

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE BLIDA-1-**



**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (SNV)**  
**Département des Biotechnologies**  
**Laboratoire de Protection et de Valorisation des Ressources Agrobiologiques**

**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master académique en**  
**Sciences de la Nature et de la Vie**  
**Option : Biotechnologie Microbienne**

**Thème :**

**Lutte biologique contre la fusariose du palmier  
dattier, état actuel, méthodologies et priorités  
futures**

Présenté par :

M<sup>elle</sup> DAHDOUH Amina

Soutenu devant le jury :

|  |            |           |
|--|------------|-----------|
| Présidente : M <sup>me</sup> Benoussaid N. | MCB        | U Blida 1 |
| Promotrice : M <sup>me</sup> Krimi Z.      | Professeur | U Blida 1 |
| Examinatrice : M <sup>me</sup> Tafifet L.  | MAA        | U Blida 1 |

2019/2020

**“Live as if you were to die tomorrow.  
Learn as if you were to live forever.”**

**- Mahatma Gandhi -**

## DEDICACES

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents,

Merci de m'avoir toujours supportée dans mes décisions. Merci pour tout votre amour, votre confiance, votre patience. Puisse Dieu vous procurer bonheur, santé, longue vie et vous garder à mes côtés le plus longtemps possible.

Ma mère, tu as été pour moi au long de mes études le plus grand symbole d'amour, de dévouement qui n'ont ni cessé ni diminué. Ta bonté et ta générosité sont sans limite. Tes prières m'ont été d'un grand soutien au cours de ce parcours. J'espère de tout mon cœur qu'un jour tu sois fière de moi, et que je réalise l'un de tes rêves. J'espère être la fille que tu as voulu que je sois.

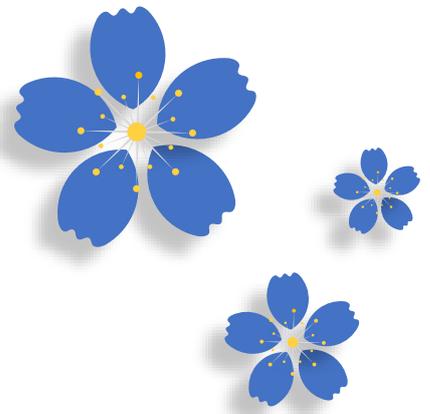
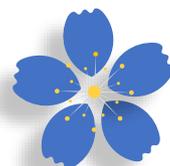
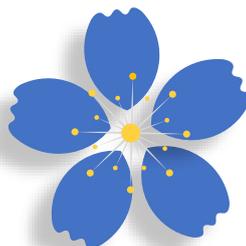
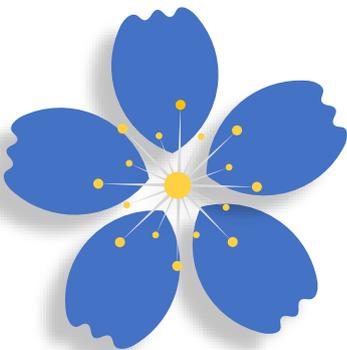
A mes très chères sœurs Soumia et Nesrine,

Pour l'affection qui nous lie, pour l'intérêt que vous portez à ma vie, pour vos soutiens, vos compréhensions et vos encouragements. Je vous souhaite une vie pleine de bonheur et que je sois toujours la sœur dont vous serez fières. Que Dieu vous protège et consolide les liens sacrés qui nous unissent.

Je vous adore.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma réussite et qui, j'espère, m'aideront dans la poursuite de mes études.

Je vous adresse ma plus profonde gratitude.



## REMERCIEMENTS

Avant tout, je remercie dieu tout puissant de m'avoir accordé la volonté, le courage, la patience et les moyens pour accomplir ce modeste travail.

Mes vifs remerciements sont adressés plus particulièrement : A ma promotrice, M<sup>me</sup> KRIMI Zoulikha, Professeur à l'université SAAD DAHLEB de Blida, qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance tant pour m'avoir accordé sa confiance. Ses compétences, ses précieux conseils, sa disponibilité et sa gentillesse à mon égard ont contribué au bon déroulement de ce travail. J'ai pour vous l'estime et le respect qu'imposent votre compétence, votre sérieux, Votre amabilité, Votre dynamisme et votre richesse d'enseignement. J'ai admiré vos qualités scientifiques, humaines et pédagogiques.

Vous m'avez fait le grand honneur d'accepter de me diriger dans ce travail avec bienveillance et rigueur. Je tiens également à vous remercier pour vos remarques constructives.

Il m'est particulièrement agréable de pouvoir exprimer mes vifs et sincère remerciements à M<sup>me</sup> Benoussaid Nacera, pour l'honneur qu'elle me fait en acceptant la présidence du jury.

Mes remerciements à M<sup>me</sup> Tafifet Lamia, pour avoir accepté d'être examinatrice de ce travail, et je la remercie, de même que pour sa participation au Jury.

Je suis également reconnaissante envers tous les corps enseignants de l'Université de Blida -1-, particulièrement aux enseignants de la spécialité de Biotechnologie Microbienne. A mes chers enseignants : Ms Benchabane, M<sup>me</sup> Benchabane , M<sup>me</sup> Ammade , M<sup>me</sup> Bensaid ,Mme Bouchenak... Qui ont bénéficié de leur expérience.

Je tiens également à remercier tout le personnel administratif de la faculté.

Enfin, ces remerciements ne seraient pas complets sans mentionner toutes les personnes qui me sont chères et qui m'ont accompagnée et soutenue tout au long de ses années.

A toute personne qui trouve joie en ce document.

Merci à tous !!!!!

