la Perrière, 1995). Le port paraît être ligneux, mais l'anatomie est différente de celle d'un arbre, Il n'y a pas de formation secondaire, le nombre de faisceaux criblo-vasculaires est multiplié. On observe une intense lignification du sclérenchyme (Chalandre ,1999). Le stipe n'a pas d'écorce, il est simplement couvert par la

base des vieilles feuilles. Il s'allonge grâce à l'activité continue d'un unique bourgeon caché au cœur des palmes (Brac de la Perrière, 1995).

Les fleurs, monosexuées sur plantes dioïques, sont petites, de couleur blanchâtre, parfumées, réunies en spadices axillaires longs jusqu'à 120 cm et fortement recourbés par le poids des fruits. Ces derniers, communément appelés dattes, sont des baies oblongues, de couleur orange-foncé à maturité, longues jusqu'à 5 cm chez les variétés cultivées, contenant une pulpe sucrée et une graine de consistance ligneuse.

C'est « l'arbre » emblématique des régions arides et semi-arides de l'Ancien Monde. Espèce à usages multiples, les fruits qu'elle fournit sont des drupes qui forment de longues grappes ou régimes, c'est des dattes, très nutritives, consommées fraîches, sèches ou sous forme de produits dérivés (sirop, pâte, farine...) ; celles peu intéressantes d'un point de vue gustatif servent à l'alimentation du bétail.

Toutes les autres parties de la plante sont également utilisées : le « tronc » ou stipe comme matériau de construction, les feuilles pour couvrir les toits ou fabriquer des clôtures ainsi que pour la vannerie.

Le dattier apparaît également essentiel dans les agrosystèmes oasiens en créant des conditions climatiques locales plus fraîches et humides, permettant ainsi la culture d'arbres fruitiers, de céréales ou de légumineuses; c'est « l'effet d'oasis ».

2.4 La diversité variétale

L'inventaire variétal, réalisé dans une quinzaine de régions algériennes, a montré que les palmeraies conservent encore une importante diversité. En effet, 940 cultivars ont été recensés par Hannachi et al. (1998), 270 cultivars seulement sont dénombrés dans l'Ouest algérien.

Parmi les espèces de palmiers présentes dans ces différentes aires géographiques on a *Phoenix dactylifera* ou palmier dattier, *Phoenix theophrastii* ou palmier de Crète, *Hyphaene thebaica* ou palmier-doum, *Chamaerops humilis* ou palmier nain, *Medemia Argun* ou palmier argoun, le palmier dattier a donné lieu à l'iconographie la plus abondante (Dakhia et al, 2013).

Pour la variété d'importance économique certaine et qui prédomine, « Deglet-Nour » est classée au premier lieu à côté d'autres variétés d'importance économique moindre telles que « Ghars », « Degla-Beida » et « Mech-Degla ». Cette richesse génétique est toutefois sujette à une érosion due à différents facteurs: vieillissement, déficit hydrique, maladie du bayoud, exode rural, etc... Ce qui justifie malheureusement l'orientation vers la culture monovariétale dans la nouvelle plantation (Belguedj, 1996). Sur 58 cultivars recensés, plus de la moitié est menacée de disparition, et 90% des cultivars rares sont vieux.

De toutes les variétés, « Takerboucht » est la seule résistante au Bayoud (*Fusarium oxysporum albedinis*).

Le palmier constitue un des motifs végétaux les plus souvent représentés dans l'Antiquité, le seul dont l'iconographie peut être identifiée grâce à sa morphologie et son allure bien spécifiques. Sa distribution correspond à l'aire de culture traditionnelle.

3. Morphologie du palmier dattier

3.1 Historique des descripteurs morphologiques du palmier dattier

Depuis le début du siècle, le palmier dattier a fait l'objet de plusieurs études morphologiques qui visent, soit l'identification des cultivars, soit l'établissement des listes des principaux cultivars dans leurs zones traditionnelles de culture. Mais ces études sont restées généralement descriptives souvent incomplètes et concernent juste les palmiers femelles.

- **De 1901 à 1970** : Les différentes descriptions sont faites surtout par des américains. Elles ont pour but la réalisation des fiches de reconnaissance des cultivars du dattier, comme étant un matériel nouvellement introduit aux Etats-Unis d'Amérique. D'autres études ont été faites par plusieurs auteurs mais dans divers pays. Leurs observations ont été basées sur le phénotype variétal, et aux caractères quantitatifs de la palme. La majorité de ces travaux se basent sur des observations simples, éparpillées et surtout n'ont aucun support statistique (IPGRI, 2005).
- **De 1970 à 2005** : la plupart des études morphologiques sont focalisées sur les caractères quantitatifs ou chimiques de la datte (IPGRI, 2005). Certaines études, ont été faites sur des caractères végétatifs restreints. Les auteurs ont établi des fiches de description de certains cultivars tunisiens et algériens. D'autres ont utilisé des traitements statistiques multidimensionnels, qui ont utilisé les analyses factorielles des

correspondances (AFC) pour l'étude des caractères quantitatifs et qualitatifs de la graine et la datte.

Plusieurs observations ont été faites sur la description des cultivars du palmier dattier (Toutain, 1979). Certaines sont relatives au développement et à la croissance des cultivars.

- **2005 à nos jours:** La plupart des travaux de cette période sont basés sur l'étude de la diversité génétique et surtout de côté moléculaire (Al-Qurainy et al, 2015) et aussi les caractères biochimique et alimentaire des dattes.

Pour les palmiers mâles, la plupart des travaux antérieurs sont basés sur les caractères productifs, mais pour les caractères végétatifs, on peut citer quelques travaux rares.

3.2 Architecture et topologie du palmier dattier

La topologie d'une plante décrit la hiérarchie dans le branchement des différents éléments dans son système.

Le modèle architectural est défini comme la structure spatiale idéale réalisée par la plante au cours de sa croissance, dans un environnement optimal. L'analyse architecturale vise à décrire la description de la forme de végétaux pris dans leur globalité (Halle et al, 1978). Les observations nécessaires à cette analyse portent sur:

- Le mode de croissance,
- Le mode de ramification,
- La différenciation morphologique des axes,
- La position de la sexualité.

Pour le palmier dattier, nous avons un seul axe orthotrope édifié par un seul méristème apical à croissance indéterminée, Cet axe à croissance continue est généralement sans ramification et à sexualité latérale.

Le principe de l'analyse architecturale est fondé sur l'observation et la caractérisation des modalités de croissance, de ramification des différents axes à divers stades.

La structure résultante de cette topologie rappelle le modèle architectural de Corner (figure 1) (Muriel Gros-Balthazard et al, 2013).

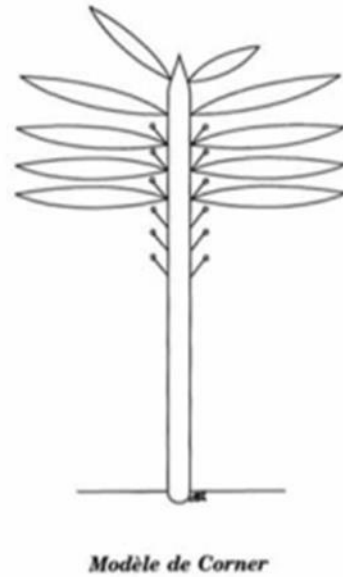


Figure 01 : Modèle architectural (modèle de Corner) le plus rencontré chez le palmier (Halle et Oldeman, 1970).

Les caractéristiques morphologiques varient en fonction du milieu, de l'âge et des conditions culturelles (Bouguedoura, 1991), On distingue 3 parties : un système racinaire, un système végétatif, et un appareil reproducteur.

3.3 Le système racinaire

Le système racinaire ou la partie souterraine du Palmier est dense de type fasciculé, il est formé d'un plateau racinaire volumineux (Bulbe) qui émerge plusieurs types de racines dont le diamètre ne dépasse pas 1,5 cm et qui émergent partiellement au-dessus du niveau du sol à une hauteur allant jusqu'à 50 cm de la base du tronc (figure 2).

L'extension du système racinaire est fonction de la nature du sol, du mode de culture et de la profondeur de la nappe phréatique. Dans des conditions normales, le système racinaire d'un palmier dattier ayant une hauteur de 8 à 10m peut s'étendre latéralement à plus de 7m du tronc et atteindre une profondeur supérieure à 6 mètres. La densité des racines dans le sol est décroissante en profondeur, son nombre et sa densité varient selon la nature du sol, les conditions climatiques et les cultivars (Albakre, 1972).

3.3.1 Les racines

Ces racines fasciculées, c'est-à-dire disposées en faisceaux, peu ramifiées, dépourvues de poils absorbants, n'ayant relativement que peu de radicelles, sont divisées sur le plan morphologique en trois types de racines en fonction de leur diamètre, leur position au niveau de l'arbre et du sol (Bouguédoura, 1991) :

- **Les racines de premier ordre (Auxirhyses):** de grosses racines adventives de la base du tronc jusqu'à un mètre du sol. Elles se caractérisent par l'absence de ramification et par un diamètre compris entre 10 et 20mm. Elles ont une trajectoire verticale ou horizontale. Ces racines forment un tapis qui couvre de grandes superficies.
- **Les racines de deuxième ordre (Mésorhyses):** des racines centrales moyennes qui sont émises à la base du tronc, dont le diamètre est compris entre 8mm et 10mm et la longueur variant entre 20 et 25 cm. Elles se ramifient en donnant des racines secondaires longues et fines dont le rôle serait fonction de leur position et de leur orientation. Ces racines présentent une morphologie et une structure identiques à celle des racines de premier ordre.
- **Les racines de troisième ordre (Brachyrhyses):** courtes et à petit diamètre, correspondant aux ramifications des racines secondaires.

Les racines du premier ordre (auxirhyzes), émettent des racines du deuxième ordre (mésorhyses), donnant naissance à leur tour à des racines de troisième ordre (brachyrhyzes). Toutes ces racines peuvent présenter des pneumatodes qui sont des organes à vocation respiratoire, et se représentent sous forme de petites plaques verrues et farineuses placées sur les racines (Munier, 1973). Ils sont facilement reconnaissables en palmeraie par leur forme en anneaux farineux blanchâtres; au microscope ils se présentent sous forme de tissus parenchymateux éclatés qui n'occupe pas toujours la même position chez les différentes racines (Djerbi, 1994).

Concernant la vitesse de croissance des racines:

- Les auxirhyzes : des racines à croissance normale mais discontinue.
- Les mésorhyzes : des racines à croissance minimale.
- Les brachyrhizes : des racines à croissance très lente.

En fonction des zones de profondeur dans le sol, Munier (1973) les a subdivisés en quatre zones d'enracinement :

- **La zone 1 :** La plus part de ces racines ont un géotropisme négatif et jouent un rôle respiratoire grâce à la présence de nombreux méats aérifères qui permettent les échanges gazeux avec l'air de l'atmosphère du sol. Elles sont localisées au pied du palmier dattier.
- **La zone 2 :** des racines de nutrition, qui sont légèrement plus profondes, très étendues et pourvues de nombreuses radicelles et peuvent se développer largement au-delà de la zone de projection de la frondaison.
- **La zone 3 :** des racines d'absorption qui peut joindre le niveau de la nappe phréatique à une profondeur de 1 à 2 mètres, leur fonction est de chercher l'eau.
- **La zone 4 :** des racines d'absorption en profondeur qui sont caractérisées par un géotropisme positif très accentué. La profondeur de ses racines dépasse les 15 mètres (Munier, 1973 ; Peyron, 2000).

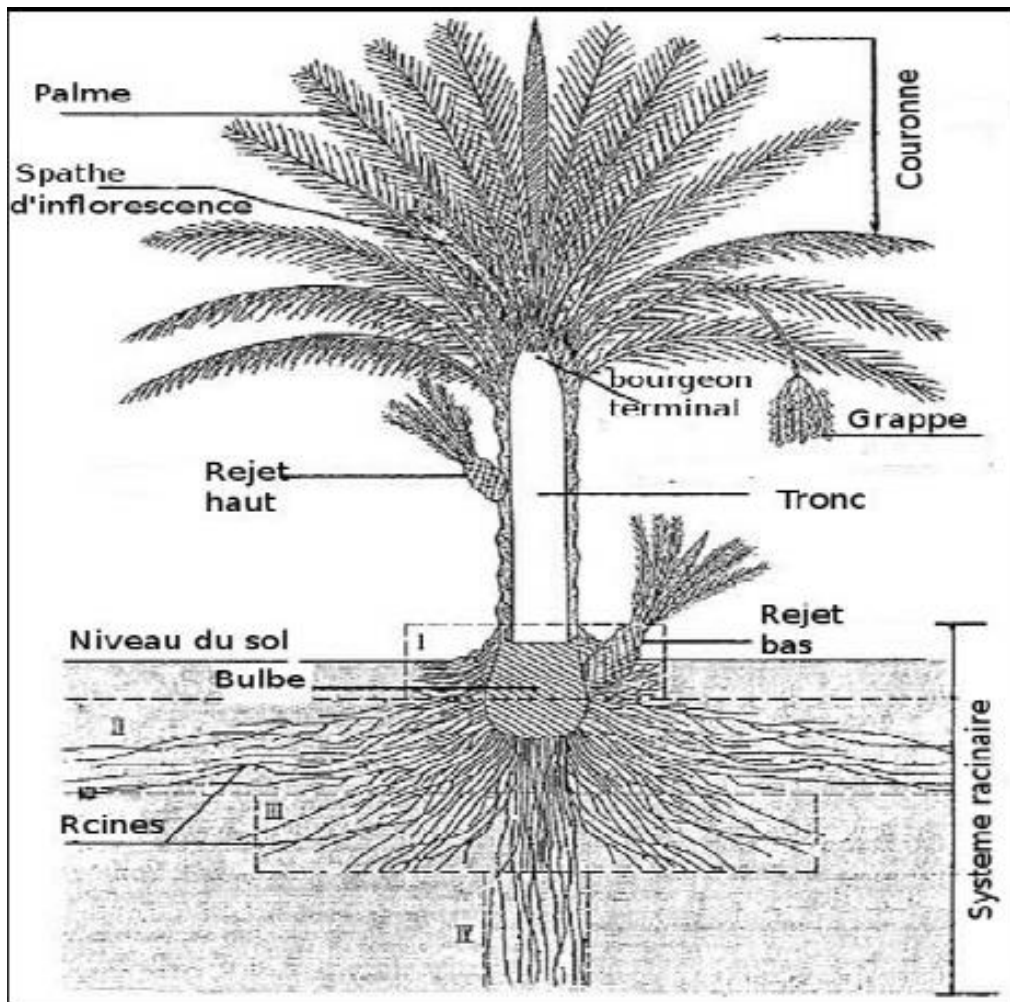


Figure 02 : Schéma typique d'un palmier dattier adulte (Munier, 1973)

3.4 Le système végétatif

3.4.1 Le stipe ou tronc

Le dattier a un stipe simple, généralement cylindrique ou parfois conique, de couleur brune et lignifié, son élongation s'effectue dans sa partie coronaire par le bourgeon terminal ou phyllophore, l'élongation annuelle du stipe est d'environ 20 à 30 cm. La ramification est de type monopodiale, la hauteur et la vitesse de croissance varient selon les cultivars, l'âge et le poids des rejets dont ils sont issus lors de la plantation.

Le tronc est revêtu par les bases des palmes (cornafs) qui sont elles-mêmes imbriquées dans des fibrilles appelées fibrillum. Ces fibrillums sont des excroissances de la base des palmes qui entourent complètement le tronc (Brac de la Perrière, 1995), un palmier peut donner environ 17 rejets au cours de son existence.

Il est constitué par un parenchyme amylofère dans lequel les faisceaux vasculaires sont distribués de façon dense dans la région corticale et plus lâche dans la région centrale. La concentration des faisceaux dans la zone corticale correspond à l'arrivée des faisceaux de la base des palmes et ces tissus constituent le cortex du tronc (Bouguédoura, 1991).

Le développement du stipe est assuré par un méristème terminal dont l'activité végétative est indéfinie durant toute la vie de la plante. Durant la croissance du stipe, des zones de rétrécissement du diamètre sont observées, résultant des défauts de nutrition ayant entraîné le développement anormal du bourgeon terminal, de dysfonctionnements physiologiques liés à un manque d'eau, à l'âge ou à des maladies et des insectes.

3.4.2 La couronne

La couronne ou frondaison est l'ensemble des palmes du Palmier dattier. On dénombre 50 à 200 palmes chez un palmier adulte et mieux tenu (Benchenouf, 1971). L'ensemble des palmes vertes forme la couronne, selon la décomposition suivante (Peyron, 2002):

- La couronne basale, formée des palmes les plus âgées.
- La couronne centrale, formée des palmes en pleine activité (adultes).
- Les palmes du cœur, non encore ouvertes et n'ayant pas encore atteints, leur tailles définitives, sont dites « en pinceau ».

3.4.3 Les palmes

Les palmes ou souvent appelées « Djerids » sont les feuilles adultes du palmier dattier très rapprochées sur le stipe par une gaine pétiolaire bien développée « cornaf », elles ont une forme pennée dont les folioles sont régulièrement disposées en position oblique le long du rachis isolées ou groupés, Pliées longitudinalement en gouttière (figure 3).

Les segments inférieurs sont transformés en épines, plus ou moins nombreuses et plus ou moins longues, composées et disposées sur le tronc en hélice, elles peuvent mesurer de deux à six mètre de long selon les cultivars, l'âge du palmier et les conditions culturales.

Les palmes vivent de 4 à 7 ans selon les variétés et le mode de culture, puis elles jaunissent, se dessèchent et meurent. La disposition des folioles et des épines sur le rachis ; ainsi que les angles qu'elles forment entre elles et avec le rachis, constituent des index taxonomiques permettant de différencier les clones (Munier, 1973).

A l'aisselle de chaque palme, se trouve un bourgeon adventif ou axillaire qui en se développant peut donner naissance à une inflorescence dans la région coronaire, à un rejet dans la région basale, et à un gourmand dans la région moyenne et sous coronaire (Munier, 1973).

Une palme adulte est constituée de trois éléments : les pennes appelées généralement folioles, les épines et le rachis. Les pennes sont disposées en position oblique le long du rachis, pliées longitudinalement en gouttière, droites, ordinairement géminées, parfois fasciculées par 3 ou plus, plus ou moins divergentes, à face canalicule introrse, antrorse, ou retorse.

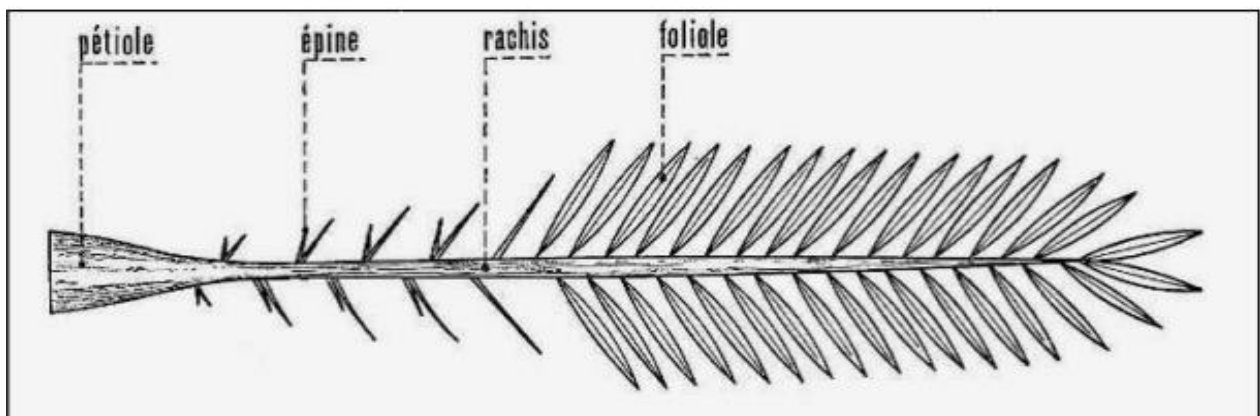


Figure 03 : Schéma d'une palme (Munier, 1973).

3.4.4 Les bourgeons

A l'aisselle de chaque palme, se trouve un bourgeon axillaire qui peut se développer pour donner naissance à un rejet, à la base du stipe ou aérien attaché au tronc, dénommé vulgairement "Rkeb" dans la partie basale de l'arbre ou une inflorescence dans la partie supérieure. La plupart des bourgeons axillaires végétatifs finissent par avorter durant la phase juvénile du palmier.

Le bourgeon apical ou terminal est responsable de la croissance en hauteur du palmier et du développement des feuilles et de bourgeons axillaires. Grâce aux très faibles variations de température jour et nuit au niveau de ce bourgeon et aux différences de température qui surgissent pendant les saisons froides et chaudes (allant jusqu'à 15°C) par rapport à l'extérieur du bourgeon, ce dernier permet au palmier dattier de tolérer et de s'adapter à l'hostilité des conditions sahariennes (Al-Bakr, 1972).