## Table des matières

DEDICACES

REMERCIEMENTS

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Liste des annexes

Résumé

Abstract

ملخص

Introduction générale.....1

**Première partie : Synthèse bibliographique sur le palmier dattier, la maladie de la fusariose vasculaire, son agent causal *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis* et les méthodes de lutte.....3**

**Chapitre I : La plante hôte, le palmier dattier (*phœnix dactylifera*).....4**

1. Historique et caractéristiques écologiques et botaniques.....5

2. Nom vernaculaire et synonymes.....7

3. Taxonomie.....7

4. Origine du palmier dattier.....7

5. Répartition géographique du palmier.....8

5.1. Dans le monde.....8

5.2. En Algérie.....8

6. Conditions écologiques du dattier.....10

7. Importance économique de la culture du palmier dattier.....10

8. Facteurs abiotiques et biotiques limitants sa culture.....11

8.1. Facteurs abiotiques.....11

8.1.1. Sécheresse et températures extrêmes.....11

8.1.2. Salinité.....12

8.2. Facteurs biotiques.....12

**Chapitre II : Le *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis* agent du bayoud.....14**

1. Le genre *Fusarium*.....15

|  |    |
|--|----|
| 1.1.Généralités.....   | 15 |
| 1.2.Taxonomie.....   | 15 |
| 1.3.Ecologie.....  | 15 |
| 1.4.Epidémiologie.....   | 16 |
| 2. L'agent pathogène du Bayoud, l'espèce <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>albedinis</i> (FOA).....   | 16 |
| 2.1.Taxonomie de la F.O.A.....   | 16 |
| 2.2.Morphologie du F.O.A.....  | 17 |
| 3. La fusariose vasculaire du palmier dattier ou bayoud.....   | 18 |
| 3.1.Historique de la propagation de la maladie.....  | 18 |
| 3.2.Impact économique.....   | 19 |
| 3.3.Symptomatologies.....  | 19 |
| 3.3.1. Symptômes externes.....   | 20 |
| 3.3.2. Symptômes internes.....   | 21 |
| 3.4. Importance des dégâts.....  | 23 |
| 4. Dissémination.....  | 23 |
| <br>   |    |
| <u>Chapitre III</u> : Moyens de lutte contre le <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>albedinis</i> ..... | 24 |
| 1. Techniques culturales.....  | 26 |
| 2. La lutte chimique.....  | 26 |
| 3. La lutte génétique.....   | 26 |
| 4. La lutte biologique par utilisation de microorganismes.....   | 27 |
| <br>   |    |
| <u>Chapitres IV</u> : La lutte biologique contre la fusariose vasculaire du palmier dattier.....       | 28 |
| 1. Définitions de la lutte biologique.....   | 29 |
| 2. Historique de la lutte biologique.....  | 30 |
| 3. Les agents de lutte biologique.....   | 30 |
| 4. Avantages des agents de lutte biologique.....   | 30 |
| 5. Microorganismes utilisés dans la lutte biologique contre la fusariose du palmier dattier....        | 31 |
| 5.1.Les mycorhizes.....  | 31 |
| 5.2.Les microorganismes endophytes.....  | 32 |
| 5.2.1. Définition, localisation, caractéristiques.....   | 32 |
| 5.2.2. La diversité des bactéries endophytes.....  | 34 |
| 5.3.Interaction endophytes – hôte et les rôles des associations bénéfiques liées aux endophytes.....   | 35 |

|  |    |
|--|----|
| 5.3.1. Stimulation de la croissance végétale.....    | 35 |
| 5.3.2. Défense contre les agressions biotiques.....  | 37 |
| 5.3.3. Défense contre les agressions abiotiques..... | 38 |

**Deuxième partie : : Ebauche expérimentale.....** 39

|  |    |
|--|----|
| Evaluation <i>in vitro</i> du potentiel de biocontrôle des bactéries endophytes. isolées de diverses variétés de palmier -dattier..... | 40 |
| 1. Objectif de l'étude.....  | 41 |
| 2. Lieu de l'étude.....  | 41 |
| 3. Propriétés sélectives des agents de lutte biologique bactériens.....  | 42 |
| 3.1.Mobilité bactérienne.....  | 42 |
| 3.2.Production des sidérophores .....  | 42 |
| 3.3.Production de biofilm.....   | 43 |
| 3.4.Production de biosurfactants .....   | 43 |
| 3.5.Tolérance au stress hydrique .....   | 43 |
| 3.6.Tolérance au stress salin.....   | 44 |
| 4. Matériels et méthodes.....  | 44 |
| 4.1.Matériels.....   | 44 |
| 4.1.1. Isolats bactériens d'endophyte .....  | 44 |
| 4.1.2. Matériel fongique pathogène.....  | 45 |
| 4.1.3. Milieux de culture.....   | 45 |
| ✚ Milieux d'isolement et de purification .....   | 45 |
| 4.2.Méthodes.....  | 45 |
| 4.2.1. Purification et conservation des souches.....   | 45 |
| 4.2.2. Caractérisation des isolats.....  | 45 |
| 4.2.3. Essais d'antagonisme <i>in vitro</i> .....  | 46 |
| 4.2.3.1.Confrontation directe ou simultanée.....   | 46 |
| 4.2.3.2.Confrontation déphasée.....  | 47 |
| 5. Résultats .....   | 48 |
| 5.1.Caractères cultureux des isolats cultivés sur milieu LPGA.....   | 48 |
| Conclusion générale.....   | 52 |
| Références .....   | 55 |
| Annexe.....  | 65 |

## Liste des figures

|   |    |
|---|----|
| Figure 1 : Figuration schématique du palmier dattier.....   | 6  |
| Figure 2 : Distribution des espèces du genre <i>Phoenix</i> .....   | 8  |
| Figure 3 : Les Oasis algériennes, lieux de culture du palmier dattier .....   | 10 |
| Figure 4 : Organisation morphologique du F.O.A. Spores du <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp.<br><i>albedinis</i> sous microscope optique (x600)..... | 17 |
| Figure 5 : Organes de reproduction asexuée de F.O.A au MEB.....   | 18 |
| Figure 6 : Répartition et extension du Bayoud en Algérie et en Afrique du Nord.....   | 19 |
| Figure 7 : Dispersion unilatérale des symptômes sur les palmes de la couronne moyenne.....  | 20 |
| Figure 8 : Premiers symptômes typiques de la maladie de Bayoud.....   | 21 |
| Figure 9 : Symptômes de la maladie du Bayoud.....   | 22 |
| Figure 10 : Palmerais dépéris suite à l'attaque par le bayoud dans les zones du Sud Oust de<br>l'Algérie (Adrar).....                             | 22 |
| Figure 11 : Pertes de palmiers dattiers bayoudés durant la période de 1950 à 2000.....  | 23 |
| Figure 12 : Aspect des champignons mycorhiziens intra-racinaires.....   | 32 |
| Figure 13 : Propriétés des bactéries endophytes , rôles et applications biotechnologique.....   | 33 |
| Figure 14 : Schéma représentatif de la méthode de confrontation directe ou simultanée.....  | 46 |
| Figure 15 : Schéma représentatif de la méthode de confrontation déphasée.....   | 48 |
| Figure 16 : Les caractères cultureux des isolats endophytes cultivés sur milieu LPGA.....   | 50 |
| Figure 17 : Résultats des isolats endophytes bactériens isolées sur les différentes variétés de<br>palmier dattier.....                           | 51 |