3.4.5 Les folioles

Les folioles peuvent s'étendre dans la longueur de 15 centimètres à environ 1m avec une largeur allant 1 à 6,5 centimètres. Le nombre total des folioles sur une feuille peut changer de 120 à 240. Indépendamment des pennées le pétiole accroît habituellement également des épines dans la région inférieure. Elles sont dures et très pointues, s'étendant dans la longueur presque de rien à plus de 20 centimètres. Elles sont situées aux deux bords externes de la côte et peuvent numéroter de 10 environ à 60 (Barreveld, 1993).

La disposition des folioles et des épines sur le rachis, ainsi que les angles qu'elles forment entre elles et avec le rachis, constituent des index taxonomiques permettant de différencier les cultivars.

3.5 L'appareil reproducteur

Les organes de reproduction du palmier dattier sont formés d'inflorescences mâles ou femelles portées par des palmiers différents, et de fleurs mâles et femelles.

3.5.1 Les inflorescences

Les inflorescences ont une forme de grappes d'épis, enveloppée et protégées par une bractée membraneuse close et fusiforme de forme allongée dite spathe, qui les protège de la chaleur et du soleil jusqu'à ce qu'elles soient mures et prêtes à remplir leur fonction.

Leur longueur dépend des cultivars. Elles sont de couleur vertjaunâtre et sont formées à partir de bourgeons développés à l'aisselle des palmes (Sedra 2003). Un seul ovule par fleur est fécondé et un seul carpelle se développe pour donner les dattes (le fruit du palmier dattier).

Les spathes mâles sont plus courtes, plus larges et plus renflées que les spathes femelles avec une dépression dans leur partie supérieure (figure 4) (Toutain & Saaidi 1973 ; Munier, 1973).

Les inflorescences se développent parmi les feuilles et naissent du développement ou germination de bourgeons axillaires situés à l'aisselle des palmes de l'année précédente dans la région coronaire du tronc, le palmier male porte de 10 à 30 spadices tandis que la femelle porte de 6 à 20 spadices chaque année (Munier, 1973). Chaque épillet porte un grand nombre de minuscules fleurs pouvant aller de 8000 à 10000 chez les femelles et davantage inflorescences males comme il est montré sur la figure 05.

Le développement de l'inflorescence se traduit par :

- Une augmentation de considérable du nombre de branches inflorescentielles et d'ébauches florales surtout chez les males.
- Un épaissement du spadice.
- Un allongement du spadice et des épis (Bouguédoura, 1991).

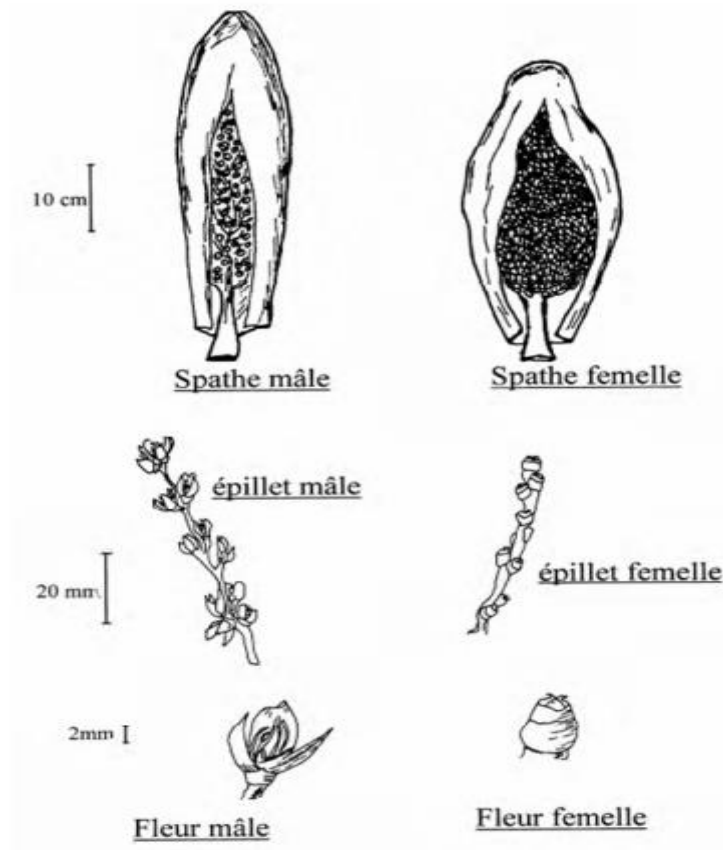


Figure 04 : Inflorescences mâle et femelle (Munier, 1973)

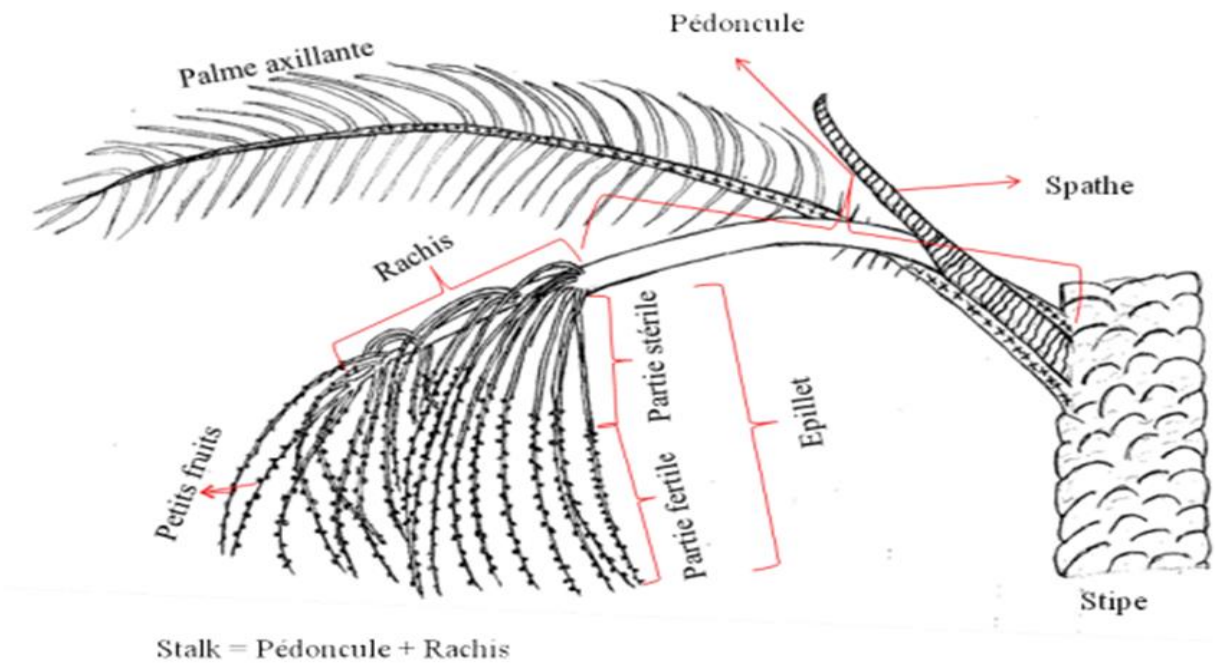


Figure 05 : Inflorescences du dattier portant des fruits (Gammoudi, 2012).

3.5.2 La fleur

L'état floral débute par l'apparition des inflorescences latérales. Deux périodes se distinguent:

- Une période d'établissement de l'état floral ou inflorescentiel, caractérisée par la production des bourgeons végétatifs et reproducteurs durant une période variable entre 2 à 4 ans.
- Une période reproductrice étalée sur toute la vie du dattier où des bourgeons inflorescentiels sont produits avec quelques rares bourgeons végétatifs. L'acquisition de l'état floral complète chez le dattier pourra être estimée à l'âge de 8 à 10 ans.

Le dattier est une espèce dioïque ; chaque individu ne porte que des inflorescences de même sexe. Cependant, la dioïcie du dattier offre certaines anomalies relativement fréquentes, des sujets peuvent changer de sexe d'une année à l'autre ou pendant la même période de floraison ou encore porter à la fois des inflorescences des deux sexes ; Ces dattiers, souvent stériles, sont éliminés des plantations (Munier, 1973).

Les fleurs du dattier sont déclinées, c'est-à-dire unisexuées à pédoncule très court. Elles sont petites de couleur ivoire, jaune verdâtre selon le sexe et le cultivar ou la variété, parfumées, réunies en spadices axillaires longs jusqu'à 120 cm, pratiquement quasi sessiles, sensibles, portées par des pédicelles rassemblés en épi composé ou épillets, qui sont à leur tour portés par un spadice ou hampe (figure 07). « Le spadice », qui est enveloppé d'une grande bractée membraneuse entièrement fermée du dos ; chaque spadice ne comporte que des fleurs du même sexe (figure 08).

En période de pollinisation, les spathes ou inflorescences s'ouvrent d'elles-mêmes suivant, la ligne médiane du dos (Sedra2003).

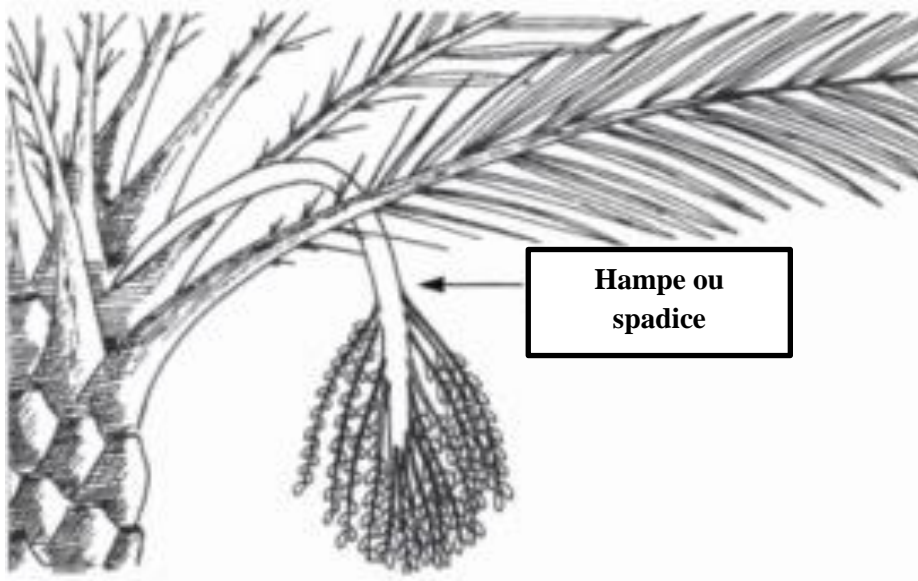


Figure 06 : Une inflorescence du palmier dattier (Peyron, 2000).

3.5.2.1 La fleur femelle

Elle est globuleuse, d'un diamètre de 3 à 4 mm et est formée de 3 sépales soudés. Une Corolle formée de 3 pétales ovales et arrondies et 6 étamines avortées. Le gynécée comprend 3 Carpelles indépendants à un seul ovule et de 6 à 20 spadices chaque année (Munier 1973).

3.5.2.2 La fleur mâle

De forme allongée, constituée d'un calice composé de 3 spathe soudées par leurs bases, de 3 pétales légèrement allongées formant la corolle, comme il porte de 10 à 30 spadices. La fleur possède trois pseudo-carpelles et 6 étamines à déhiscence interne qui à leur maturité s'ouvrent et libèrent des grains de pollen. Après l'éclatement de la spathe mâle, la fleur laisse échapper un pollen. Chaque spathe porte 160 branchettes et donne de 40 à 45 g de pollen (Belhabib, 1995).

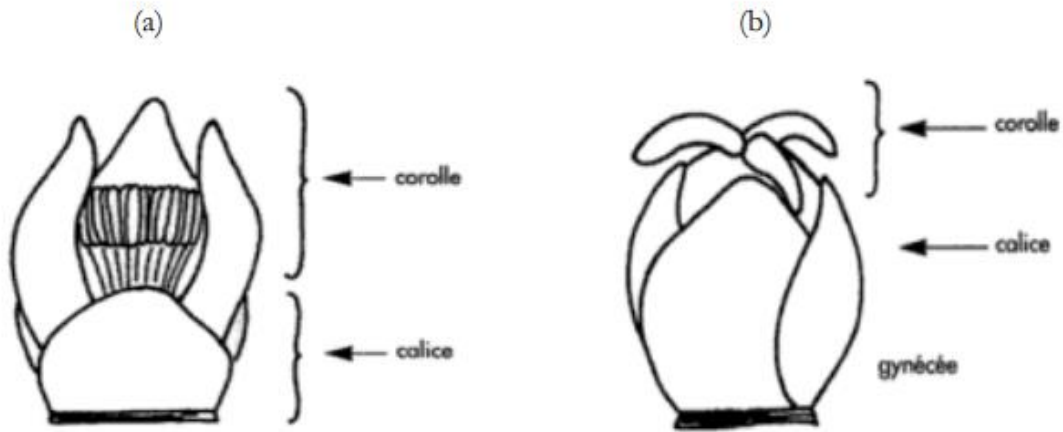


Figure 07 : Schéma d'une fleur male (a) et d'une fleur femelle (b) (Peyron, 2000).

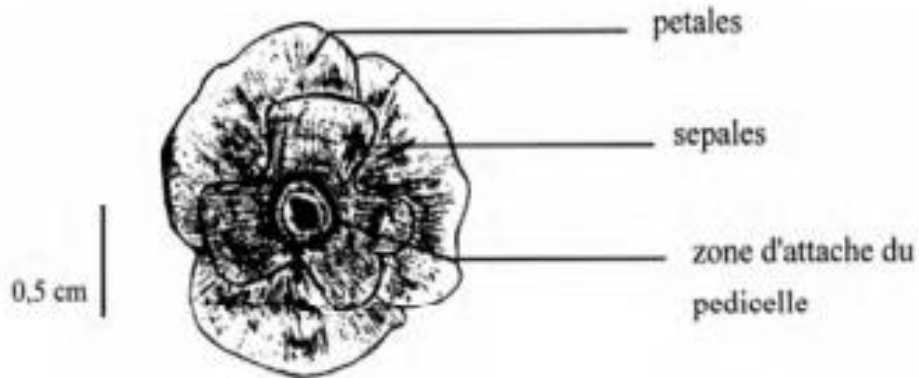


Figure 08 : Une fleur détaillée (Peyron & Gay, 1988).

4. Le fruit

Le fruit du Palmier dattier est une baie monosperme ; son poids, ses dimensions et sa forme varient selon les cultivars et les conditions de culture ; sa couleur est variable selon les espèces : jaune plus ou moins clair, jaune ambré translucide, brun plus ou moins prononcé, rouge ou noire (Munier, 1973). Le poids de la datte peut varier de 2 à 60 grammes; les dimensions sont de 18 à 110mm pour la longueur et de 8 à 32 mm pour la largeur (Djerbi, 1995). Sa consistance est également variable, elle peut être molle demi-molle ou dure, les dattes à consistance dure sont dites dattes sèches, leur chair à un aspect farineux.

La datté contient une seule graine, appelée communément noyau. Elle est constituée d'un mésocarpe charnu, protégé par un fin épicarpe, La graine ou noyau est de forme allongée, plus ou moins volumineux lisse ou pourvu de protubérances latérales en arêtes ailettes, avec un sillon ventral ; entouré d'un endocarpe parcheminé, plus ou moins volumineux, lisse ou pourvu de protubérances latérales en arêtes ou ailettes, avec un sillon ventral.

L'embryon est dorsal sa consistance est dure et cornée (Munier, 1973). Elle a un poids qui varie de 0,5 à 5 grammes, la longueur et la largeur sont respectivement de 12 à 16 mm et de 6 à 13 mm (Mellouki, 2015).

Une coupe longitudinale montre les parties constitutives du fruit (figure 09).

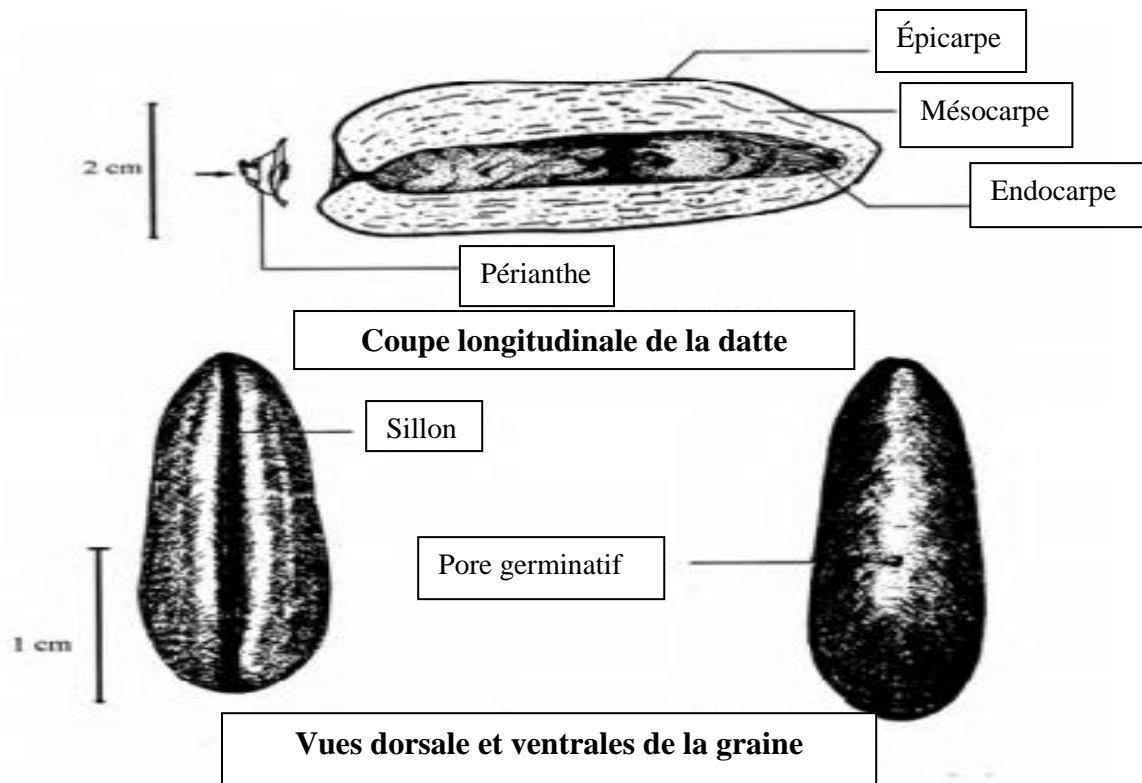


Figure 09 : Datté et graine (Peyron & Gay, 1988).

4.1 Classification des dattes

La consistance de la datté est variable. Selon cette caractéristique, les dattes sont réparties en trois catégories : les dattes molles, les dattes demi-molles et les dattes sèches. Chaque classe des dattes est caractérisée par un taux d'humidité qui ne dépasse pas 30%, et une richesse en sucre (fructose, glucose) (Espirad, 2002).

Dans la classification commerciale, ces trois catégories correspondant respectivement:

- Dattes molles dont la chair est très aqueuse lorsqu'elles sont fraîches
- Dattes demi-molles dont la teneur en eau de la chair est moins élevée que celle de la catégorie molle. Elles sont relativement sèches au stade Tamar
- dattes sèches dont la pulpe est naturellement sèche Du développement à la maturation, la datte passe par plusieurs étapes caractérisées par des variations de la couleur, de la forme et des caractères chimiques (Cogginis et al, 1969).

Au cours de son développement, après la fécondation, l'ovule évolue pour donner un fruit de couleur verte, taille d'un pois puis d'un fruit de raisin jusqu'à la taille normale de la datte.

En effet, la datte passe par cinq stades d'évolution du fruit de la nouaison à la maturation. Ces stades sont désormais classiques, et prennent des appellations locales en Algérie (Elfawal, 1962 ; Albakre, 1972 ; Barreveled, 1975 ; Jarrah, 1983) :

- Hababouk : après la nouaison
- Chamri : le début du grossissement du fruit
- Bser ou Khalal : le changement de la couleur
- Rutab : début de maturation
- Tamar : complète maturation

4.2 Les différentes variétés de dattes

Il existe un grand nombre de variétés de dattes environ 200 qui se différencient par la qualité de leurs fruits (consistance) et par leur appréciation sur le marché, les plus cultivées en Algérie sont : Deglet-Nour, Ghars, Deglet Beida et Mech-Degla. Ces variétés sont très appréciées sur le marché national et international surtout la variété Deglet-Nour. Les variétés communes quant à elle sont peu appréciées et de valeurs commerciales faible, on peut citer : Tinissine, Tantboucht, Hamra, Tegaza, Takerboucht (Noui, 2001).