## Liste des tableaux

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1 : Nom Vernaculaire du palmier dattier et synonymes.....  | 7  |
| Tableau 2 : Classification botanique du palmier dattier.....   | 7  |
| Tableau 3 : Répartition de production de dattes par wilaya.....  | 11 |
| Tableau 4 : Maladies et ravageurs signalées sur le palmier dattier en Algérie.....   | 12 |
| Tableau 5 : Classification taxonomique du <i>Fusarium oxysporium</i> f.sp. <i>albedinis</i> basée sur la phylogénie moléculaire..... | 16 |
| Tableau 6 : Exemple de bactéries endophytes et leurs plantes hôtes.....  | 35 |
| Tableau 7 : Variétés du palmier dattier utilisés pour l'isolement des bactéries endophytes.....                                      | 44 |
| Tableau 8 : Les caractères culturaux des isolats endophytes cultivés sur milieu LPGA.....  | 49 |
| Tableau 9 : Dénombrement des isolats des variétés étudiées.....  | 51 |

### Liste des abréviations

|              |   |
|--------------|---|
| <b>LPGA</b>  | <b>Levure Peptone Glucose Agar</b>        |
| <b>PDA</b>   | Potato Dextrose Agar                      |
| <b>F.o</b>   | <i>Fusarium oxysporum</i>                 |
| <b>F.o.a</b> | <i>Fusarium oxysporum f.sp. albedinis</i> |
| <b>AZ</b>    | Elazouzia                                 |
| <b>DN</b>    | Deglet Nour                               |
| <b>MD</b>    | Mech Degla                                |
| <b>H</b>     | Elhorra                                   |
| <b>BQ</b>    | Bentaqbala                                |
| <b>TK</b>    | Takerbouchet                              |
| <b>L.B</b>   | Lutte biologique                          |
| <b>FAO</b>   | Food and Agriculture Organization         |
| <b>ED</b>    | Eau distillée                             |
| <b>sp.</b>   | Espèce                                    |
| <b>PGPB</b>  | Plant Growth Promoting Bacteria           |
| <b>PGPF</b>  | Plant Growth Promoting Fungi              |
| <b>KB</b>    | King B                                    |
| <b>MEB</b>   | Microscopie électronique à balayage       |

### Liste des annexes

| N° | Titre                                    | Page |
|----|--|------|
| 1  | Composition de milieux de culture LPGA   | 54   |
| 2  | Composition de milieux de culture King B | 54   |
| 3  | Composition de milieux de culture PDA    | 54   |

## **Lutte biologique contre la fusariose du palmier dattier, état actuel, méthodologies et priorités futures.**

### **Résumé**

Le palmier dattier est cultivé comme un arbre fruitier dans les régions chaudes arides et semi-arides. Cet arbre peut s'adapter à de nombreuses conditions grâce à sa grande variabilité génétique.

En Algérie, cette espèce est contrainte à de nombreuses conditions biotiques et abiotiques adverses. La principale maladie du palmier dattier est le Bayoud ou fusariose vasculaire, causée par le champignon *Fusarium oxysporum* f.sp. *albeninis*.

Diverses méthodes de lutte appliquées contre le bayoud ont été pratiquées, notamment la lutte chimique, l'utilisation de variétés résistantes et la lutte biologique par utilisation de microorganismes. Pour cette dernière, des connaissances sur les microorganismes utilisés dans la lutte biologique contre la fusariose vasculaire sont synthétisées dans le présent document. Une ébauche expérimentale a été entamée dans ce sens pour évaluer *in vitro*, le potentiel et les performances de biocontrôle de bactéries endophytes isolées de diverses variétés de palmier dattier à l'égard du *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis*.

**Mots clés :** palmier dattier, Bayoud, *Fusarium oxysporum*, lutte biologique, endophytes.

## **Biological control of *Fusarium* wilt in date palm, current status, methodologies and future priorities.**

### **Abstract**

Date palm is cultivated as a fruit tree in hot arid and semi-arid regions. This tree can adapt to many conditions because of its great genetic variability.

In Algeria, this species is constrained to many adverse biotic and abiotic conditions. The main disease of date palm is Bayoud or vascular Fusarium, caused by the fungus *Fusarium oxysporum* f.sp. *albeninis*.

Various applied control methods against bayoud have been practiced, including chemical control, the use of resistant varieties and biological control through the use of microorganisms. knowledge of the microorganisms used in the biological control of vascular fusarium wilt is summarized in this document. An experimental outline has been initiated in this direction to evaluate *in vitro*, the potential and the performance of biocontrol of endophytic bacteria isolated from various varieties of date palm against *Fusarium oxysporum* fsp. *albedinis*.

**Keywords:** date palm, Bayoud, *Fusarium oxysporum*, biological control, endophytes

المكافحة البيولوجية للذبول الفيوزاريومي في نخيل التمر، الوضع الحالي ، المنهجيات والأولويات المستقبلية.

## ملخص

يُزرع نخيل التمر على شكل أشجار مثمرة في المناطق الحارة الجافة وشبه الجافة. يمكن لهذه الشجرة أن تتكيف مع العديد من الظروف بفضل تنوعها الجيني الكبير.

في الجزائر ، هذا النوع معرض للعديد من الظروف الحيوية وغير الحيوية المعاكسة له. المرض الرئيسي لنخيل التمر هو

البيوض أو الذبول الوعائي الناجم عن الفطر *Fusarium oxysporum f.sp. albedinis* .