Le tableau suivant montre les trois variétés les plus cultivées en Algérie :

Tableau 01 : Caractéristiques morphologiques des trois variétés de dattes (Sayah et Ould El Hadj, 2010).

| Caractère du fruit | Variété de dattes | | |
|-----------------------|-------------------|-------------|---------------------|
| | Deglet-Nour | Degla beida | Ghars |
| Forme de la datte | Ovoïde | Ovoïde | Ovoïde |
| Couleur au stade Tmar | Marron foncé | Beige | Marron foncé |
| Consistance | Demi-molle | Sèche | Molle et demi-molle |
| Plasticité | Tendre | Dure | Tendre |
| Texture | Fibreuse | Fibreuse | Fibreuse |
| Gout | Parfumé | Fade | Parfumé |
| Forme du noyau | Ovoïde | Ovoïde | Ovoïde |
| Couleur du noyau | Marron | Beige | Marron |
| Poids de la datte (g) | 10.79 | 6.69 | 8.81 |
| Poids du pulpe (g) | 9.75 | 6.04 | 7.28 |
| Poids du noyau | 0.7 | 1.26 | 1.13 |
| Taille de datte (cm) | 4.11 | 3.94 | 4.47 |
| Taille du noyau | 2.33 | 2.47 | 2.73 |
| Noyau datte (%) | 6.41 | 18.88 | 12.87 |

4.3 Les éléments nutritifs des dattes

La datte est composée essentiellement d'eau, de sucres non réducteurs (saccharose), de sucres réducteurs (glucose, fructose), et d'autres composés tel que les protéines, les lipides, les sels minéraux, les vitamines et les enzymes.

4.3.1 L'eau

C'est le deuxième composant important après les sucres, elle détermine la texture du fruit, c'est pour ça que les chercheurs ont classé les dattes mures selon leurs consistance en trois catégories : dattes molles, demi molles et sèches ; La teneur en eau varie avec le degré de maturité et dépend du caractère variétale (Booij et al, 1992).

4.3.2. Le sucre

Les dattes représentent une très bonne source d'énergie, en particulier en raison de leur teneur en élevée en sucre qui avoisine les 70% fournissant ainsi une valeur énergétique

moyenne de 314 kcal/100g. Chimiquement, il existe deux catégories de dattes : celles à saccharose et celles à sucres réducteurs (glucose et fructose) ; Ces sucres sont à des concentrations ni constantes ni uniformes (Al-Farsi et Lee, 2008).

4.3.3 Les minéraux

Les dattes représentent une importante source en éléments minéraux dont les teneurs sont très significatives du point de vue nutritionnel. Elles sont riches en Fer, Calcium, Cobalt, Cuivre, Fluor, Magnésium, Manganèse, Potassium, Phosphore, Sodium, Souffre, Bore, Sélénium et Zinc (Al-Farsi et Lee, 2008).

Les dattes sont parmi les fruits les plus riches, dont le pulpe d'une datte peut atteindre jusqu'à 0.9% de Potassium et 0.5% dans le noyau. De plus, les graines contiennent également de l'aluminium, le chlorure, le plomb et le soufre dans divers proportions (Al-Farsi et Lee, 2008).

4.3.4 Autres composants

Les dattes sont également composées de matière grasse (lipides) dont la quantité est plus importante au niveau du noyau que de la pulpe (0.2% _ 0.5% tout dépend des cultivars), et de matière azotée comme les protéines...etc

Par contre, la teneur en fibre est plus importante allant de 3.57% à 10.9%, elle est très variable selon les cultivars, les stades de maturité et les méthodes d'extraction et de dosage. Les acides organiques sont également présents dans la chair en quantité non négligeable au cours de la maturité de la datte et serait une composante de la faveur des dattes, bien que leurs teneurs diminuent au dernier stade de maturité (Al Farsi et Lee, 2008 ; Brreveld, 1993).

La présence d'enzymes est primordiale dans les processus de conversion durant la formation et la maturation de la datte, leurs activités sont particulièrement intéressantes pour la qualité finale du produit. Ainsi que les vitamines qui présentent un rôle essentiel dans la nutrition humaine ; les composés aromatiques sont des composés volatiles responsables de l'arôme spécifique des dattes. De même que les composés phytochimiques qui contribuent aux propriétés nutritionnelles et organoleptiques des dattes ; ils influent sur la faveur qui est l'un des plus importants critères de la qualité des dattes.

5. Cycle de développement du dattier

Le développement d'un végétal depuis sa naissance à sa mort se fait par la succession des quatre phases de développement caractérisées par des changements morphologiques, anatomiques, physiologiques et biochimiques, alors qu'elles ne sont en réalité que des périodes physiologiques (Buelguedj, 2002 ; Bousdira, 2007) :

- Phase jeune : Depuis la plantation jusqu'aux premières productions. Cette phase dure entre 5 à 7 années, selon le milieu et les soins apportés à la culture.
- Phase juvénile : C'est la pleine production. Elle se situe autour de 30 ans d'âge du palmier.
- Phase adulte : Autour de 60 ans d'âge, début de décroissance de la production surtout si le palmier est dans des conditions de culture médiocres.
- Phase de sénescence : 80 ans et plus, la chute de la production.

La durée de chaque phase est plus au moins fixée pour chaque espèce, Généralement pour chaque plante on détermine l'âge moyen à partir duquel la plante est capable de fleurir. Cet âge est nommé différemment selon les auteurs "âge chronologique" ou "âge physique" (Ritterbusch, 1990).

Ces différentes étapes sont en partie affectées par les composantes du climat, notamment les précipitations et les températures. Le cycle végétatif varie légèrement avec le milieu, les conditions culturelles, les cultivars et parfois avec l'âge des palmiers.

6. Les principales exigences écologiques du palmier dattier

Cet arbre fruitier peut s'adapter à de nombreuses conditions, grâce à sa grande variabilité. Différents facteurs climatiques et édaphiques sont importants afin de pouvoir déterminer la convenance d'un emplacement spécifique pour la culture du palmier dattier (Zaïd, 2002), en bénéficiant des paramètres suivants :

6.1 Exigences climatiques

Le Palmier-dattier est une plante héliophile qui aime le soleil, cultivée dans les régions chaudes arides et semi-arides du globe. Son activité végétative se manifeste à partir de 7°C à 10°C selon les individus, les cultivars et d'autres paramètres climatiques, elle atteint son maximum vers 32°C, et commence à décroître à partir de 38°C (Munier, 1973; Peyron, 2000),

il tolère des maxima de 56°C pendant plusieurs jours sans paraître en souffrir, lorsqu'il est normalement alimenté en eau, mais ce n'est qu'une résistance, l'activité végétative est arrêtée.

La floraison se produit après une période fraîche ou froide, pour mûrir car la datte a besoin d'une chaleur estivale prolongée, quand la température redevient assez élevée et atteint un seuil appelé le zéro de floraison. Les pluies ont une action néfaste sur la période de floraison, surtout lorsqu'elles sont violentes. Elles entraînent le pollen, abaissent la température des phénomènes de coulure et favorisent les maladies cryptogamiques. Sur les fruits plus âgés, elles provoquent de nombreux dégâts (Peyron, 2000).

L'humidité de l'air aussi joue un rôle sur la biologie du dattier (Munier, 1973), dont :

- Les humidités faibles (inférieures à 30%) stoppent le processus de fécondation et provoquent le dessèchement des dattes au stade de maturité.
- Les humidités fortes (supérieures à 70%) provoquent la pourriture des inflorescences et des dattes (Bouguédoura, 1991).

De même, divers accidents sont provoqués par l'action mécanique des vents, ils accélèrent le dessèchement des dattes, augmentent la transpiration du palmier et provoquent la brûlure des jeunes pousses (Bouguédoura, 1991). Les vents les plus dangereux sont les vents chauds et desséchants, qui provoquent l'échaudage. Les dattes sont saisies et mûrissent trop rapidement : les fruits peuvent être fripés et sont alors fortement dépréciés (Peyron, 2000).

6.2 Exigences hydriques

Bien que cultivé dans les régions les plus chaudes et les plus sèches du globe, le palmier dattier recherche toujours les endroits où les ressources hydriques du sol (nappes phréatiques) sont suffisants pour subvenir à ses besoins au niveau des racines, pour compenser les pertes par infiltration et par évaporation à la surface du sol et pour lessive le sol afin d'éliminer les sels accumulés (Peyron, 2000).

Considérant qu'un hectare de palmier compte en moyenne 100 pieds, les besoins en eau d'irrigation à l'hectare varient suivant les sols, les régions et le niveau des nappes souterraines de 15 à 18000 m³ à 30 à 40000 m³ par hectare et par an (Munier, 1973).

6.3 Exigences pédologiques

C'est une plante qui pousse sur des terrains de n'importe quelle nature, pourvu qu'ils soient fertiles et bien drainés. Mais un sol neutre, profond, bien drainé, assez riche ou

susceptible d'être fertilisé conviendrait mieux au palmier dattier, il croit plus rapidement en sol léger qu'en sol lourd (Toutain, 1971).

Le dattier est une des plantes les plus résistantes à la salinité (Chlorure de sodium et de magnésium), car il peut végéter dans des sols où la salinité arrive à 3%, mais l'augmentation de la salinité du sol provoque la diminution de la taille des palmes et des fruits et en conséquence provoque la chute du rendement. Les carbonates du sodium sont plus nuisibles que les sulfates et les nitrates (Ghanim, 2001).

7. L'importance économique du palmier

Le palmier dattier connu depuis l'antiquité, était considéré par les égyptiens comme un symbole de fertilité, représenté par les carthaginois sur les pièces de monnaies et les monuments, et utilisé par les grecs et les latins comme ornement lors des célébrations triomphales.

Tandis que le palmier dattier et son fruit étaient révéérés dans plusieurs cultures antiques, il est la culture arabe d'une grande importance. Le prophète Mohammed qui a vécu dans un village au centre de la culture de datte, consacré le fruit; il était sa nourriture favori, décrite en tant que générosité de dieu dans le Coran où on lui mentionne au moins 26 fois. Selon la tradition islamique, on a dit que le palmier dattier est l'arbre de la vie, c'était une source riche de nourriture pour Mary quand elle était enceinte avec le prophète Jésus. Il y a beaucoup d'autres références à travers l'histoire, tout renforçant la valeur de la datte (Sanderson, 2001).

Les palmiers sont considérés comme le deuxième groupe végétal par ordre d'importance économique après les graminées. La datte est un produit à haute valeur alimentaire, il représente le pilier de l'économie régionale; elle contribue à l'alimentation de millions de personnes, elles constituent un important apport énergétique dans le régime alimentaire des populations entières (David et Jone, 1995).

7.1 Au niveau mondial

Du point de vue production mondiale des populations entières des régions tropicales ont un besoin vital de ces palmiers. D'après les annuaires des statistiques de la FAO, depuis 1950, la production mondiale de dattes double tous les 20 ans. Elle aurait augmenté de 15,5% entre 89 et 93 passant de 3309 à 3823 milliers de tonnes. En 1992, la production mondiale

dattière réalisée est 3 737 000 tonnes dont 65,37% en Asie et 33,85% en Afrique qui totalisent ainsi 99% de la production totale du globe. La production des pays arabo-islamiques représente environ 98% de la production totale, soit 3 557 670 tonnes, (Toutain et al, 1979).

Selon la F.A.O. (2019), La majorité de la production est située dans le Moyen Orient et Nord d'Afrique remarquant que l'Egypte prend la première place avec une production de 1590414 tonne, suivie par l'Iran, l'Arabie saoudite, Iraq et l'Algérie, en fin Oman. Le pourcentage de production de datte a été plus élevée dans la région d'Asie (61.5%) ; suivie par la région d'Afrique (37.9%) ; puis la région d'Amérique par 0.4%. En fin l'Europe par 0.2 % (Figure 10).

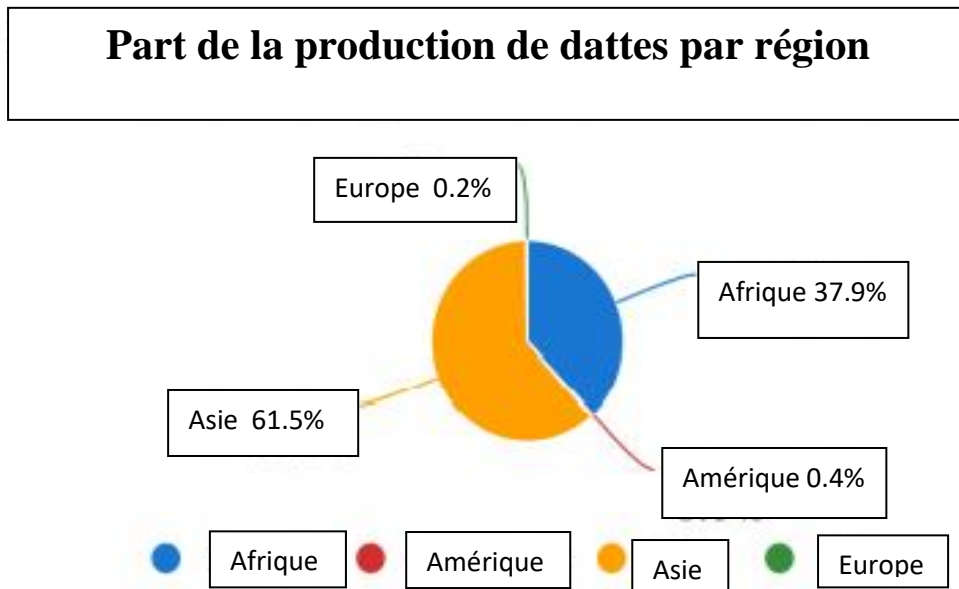


Figure 10 : La production de dattes par région (F.A.O., 2019).

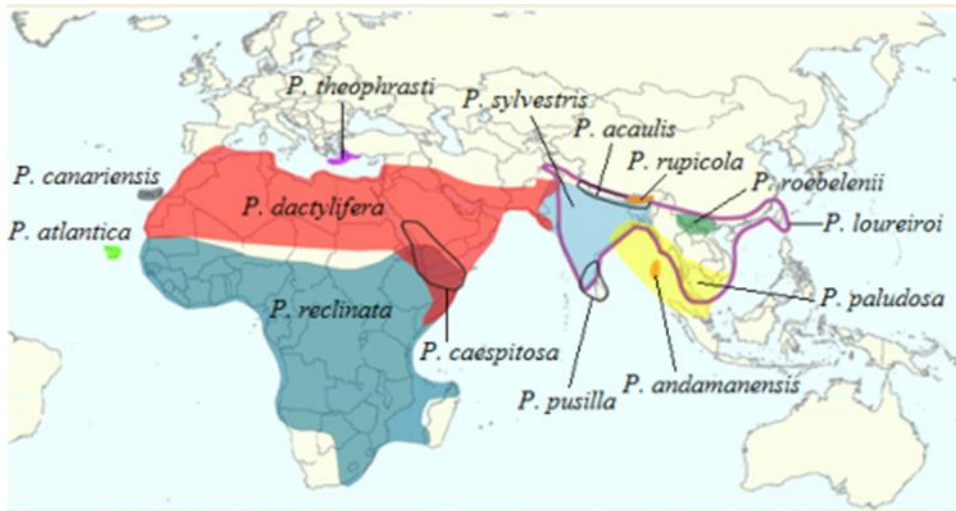


Figure 11 : La distribution de la tradition phœnicicole en rouge à travers le monde (Gros-Balthazard et al. 2013).

7.2 Au niveau national (en Algérie)

La production nationale des dattes occupe une grande place dans les régions sahariennes de l'Algérie avec une surface moyenne de 155 mille ha avec 16 millions de palmiers dattier en 2007 augmentant à 170 mille ha en 2013 avec 18,7 millions de palmiers. Elle est considérée parmi les principales spéculations qui contribuent au développement de l'économie nationale et constitue une source de devises appréciable à travers ses revenus qui la place dans la 4ème position au niveau mondiale.

L'Algérie est parmi les grands pays à fort potentiel phœnicicole, la wilaya de Biskra est en tête avec une production de dattes de 41,2% de la production nationale globales, suivie par El Oued, puis Ouargla ce qui fait d'elle la troisième wilaya en matière de production (Sidaoui, 2018) (Tableau 02).

Tableau 02 : Répartition de production de dattes par wilaya (Sidaoui, 2018).

| Wilaya | Production (Quintal) | Nombre de palmiers dattiers |
|--------------------|----------------------|-----------------------------|
| Biskra | 4 077 900 | 4 315 100 |
| El Oued | 2 474 000 | 3 788 500 |
| Ouargla | 1 296 300 | 2 576 000 |
| Adrar | 910 300 | 3 799 000 |
| Ghardaïa | 565 000 | 1 246 500 |
| Béchar | 300 500 | 1 639 800 |
| Tamanrasset | 109 400 | 688 900 |
| Khenchela | 68 200 | 124 400 |
| Tébessa | 20 500 | 61 800 |
| Laghouat | 16 200 | 37 300 |
| Illizi | 15 600 | 129 100 |
| Batna | 14 000 | 28 700 |
| El Bayadh | 10 300 | 63 900 |
| Naama | 10 200 | 50 600 |
| Tindouf | 8 400 | 45 200 |
| Djelfa | 6 800 | 10 100 |
| Total | 9 903 600 | 18 605 100 |

8. Les ravageurs et les maladies du palmier dattier

Ce patrimoine phoenicicole se trouve sérieusement menacé et/ou endommagé par divers contraintes biotiques et abiotiques, dont nous citons les plus importants et qui causent le plus de problèmes comme la pyrale des dattes (*Ectomyelois ceratoniae*), le Boufaroua (*Oligonychus afrasiasticus*), la Cochenille blanche (*Parlatoria blanchardi*), la pourriture des inflorescences ou « Khamedj » (*Mauginiella scattae*, *Fusarium moniliforme*, *Thielaviopsis paradoxa*) et le Bayoud (*Fusarium oxysporum.f.sp.albedinis*). Ces ennemis provoquent des pertes considérables à la production et peuvent entraîner une érosion génétique (Dakhia et al, 2013).

8.1 Les contraintes abiotiques

Dans la nature, les plantes sont exposées à de nombreuses agressions qui provoquent à leur niveau des perturbations métaboliques graves et très souvent une installation de la maladie. La culture du palmier dattier est confrontée à plusieurs contraintes abiotiques qui la limite et qui sont principalement dues au fait que ce dernier se développe sous des conditions désertiques hostiles, comme :

8.1.1 La sécheresse

Cet arbre de désert, ne peut végéter et produire qu'après fourniture suffisante des besoins en eau, contrairement aux concepts populaires; sachant que sa production peut varier dans certains pays selon la pluviométrie. C'est une espèce thermophile (Baaziz, 2003).

8.1.2 La salinité

La salinité des sols constitue un facteur limitant en agriculture, car elle inhibe la germination et le développement de la plante avec un impact sur son comportement biochimique. La résistance du palmier dattier à la salinité est marquée par une croissance sur des sols contenant 3% de sels solubles, mais il ne se développe pas à des concentrations d'environ 6% en sels. L'utilisation d'eau salée dans l'irrigation du palmier dattier a un effet direct sur la croissance des fruits, une eau contenant du sel à raison de 9 à 16 g/L n'a pas d'effet sur la croissance végétative des palmiers. Cependant, les fruits obtenus sont très petits avec une croissance très lente (Baaziz, 2003).

8.2 Les contraintes biotiques

Le stress biotique fait intervenir un second être vivant qualifié d'agent pathogène (champignon, bactérie, mycoplasme, virus et viroïde ou autres (acariens, insectes, nématodes...)).

8.2.1 Pathologies dues aux insectes et acariens

8.2.1.1 Les pyrales de la datte

Le vers de la datte ou l'Ectomyelois ceratoniae. C'est l'insecte qui cause le plus de problèmes d'infestation des dattes, préjudiciables à l'exportation, notamment pour la Deglet Nour. Il attaque les cultivars de datte demi molles et sèches, elle peut entraîner des dégâts avec

un pourcentage allant de 20 à 30% de la production totale et rend les fruits inconsommables (Bounaga et Djerbi, 2009).

8.2.1.2 La cochenille blanche (*Parlatoria blanchardi*)

C'est un insecte dangereux pour le dattier, surtout pour les jeunes plants de Deglet Nour. La lutte biologique par l'utilisation de prédateurs et l'élevage de ces derniers sont envisagés (Ben Abdallah, 1990).

8.2.1.3 Le Bouferoua

C'est un acarien appelé scientifiquement *Olygonychus afrasiaticus*, il est présent dans tous les secteurs où pousse le palmier dattier. Ses dégâts peuvent être dévastateurs de la production jusqu'à 70% et passer même à 100% (Bounaga et Djerbi, 2009).

8.2.2 Pathologies microbiennes

La nature particulière du biotope où se développe le palmier dattier fait que cette espèce est exposée à des parasites acclimatés à des conditions. Citons parmi ces maladies celles que les phoenicicoles connaissent le mieux tel que le Khamedj, le Mejnoun et le Bayoud sur lequel se base cette étude.