تم تطبيق العديد من طرق المكافحة المطبقة ضد البيوض ، بما في ذلك المكافحة الكيميائية ، واستخدام الأصناف المقاومة

والمكافحة البيولوجية باستخدام الكائنات الحية الدقيقة. بالنسبة لهته الأخيرة ، تم تلخيص معرفة الكائنات الحية الدقيقة

المستخدمة في المكافحة البيولوجية للذبول الفيوزاريومي الوعائي في هذا البحث. وقد تم البدء في بروتوكول تجريبي في هذا

السياق لتقييم إمكانات وأداء المكافحة الحيوية للبكتيريا الداخلية العدائية المعزولة من أنواع مختلفة من نخيل التمر ضد

*Fusarium oxysporum f.sp. albedinis*

الكلمات المفتاحية : نخيل التمر، البيوض، *Fusarium oxysporum f.sp. albedinis*، المكافحة البيولوجية، الكائنات الحية الدقيقة.

**Introduction**

**Générale**

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*) est le pilier des écosystèmes oasiens. Il joue un rôle protecteur contre le rayonnement solaire intense pour les cultures sous-jacentes comme les arbres fruitiers, les cultures maraîchères et les céréales. En effet, par sa présence dans ces zones, les diverses formes de vies animales et végétales, indispensables pour le maintien et la survie des populations, sont possibles (Bouguedoura *et al.*, 2010).

En Algérie, ses dattes sont exportées, vendues sur les marchés nationaux et internationaux ou utilisées comme aliments de base par les populations locales. En outre, il crée un microclimat qui permet à d'autres arbres fruitiers et aux cultures vivrières de s'épanouir à son ombre.

La production mondiale de dattes est estimée à près de 7.6 millions de tonnes répartis sur les cinq continents, mais les peuplements les plus importants se trouvent au Moyen-Orient et en Afrique du Nord (Gros-Balthazard *et al.*, 2013).

L'Algérie est un pays phoenicicole classé au troisième rang mondial et au premier rang dans le Maghreb pour ses grandes étendues de culture avec 166900 hectares (Sidabtech 2017).

La présence des agents phytopathogènes dans l'environnement tellurique peut causer des dommages sévères, qu'il s'agit des bactéries, champignons ou virus, les dégâts peuvent atteindre la destruction totale des cultures. Le Bayoud causé par *Fusarium oxysporum* f.sp.*albedinis*, est le pathogène majeur sur cette espèce fruitière, il représente une menace dans les régions productrices (Benlarbi, 2019). Actuellement, en Algérie, le Bayoud a atteint les régions de Ouargla, Oued Righ, le Souf et les Zibans, connues par l'omniprésence du cultivar Deglet Nour, réputé sensible à cette fusariose. L'ampleur de ce risque est accrue, ces dernières années, par l'orientation prononcée vers des plantations monovariétales basées sur ce cultivar (Khene *et al.*, 2015).

Vu les inconvénients de la lutte chimique, le recours à la protection biologique constitue une des solutions alternatives qui permettra de lutter contre les agents phytopathogènes, tout en diminuant l'emploi des produits chimiques.

La lutte biologique par introduction des microorganismes antagonistes s'avère une voie très prometteuse dans le contrôle de plusieurs maladies de plantes d'origine tellurique (Anitha et Andrés, 2011). Pour dispenser les attaques de ces agents pathogènes, les

agriculteurs font appel à l'application abusive de pesticides. Ces produits chimiques sont considérés comme l'arme la plus efficace pour faire face à ces problèmes, mais ces substances ont des conséquences néfastes sur l'environnement, le déséquilibre écologique et l'apparition des mécanismes de résistance chez le pathogène (Thakore, 2006).

Par ailleurs, les résultats des méthodes culturales ont été concluants et plusieurs variétés et clones résistants ont été sélectionnés et utilisés dans de multiples programmes de reconstitution des zones dévastées par la maladie dans les palmeraies traditionnelles (Sedra, 2005).

Pour toutes ces raisons, notre étude a pour but de recenser les méthodes de lutte biologique contre la fusariose vasculaire du palmier dattier, l'état actuel des connaissances et les méthodologies et solutions futures.

Le document bibliographique est présenté selon le plan suivant, il comprend :

- Une première partie relative à la synthèse bibliographique, elle comporte 4 chapitres :  
Le premier sur la plante hôte le palmier dattier, s'en suit un aperçu sur la maladie de la fusariose vasculaire du palmier dattier (Bayoud) ainsi que son agent causal *Fusarium oxysporum* fsp. *albedinis*, et enfin les différentes méthodes de lutte préconisées contre cette maladie dévastatrice.
  
- Enfin, dans une ébauche expérimentale entamée dans ce sens, la démarche suivie a été décrite.

Première partie : Synthèse  
bibliographique sur le  
palmier dattier, la maladie  
de la fusariose vasculaire,  
son agent causal *Fusarium*  
*oxysporum* f.sp. *albedinis* et  
les méthodes de lutte

# **Chapitre I : La plante hôte, le palmier dattier (*Phoenix dactylifera*)**

## **Chapitre I : La plante hôte, le palmier dattier ( *Phoenix dactylifera* )**

### **1. Historique et caractéristiques écologiques et botaniques**

Le palmier dattier est cultivé depuis l'antiquité, il est considéré par les Egyptiens comme un symbole de fertilité, utilisé par les Grecs et les Romains comme ornement lors de leurs célébrations triomphales et il représentait le symbole de la paix chez les hébreux et les chrétiens (Robinson *et al.*, 2012).

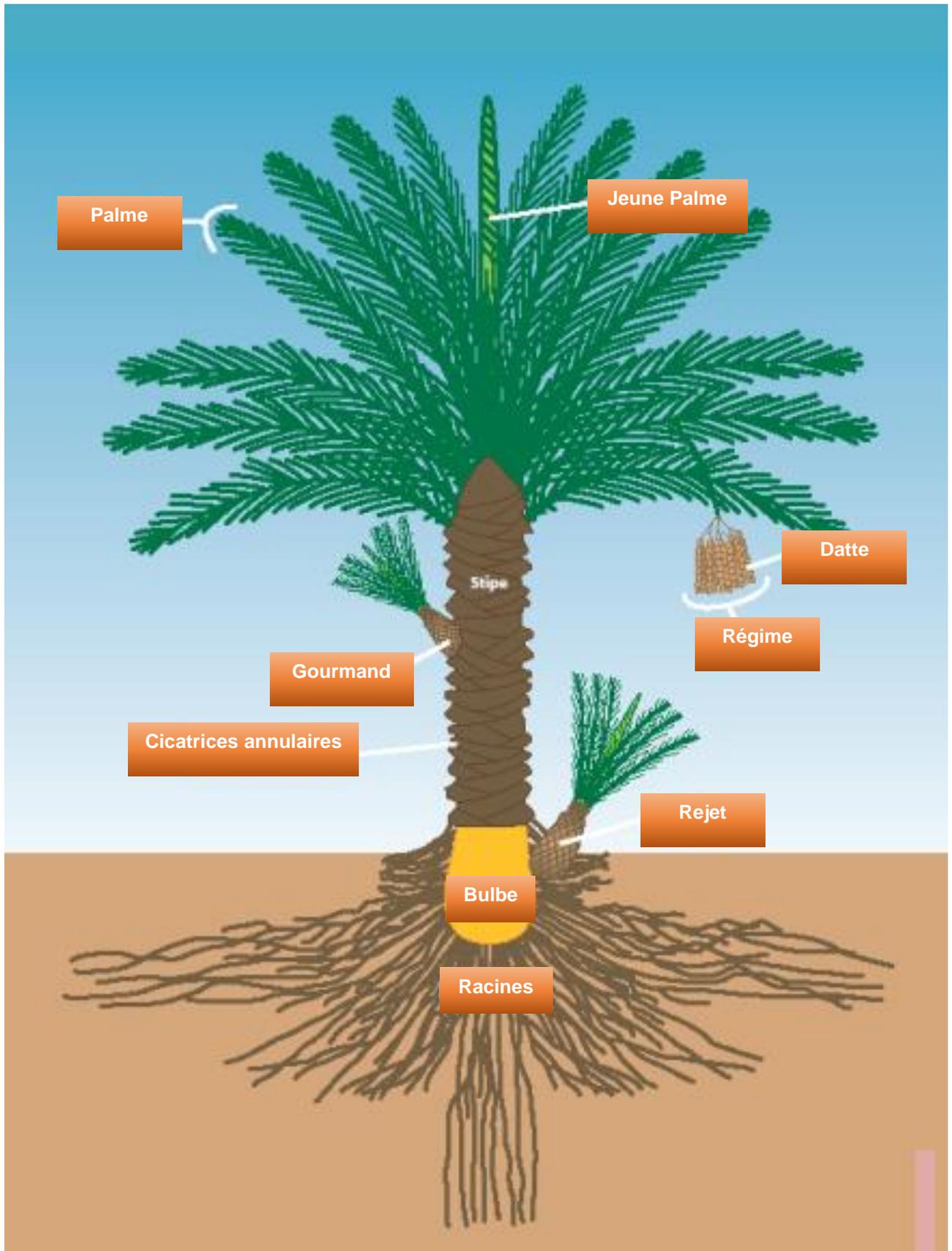
Le palmier dattier est un arbre fruitier d'intérêt écologique, économique et social majeur pour de nombreux pays des zones arides. Le développement de la phoeniculture permet de lutter durablement contre l'insécurité alimentaire dans les régions où la désertification est accélérée par les changements climatiques. En effet, le palmier dattier, en créant au milieu du désert un microclimat favorable au développement de cultures sous-jacentes, constitue l'axe principal de l'agriculture dans les régions désertiques et assure la principale ressource vivrière et financière des oasis. Cependant, avec l'évolution économique et sociale des pays, les palmeraies se sont réorganisées pour satisfaire une demande croissante en dattes de qualité supérieure (Bouguedoura *et al.*, 2015).

Le palmier dattier est cultivé comme un arbre fruitier dans les régions chaudes arides et semi-arides. Cet arbre peut s'adapter à de nombreuses conditions grâce à sa grande variabilité génétique (Gilles, 2000).

Le nom scientifique "*Phoenix dactylifera*", du palmier dattier dénommé par Linné en 1734, provient du mot phénicien "*Phoenix*" qui signifie palmier, alors que "*dactylifera*" provient du mot grec "dactylos" qui signifie le doigt, illustrant la forme en doigt des dattes (Mahra, 2013). Le genre *Phoenix* comporte au moins douze espèces, la plus connue est le « *Phoenix Dactylifera* », dont les fruits 'dattes' occupent une place importante dans le commerce international (Espiard, 2002)

Le palmier dattier (*phoenix dactylifera*) est considéré comme l'arbre des régions désertiques du globe, connues pour leur climat chaud et sec. En raison de ses vertus alimentaires, écologiques, sociales et économiques, le palmier dattier est l'arbre fruitier le plus apprécié par les populations des oasis (Trichine, 2010).

Il possède trois parties : un système racinaire, un organe végétatif (le tronc, les bourgeons, palmes) et un organe reproducteur (les fleurs et les fruits) (Figure 1).



**Figure 1 :** Figuration schématique du palmier dattier (Anonyme, 2012)

## 2. Nom vernaculaire et synonymes

**Tableau 1** : Nom Vernaculaire du palmier dattier et synonymes (Trichine, 2010).

| Terme                             | Langue                         |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| <b>Palmier dattier</b>            | Français                       |
| <b>Nakhla</b>                     | Arabe                          |
| <b>Tamar</b>                      | Hébreu                         |
| <b>Palmadatilera</b>              | Espagnol                       |
| <b>Palma daterro</b>              | Italien                        |
| <b>Manah</b>                      | Persan                         |
| <b>Tazdait, Tanekht, Tainiout</b> | En Berbère suivant les régions |

## 3. Taxonomie

Le palmier dattier, *Phoenix dactylifera L.*, est une plante dioïque, monocotylédone (Ibrahim *et al.*, 2012). La taxonomie de cette espèce est présentée dans le tableau 2.