8.2.2.1 Le Khamedj ou pourriture de l'inflorescence

Est connue dans presque toutes les zones de cultures du dattier. C'est une maladie grave qui sévit dans les régions de phoeniciculture les plus humides ou pendant les années très humides. Dans ce cas, elle peut prendre des allures épidémiques. Elle est causée par un champignon imparfait de l'ordre des Hyphales, à chaînes de conidies hyalines, fragmentés en articles mono ou bicellulaires *Mauginiella scaetae*. Le champignon se conserve à l'état de mycélium latent et les spores semblent n'avoir qu'une faible longévité, c'est une maladie externe qui ne nécessite pas de blessure préalable. La lutte consiste d'abord à entretenir les palmeraies et les palmiers (après destruction par le feu des inflorescences atteintes) et au traitement des palmiers à l'aide de divers fongicides. Il semble que certaines variétés soient plus sensibles au Khamedj que d'autres.

8.2.2.2 La maladie des feuilles cassantes

D'ont l'agent causal n'est pas encore déterminé et la « maladie du dessèchement du bout des palmes » : deux maladies qui sont en cours d'étude et qui attaquent l'arbre lui-même.

8.2.2.3 La pourriture du cœur de Thielaviopsis

Appelé aussi le Mejnoun (palmier fou), c'est un dessèchement noir des palmes causé par le champignon imparfait *Thielaviopsis paradoxa*. Cette maladie peut être grave et entraîne la mort des sujets atteints.

8.2.2.4 Le Bayoud

Ou Trachecmycose du palmier, C'est la plus grave des maladies du palmier dattier, et elle menace véritablement tous les pays producteurs de dattes. Elle existe au Maghreb: au Maroc, et en Algérie. Elle semble être apparue durant le siècle dernier dans la vallée du Drâa et s'est répandue vers l'Ouest et l'Est en suivant les cordons du palmier. En Algérie elle aurait décimé 3 millions d'arbres, la variété Deglet Nour est très sensible. Les symptômes externes sont connus: sur un arbre à l'origine sain, une palme de la couronne moyenne se dessèche et blanchit; les folioles se dessèchent de bas en haut et se replient vers le rachis. La palme prend l'aspect caractéristique d'une plume mouillée. Les palmes voisines sont atteintes à leurs tours et la totalité du bourgeon terminal finit par se dessécher, entraînant la mort de l'arbre, dans des délais qui peuvent varier de quelques semaines à plusieurs mois. L'agent responsable est le *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, champignon imparfait. Il se trouve dans le sol et fait partie de la mycoflore. Il pénètre dans la plante et migre dans les vaisseaux libéro-ligneux. Il se maintient très longtemps dans les palmiers bayoudés, même morts (Djerbi, 1990).

Chapitre 02 : la fusariose vasculaire du palmier dattier (le Bayoud)

1. Historique et progression du bayoud :

Le terme « Bayoud » est dérivé de l'arabe, *abyed* ابيض (« blanc »), en référence à la décoloration blanchâtre des palmes touchées par la maladie (Zaïd, 2002). C'est une trachéomycose causé par le champignon tellurique imparfait *Fusarium oxysporum f. sp. albedinis*.

Il est considéré comme une infection fongique la plus destructive dans les palmeraies algériennes cultivées dans la région du sud-ouest et de l'Afrique du nord en général, et représente une menace sérieuse qui entraîne d'énormes dégâts sur non seulement le coté agro-économique sur les meilleures variétés commerciales de renommée mondiale, mais aussi il a contribué à accentuer le phénomène de désertification.

De différents travaux ont été consacrés à l'étude du Bayoud et ont eu le mérite d'affirmer que la maladie est infectieuse et épidémique. D'autres recherches menées avec persévérance ont prouvé que le Bayoud est une Trachéomycose, c'est-à-dire une maladie provoquée par un champignon parasite imparfait tellurique de l'ordre des hypocéréales, il croit sur des débris de plantes au niveau du sol ou survit en forme de chlamydo-spores. Il se développe dans les vaisseaux ligneux conducteurs de la sève.

L'isolement de ce parasite remonte à 1921, et son identification a été réalisée en 1934. Il s'agit de *Fusarium oxysporum f. sp. albedinis* doué d'une spécificité parasitaire avec le palmier dattier. Il appartient à l'espèce *Fusarium oxysporum*, très commune dans les sols sous tous les climats et associée à divers plantes cultivées (Diana et al, 1995).

1.1 Répartition et dispersion du bayoud en Algérie :

L'apparition de la maladie du bayoud, ou fusariose vasculaire remonte à presque un siècle et demi, elle a été signalée pour la première fois en 1870 dans la vallée du Drâa au Maroc (Djerbi, 2003).

En Algérie, la maladie apparaît à Béni ounif en 1898 et à Béchar en 1900, les palmeraies des environs de ces centres sont atteintes à leur tour (Djerbi, 1988). La carte des foyers de Bayoud s'est élargie modestement entre les années 1920 et 1940. Cette progression continue du bayoud constitue une menace réelle pour les plantations importantes de Deglet Nour, et touche toutes les variétés de bonne qualité de dattes à tous les âges.

2. Les symptômes de la maladie du bayoud

Ce champignon peut infecter les espèces hôtes à n'importe quel stade de développement de la plante. La pourriture avant la levée des symptômes et la fonte des semis peuvent se produire quand les températures des sols sont fraîches (18–20 °C). Toutefois, l'infection touche le plus fréquemment des plantes plus âgées. Quand des plantes adultes infectées sont très chargées en fruits, elles ont tendance à s'effondrer.

Les symptômes externes et internes de la maladie et leurs caractéristiques sont présentés et rappelées ici :

2.1 Symptômes internes

L'observation des symptômes internes du Bayoud ne peut se faire que par l'intermédiaire de coupes transversales et longitudinales pratiquée dans les différentes parties de palmier plus ou moins malades.

En correspondance avec le petit nombre de racines nécrosées ou le champignon pénètre dans l'arbre, on observe à la base du stipe quelques faisceaux cribrovasculaire groupés qui avec le sclérenchyme et le parenchyme qui les entourent, ont une teinte acajou ou moutarde. Sur les coupes transversales de la base du stipe ils forment des taches de quelques centimètres carrés au plus. Et sur les coupes longitudinales des zones plus ou moins allongées.

Plus haut dans le stipe, les faisceaux conducteurs colorés se séparent les uns des autres et on peut suivre leur trajet compliqué au milieu des tissus sains.

Ces faisceaux colorés se retrouvent vers l'extrémité du stipe, dans la zone des palmes fonctionnelles et du bourgeon terminal. Chez un Palmier très malade, ils atteignent le bourgeon terminal où ils pénètrent, ainsi que les palmes qui l'entourent.

Chez un arbre moins gravement atteint, ils ne contaminent pas encore le bourgeon terminal, mais sont visibles dans certaines palmes. Il n'en a jamais été observé dans les hampes florales.

Dans les palmes montrant des symptômes externes de la maladie, on observe sur les coupes transversales de rachis une zone brun-rouge, diffuse, piquetée de points plus foncés au niveau des faisceaux conducteurs fortement colorés. La zone colorée avec les faisceaux cribrovasculaires foncés peut atteindre l'extrémité des palmes. Elle peut aussi s'estomper

avant, et il arrive qu'on ne voit plus sur le trajet de certains faisceaux que des points colorés, espacés les uns des autres de quelques millimètres.

Il est tout à fait remarquable de constater qu'il y a une continuité parfaite dans les symptômes vasculaires internes depuis les racines jusqu'à l'extrémité du rachis des palmes, et on ne peut manquer d'être frappé par la discrétion relative de ces symptômes en regard des dégâts causés par la maladie.

2.2 Symptômes externes

Le premier symptôme extérieur, traduisant l'existence de la maladie sur un Palmier-dattier, est l'aspect plombé que prend une palme des couronnes moyennes de l'arbre, ce symptôme est discret et il faut un observateur exercé pour le déceler.

Puis, sur cette palme de teinte plombée, les folioles d'un côté se replient progressivement, tendent à s'appliquer contre le rachis en même temps qu'ils blanchissent, le blanchiment gagnant depuis leur base vers leur extrémité distale. Les folioles du côté opposé ne tardent pas à manifester à leur tour le même phénomène et la palme se dessèche en totalité. Elle prend alors l'aspect particulier d'une plume mouillée avant de prendre le long du stipe. Son rachis est marqué d'une ou plusieurs stries brunes longitudinales qui progressent de sa base vers son sommet. Quelque temps après, on observe la même succession de symptômes sur d'autres palmes de l'arbre, le plus souvent des palmes voisines de la première. Il arrive fréquemment que le bourgeon terminal reste vert et dressé pendant un temps, alors que tout autour des palmes sèches. Lorsque le bourgeon terminal est atteint, l'ensemble du feuillage se dessèche (figure 12).

Si on arrache soigneusement un palmier dattier présentant des symptômes de Bayoud, de façon à pouvoir observer son système racinaire, on constate toujours la présence de quelques racines de couleur brun rougeâtre accentué, dont les tissus sont en décomposition. Ces racines sont peu nombreuses quelques unités par rapport au nombre total des racines de l'arbre plusieurs centaines et elles sont groupées sur une surface très réduite. Elles représentent la zone de pénétration du parasite dans l'arbre.

Ces symptômes racinaires sont donc en réalité les premiers, mais ils ne sont pas visibles normalement. Et même lorsque le système racinaire d'un arbre malade est dégagé et accessible, le petit nombre des racines atteintes et leur groupement rendent leur détection

Chapitre 02 : la fusariose vasculaire du palmier dattier (le Bayoud)

difficile. Elles sont passées inaperçues des premiers auteurs' qui ont conclu que la pénétration du parasite ne s'opérait pas par les racines.

Lorsqu'un Palmier-dattier est atteint par le Bayoud, sa mort est inéluctable mais dans des délais variables qui vont de plusieurs semaines à plusieurs mois après le début des symptômes visibles extérieurement.

A partir de cette rapide description des symptômes extérieurs, la maladie apparaît typiquement de façon unilatérale ou sectorielle, à la fois sur les palmes et sur l'ensemble de l'arbre.

Le Bayoud ne se manifeste pas toujours d'une façon aussi caractéristique, on note dans l'extériorisation les symptômes des variations qui peuvent être liées aux conditions climatiques et culturales aux réactions variétales des palmiers ainsi qu'aux variations du parasite.



Partie verte



Propagation
du pathogène

Partie sèche

Figure 12 : Photo et représentation d'une palme atteinte de fusariose (Diana Fernandez, 1995).

3. Epidémiologie

Les travaux sur la propagation du Bayoud ont montré que les meilleures conditions du Palmier Dattier, sont aussi les plus favorables au développement de la maladie.

Le *Fusarium* tolère un sol aéré, humide et une température pouvant dépasser 35°C. Cependant dans les conditions non adéquates les spores du champignon se transforment en chlamydospores pour lui permettre de se conserver et de mieux lutter aux conditions du milieu. Les chlamydospores peuvent se conserver dans les débris des végétaux et dans le sol et supporter de fortes températures de 60°C (Sedra, 2003).

Les cultures sous palmier accélèrent et favorisent les épidémies à cause de l'irrigation et les pratiques culturales. La dispersion est assurée par l'homme (transport des rejets du palmier).

Le vent a été également mis en cause dans la dispersion des propagules mais l'incidence de ce facteur n'a pas été clairement démontrée, d'autant plus que les *F. oxysporum* sont considérés comme des champignons des sols (Soil-borne-fungi) fortement saprophytes (Burgess, 1981).

Le Bayoud contribue largement à l'appauvrissement des zones arides et accentue la désertification. Il est donc évident que cette maladie constitue le fléau de l'agriculture saharienne d'où la nécessité impérieuse de développer les recherches sur les moyens de lutte.

4. L'agent causal de la maladie

Il s'agit d'un champignon imparfait, *Foa* spécifique du dattier, forme spécialisée de l'espèce *F. oxysporum* très commune dans les sols sous tous les climats. En conditions naturelles, les racines de certaines plantes (henné, luzerne, orge) cultivées en association avec les dattiers peuvent héberger le pathogène sans montrer de symptômes externes. Ces plantes sont considérées comme des porteurs sains (Fernandez et al, 1995).

4.1 Taxonomie

Fusarium oxysporum est considéré comme ascomycète bien que le stade sexuel n'est pas encore déterminé. Il est proposé d'être plutôt proche du groupe téléomorphique *Gibberella* que *Nectria*. Au sein de l'espèce *F. oxysporum* on distingue plus de 120 formes spéciales en fonction de leur pathogénicité sur des plantes hôtes (Ramírez-Suero, 2009).

La nouvelle classification taxonomique du genre *Fusarium* basée sur la phylogénie moléculaire est la suivante (Debourgogne, 2013) :

- Domaine : Eukarya
- Règne : Fungi
- Division : Ascomycota
- Classe: Sordariomycetes
- Sous-classe : Hypocreomycetidae
- Ordre : Hypocreales
- Famille : Nectriaceae
- Genre : *Fusarium*
- Espèce : *Fusarium oxysporum*
- Forme spéciale : *albedinis*

4.2 Caractères morphologiques

L'étude morphologique de *F.o. albedinis* montre qu'à l'œil nu (figure 13), le mycélium apparaît fin, frisé, arbustif et d'aspect grasseux. A la lumière, le mycélium peut devenir rose saumon pâle, alors qu'à l'obscurité, il peut émettre un pigment violet foncé (Bounaga, 1970).

Le champignon produit trois types de spores asexuées :

4.2.1 Les microconidies

Les microconidies hyalines de formes et de dimensions variables, de 3 à 15µm de long et de 3 à 5 µm de diamètre. Ces structures généralement unicellulaires, sont sphériques au début de leur formation et deviennent peu à peu allongées, elliptiques, droites ou légèrement courbées. Ces conidies se forment à l'extrémité des microphialides.

4.2.2 Les macroconidies

Elles sont peu nombreuses, leur base est pédiforme et leur extrémité est pointue et courte, elles sont en général tétracellulaires. Elles mesurent 20 à 35 µm de long et entre 3 et 5 µm de diamètre et elles prennent naissance à partir de macrophialides.

4.2.3 Les chlamydospores

Les chlamydospores se forment, soit à partir d'articles mycéliens, soit à partir d'une cellule de macroconidies. Elles sont caractérisées par une paroi très épaisse et accumulent d'importantes réserves de nature lipidique, ces structures sont toujours arrondies, ayant de 6 à

20 μm de diamètre (Rahmania, 2000). Ce sont des spores de résistance produites en grande quantité dans les cultures âgées ou en réponse à des conditions défavorables (température élevée, manque d'oxygène, milieu pauvre en substances nutritives).

4.2.4 Les sclérotes

Elles sont de formes plus ou moins sphériques, de couleur sombre (bleu foncé à noir). Ces structures apparaissent dans les conditions d'extrême pauvreté du milieu de culture. Elles sont considérées comme des organes de résistance capables de s'enkyster durant de longues périodes (Rahmania, 2000).

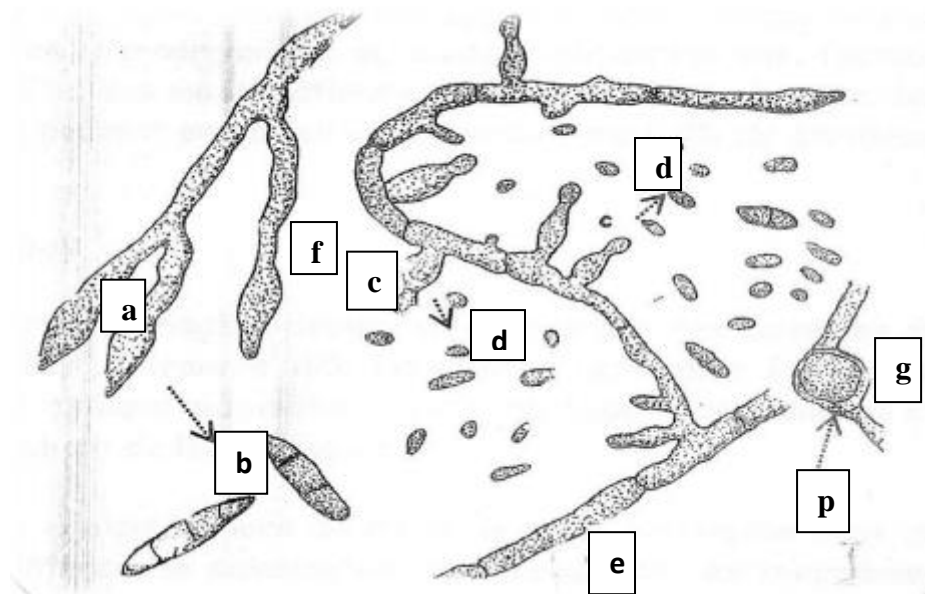


Figure 13 : Organisation morphologique du Foa (Djerbi, 2003).

- a :** macrophialides,
- b :** macroconidies,
- c :** microphialides,
- d:** microconidies,
- e :** mycélium hyalin et cloisonné,
- f :** sporodochies,
- g :** chlamydospore,
- p :** paroi épaisse

4.3 Cycle de développement

Le cycle de vie de *Fusarium osysporum* sp. *albedinis* est représenté principalement en phase qui se déroulent en plusieurs étapes : saprophytes et parasitaire :

1. Conservation

Le Foa persiste pendant l'hiver sous forme de chlamydozoospores dans le sol et sous forme de mycélium dans les débris végétaux infectés, principalement dans les racines contaminées. Sa densité dans le sol varie en fonction des caractéristiques pédologiques; des conditions culturales et de la conduite du palmier dattier. Après la mort de l'arbre, le mycélium continue à se développer dans les tissus morts et forme de nombreuses chlamydozoospores dans les cellules de sclérenchyme.

2. Phase saprophytique

En présence de conditions favorables au niveau du sol (température et humidité) les chlamydozoospores peuvent initier un cycle de germination même en l'absence de la plante hôte.

3. Germination des chlamydozoospores en présence des racines :

Les chlamydozoospores germent dès que les conditions sont favorables et pénètrent dans les tissus vasculaires des racines, à partir desquels le mycélium atteint la tige. Dans les vaisseaux, le mycélium produit des microconidies qui sont transportées vers le haut par la sève. Quand ce mouvement est empêché par une paroi transversale, les microconidies reprennent de l'autre côté. La mort de l'arbre intervient quand le champignon atteint avec ses toxines le bourgeon terminal.

4. Infection

Le processus d'infection, en présence de l'hôte, débute souvent à partir de racines contaminées ; donc le sol constitue une source de contamination potentielle.

5. pénétration et développement dans les vaisseaux vasculaires

Le champignon envahit le système vasculaire de la plante, jusqu'aux palmes et au bourgeon terminal, à partir des racines où se produit l'infection. Il se propage dans les vaisseaux surtout par les conidies véhiculées par la sève.

6. Apparition des symptômes

Au cours de sa progression, Foa s'échappe du xylème et colonise le parenchyme environnant par un mycélium inter et intracellulaire, c'est ce qui donne plus tard la coloration brun rougeâtre caractéristique se développant sur la couronne moyenne.

7. Stade avancé de l'attaque

La progression de la maladie peut être lente ou rapide selon le type de sol, le cultivar et les conditions climatiques et culturales. En stade avancé, les palmiers atteints présentent des flétrissements graduels unilatéraux ou généralisés.

8. Contamination par contact des racines :

Les sujets malades, par contact peuvent contaminer facilement et rapidement le reste des palmiers voisins.

9. Mort de l'arbre

Une fois la progression du champignon se généralise, dans les systèmes vasculaires de la plante, le palmier meurt progressivement ou brutalement.

10. Porteurs saines

En présence de cultures sous palmeraies, certaines espèces végétales (henné, luzerne...), peuvent jouer un rôle important dans l'hébergement et la propagation du pathogène et deviennent des foyers de contamination.

11. Décomposition du végétal atteint et libération des spores

La désintégration des tissus végétaux permet la libération des chlamydospores dans le sol ou elles restent en état de dormance et forment de nouveaux micro-foyers où elles peuvent aussi survivre dans les porteurs sains.

Ce champignon à une répartition très hétérogène dans le sol, on le trouve rarement en surface du sol cultivé mais souvent entre 20 et 60 cm, mais parfois jusqu'à 1 m. Les chlamydospores sont peu nombreuses et peuvent demeurer dans le sol pendant plus de 10 ans, même si les palmiers sont morts depuis plusieurs années.

Un petit nombre de propagules suffit pour initier la maladie et quelques racines infectées peuvent provoquer la mort de l'arbre.

En général, les conditions favorables à une croissance rapide du palmier-dattier favorisent aussi le développement de la maladie. Le cycle infectieux du *Fusarium oxysporum* est illustré, ci-dessous, sur la (Figure 14).

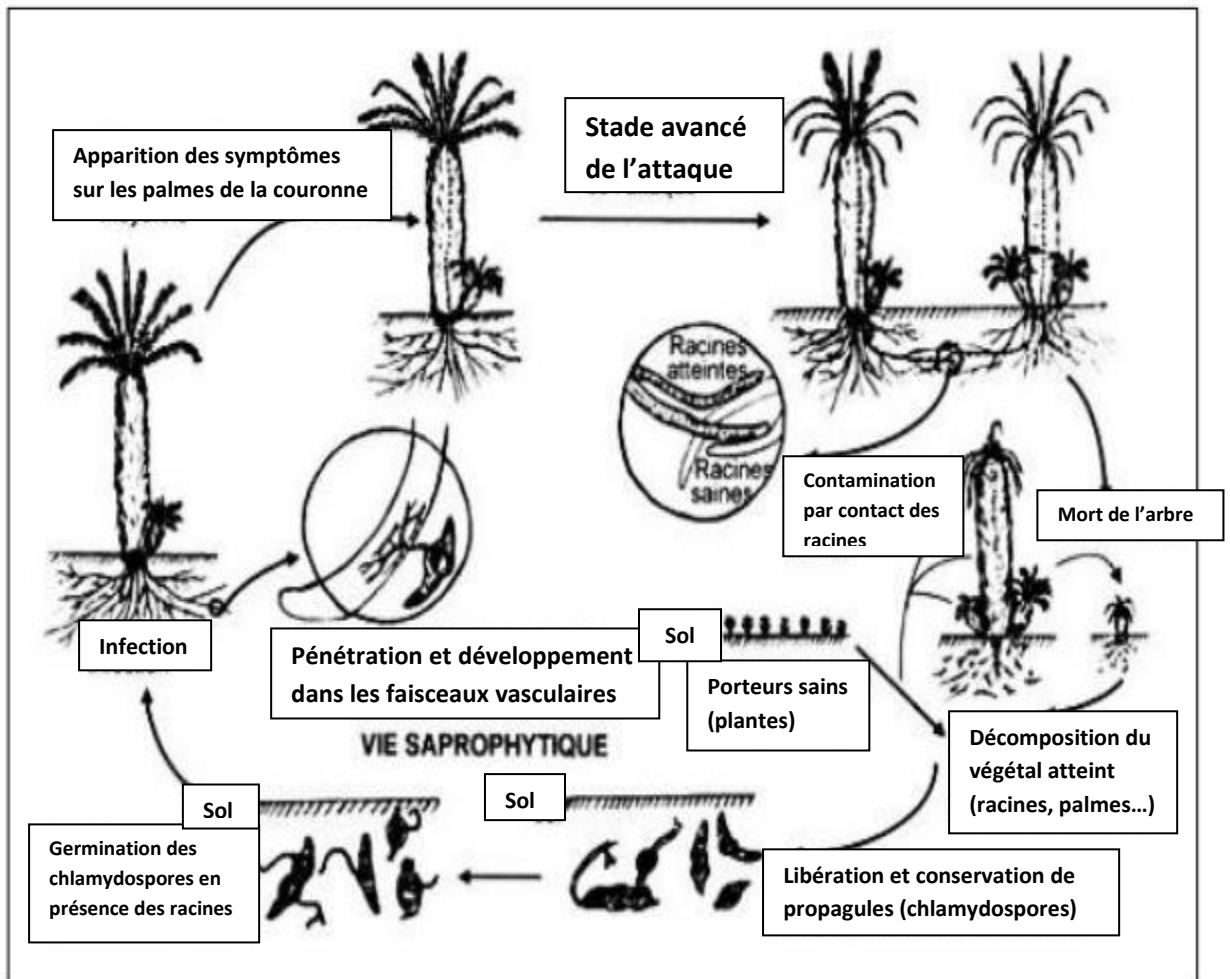


Figure 14 : Cycle infectieux du *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Sedra, 1992).

5. Conditions favorables au développement de la maladie

5.1 Exigences climatiques

Le palmier dattier est une espèce thermophile. Son activité végétative se manifeste à partir de 7°C à 10°C selon les individus, les cultivars et d'autres paramètres climatiques (Munier, 1973; Peyron, 2000). Elle atteint son maximum vers 32°C., et commence à décroître à partir de 38°C. La floraison se produit après une période fraîche ou froide, quand la température redevient assez élevée et atteint un seuil appelé le zéro de floraison. Ce seuil varie entre 17°C et 24°C en fonction des cultivars et des régions (Djerbi, 1994; Peyron, 2000). La nouaison des fruits se fait à des températures journalières supérieures à 25°C. La somme des températures nécessaires à la fructification (indice thermique) est de 1000 à 1860°C. Selon les régions phoenicoles. Elle est de 18-54°C à Touggourt et 16-20°C à Béchar (Munier, 1973). La période de fructification, de la nouaison à la maturation des dattes, dure de 120 à 200 jours selon les cultivars et les régions (Djerbi, 1994). Le dattier est par ailleurs une

espèce héliophile. La disposition de ses folioles facilite la photosynthèse et le développement des organes végétatifs, est possible sous une faible luminosité. La production de dattes demande par contre une grande luminosité et les fortes densités de plantation sont donc à déconseiller. L'humidité de l'air joue un rôle sur la biologie du dattier (Munier, 1973). Les humidités faibles (inférieures à 30%) stoppent le processus de fécondation et provoquent le dessèchement des dattes au stade de maturité. Les humidités fortes (supérieures à 70%) provoquent la pourriture des inflorescences et des dattes (Bouguedoura, 1991). De même, les vents exercent une action mécanique sur les arbres et accélèrent le dessèchement des dattes. Ils augmentent la transpiration du palmier et provoquent la brûlure des jeunes pousses (Bouguedoura, 1991).

5.2 Exigences édaphiques

Le palmier dattier s'accommode des sols de formation désertiques et subdésertiques, très divers, il est considéré comme une espèce fruitière peu exigeante est utile là où d'autres plantes se développeraient difficilement (Peyron, 2000). Dans un sol légère, profonde et perméable, sa qualité plus homogène et plus abondante (Munier, 1973). Ainsi, le choix des zones de plantation est strictement dépendant des ressources hydriques et des possibilités d'utilisation de ces ressources. La toxicité des sels, essentiellement des chlorures de sodium et de magnésium, dépend du taux d'humidité du sol, la nature des sels en présence, la qualité du drainage, la profondeur de la nappe phréatique et de ses fluctuations saisonnières surtout des disponibilités en eau d'irrigation de qualité. A titre d'indication, une concentration en sels de 15 pour 1000 dans le sol est considérée comme l'extrême limite. A 30 pour 1000, le palmier dépérit : il ne produit plus et peut mourir (Peyron, 2000).

5.3 Exigences hydriques

Bien que cultivé dans les régions les plus chaudes et les plus sèches du globe, le palmier dattier recherche toujours les endroits où les ressources hydriques du sol sont suffisants pour subvenir à ses besoins au niveau racinaire. Considérant qu'un hectare de palmier compte en moyenne 100 pieds, les besoins en eau d'irrigation à l'hectare varient suivant les sols, les régions et le niveau des nappes souterraines de 15 à 18000 m³ à 30 à 40000 m³ par hectare et par an (Munier, 1973).

6. La propagation de cette maladie

Cette espèce est la plus dispersée dans le monde et peut être trouvée dans la plupart des sols de l'Arctique, tropical, désertique, cultivées ou non. *Fusarium oxysporum* est l'une des espèces les plus économiquement importantes compte tenu de ses nombreux hôtes et le niveau de perte que peut entraîner. Les formes spéciales de *F. oxysporum* sont des agents pathogènes vasculaires provoquant souvent le flétrissement vasculaire, la fonte de semis et les pourritures racinaires (Nelson et al., 1981).

Les espèces de *Fusarium oxysporum* se caractérisent par une large gamme de plantes hôtes et la plupart des souches pathogènes de *F. oxysporum* envahissent le système vasculaire de ces plantes et présentent une spécificité parasitaire, c'est-à-dire que l'espèce ne peut attaquer qu'un hôte déterminés (Nelson et al., 1983)

La dispersion de la maladie paraît être assurée par le transport de parties végétales de palmiers dattiers bayoudés (palmes, bois, rejets, objets confectionnés avec nervures, folioles de palmes, lif, etc), ainsi par contact entre racines saines et malades (Saaidi, 1992).

Dans les populations non cultivées, le dattier se multiplie naturellement par le biais de graines (reproduction sexuée). Dans les zones à forte tradition phœnicicole (Maghreb, Moyen-Orient), il est principalement propagé par voie végétative, c'est-à-dire par rejet. À partir de la deuxième moitié du 20^{ème} siècle, des essais de micro propagation par culture in vitro ont été entrepris (Munier, 1973).

La multiplication par voie sexuée consiste à semer les graines. Les individus qui en sont issus sont dénommés khalt dans le Maghreb. Cette méthode est la plus anciennement utilisée par les phœniciculteurs. Elle entraîne l'apparition de nouveaux phénotypes qui peuvent être intéressants. Cependant cette méthode comporte également plusieurs désavantages : dans un premier temps, il faut attendre 4 à 7 ans pour obtenir des fruits ; dans un second temps, le dattier étant dioïque, l'individu issu d'une graine ne produira que dans de rares cas (4%) des fruits possédant des qualités organoleptiques équivalentes ou supérieures à celles de sa mère (Peyron, 2000). De plus, les graines semées donnent approximativement 50% de mâles et 50% de femelles, étant donné que seules les femelles produisent des dattes, cette méthode de propagation apparaît donc peu rentable. Ce type de reproduction est donc utilisé dans de rares cas pour créer de nouveaux phénotypes ou survient de manière accidentelle lorsque des noyaux jetés ou des fruits non ramassés se développent. Néanmoins,

dans le Nord-Ouest de l'Inde et au Sud-Est du Niger (Jahiel, 1996) les agriculteurs, méconnaissant les techniques de propagation végétative, utilisent uniquement ce mode de reproduction.

La production de rejets à la base du stipe (Fig. 1.38) est d'un avantage qui a probablement été très tôt utilisé par l'homme pour propager le dattier et contourner les contraintes engendrées par la multiplication par voie sexuée. Un rejet étant un clone du pied dont il est issu, la qualité de ses dattes équivaut théoriquement à celle du pied mère. Les rejets peuvent à leur tour produire des rejets, ce qui permet une multiplication infinie d'un cultivar. La propagation végétative présente cependant certaines limites, notamment le nombre maximum des rejets produits par plante (30 maximum, Zaid and De Wet 1999); la production est très limitée chez de nombreuses variétés et se concentre lors de la phase juvénile de la plante. De plus, des mutations somatiques peuvent survenir et donc engendrer des propriétés nouvelles, non recherchées par l'agriculteur. Enfin, cette méthode peut aussi présenter le risque d'introduction de certaines maladies en important des rejets déjà infestés. Afin de pallier les limites de la multiplication végétative, des efforts considérables ont été menés pour développer des méthodes *in vitro* de multiplication en masse des cultivars élites (Chao & Krueger, 2007). Deux méthodes existent : l'organogénèse qui repose sur les capacités de bourgeonnement de plusieurs types d'explants et l'embryogénèse somatique qui vise à différencier des cellules somatiques afin de permettre la formation d'embryons. Aujourd'hui, les plantes issues des cultures *in vitro* sont très largement utilisées pour le développement des cultures industrielles. Cependant ces méthodes présentent des risques de malformation des organes floraux. Enfin, il faut noter que la propagation végétative et la micro propagation présentent également des risques d'érosion de la diversité génétique du palmier dattier.

7. Mode de progression du Bayoud dans les palmeraies

Les épidémies de Bayoud s'étendent en foyers dans chaque palmeraie contaminée et gagnent ensuite des palmeraies souvent fort éloignées géographiquement.

A l'intérieur d'une palmeraie, c'est au niveau du sol que la contamination se réalise de proche en proche; il en est d'ailleurs de même de l'ensemble des Trachéomycoses. Dans une plantation, les racines de palmiers voisins sont enchevêtrées et les quelques racines malades d'un arbre peuvent transmettre la maladie par contact avec les racines d'un arbre sain. Le parasite a été trouvé dans les racines de plantes autres que le palmier, qui ne présentaient pas

de symptômes maladifs. Ces plantes appelées porteurs sains peuvent jouer un rôle dans la multiplication du parasite dans le sol et dans l'extension de la maladie.

Les *Fusarium oxysporum* se multiplient dans le sol, mais ils ne semblent pas susceptibles de progresser rapidement et sur de grandes distances dans le sol lui-même. Leur développement saprophytique souterrain est lié à la présence de matière organique végétale qu'ils peuvent coloniser. La culture intensive du sol des palmeraies, et en particulier les irrigations abondantes, interviennent de façon prépondérante pour faciliter l'extension des foyers.

Le vecteur de la maladie d'une palmeraie à l'autre est l'homme qui transporte des boutures, des fragments végétaux ou de la terre contaminée dans lesquels le parasite peut se conserver très longtemps grâce à ses chlamydospores.

7.1 Le parasite dans le sol

Ce *Fusarium oxysporum*, comme tous ceux qui provoquent des trachéomycoses, se multiplie et se conserve dans le sol. Son isolement et sa caractérisation à partir de l'ensemble des microorganismes variés qui vivent dans un sol, nécessitent l'utilisation de techniques microbiologiques sélectives. Pour distinguer la forme spéciale albedinis des nombreuses autres formes du *Fusarium oxysporum*, il est nécessaire de réaliser des inoculations appliquées aux racines de jeunes plantes de Palmier. Sont considérées comme appartenant à la forme spéciale albedinis les souches capables d'induire le flétrissement de ces plantes à la suite de leur développement dans les vaisseaux. Des analyses des sols des palmeraies contaminées, nous pouvons tirer les résultats suivants :

Le parasite est réparti dans le sol de façon très hétérogène, mais il peut exister jusqu'à plus d'un mètre de profondeur.

Il peut se conserver longtemps sur les débris de Palmier et dans le sol, même lorsque les palmiers ont disparu (plus de 8 ans) ; - les nombres de germes trouvés dans le sol sont en général relativement faibles, mais l'on sait, comme dans le cas de toutes les fusarioses vasculaires, et contrairement aux cas de maladie par pourriture, qu'il suffit de petits nombres de germes (quelques dizaines par gramme de sol) pour provoquer des contaminations mortelles pour les plantes.

7.2 Le parasite dans les palmiers

On comprend mieux le fait qu'une faible population de spores de *Fusarium* dans le sol suffise à provoquer le Bayoud si l'on sait que dans le cas de ce type de maladie, il suffit que quelques racines seulement, sur plusieurs centaines qui constituent l'appareil souterrain d'un Palmier, soient attaquées pour que l'arbre meure. Une fois que le parasite a pénétré dans ces racines, il progresse toujours de bas en haut à travers le stipe vers le bouquet foliaire, en suivant le chemin parcouru par certains vaisseaux. Il reste donc toujours dans les tissus internes de la plante pendant l'évolution de la maladie. Il chemine: dans les rachis foliaires d'où nous avons isolé les souches les plus virulentes, mais nous ne l'avons trouvé que rarement dans les folioles. Il n'a jamais été observé dans les hampes florales. Celles-ci se dessèchent brusquement en même temps que tout l'arbre au moment où les tissus tendres du bourgeon central sont envahis par le parasite qui ne progresse pas alors plus avant dans la plante; en particulier il n'atteint pas les hampes florales qui ont pris naissance au voisinage immédiat de ce bourgeon. Par conséquent, les fruits n'hébergent pas non plus le champignon. Par contre, peuvent être envahis les rejets (Djebbars) utilisés pour la multiplication végétative en même temps que les pieds-mères qui leur ont donné naissance. Indiquons en outre que nous avons parfois trouvé le *Fusarium moniliforme* associé à l'agent du Bayoud dans certains palmiers.

L'évolution de la maladie dans un Palmier peut-être plus ou moins rapide selon la variété, selon la façon dont la contamination s'est produite sur les racines et selon les facteurs extérieurs qui conditionnent la végétation. Ainsi, même dans les conditions du domaine expérimental du Nebch à Zagora (Maroc), certains arbres adultes ont présenté des symptômes pendant plus de 7 ans avant de mourir. D'autre part, on ne sait pas combien de temps s'écoule entre la contamination des racines et l'apparition des premiers symptômes sur les palmiers.

Des arbres qui apparaissent sains peuvent être infectés de façon interne depuis un moment déjà. La mort des arbres est très influencée, par les conditions de culture. Ainsi, à titre d'exemple, depuis 1967-68, dans la parcelle IX du domaine du Nebch (282 palmiers plantés en 1945), ont été pratiquées diverses cultures sous les palmiers. A partir de ce moment, la parcelle a donc reçu des fumures plus riches, des irrigations plus abondantes et répétées, des travaux culturaux plus fréquents. Entre 1963 et 1967 la durée moyenne de maladie sur chaque arbre (entre le moment d'apparition des symptômes et la mort de l'arbre) a été, de plus d'un an, après mise en culture intensive, elle a été seulement de 8 à 9 mois. Il est donc certain que les meilleures conditions de végétation des palmiers sont également les

conditions les plus favorables à une mort rapide des arbres. Le Bayoud n'est donc pas une maladie de faiblesse. L'irrigation est particulièrement importante: si elle est abondante la circulation de la sève est plus rapide, ce qui accélère le transport des spores du champignon dans les vaisseaux et le développement des phénomènes maladifs. Nous verrons que ces mêmes facteurs favorisent l'extension du Bayoud dans la palmeraie.

8. Les modes d'action de *Fusarium oxysporum f. sp. albedinis*

8.1 Les toxines

La majorité des formes spéciales de *Fusarium oxysporum* et des espèces *Fusarium*, en général, produisent des toxines qui sont issues du métabolisme primaire ou secondaire, dont la nature est très diverse (Protéique, Terpénique, Glycopeptidique).

Il est important de connaître sous quelle forme la toxine atteint l'hôte. Les mécanismes d'actions des toxines non spécifiques restent peu clairs dans l'ensemble. Pour un même symptôme, les mécanismes d'actions peuvent être différents (Bender, 1997). La détermination du rôle d'une toxine dans le développement d'une maladie est l'étape la plus difficile lors d'une étude de recherche.

Les symptômes de la maladie du bayoud sont induits par l'implication d'au moins une toxine dans les mécanismes de pathogénicité. En effet, le Foa sécrète plusieurs toxines comme l'acide fusarique, acide succinique, des acides lactiques et des toxines peptidiques.

8.2 Les enzymes

Naturellement, tous les champignons produisent un grand nombre d'enzymes pour décomposer les substrats complexes pour leur croissance (Gopinath et al, 2017).

Les espèces *Fusarium oxysporum* ont produit plusieurs enzymes hydrolytiques, qui agissent sur les composants pectiques et cellulosiques des parois cellulaires des végétaux, et aident ces espèces à pénétrer et à coloniser les cellules racinaires de l'hôte. Ces espèces utilisent les cellulases pour la décomposition de la cellulose qui présente une source de glucides ; Cependant, ces enzymes jouent un rôle dans la pathogénèse du flétrissement (Bedade et al, 2017).

9. Importance des dégâts du bayoud

Le Bayoud est la maladie la plus destructive et la plus menaçante. En effet, cette maladie a détruit plus de 10 millions de palmiers au Maroc et plus de 3 millions en Algérie incluant surtout les variétés et les cultivars vigoureux et productifs et dont la datte s'avère de grande valeur commerciale (figure 15).

En effet, pendant environ 50 ans, l'effet destructeur de cette menace au Maroc a conduit à une réduction de 1/10 de l'effectif de la variété « Mejhoul » et une disparition de deux cultivars « Idrar » et « Berni ».

En outre, le Bayoud a non seulement entraîné une érosion génétique dans la population hôte mais aussi une accélération du phénomène de désertification et de l'exode rural des phoeniculteurs vers les grands centres urbains. Devant cette situation alarmante de l'extension de la maladie et vu l'importance des dégâts qu'il a occasionnés, le Bayoud devient un ennemi majeur de la culture du palmier dattier dans le monde (Sedra, 2013).



Figure 15 : Perte de palmiers dattiers Bayoudés durant la période 1950-2000
(Benzohra et al, 2013).

10. Techniques de lutte

En dépit la réalisation de nombreuses études sur les possibilités de lutte et l'éradication de cette maladie, les techniques préconisées jusqu'à présent restent en grande partie, d'ordre préventif dans le but de freiner la progression de cette trachéomyose. Toute les interventions contre le bayoud doivent être effectuées de façon raisonnable, sans ou avec le moindre risque de pollution de l'environnement oasien. Il est conseillé de préconiser les mesures de lutte qui sont comme suit :

10.1 Les mesures prophylactiques

Afin d'éviter ou de retarder le dissémination du bayoud dans les régions indemnes, les mesures prophylactique constituent un des moyens de luttés préventifs contre cette tracheomyose, grâce à la sensibilisation et l'aide des phoeniculteurs, d'une part, pour mieux connaître la maladie, l'aire de sa répartition, sa progression et sa surveillance et d'autres part , pour veiller à n'utiliser que des rejets sains pour la plantation et d'interdire les échanges de matériel végétal entre les palmeraies.

10.2 La lutte culturale

Les techniques culturales contre les fusarioses vasculaires, consistent à éviter les conditions favorisant la croissance de l'agent pathogène. La maladie est moins présente en conditions d'irrigation réduites, ainsi que dans les sols à pH alcalin, riches en calcium et potassium, pauvres en phosphore et magnésium et dont l'azote est sous forme nitrique plutôt qu'ammoniacal (Woltz et Johnes, 1981). Dans les parcelles contaminées, il faut éviter les cultures du henné et de la luzerne qui nécessitent une irrigation abondante favorable à la maladie, et qui sont des porteurs sains de l'agent pathogène, *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis*. En outre, le contact souterrain entre les arbres voisins doit être évité, par l'application des méthodes modernes d'irrigation et de plantation des palmiers dattiers (Louvet, 1991).