**Tableau 2** : Classification botanique du palmier dattier (Al-Khalifah *et al* 2013).

| Règne              | Végétal                           |
|--------------------|-----------------------------------|
| <b>Sous- règne</b> | Tracheobionta (plante vasculaire) |
| <b>Division</b>    | Magnoliophyta (angiosperme)       |
| <b>Classe</b>      | Liliopsida (monocotylédone)       |
| <b>Sous-classe</b> | Arecidae                          |
| <b>Ordre</b>       | Arecales                          |
| <b>Famille</b>     | <i>Arecaceae</i>                  |
| <b>Genre</b>       | <i>Phoenix</i>                    |
| <b>Espèce</b>      | <i>Phoenix dactylifera L</i>      |

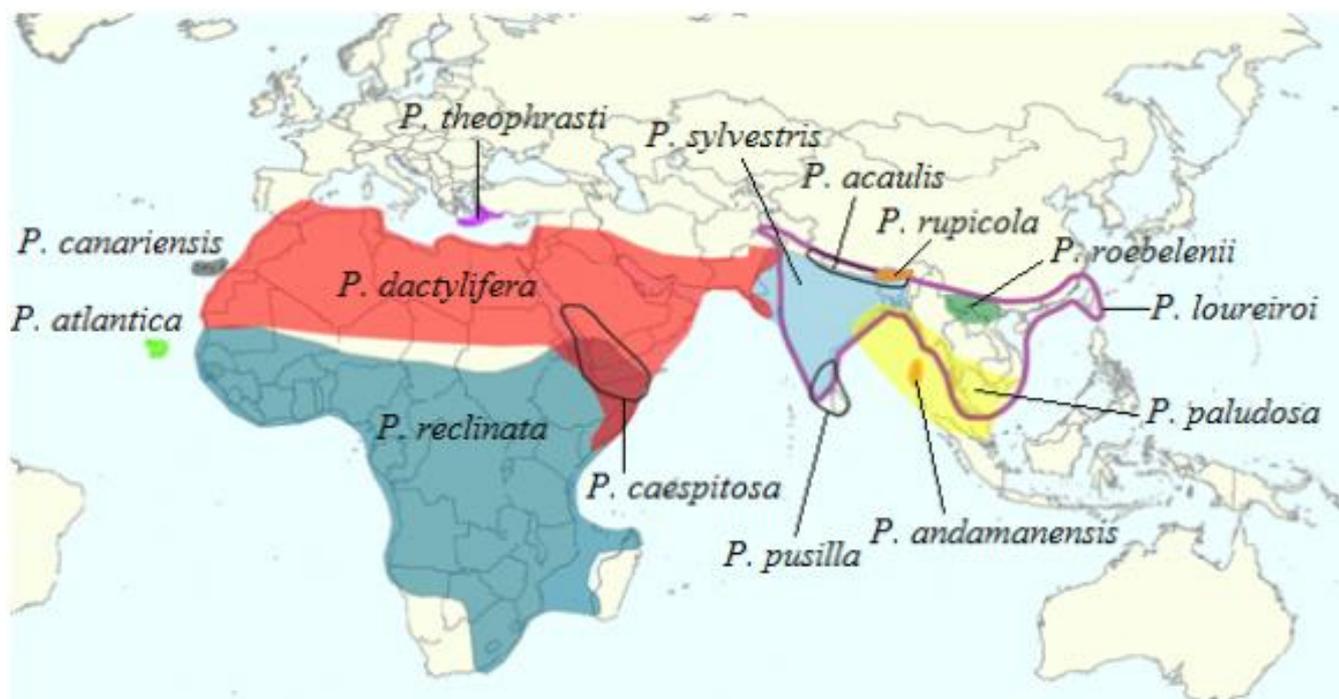
## 4. Origine du palmier dattier

Depuis les hautes antiquités, le palmier dattier était considéré comme symbole de vigueur et de providence, il fut appelé l'arbre des phéniciens dont- il tire le nom Phoenix. Le palmier dattier, arbre providence des régions désertiques, est principalement localisé dans l'hémisphère Nord entre les parallèles 10° à 35°, notamment aux abords du Golfe Persique, en Afrique du Nord et en Asie ainsi qu'en Amérique (Benblarbi,2019).

## 5. Répartition géographique du palmier

### 5.1. Dans le monde

L'aire de production du palmier-dattier est principalement localisée dans les régions arides du nord de l'Afrique (Egypte, Algérie, Libye, Maroc, Tunisie, Soudan) et du sud-ouest de l'Asie (Iran, Arabie Saoudite, Iraq, Pakistan, Emirats Arabes Unis, Oman, Yémen, Qatar, Bahreïn, Jordanie) (Benlarbi, 2019) (Figure 2).



**Figure 2 :** Distribution des espèces du genre *Phoenix* (Gros-Balthazard *et al.*, 2013)

La production mondiale de dattes varie autour de 7 millions de tonnes par année, elle a plus que doublé depuis les années 1980. Ce qui place la dattes au 5<sup>ème</sup> rang des fruits les plus produits dans les régions arides et semi-arides, après les agrumes, la mangue, la banane et l'ananas (Planet-scope, 2012).