10.3 La lutte chimique

La lutte chimique repose sur l'utilisation de nombreux produits phytosanitaires qui sont soit thérapeutiques, appelés systémiques, soit protecteurs, appelés préventifs (Drira et al, 1985). L'application des méthodes de lutte chimiques contre la fusariose vasculaire reste très limité et rencontre de nombreuses difficultés : l'apparition des souches non sensibles à

certaines traitement fongiques, coût élevé de désinfection de sol, résidus du traitement, réinfection parfois explosive des sols traités (Maurin,1999), elle est coûteuse et risque d'engendrer des problèmes d'environnement et de santé humaine et animale.

10.4 La lutte génétique

Le palmier dattier a l'avantage de présenter une grande diversité génétique de résistance au Bayoud, cette diversité génétique de chaque palmeraie qui est le fruit de sélections autonomes et d'échanges entre les agriculteurs, a servi dans la plupart des cas à lutter directement contre la fusariose par la multiplication empirique des clones les plus tolérants (Brac de la Perriere et Benkhalifa, 1998). L'expression de ce type de résistance est influencée par les conditions de développement des arbres et probablement par l'abondance et l'activité de l'inoculum de *Fusarium* pathogène dans le sol (Louvet, 1991).

10.5 La lutte biologique

Une autre alternative pour protéger les plantes contre les agents pathogènes est l'application des méthodes de biocontrôle, par l'utilisation de différents micro-organismes doués d'activité antagoniste, conduisant à des phénomènes d'antibiose et d'hyperparasitisme dans l'espoir de mettre au point un procédé de lutte efficace capable de limiter la gravité des fusarioses.

10.6 Lutte intégrée

C'est la réunion de toutes les méthodes précédemment cité pour lutter contre les phytopathogènes à longue durée. Ces méthodes ne peuvent émerger que d'une meilleure connaissance des mécanismes fondamentaux qui sont à la base des interactions entre les plantes et leurs agents pathogènes.

Chapitre 03 : Le biocontrôle du bayoud

1. Généralités sur le contrôle biologique

Le biocontrôle est un ensemble de méthodes de protection des végétaux basé sur l'utilisation de mécanismes naturels. Seules ou associées à d'autres moyens de protection des plantes, ces techniques sont fondées sur les mécanismes et interactions qui régissent les relations entre les espèces dans le milieu naturel. Ainsi, le principe du biocontrôle repose sur la gestion des équilibres des populations d'agresseurs plutôt que sur leur éradication.

Les agents de biocontrôle sont définis comme des agents et des produits utilisant des mécanismes naturels dans le cadre de la lutte contre les ennemis des cultures végétales. Ils comprennent en particulier :

- Les macro-organismes : ils sont utiles aux végétaux et sont essentiellement des invertébrés, notamment des acariens, insectes et nématodes, utilisés pour protéger les plantes des bio-agresseurs via la lutte biologique.
- Les produits phytopharmaceutiques de biocontrôle composés de micro-organismes (champignons, bactéries, virus...), de médiateurs chimiques tels que les phéromones et les kairomones, ou de substances naturelles d'origine végétale, animale ou minérale.

C'est des produits phytopharmaceutiques autorisés à l'issue d'une évaluation complète des risques pour la santé humaine, la santé animale et l'environnement. Leur spécificité est liée à leur caractère naturel ou leur mode d'action reposant sur des mécanismes naturels.

Un biostimulant végétal est une substance ou un micro-organisme appliqué aux plantes dans le but d'améliorer l'efficacité nutritionnelle, la tolérance au stress abiotique. Les biostimulants diffèrent des produits de protection des plantes car ils favorisent la vigueur et le développement de la plante en luttant contre les stress **abiotiques** tandis que les produits de biocontrôle agissent contre les stress **biotiques**.

En effet, un stress **biotique** correspond à une agression de la plante par des bio agresseurs (maladies, insectes, plante parasite...). Ils sont gérés par les produits de biocontrôle ayant un mode d'action adapté à ce type de stress.

Le biocontrôle désigne à la fois les agents de biocontrôle et les méthodes de lutte utilisées en protection biologique des cultures.

1.1 Avantages des agents de lutte biologique

Ces produits biologiques ont été développés pour contrôler de multiples maladies sur diverses cultures, légumières, fruitières et florales, il a été mis en évidence que certains microorganismes peuvent conférer à certaines cultures une tolérance au stress abiotique comme la sécheresse, la salinité et la protection contre les agents phytopathogènes.

Les organismes bénéfiques utilisés en lutte biologique doivent avoir un bon taux de reproduction, être spécifique, avoir une bonne capacité d'adaptation et leur cycle de vie doit être synchronisé à celui du ravageur ou de l'agent pathogène (Azcon-Aguilar et Barea, 1996).

2. Microorganismes qui interviennent dans le biocontrôle du bayoud

L'impact négatif de l'utilisation massive des pesticides sur l'environnement a poussé la recherche à s'orienter vers la lutte biologique comme stratégie alternative de contrôle des maladies des plantes qui est due généralement à :

La présence de microorganismes qui contrôlent les maladies et qui sont marqués comme agents de lutte biologique, cette lutte consiste à utiliser différents microorganismes vivants tel que les champignons, les bactéries, les virus... qui présentent environ un quart de la biodiversité terrestre.

Et des substances naturelles comme les extraits de plantes et les huiles essentielles, pour prévenir ou réduire les dégâts causés par l'agent pathogène *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis*. Il s'agit d'utiliser la biodiversité et les ennemis naturels des espèces nuisibles (Fernades, 2005).

Parmi les micro-organismes antagonistes utilisés vis à vis des agents phytopathogènes les bactéries (*Pseudomonas*, *Bacillus*, *Agrobacterium*, *Enterobacter*) et les champignons (*Trichoderma*, *Penicillium* et *Sclerotinia*):

2.1 Champignons *Trichoderma*

Parmi les champignons utilisés en lutte biologique, il existe les *Fusarium* non pathogènes et le *Trichoderma harzianum* pour leur pouvoir compétitif élevé et inhibiteur de la forme spéciale : *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis*. Il est d'intérêt primordial d'utiliser le *Trichoderma harzianum* en tant qu'agent de lutte biologique contre la fusariose vasculaire vue leur capacité antagoniste efficace, elles sont très interactives dans les racines, les sols et les

milieux foliaires. Elles colonisent les surfaces des racines et pénètrent dans l'épiderme, ce qui améliore la croissance racinaire, la productivité, la résistance au stress biotique et abiotique et l'assimilation des nutriments (Hibar et al, 2005).

2.2 Les mycorhizes

Les mycorhizes sont des associations durables impliquant des échanges à bénéfices réciproques, les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) sont des biotrophes obligatoires qui colonisent la majorité des plantes (Filho et al, 2016). Ils sont présents dans la plupart des écosystèmes terrestres. Ces champignons colonisent les racines de plus de 90% des espèces végétales, au bénéfice mutuel de la plante hôte et du champignon qui obtient une source de carbone dérivée de la photosynthèse végétale et n'a donc pas à rivaliser pour le carbone rare de la rhizosphère pour survivre. La plante hôte quant à elle reçoit plusieurs avantages notamment ; l'amélioration de sa croissance, l'absorption d'eau et de nutriments et une meilleure accessibilité aux oligo-éléments (cuivre, zinc, fer) , de plus le CMA peut améliorer la tolérance des plantes à de nombreux stress abiotiques tels que la salinité et la sécheresse et biotiques comme la résistance aux maladies fongiques tel que le bayoud pour lutter contre plusieurs agents phytopathogènes notamment les *Fusarium sp*, seules ou en combinaison avec un autre agent de lutte biologique.

Selon Soua et al (2012), l'effet de l'endomycorhization par le champignon *Glomus intraradis* sur la croissance du palmier dattier et sa résistance aux attaques du *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis* sur différents substrats a montré une amélioration de la croissance des plantules d'environ 26%. La présence de l'agent pathogène a provoqué une chute de la biomasse de 82.5% avec un taux de mortalité de 100%, alors que la présence du mycorhize a fait baisser ce taux de mortalité à 55%.

Dans une autre étude, une inoculation réalisée sur les racines de *Phoenix dactylifera* par le champignon ectomycorhizien *Pisolithus tinctorius*, a permis aux racines des plantules du palmier dattier de former des mycorhizes six mois après. Cette ectomycorhization pourrait être exploitée pour lutter contre la fusariose vasculaire du palmier en utilisant le *Pisolithus tinctorius* comme agent de lutte biologique (Zegaye et al, 2012).

Selon Abohatem et al (2011), les plants de palmier dattier issus des noyaux de « Jihel », un cultivar sensible à la maladie du bayoud, ont été soumis à l'inoculation de leurs racines avec un champignon à arbuscules (AMF) collecté dans le sud du Maroc. Les plantes

colonisées par le champignon mycorhizien (80% des plantes traitées), produisent des structures intra-racinaires arbusculaires, vésiculaires et des hyphes typiques (figure 16).

Les mycorhizes à arbuscules ont prouvé leurs effets de limitation de l'incidence du *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis* sur les plants issus de semis du palmier dattier, en augmentant le contenu en nutriments, les phénols totaux et les activités des peroxydases. Ces deux dernières molécules sont les principaux acteurs de défense induite chez la plante (abohatem et al, 2011).

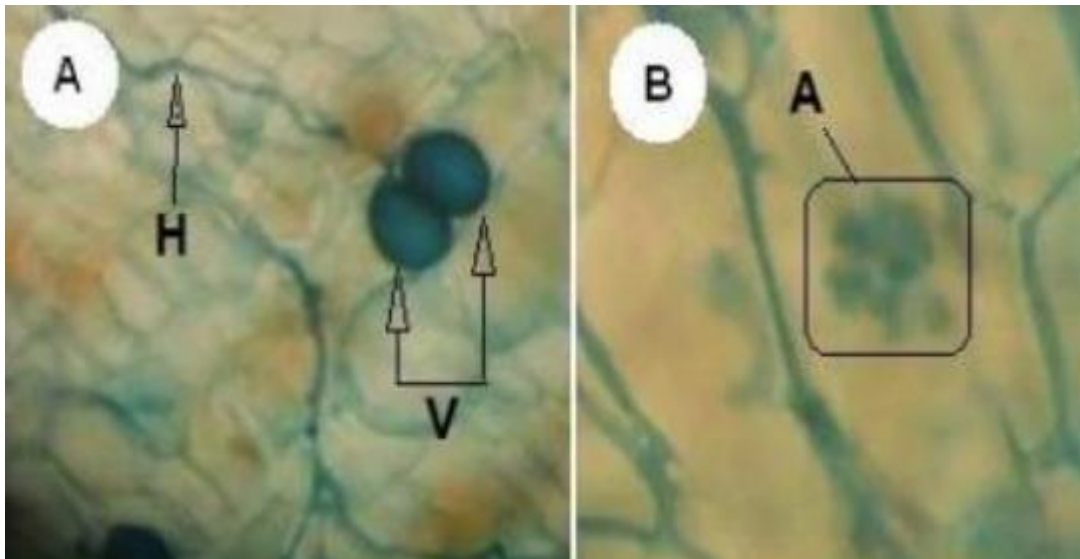


Figure 16 : A et B aspect des champignons mycorhiziens intra-racinaires (Abohatem et al, 2011).

- H : hyphe,
- V : vésicules,
- A : arbuscules

2.2.1 Les modes d'action des mycorhizes

En fonction des conditions environnementales, les mécanismes probables expliquant l'activité de biocontrôle des CMA peuvent inclure une compétition directe avec le pathogène pour les produits photosynthétiques et / ou les sites de colonisation, et/ou un changement de la composition microbienne rhizosphérique.

En outre, ils peuvent contrôler la maladie via l'amélioration de la santé des plantes, la modification morphologique de la racine de la plante et / ou l'induction d'une résistance systémique (Majewska et al, 2017).

Le CMA entre en concurrence avec l'agent pathogène pour la source de carbone ainsi que pour les tissus racinaires lors d'une colonisation simultanée où les hyphes micorhiziens saturant davantage les sites d'infection disponibles, limitant ainsi la pénétration des hyphes pathogènes, qui pourrait jouer un rôle important dans le développement de ces deux microorganismes (Azcon-Aguilar et Barea, 1996).

Ces champignons ont aussi la capacité de modifier l'architecture de la racine végétale entraînant une ramification accrue du système racinaire, un raccourcissement des racines adventives ou une augmentation des racines fines (Gamalero et al, 2004). La ramification intense des racines induite par la mycorhization s'accompagne d'un changement qualitatif et quantitatif dans la composition des exsudats racinaires. Il en résulte une légère baisse du pH du sol suffisant pour retarder la sporulation ou ralentir le métabolisme des phytopathogènes.

De plus, les multiples implications des mycorhizes dans la rhizosphère peuvent moduler la microflore microbienne de façon à remédier à la synthèse de composés produits par les microorganismes antagonistes, tel que les antibiotiques (Siasou et al, 2009). Certains mycorhizes interagissent aussi avec les agents antagonistes de lutte biologique stimulant à la fois la colonisation racinaire et réduisant l'incidence de la maladie.

En outre, les mycorhizes contribuent à l'augmentation de la croissance et à l'amélioration de la santé des plantes, ce qui se traduit par une vigueur accrue qui leur permet de mieux tolérer aux stress environnementaux dont ceux causés par diverses maladies (Azcon-Aguilar et Barea, 1996). Et enfin, Les CMA peuvent stimuler les moyens de défense de la plante.

2.3 Les cyanobactéries

Les cyanobactéries sont des procaryotes cosmopolites qui ont survécu et ont explosé sur la terre pendant plus de deux milliards d'années et qui ont contribué à la formation d'un environnement oxygéné (Sergeeva et al, 2002). Les cyanobactéries peuvent survivre dans presque tous les habitats, ce qui fait d'elles une riche source de divers métabolites d'intérêt pharmaceutique ou toxicologique comme les métabolites primaires et secondaires qui présentent différentes bio activités (antifongique, antivirales, antibiotiques et autres). De ce fait, leur extraits sont couramment utilisés dans l'agronomie, car elles stimulent la vigueur et la productivité des plantes, elles sont aussi connue pour leur effet contre les champignons pathogènes (husaini et Neri 2016).

2.3.1 Les mécanismes d'action des cyanobactéries

Les cyanobactéries sont connues pour la libération de divers types de substances bioactives comme les vitamines, les polysaccharides et les phytohormones qui fonctionnent comme des molécules efficaces contre la croissance des colonies fongiques de plusieurs phytopathogènes en activant les gènes responsable de la résistance chez la plante et/ou comme des molécules antifongiques qui inhibent directement la croissance mycélienne (Singh et sachi, 2014). La production de phytohormones a été signalée principalement à partir de cyanobactéries isolées des champs de cultures. Des études montrent que les cyanobactéries peuvent produire des régulateurs de croissance similaires à l'IAA, la cytokinine, la gibbérelline, l'éthylène, l'acide jasmonique ou les acides abscissiques. A cet effet, il a été rapporté que le flétrissement fusarien induit une accumulation d'acide abscissique qui assure la survie de la plante dans des conditions de stress.

2.4 Les bactéries testées pour le contrôle biologique de la maladie du Bayoud

Au niveau de la rhizosphère, et du contrôle des agents pathogènes telluriques, de nombreux travaux ont porté sur la recherche d'antagonistes microbiens, en vue d'un éventuel contrôle biologique des maladies des plantes qui se fait principalement via des bactéries appartenant aux genres *Streptomyces*, *Bacillus*, *Agrobacterium* et *Pseudomonas*. Ces microorganismes ont une influence directe sur le développement de la plante à travers les relations d'interaction avec la plante au niveau de la rhizosphère, on les appelle des rhizobactéries (PGPR).

Ces rhizobactéries varient selon leur degré de proximité à la racine et l'intimité de l'association. Les PGPR ont un effet bénéfique sur le développement et la santé de la plante, ainsi sur le rendement par des promotions directes et indirectes. Bien que les PGPR peuvent coloniser diverses parties de la plante afin d'améliorer la croissance des plantes et de les protéger contre différentes maladies, ainsi que ces bactéries peuvent s'adapter aux conditions rhizosphériques en améliorant le développement du système racinaire de la plante, l'augmentation de la capacité d'absorption de l'eau et d'éléments nutritifs et le renforcement des capacités défensives de la plante contre les maladies (Van loon et al., 1999).

Les PGPR stimulent directement la croissance de la plante en augmentant le prélèvement des éléments nutritifs du sol, en induisant et produisant des régulateurs de croissance végétale et en activant les mécanismes de résistance induites chez les végétaux. Et la promotion indirecte de la croissance des plantes se produit lorsque le PGPR diminue ou empêche les effets délétères d'un ou plusieurs organismes phytopathogènes (Figure 17).

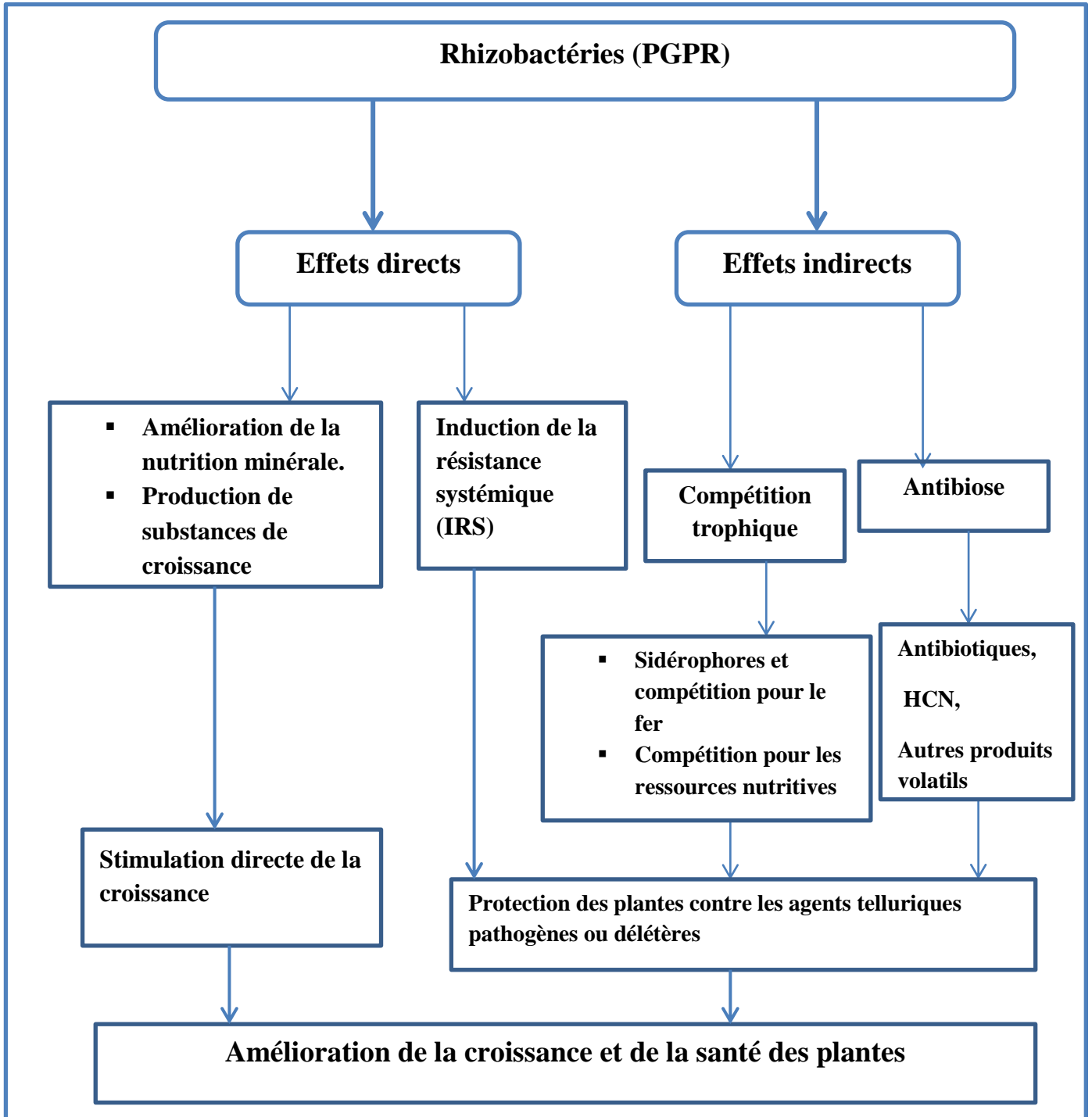


Figure 17 : Les effets bénéfiques des rhizobactéries sur les plantes (Mattar, 1993)

2.4.1 Les *Pseudomonas f.spp. fluorescentes*

Parmi les microorganismes antagonistes des *Fusarium oxysporum* pathogènes, des *F. oxysporum* non pathogènes et des *Pseudomonas f. spp. fluorescentes* isolés des sols résistants sont des candidats prometteurs comme agents de lutte biologique. L'application de ces microorganismes antagonistes seule ou en association dans des sols et substrats de cultures sensibles aux fusarioses vasculaires réduisent significativement la gravité de la maladie.

Le genre *Pseudomonas* est découvert en 1894 par Migula, il appartient au phylum des Proteobacteria, classe des Gammaproteobacteria, famille des *Pseudomonaceae*, ordre des Pseudomonales. Ce sont des bactéries ubiquistes particulièrement abondantes dans les sols, les eaux, et souvent pathogènes des animaux et des végétaux (Haas et Keel, 2003).

Les *Pseudomonas* sont des bacilles à Gram négatif typique de 0,5 à 1 µm de diamètre sur 1,5 à 5 µm de long, chimio-hétérotrophes, mobiles grâce à leur flagelle polaire (Bell- Perkins et Lynch, 2002). Elles apparaissent généralement isolées ou en diplobacilles (Bossis et al, 2000). Leur métabolisme est oxydatif et non fermentatif, utilisant l'oxygène comme accepteur final d'électrons, et même quelques souches utilisent la dénitrification (les nitrates sont parfois utilisés comme accepteur d'électrons ce qui permet une croissance en anaérobiose).

Les *Pseudomonas* représentent un potentiel important de la colonisation du sol. En effet, cette dernière décennie, plusieurs études sont intéressées au rôle que pourraient jouer ces microorganismes dans l'amélioration de la croissance des plantes et des propriétés physique et chimique du sol. Cette grande rhizo-compétence vient de leur taux de croissance plus élevé que celui de la plupart des autres bactéries et de leur capacité à utiliser une gamme de substrats très large souvent issus des exsudats racinaires comme source d'azote ou de carbone. De plus, elles sont très faciles à isoler et à cultiver au laboratoire et se prêtent aisément aux manipulations génétiques (Moore et al, 2006).

2.4.1.2 Les effets bénéfiques des *Pseudomonas f. spp. Fluorescents*

Les *Pseudomonas f.spp fluorescentes* sont des rhizobactéries non symbiotiques qui occupent la rhizosphère. Appartenant aux **PGPR** (Plant-Growth- Promoting Rhizobacteria), elles possèdent plusieurs caractéristiques intrinsèques qui les rendent particulièrement intéressantes pour une utilisation comme agents de lutte biologique. Ainsi leur capacité à

entrer à l'intérieur des cellules et coloniser les racines, et à y maintenir une forte densité de population est remarquable (Haas et Keel, 2003).

Elles sont capables de coloniser efficacement les systèmes racinaires et influencent de manière bénéfique la plante en stimulant sa croissance et/ou la protégeant contre des infections causées par des agents phytopathogènes (Kloepper et Schroth, 1978).

2.4.1.3 Stimulation de la croissance des végétaux

Les *Pseudomonas* f.spp *fluorescents* saprophytes habitants des sols agricoles et de la rhizosphère des plantes, sont impliqués dans de nombreuses interactions avec les plantes (Schroth et al, 1992). De nombreux travaux font état d'une stimulation de la croissance des plantes et du rendement des cultures après bactérisation dans des conditions expérimentales variées. Il apparaît clairement que l'augmentation de rendement observée en conditions normales de production, est toujours inférieure à l'augmentation de croissance des plantes cultivées en conditions contrôlées (Lemanceau, 1992).

Les *Pseudomonas* f. spp *fluorescents* colonisent efficacement la spermosphère et peuvent assurer une bioprotection des semences avant et pendant la germination (Digat, 1992), ainsi certaines souches de *Pseudomonas* peuvent améliorer la germination des semences et la levée des plantules (Kloepper et al, 1980), notamment lorsque les conditions d'environnement sont défavorables à leur germination (Compant et al, 2005 ; Haas et defago, 2005).

Les *Pseudomonas* F.spp *fluorescents* ont la capacité de synthétiser des siderophores qui sont des molécules chélatrices du fer surtout en condition de carence en cet élément nécessaire à leur croissance, ces dernières sont impliquées dans la croissance et la sante des plantes (Latour et al., 2009) et contribuent à l'acquisition du fer par les végétaux.

2.4.1.4 Biocontrôle et induction de la résistance chez les plantes

Les *Pseudomonas*, principalement l'espèce *P. fluorescens*, sont connues depuis longtemps pour leur aptitude à réduire l'incidence des maladies racinaires dans certains champs, ainsi qu'à inhiber la croissance d'un grand nombre d'agents phytopathogènes « in vitro ». Cette capacité d'inhibition peut se faire selon plusieurs mécanismes incluant la production d'une large gamme de métabolites antagonistes et de sidérophores (Lemanceau et al.,1988). Les sidérophores de bactéries rhizosphériques peuvent influencer directement

l'alimentation de la plante en fer, comme ils peuvent le rendre ainsi non disponible pour les champignons pathogènes (Lemanceau et al, 2009).

Mais dans la plupart des cas d'inhibitions, le facteur déterminant est la production d'antibiotiques qui agissent directement sur l'agent pathogène (Visora et Tardieux, 1964). L'antibiose consiste en une inhibition directe de la croissance du pathogène via la production de métabolites aux propriétés antifongiques et/ou antibiotiques. Les souches de *Pseudomonas* produisent une variété de métabolites antifongiques puissants qui sont impliquées dans le biocontrôle (Haas et Defago, 2005).

La production d'une variété d'antibiotiques est une caractéristique essentielle de *Pseudomonas* F.spp. *fluorescents*. Les plus connus sont l'acide phénicien-1-carboxylique, 2-4 - diacétylphloroglucinol (Arrif et al., 2015), les pyolutéorines (Maurhofer et al., 1994) et du cyanure d'hydrogène (HCN).

Certaines bactéries de la rhizosphère (PGPR, rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes) exercent un effet bénéfique sur la croissance des plantes en stimulant des mécanismes de défense inductibles chez l'hôte, rendant celle-ci moins susceptible vis-à-vis d'une infection ultérieure par un agent pathogène. Ce phénomène appelé « résistance systémique induite » (ISR) a été mis en évidence chez plusieurs plantes pour lutter contre une gamme relativement large de pathogènes fongiques, bactériens ou viraux (Latour, 2002). L'ISR diminue significativement l'impact de maladie.

Les rhizobactéries peuvent réduire la sécurité d'une maladie à travers la stimulation de mécanisme de défense inductible chez les plantes, l'induction de la résistance d'une plante consiste à activer des mécanismes de défense naturelle présents dans la plante mais qui sont à l'état latent (Latour, 2002). Le traitement des racines par les PGPR induit des effets protecteurs sur les autres parties de la plantes sans migration des bactéries induisant de l'ISR à travers le système vasculaire de la plante ou travers ses tissus (Bent, 2005).

2.4.1.4.1 Production de siderophore

La capacité des rhizobactéries à produire des sidérophores et des métabolites qui contribuent à l'antibiose a fait l'objet de nombreuses études. L'absorption de l'ion ferrique via sidérophore est largement utilisée par les micro-organismes pathogènes et non pathogènes du sol (Allaire, 2005). Les sidérophores sont synthétisés et sécrétés pour la solubilisation d'ions ferriques par des microorganismes aérobies, tels que les bactéries, certains champignons mais

aussi organismes supérieurs (certaines plantes monocotylédones) en réponse à des conditions de carence en fer (Ratledge et Dover, 2000).

Les sidérophores sont des métabolites secondaires de faible poids moléculaire, compris entre 200 et 2000 daltons, dont le rôle est de solubiliser, de chélater et d'extraire le fer ferrique de nombreux complexes minéraux ou organiques et de le rendre ainsi accessible aux microorganismes (Neilands, 1995). Les siderophores des deux espèces *Pseudomonas fluorescens* et *P.putida* se traduisent par l'émission d'un pigment fluorescent appelé « pyovredine » (Meyer et Abdellah, 1978) ou pseudobactine (Teintze et al., 1980) qui forment avec le fer un complexe : « ferri-pyoverdine ».

L'importance de sidérophore est étroitement liée au fer, qui est un élément essentiel pour différents processus biologiques (Crosa et Walsh, 2002). Egalement les bactéries peuvent produire une grande variété de composés à activité antimicrobiennes utilisée en tant que systèmes de défense.

2.4.1.4.2 Production de l'acide indole acétique AIA par les *Pseudomonas F.spp fluorescents*

L'acide indole-3-acétique est reconnue comme une auxine principale chez les plantes, impliqué dans le contrôle de la croissance des fruits, de la dominance apicale, de l'élongation des tiges et de nombreux processus mettant en jeu la division et différenciation cellulaires. L'AIA est connu pour déclencher les divisions, favoriser l'apparition des racines adventives sur les boutures tout en inhibant leur élongation (Karabaghli et al, 1997).

Cette phytohormone impliquée dans l'initiation de la division des cellules au niveau des racines, et de leurs élargissements (Salisbury, 1994), est communément produite par les rhizobactéries (Barazani et Friedman, 1999). Ces dernières sont connues pour leurs capacités à augmenter la croissance et la longueur des racines. Cet effet résulte d'une augmentation de surface racinaire ainsi une accessibilité plus importante à des nutriments pour la plante.

2.4.1.4.3 Production d'antibiotiques par les *Pseudomonas f. spp fluorescents*

Les *Pseudomonas F.spp fluorescents* sont des producteurs potentiels d'une gamme variée d'antibiotiques avec un large spectre d'action, sur des agents fongique telluriques. L'antibiose est définie comme « l'inhibition d'un organisme par le produit métabolique d'un autre organisme » (Cook et Baker, 1974), c'est probablement le mécanisme le plus connu et

peut-être le plus important utilisé par les PGPR pour limiter l'invasion de pathogènes dans les tissus de la plante hôte. Il consiste en une inhibition directe de la croissance du pathogène via la production de métabolites aux propriétés antifongiques et/ou antibiotiques (Thomashow et al, 1997).

2.4.1.4.4 Production des HCN

Le cyanure d'hydrogène (HCN) qui est un métabolite secondaire produit par les protéobactéries est impliqué dans la suppression d'agents pathogènes, la production d'HCN au niveau de l'adaptation à la rhizosphère peut être avantageuse pour acquérir des nutriments (Ellis et al, 2000). Elle peut également contribuer à l'acquisition de certains ions métalliques en formant des complexes avec ceux-ci. Elle a été mise en évidence chez plusieurs souches de *Pseudomonas fluorescens*, l'HCN joue un rôle important dans la limitation de développement de pathogènes telluriques, sa production peut même inhiber la croissance de plusieurs champignons phytopathogènes via la phase gazeuse in-vitro (Blummer et Haas, 2000).

2.4.2 Les bactéries endophytes

Sont des bactéries ou champignons qui, pour l'ensemble ou une partie de leur cycle, envahissent les tissus des plantes et causent des colonisations inapparentes et asymptomatiques mais ne causent aucun symptôme de la maladie. Ils sont présents dans la plupart des végétaux supérieurs. L'endophytosphère regroupe les tissus internes de la plantes occupés par les microorganismes appelés endophytes.

Des associations bénéfiques avec d'autres microorganismes existent à la fois pour diverses espèces bactériennes généralement appelées PGPB (Plant Growth Promoting Bacteria), ainsi que divers champignons désignés par PGPF (Plant Growth Promoting Fungi). Les associations PGPB et PGPF peuvent stimuler la croissance des plantes et/ou conférer aux plantes une meilleure résistance au stress biotiques et abiotiques (Hirt, 2012).

Les bactéries endophytes ont une capacité de synthétiser des métabolites secondaires très divers qui assurent la croissance des plantes par un certain nombre de mécanismes, la solubilisation du phosphore, la production d'hormones de croissance comme l'acide indole acétique et la production des sidérophores et l'exploitation des produits antimicrobiens pour la protection végétale contre les microorganismes parasites et les herbivores.

Les endophytes peuvent aussi améliorer la croissance de nombreuses espèces végétales; cette amélioration de la croissance se fait par le biais de l'absorption des éléments nutritifs par l'hôte, comme la fixation de l'azote et l'assimilation du phosphore ainsi que la régulation de la qualité nutritionnelle.

Les *pseudomonas* F.spp *fluorecents* et les bactéries de genre *Bacillus* spp. sont capables de synthétiser différents métabolites secondaires, qui peuvent influencer positivement sur la croissance des plantes (Krimi et al, 2016). Les résultats d'une étude ont relevé que l'enzyme 1-Aminocyclopropane-1-carboxylase (ACC désaminase), s'est montrée être intimement impliquée dans la promotion de la croissance des plantes par les PGPB.

2.4.2.1 La sélection de microorganismes antagonistes du Foa à partir du « compost » de grignon d'olives

Le contrôle biologique a été testé en utilisant deux bactéries (*Burkholderia cepacia* strain Cs5 (Cs) et *Bacillus amyloliquefacien* strain Ag1 (Ag)), dans le contrôle biologique de la maladie du Bayoud causée par *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa) en vue d'induire les réactions de défense du palmier dattier contre son agresseur (Foa). En sélectionnant par des tests de confrontation in vitro.

Elles ont été isolées à partir de la rhizosphère des amandiers (Kelani-Feki et Jaoua, 2011), et stockées à -20°C dans une solution stérile du glycérol à 20%.

2.4.2.1.1 Définition des grignons d'olives

Les grignons d'olives sont un sous-produit du processus d'extraction de l'huile d'olive composé des peaux, des résidus de la pulpe et des fragments des noyaux. Ce sont les résidus solides résultant de l'extraction d'huiles d'olive, alors que les résidus liquides sont dénommés margines.

2.4.2.2 Différentes étapes de la préparation du compost de grignon d'olives

Deux gramme de grignon d'olive sont broyés dans 100 ml d'eau physiologique stérile (NaCl à 9g/l) puis centrifugés à 600 g pendant 15 minutes à température ambiante.

Le surnageant est récupéré puis dilué plusieurs fois dans l'eau physiologique stérile. Ces dilutions sont ensuite utilisées pour réaliser des cultures dans des milieux différents (gélose nutritive, SDA (Sabouraud Dextrose Agar), PDA (Potato-Dextrose Agar) et dans les milieux liquides PDB (Potato-Dextrose Broth) et SDB (Sabouraud Dextrose Broth)) dans le but

d'isoler des microorganismes à partir du « compost » du grignon en vue de leur utilisation dans le contrôle biologique de la maladie du Bayoud.

Le maximum d'inhibition de la croissance a été obtenu au 6ème jour de co-culture avec les bactéries, de 83% et de 75% pour les bactéries Cs et Ag respectivement. Alors que l'inhibition de la sporulation a été de 93% et de 86% pour Cs et Ag respectivement au 5ème jour de co-culture avec les bactéries.

Les résultats obtenus montrent que le Cs était plus efficace que l'Ag in vitro malgré la faible efficacité de ses produits libérés dans le milieu de culture.

2.4.2.3 Efficacité des deux bactéries en biocontrôle du palmier dattier :

Elles ont été examinées pour leur pouvoir inhibiteur du développement du Foa d'une part et pour leur capacité d'induire les réactions de défense du palmier dattier contre son pathogène d'autre part. Les deux bactéries ont montré in vitro une capacité d'inhiber la croissance et la sporulation de l'agent pathogène.

Ces bactéries ont aussi montré une capacité de libérer dans le milieu de culture des composés à activité antifongique capables de limiter la croissance du Foa.

2.5 Les métabolites secondaires antimicrobiens

Les plantes ont acquis la capacité de synthétiser et d'accumuler un nombre élevé de petites molécules de structure variée, connues sous le nom de métabolites secondaires. Ils sont des molécules qui ne participent pas directement au développement des plantes mais plutôt interviennent dans les relations avec les stress biotiques, abiotiques ou améliorent l'efficacité de reproduction.

Ils proviennent habituellement d'acides aminés ou d'autres produits du métabolisme primaire. Certains de ces composés possèdent une activité antimicrobienne et sont de véritables outils de la défense des plantes contre les agents pathogènes. Ces composés peuvent être préexistants et sont appelés phytoanticipines (VanEtten et al, 1994) ou nouvellement synthétisés en réponse à une infection microbienne, ils sont alors désignés des phytoalexines. La nature des phytoalexines est spécifique de l'hôte et indépendante de l'agent pathogène et chaque espèce végétale possède sa phytoalexine spécifique particulière.

Ils sont présents dans toutes les parties des végétaux supérieurs (racines, tiges, feuilles, fleurs, pollens, fruits, graines et bois). Les plus représentés sont les acides phénols, les flavonoïdes (anthocyanes), et les tanins.

2.5.1 Les flavonoïdes

Ce sont des métabolites secondaires ubiquistes des plantes. Ils occupent une place prépondérante dans la famille des polyphénols, ils sont considérés comme des pigments quasi universels des végétaux, souvent responsables de la coloration des fleurs et des fruits. Ils sont présents d'une manière très générale dans toutes les plantes vasculaires où ils peuvent être localisés dans divers organes : racines, tiges, bois, cuticule foliaire et dans les cellules épidermiques des feuilles (Marfak, 2003).

2.5.2 Activités biologiques des flavonoïdes

Les flavonoïdes constituent un groupe de substances très importantes qui présentent un grand intérêt dans beaucoup de domaines. Actuellement, les flavonoïdes sont connus par des activités pharmaco-biologiques antiviraux, antimicrobiens, et anticancéreux, antiallergiques, anti-inflammatoires, anti-thrombotiques, anti-tumoraux et hépato protecteurs (Middleton et al, 2000). Ces activités sont attribuées en partie aux propriétés anti-oxydantes de ces composés naturels. Dans ce contexte, différents types de flavonoïdes (flavones, isoflavones, flavonols...) ont présenté une activité antifongique des flavonoïdes est aussi établie, en raison de la capacité répandue des flavonoïdes d'inhiber la germination des spores des phytopathogènes.

2.5.3 Rôles des flavonoïdes chez les plantes

Les flavonoïdes sont des pigments quasiment universels des végétaux. Ils sont synthétisés au niveau des fleurs, des fruits, des feuilles et des graines d'un grand nombre de végétaux. Leur accumulation confère des avantages écologiques et physiologiques majeurs (Harborne et Williams, 2000). Une des propriétés majeures des flavonoïdes est de contribuer à la couleur des plantes et notamment à celle des fleurs. Or, c'est par la couleur de ses fleurs que la plante exerce un effet attracteur sur les insectes et les oiseaux pollinisateurs, assurant par ce biais une étape fondamentale de sa reproduction. Il est à noter que les flavonoïdes, en repoussant certains insectes par leur goût désagréable, peuvent jouer un rôle dans la protection des plantes. Les flavonoïdes montrent d'autres propriétés intéressantes dans le contrôle de la croissance et du développement des plantes en interagissant d'une manière complexe avec les diverses hormones végétales de croissance.

D'autre part, les plantes utilisent la capacité d'adsorption entre 280 et 315 nm de tous les flavonoïdes comme un filtre de protection contre les dommages pouvant être causés par les radiations UV-B sur leur ARN (Harborne et Williams, 2000). Certains flavonoïdes jouent également un rôle de phytoalexines, c'est-à-dire des métabolites que la plante synthétise en grande quantité pour lutter contre une infection causée par des champignons ou par des bactéries.

Dans ce sens, Beaucoup de flavonoïdes possèdent des propriétés antifongiques par inhibition de cellulases microbiennes, de xylanases, pectinases, chélation de métaux nécessaire aux enzymes, formation d'une structure dure et cristalline agissant comme une barrière physique aux pathogènes.

Les flavonoïdes pourraient entraîner des changements dans la différenciation des tissus et ainsi promouvoir la formation de thylle et de cal, empêchant ainsi l'agression par des agents invasifs. De même, Les flavonoïdes jouent aussi un rôle important dans la résistance fongique, après la récolte, des fruits et des légumes. De fortes concentration en flavonoïdes dans les fruits sont, en effet, très souvent corrélées avec une faible incidence de pathogène. Cette constatation est d'ailleurs mise à profit pour mieux conserver les fruits.

Conclusion

Le *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedenis*, comme tous les agents de trachéomychoses d'origine tellurique, se conserve dans le sol ou dans les fragments de palmiers infectés. Il pénètre directement par les racines du palmier et se localise dans les faisceaux ligneux. La progression du champignon est ascendante et se réalise à la fois par le mycélium et par les microconidies. Celui-ci fructifie et libère les conidies qui sont entraînées par le courant de la sève jusqu'au sommet du palmier. Au cours de son ascension, l'agent pathogène colonise le parenchyme de l'arbre qui prend alors la couleur brun rougeâtre, caractéristique du bayoud. La circulation de la sève se trouve freinée suite à une obturation de la lumière des vaisseaux par le mycélium où les spores fongiques, ainsi que par un accroissement de la viscosité de la sève par des polysaccharides résultants de l'hydrolyse des parois des vaisseaux de l'hôte par l'agent pathogènes mycélium bloque les vaisseaux. En même temps le champignon secrète des enzymes et des toxines affectant la vitalité des tissus (Munier, 1973).