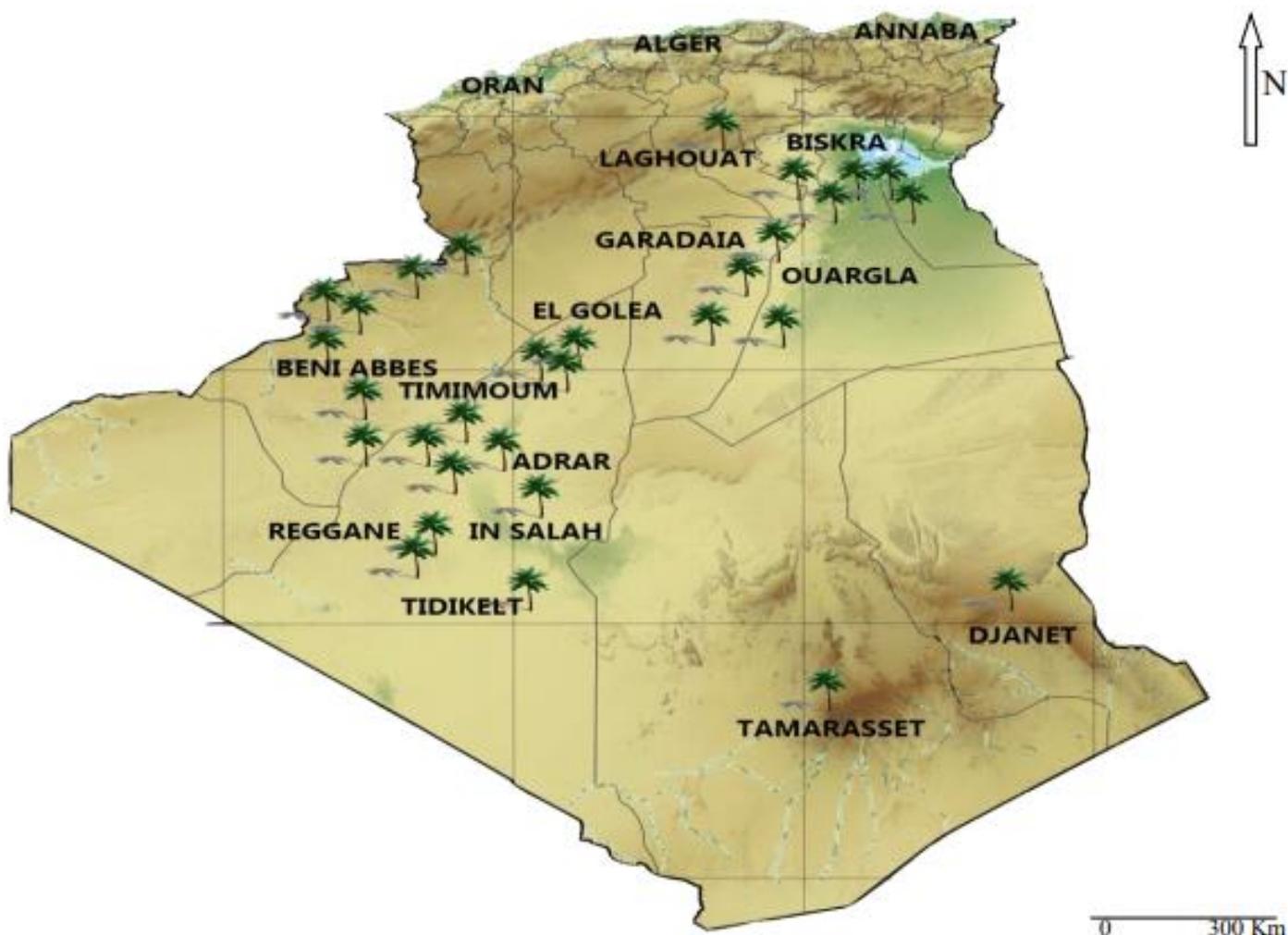
L'Espagne est l'unique pays européen producteur de dattes principalement dans la célèbre palmeraie d'Elche. Le palmier dattier est également cultivé à plus faible échelle au Mexique, en Argentine et en Australie (Mattalah, 2004). Les zones les plus favorables sont représentées principalement par le Maroc, l'Algérie, la Tunisie, la Libye, l'Egypte et l'Irak (Gros-Balthazard *et al.*, 2013).

### 5.2. En Algérie

L'Algérie est un pays phoenicicole classé au troisième rang mondial et au premier rang dans le Maghreb pour ses grandes étendues de culture avec 166900 hectares. Cette surface

occupe toutes les régions situées sous l'Atlas saharien, depuis la frontière Tuniso-Libyenne et jusqu'à la frontière marocaine, avec environs 18 605 100 palmiers sur une superficie de 154 372 ha (Anonyme, 2017).

En général, les palmeraies algériennes sont localisées au Nord-Est du Sahara au niveau des oasis où les conditions hydriques et thermiques sont favorables (Ghazi et Sahraoui, 2005). La culture s'étend depuis la frontière marocaine à l'Ouest, jusqu'à la frontière tuniso-libyenne à l'est et depuis l'Atlas Saharien au nord jusqu'à Reggan au Sud-ouest, Tamanrasset au centre et Djanet au Sud-est. Le palmier dattier est cultivé dans 17 wilayas, les principales régions productrices sont, Biskra, Ouargla, El Oued et Adrar (Bouguedoura *et al.*, 2010) (Figure 3).



**Figure 3:** Les Oasis algériennes, lieux de culture du palmier dattier (Boulanouar, 2015)

## **6. Conditions écologiques du palmier dattier**

Le palmier dattier est cultivé comme arbre fruitier dans les régions chaudes arides et semi-aride. Cet arbre peut s'adapter à de nombreuses conditions grâce à sa grande variabilité génétique (Gilles, 2000).

La climatologie du palmier dattier est la plupart du temps de nature aride. Le palmier dattier est une espèce thermophile qui résiste aux grandes fluctuations de température. Il peut supporter des températures élevées qui peuvent aller jusqu'à 56°C en été ; il peut également résister à des températures en-dessous de 0°C en hiver. Le point zéro de végétation du palmier dattier est de 7°C et son activité maximale est située à 32°C (Zaid et De Wet, 2002).

C'est également une espèce très tolérante au sel. La concentration extrême de la solution de sel est donc 15 %. Au-delà de 30 % le palmier dattier dépérit (Benlabi,2019)

## **7. Importance économique de la culture du palmier dattier**

Le palmier dattier apporte la stabilité aux sols, l'humidité, l'ombre, la protection contre le vent, contribuant ainsi de manière efficace à la prévention de la désertification des oasis et la préservation des cultures intercalaires des céréales, des fourrages, des légumes et des arbres fruitiers (Yatta *et al.*, 2013).

Parmi les pays producteurs de dattes en 2017, l'Algérie et la Tunisie figurent dans le top 10 des pays producteurs de dattes et dans les cinq premiers pays exportateurs de dattes (FAO,2007). Les deux pays présentent une grande diversité génétique de palmiers dattiers, les plantations se caractérisent par la prévalence de Deglet Noor (une variété algérienne), qui occupe respectivement environ 60% et 50% des plantations tunisiennes et algériennes. Bien que la production totale en Algérie soit quatre fois plus élevée qu'en Tunisie, la Tunisie est le premier producteur mondial de Deglet Noor (48%) et l'Algérie le deuxième (20%), étant les principaux fournisseurs de l'Union européenne (El-Jouhanny, 2010). La production de dattes génère une importante activité commerciale et constitue une source de devises appréciable pour les pays producteurs.

L'Algérie figure parmi les grands pays à fort potentiel phoenicicole. 5 wilayas sont leaders dans la production des dattes et les rendements diffèrent d'une wilaya à l'autre. Biskra est en tête. Dans cette wilaya la production des dattes représente 41,2% de la production nationale globale. Elle est suivie d'El Oued. Puis vient Ouargla ce qui fait d'elle la 3ème wilaya en matière de production ( Sidaoui,2018) (Tableau 3).