Durant ces dernières années, les méthodes de luttés chimiques contre les agents pathogènes chez les plantes et végétaux, ont été remplacé par d'autres méthodes biologiques, suite à la fragilité de l'écosystème oasien et à son efficacité non garantie. Les mesures culturales et la mise en quarantaine n'arrête également pas la maladie. Comme toutes les fusarioses vasculaires, l'utilisation des variétés résistantes est la seule méthode efficace, mais dans le cas du palmier dattier, la sélection n'est pas facile, en plus la plupart des variétés sélectionnées résistantes produisent des dattes de faible qualité, c'est pour cela que les chercheurs se sont initiés vers la lutte biologique.

Le contrôle biologique se fait principalement via des bactéries appartenant aux genres *Streptomyces*, *Bacillus*, *Agrobacterium* et *Pseudomonas* qui sécrètent des substances qui provoquent une amélioration de la nutrition des plantes colonisées par l'absorption de l'ion nitrate par la plante.

Les mycorhizes contribuent à l'augmentation de la croissance et à l'amélioration de la santé des plantes, ce qui se traduit par une vigueur accrue qui leur permet de mieux tolérer les stress environnementaux, des champignons tels que le genre *Trichoderma* qui apportent une amélioration dans la croissance racinaire, la productivité, la résistance au stress biotique et abiotique.

Conclusion

Plusieurs recherches sont consacrées à la valorisation de composts issus de divers déchets agricoles en tant qu'outil de protection des cultures, tel que le compost de grignon d'olive.

D'autres travaux concernant les microorganismes antagonistes et leurs modes d'action ont été réalisés par l'exemple de l'étude des endophytes fongiques du palmier dattier (*Penicelium* et *Aspergillus*) qui ont révélé la capacité des endophytes à inhiber la croissance mycélienne du pathogène *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis* due principalement à la compétition entre les endophytes et le pathogène.

Au terme de notre travail sur le biocontrôle de la fusariose vasculaire du palmier dattier due à *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis*. Ces résultats nous encouragent à entreprendre d'autres études dans le futur comme la bioformulation des produits, afin d'élargir nos connaissances sur l'exploitation de ces microorganismes destinés aux applications de lutte biologique. Afin d'améliorer la nutrition des plantes et inhiber les agents pathogènes.

Références bibliographiques

- ALBAKRE, A. 1972. *-The date palm a review of its past and presents status and its culture, industry and trade. Iraq, Editions, Alaiïnpress.*
- AL-BAKR, A. 1972. *-The date palm, a review of its past and present status and its culture, industry and trade. Iraq, Editions. Alaiïn Press, (en arabe). 1405 p.*
- AL FARSI, M.A. et Lee, C.Y. 2008. *-Nutritional and functional properties of dates : a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, Vol, 48, pp. 877-877.*
- AL- KHALIFA, N.S. et al., 2013. *Date Palm Tissue Culture and Genetical Identification of cultivars Grown in Saudi Arabia.* N° 321215, Editions. King Abdulaziz City for Science and Technology. National Center for Agriculture technologies, Riyadh. pp. 17-41.
- AMORSI G., 1975. *-Le palmier dattier en Algérie.* Algérie, Editions, Telemcen, 131p.
- Azcon-Aguilar, C. and Barea, J.M. (1996). Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens __ an overview of the mechanisms involved. *Mycorrhiza*, vol, 6, pp.457-464.
- BAAZIZ, M., 2003. *-La culture du palmier dattier au Maghreb. Contraintes actuelles et recherches scientifiques. Laboratoire de biochimie et Amélioration des Plantes (PAB), Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences-Semlalia, Marrakech, Maroc.*
- BALTHAZARD, M.G, et al. 2013, - Origines et domestication du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) in, *Revue d'ethnoécologie*, n) 4, [en ligne]. Disponible sur : <https://journals.openedition.org/ethnoecologie/1524> (Consulté le (5/05/2021)
- BARREVELD, W.H. 1975. <Conditionnement et traitement des dattes: utilisation des sous-produits. 3ème conférence technique de la FAO sur L'amélioration de la production, du traitement et de la commercialisation des dattes>, In Al-Deeb M.A - *temps légal à différentes températures et préférence de variété de date du criocère à dents de scie dans les dattes stockées*, [en ligne].Disponible sur : <[https://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=582993](https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=582993)> (consulté le 28/06/2021).
- BAYER, Bayer Cross Design and Seminis® are registered trademarks of Bayer Group. In Bayer Group. ©2004-2021, [en ligne]. Disponible sur : <https://www.seminis-us.com/resources/agronomic-spotlights/tomato-brown-rugose-fruit-virus/>
- BEDADE, D.K., et al., 2017. *-Biochemical characterization of extracellular cellulase from Tuber maculatum mycelium produced under submerged fermentation.* Vol, 181, pp. 772-783.[en ligne]. Disponible sur : <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27672047/>> (Consulté le 20/04/2021)
- BENDER CL. 1997. Phytotoxines production in Pseudomonas syringae. pp:125-141 in Stacey G and Keen NT (eds.), *Plant microbe interactions.* Vol 3, Editions. Chapman et Hall. Londres.
- BEN S. 2006, *-Induced systemic resistance mediated by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and fungi (PGPF). In multigenic and induced systemic Resistance in plants.* Eds. S. Tuzun and E. Bent, Suisse, p. 522.

- BOOIJ, I, et al., 1992.- *Etude de la composition chimique des dattes à différents stades de maturité pour la caractérisation variétale de divers cultivars de palmier dattier (Phoenix dactylifera L.)*. Fruits, 47 : 667-678.
- 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 doctorat d'état, génétique, physiologie moléculaire et microbiologie des plantes, USTHB Oran, Algerie.
- 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 d'état, Sciences biologiques, U.S.T.H.B. Alger, U.R.Z.A. d'Alger et CIRAD Montpellier, 201p.
- BOUGUEDOURA N., 1979. *Contribution à la connaissance du palmier dattier, Phoenix dactylifera, étude des productions axillaires*, Thèse de doctorat en science biologique, U.S.T.H.B, laboratoire de physiologie végétale de l'UM2 et U.S.T.H.B d'Alger, 64p.
- BOUNAGA N., 1970. -*Quelques aspects de la physiologie d'une souche de Fusarium oxysporum f.sp.albedinis, agent de la maladie du Bayoud*. Algérie, Bulletin de la société d'Histoire Naturelle, Afrique. Nord, N° 60, pp. 137-183.
- BOUNAGA, N., & Djerbi, M. 2009. - *Pathologie du palmier dattier, Unité de Recherche sur les zones Arides*, Editions Institut National de la Recherche Agronomique, El Harrach, Algérie.
- BOUREE P. et al., 2015, -Les *Fusarium* : des contaminants potentiellement dangereux, in EM Consulte, Vol. 26, N°52 , p.13-18. [en ligne]. Disponible sur :< <https://www.em-consulte.com/article/961250/les-fusarium-des-contaminants-potentiellement-dang>> (consulté le 03/06/2021).
- BOUSDIRA K. ,2007. -*Contribution à la connaissance de la biodiversité du palmier dattier pour une meilleure gestion et une valorisation de la biomasse : caractérisation morphologique et biochimique des dattes de cultivars les plus connus de la région du Mزاب, classification et évaluation de la qualité*. Mémoire de Magistère. Technologie alimentaire, Univ. Boumerdès.
- BRAC DE LA PERRIERE R.A., et Benkhalifa A., 1991.- *Progression de la fusariose du palmier dattier en Algérie*, in Sciences et changements planétaires / Sécheresse, Vol 2, N° 2, pp.119-128. [enligne]. Disponible sur : https://www.jle.com/fr/revues/sec/e-docs/progression_de_la_fusariose_du_palmier_dattier_en_algerie_271178/article.phtml?tab=citer (Consulté le 2/02/2021)
- Brac de la Perriere, R.A et Benkhalifa, A., 1998., Identification des cultivars de dattier (Phoenix dactylifera L.) du Sud-ouest Algérien. Bull. Ress. Gén. Vég., 78/79 : 13-19.
- BUELGUEDJ, M., 2002. -*Les ressources génétiques du palmier dattier caractéristiques des cultivars de dattier dans les palmeraies du Sud-est Algérien*. Revue annuelle de l'INRAA, N°1, /2002. pp. 28-289.

- COCQUERILLAT D. 1968 – *Palmeraies et cultures de l'Eanna d'Uruk, in URK – Warka, N°8, p.140.[en ligne]. Disponible sur : [https://www.persee.fr/doc/ahess_0395-2649_1973_num_28_1_293330_t1_0072_0000_5\(559-520\)](https://www.persee.fr/doc/ahess_0395-2649_1973_num_28_1_293330_t1_0072_0000_5(559-520)).*
- COGGINSC.W. et Kna J.C.F.1 969. *Growth development and softennig of Deglet Noor date fruit.* Ann.Rep. Dategrowers'Inst. 46.11 -14.
- Corbaz,R.(1990). principe de phytologie et de lutte contre les maladies des plantes édition presse polytechnique et universitaire romande.Lusanne.286 p.
- DEBOURGOGNE A. 2013. -*Typage moléculaire du complexe d'espèces Fusarium solani et détermination de son mécanisme de résistance au voriconazole.* Thèse du doctorat. Paris, Université de lorraine.
- DI PIETRO A. et al., 2003- *Fusarium oxysporum : explorer l'arsenal moléculaire d'un champignon de la flétrissure vasculaire,* in Mol. Plant Pathol. N°4, pp.315–325 [en ligne]. Disponible sur : <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20569392/>> (Consulté le 19/ 05/ 2021)
- DJERBI M 2003 -*Fusarium oxysporum f. sp. albedini.* In OEPP/EPPO Bulletin 33 pp. 245–247[en ligne]. Disponible sur:< <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20569392/>> (Consulté le 11/04/2021).
- Drira, N et Benbadis, A., 1985. Multiplication végétative du palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*) par réversion en culture in vitro débauche florale de pieds femelle. J. Plant Physio.119: 227—235.
- EL HADRAMI, T. et al., 1997 - *A Sinapic Derivative as an Induced Defence Compound of Date Palm Against Fusarium oxysporum f.sp. albedinis, the Agent Causing Bayoud Disease,* in Phytopathology, Vol 145, n°8-9, p.329, [En ligne]. Disponible sur: <https://www.jstor.org/stable/26456703> (Consulté le 03/04/2021).
- ESPIARD E.2002- *Introduction à la transformation industrielle des fruits.* Editions. Tech et Doc. Lavoisier, Paris. p.p 147-155.
- FERNANDEZ, Diana et al., 1995 - *Le Bayoud du palmier dattier, une maladie qui menace la phœniciculture », in Phytoma - La Défense des végétaux N°469, p.36-39 , [en ligne]. Disponible sur : < <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:41292> > (Consulté le 29/05 /2021)*
- FERNANDEZ D, et al.. 1995. -*Le Bayoud du palmier dattier. Une maladie qui menace la phœniciculture. Phytoma. La défense des végétaux. N° 469 .[en ligne]. Disponible sur : <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:41292> (Consulté le 14/06/2021)*
- Filho,J.A.C.,pascholati,S.F and Sabrinho,R.R.(2016).mycorrhizal association and their Role in Plant Disease Protection.Plant,Soil and microbes,95-143.
- Gamalero, E., A. Trotta, N. Massa, A. Copetta, M.G. Martinotti and G. Berta. (2004).Impact of two fluorescent pseudomonads and an arbuscular mycorrhizal fungus on tomato plant growth, root architecture and P acquisition. Mycorrhiza, vol :14,pp.185-192.

- GHANIM M.I., 2001. - *Farming operations of the date palm, the palm*, *Journal of science and technology*, Volume 1, Editions King Abdulaziz, City for science and technology, National Center for Agriculture technologies, Riyadh, p. 24.
- GOSWAMI, R.S. et Kistler, H.C. (2004) - En route pour le désastre : *Fusarium graminearum* sur les cultures céréales. In *Mol. Pathol végétal*. N°5, p. 515-525, [en ligne]. Disponible sur :
< https://www.researchgate.net/publication/44690136_Goswami_R_S_Kistler_H_C_Heading_for_disaster_Fusarium_graminearum_on_cereal_crops_Mol_Plant_Pathol_5_515-525> (Consulté le 12/05/2021)
- HADJRAOUI.k et al., 2017, DATE PALM DISEASES AND PESTS (CASE OF BAYOUD DISEASE: VASCULAR FUSARIUM) FUSARIUM OXYSPORUM F. SP. ALBEDINIS IN THE WILAYA OF ADRAR in *Genetics and Biodiversity Journal*, Vol.1, N° 2, pp. 83-88, [en ligne]. Disponible sur < <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/52405>>
- HALLE F. & Oldeman R.A.A., 1970. *Essai sur l'architecture et la dynamique de croissance des arbres tropicaux*, Masson, Paris, 178p.
- HALLÉ F., Oldeman R.A.A. & Tomlinson P.B., 1978. *Tropical trees and forests. An architectural analysis*, Springer Verlag, Berlin, 441p.
- Harborne JB and Williams CA. 2000. *Advances in flavonoid research since 1992*. *Phytochemistry*. 55: 481-504.
- Husaini, A.M and Neri, D. (2016). *Strawberry growth, development and diseases*. 212p.
- INPV., 2014.- *Le palmier dattier: Un patrimoine à réserver*. In *Bulletin d'informations phytosanitaires* n° 34, INPV, Alger, 4p., [en ligne]. Disponible sur : <<http://www.inpv.edu.dz/institut/wp-content/uploads/2014/04/Info-phyto-n%C2%B034-AVRIL-2014.pdf>> (Consulté le 25/02/ 2021)
- JRAD A. 2012.-. *Développement du système racinaire chez le palmier dattier issu de semis*. (Mémoire de master), Biologie & Environnement, Université de Gabès. Tunisie. 64p.
- JARRAHA.Z. 1983. -Some physico -chemical changes in *Khadrawi date fruits and the determination of depressed period*. *Date palm Journal*. Vol. 2. P. 20 -34.
- Krimi Z., Alimi Dj., Djellout H., Tafifet L., Mojamed Mahmoud F., Raio A., 2016. *Bacteria endophytes of weeds are effective biocontrol agents of Agrobacterium spp., Pectobacterium spp., and promote growth of tomato plants*. Doi : 10.14601.13.
- Louvet, J., 1977. *Observations sur la localisation des chlamydospores de Fusarium*
- Louvet, J., 1991. *Que devons-nous faire pour lutter contre le Bayoud*. In : *Physiologie des Arbres et Arbustes en zones arides et semi-arides*. Ed. by A. Riedaker, E., Dreyer, C., Pafadnam, H., Joly and, G et Bory. pp 337-346. Groupe d'étude de l'arbre. JhonLibbeyEurotext. Paris, France.
- M.A.D.R. (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural)., 2015. *Evaluation de la mise en oeuvre de la consolidation du programme de développement agricole Renouveau Agricole Ord. 03-05-2015*. [en ligne]. Disponible sur : < <http://madrp.gov.dz/wp->

content/uploads/sites/10/2020/06/Evaluation_PAP_ENPARD_Chazee_2019.pdf>
(Consulté le 10/ 03/2021)

- Majewska, M., Rola , K and Zubek, S. (2017). The growth and phosphorus acquisition of invasive plants *Rudbeckia laciniata* and *Solidago gigantea* are enhanced by arbuscule mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*. pp 27.
- MARIAU D., 1999- *Les maladies des cultures pérennes tropicales*, CIRAD, p.28, [en ligne]. Disponible sur <https://agritrop.cirad.fr/189704/> (Consulté le 25/06 /2021)
- Marfak A. 2003. Radiolyse Gamma des Flavonoïdes. Etude de Leur Réactivité avec Les Radicaux issus des Alcools : Formation de depsides. Thèse de doctorat. Université de Limoges. p : 187
- Malençon, G., 1934. Nouvelles observation concernant l'étiologie du bayoud C.R.Acad.Sci. Paris : 19 :1259-1262.
- MECHTA N. et al, 2015, -*Fusarium oxysporum f. sp. albedinis*: Effets du milieu de culture sur la croissance mycélienne, la sporulation et la production de l'Acide fusarique, Vol 5, pp ; 82- 90, [en ligne]. Disponible sur : <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/194> (consulté 11/04/2021)
- Middleton E, Kandaswami C and Thioharidies TC. 2000. The effects of plant flavonoids on mammalian cells: implications for inflammation, heart disease and cancer. *Pharmacological reviews*. 52: 673-751.
- MUNIER P. 1973. -*Le palmier dattier*. Paris, Editions, Maisonneuve et Larose, 221p.
- Ouinten, M., 1996. Diversité et structure génétiques des populations algériennes de *Fusarium oxysporum f. sp. albedinis*, agent de la fusariose vasculaire(Bayoud) du palmier dattier. Thèse PhD. Université Montpellier II. Montpellier : 17Op.
- PEYRON G., 2000, -*Cultiver le palmier dattier: Guide illustré de formation*, Editions Quae GRIDAO, CIRAD, Djibouti, 112p.
- PEYRON G., et al.,. 1988. -*Phénologie du palmier dattier (Phoenix dactylifera L.). 1- Contribution à l'étude du patrimoine génétique phoenicicole en Egypte*. pp.19-21, In, Actes du colloque : *Les systèmes agricoles oasiennes*. Tunisie, Editions, Tozeur.
- PINTAUD, J.-C. et al., 2010. -Species delimitation in the genus *Phoenix* (Arecaceae) based on SSR markers, with emphasis on the identity of the date palm (*Phoenix dactylifera L.*) in Seberg, G. Petersen, A.S. Barfod & J.I. Davis (eds.) *Diversity, phylogeny and evolution in the monocotyledons*, pp. 267–286, Aarhus University Press, Denmark.
- RAHMANIA F., 2000. -*Contribution à la connaissance des relations hyto-cytophysiologique entre le Palmier Dattier, Phoenix Dactylifera L. et l'agent causal du Bayoud, Fusarium oxysporum f.sp.albedinis (Killian et Maire) Gordon*. Thèse doctorat d'état, USTHB, Alger, 156p
- .RAMIREZ-SUERO M. 2009. *Etude de l'interaction de Medicago truncatula avec Fusarium oxysporum et du rôle de l'acide salicylique dans les interactions de la plante avec différents agents pathogènes et symbiotiques*. Thèse de doctorat, Paris, Université de Toulouse
- RITTERBUSH A. 1990. *The measure of biological age in plant modular systems*. *Acta Biotheoretica*. Vol. 38. pp. 113-124.

- SAAIDI M (1990) -*Amélioration génétique du palmier dattier. Critères de sélection, techniques et résultats*. In Dollé V., Toutain G. *Les systèmes agricoles oasiens*. Montpellier France, CIHEAM-IAMM. pp. 133-154, [en ligne]. Disponible sur : <https://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=CI901491> (Consulté le 03/04/2021).
- SAADI, M., 1992, *Comportement au champ de 32 cultivars de Palmier dattier vis-à-vis du bayoud : 25 années d'observations.*, in HAL INRIA , pp. 12 :259-270. [en ligne]. Disponible sur : <<https://hal.inria.fr/index/index> >
- SAYAH Z et OULD EL HADJ M D. 2010,- *Etude comparative des caractéristiques physicochimiques et biochimiques des dattes de la cuvette d'Ouargla.*, Editions Annales des Sciences et Technologie. (1), Vol. 2, Algérie p. 92.
- SEDRA, M. H, 2003.- *Le palmier dattier base de la mise en valeur des oasis au Maroc*, technique phoénicoles et création d'oasis Marrakech, Editions, INRA, 265 p.
- SEDRA, M. H.. 1992. -*Variabilité dans le pouvoir pathogène des isolats et souches de fusarium de oxysporum F.SP. albedinis, agent de la vasculaire (bayoud) du palmier dattier, interactions plantes*, in Cahiers agricultures, Maroc, p. 204.
- Sergeeva, E., Liaimer, A and Bergman, B. (2002). Evidence for production of the phytohormone indole-3-acetic acid by cyanobacteria. *Planta* 215:229—238.
- SOUDANI A.,2015, *Essai de lutte biologique in vitro et in vivo contre la fusariose vasculaire (cas du fusarium oxysporum f..sp. albedinis. et fusarium oxysporum. ...sp. Dakhia pisi)*, (Master), Phytopharmacie et gestion, Université de Mascara.
- TOUTAIN G., 1979- *Eléments d'agronomie saharienne. De la recherche au développement*. Paris: INRAIGRET, 276 p.
- Waltz, S etJohnes, j.P., 1981. Nutritionalquirements of Fusarium oxysporum.Basis for a disease control system.
- ZAÏD, A. 2002. -*Date Palm Cultivation. FAO Plant Production and Protection Paper*. 156 Revue.1. ISSN 0259-2517, ISBN 92-5-104863-0.
- ZAID A., 2002, - *Food and agriculture organization of the United Nations, In Date Palm Cultivation Revue.1*, Rome, Editions FAO, 156 p.