**Tableau 3** : Répartition de production de dattes par wilaya (Sidaoui,2018)

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

## **8. Facteurs abiotiques et biotiques limitant sa culture**

La culture du palmier dattier est confrontée à plusieurs contraintes abiotiques (sécheresse, stress salin) qui sont principalement dues au fait qu'il se développe sous des conditions désertiques hostiles. De plus, il est aussi confronté à plusieurs contraintes biotiques correspondant aux ravageurs du palmier dattier. Les ravageurs s'attaquent à la plante elle-même et aux dattes sur pied, ou même entreposées (Benlarbi ,2019)

### **8.1. Facteurs abiotiques**

#### **8.1.1. Sécheresse et températures extrêmes**

Contrairement au concept populaire 'le palmier dattier, arbre du désert', cette espèce ne peut végéter et produire qu'après fourniture suffisante des besoins en eau. Ainsi, la production peut varier dans certains pays selon la pluviométrie. Le palmier dattier est une espèce

thermophile. Sa végétation s'arrête à partir de 10°C (Zéro de végétation). L'intensité maximale de végétation est atteinte à des températures de 30-40°C. (Baaziz, 2003)

### 8.1.2. 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 (Hopkine, 2003). 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 9-16 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. Facteurs biotiques

Les ennemis du palmier dattier sont nombreux et diversifiés. La nature particulière du biotope où se développe le palmier, fait que cette espèce est exposée à des parasites acclimatés à ces conditions. Certains ennemis présentent une importance économique considérable, alors que d'autres, occasionnent des dégâts moindres et parfois négligeables (Sedra, 2013). Le palmier dattier est menacé par plusieurs ravageurs et maladies non encore signalés ou récemment introduits et dont certains occasionnent des dégâts redoutables dans d'autres pays phoénicoles. Des exemples de ravageurs et d'agents phytopathogènes les plus redoutables en Algérie, sur cette espèce, sont présentés dans le tableau N°4.

**Tableau 4 :** Maladies et ravageurs signalés sur le palmier dattier en Algérie (Dakhia *et al.*, 2013).

| La maladie                                    | Agent causal   |
|---|--|
| Le 'Khamedj' ou pourriture des inflorescences | <i>Mauginiella scattae</i>                             |
| La pourriture du cœur ou blaât                | <i>Phytophthora sp</i>                                 |
| La pyrale des dattes                          | <i>Ectomyelois ceratoniae</i>                          |
| Le Boufaroua                                  | <i>Oligonychus afrasiasticus</i>                       |
| La Cochenille blanche                         | <i>Parlatoria blanchardi</i>                           |
| Le Bayoud                                     | <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>albedinis</i> (Foa) |

Les maladies causées par des agents phytopathogènes ont entraîné la dégénérescence des palmiers dattiers, une altération de la qualité du fruit et une baisse importante du rendement. Ces répercussions ont induit une érosion génétique causée essentiellement par la maladie du bayoud. Il est à signaler que la généralisation du cultivar Deglet Nour afin d'augmenter les exportations, a accentué l'érosion génétique et par la même, la maladie du bayoud, du fait de la sensibilité de cette variété au *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis* (Bouguedoura *et al.*, 2010).

**Chapitre II : Le *Fusarium*  
*oxysporium* f.sp.*albedinis*,  
agent du Bayoud**

## **Chapitre II : Le *Fusarium oxysporum* f.sp.*albedinis*, agent du Bayoud**

### **1. Le genre *Fusarium***

#### **1.1. Généralités**

Le genre *Fusarium* a été décrit pour la première fois en 1809 (Brown et Proctor, 2013), il comprend des champignons microscopiques filamenteux fortement répandus dans l'environnement (Nawar, 2016). Ce genre est économiquement très important et rassemble de nombreux agents phytopathogènes, sur plus de 100 espèces végétales (Nucci *et al.*, 2007).

Les espèces affiliées au *Fusarium*, infectent diverses cultures, notamment, les céréales, les cultures maraichères, les arbres fruitiers et provoquant des maladies nommées fusarioses. Elles sont impliquées généralement dans la pourriture des racines, tiges et fruits ainsi que la dégradation du système vasculaire, ce qui constitue une menace pour la santé des plantes, des animaux et la sécurité alimentaire (Tunarish *et al.*, 2015)

Chez l'espèce *F. oxysporum*, on distingue plus de 120 formes spéciales en fonction de leur pathogénicité sur des plantes hôtes (Ramírez-Suero, 2009). Le *Fusarium oxysporum* est un champignon cosmopolite qui présente une très grande diversité génétique et écologique (Di-Pietro *et al.*, 2003). Cette espèce inclut plus d'une centaine de formes spéciales et races qui sont chacune spécifiques à une plante hôte, souvent des espèces végétales d'intérêt horticole, maraicher ou agronomique (Abed, 2017).

#### **1.2. Caractères morphologiques**

Les espèces apparentées au genre *Fusarium* produisent des macroconidies composées de 2 à plusieurs cellules. Leur forme recourbée typique avec une cellule apicale plus ou moins pointue est un des critères d'identification des représentants du genre. Chez la majorité des espèces, on observe une cellule basale en forme de pied (Seifert, 2001). La production de métabolites secondaires et notamment de toxines (mycotoxines et phytotoxines) est courante parmi les *Fusarium* spp. et le profil de ces composés chimiques peut être utilisé pour la classification des espèces (Thrane, 2001).

#### **1.3. Ecologie**

Les champignons appartenant au genre *Fusarium* spp. sont très fréquemment retrouvés au niveau du sol, des végétaux, de l'air et de l'eau. Leur répartition géochimique est aussi très diversifiée puisque ces champignons filamenteux existent tant dans les régions tempérées tropicales, mais aussi dans des zones climatiques extrêmes telles que les déserts, les montagnes et les régions polaires (Dignani *et al.*, 2004).

## 1.4. Epidémiologie

Le *Fusarium* tolère un sol aéré, humide et une température pouvant dépasser 35°C. Cependant, dans des 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 végétaux et dans le sol et supporter de fortes températures de 60°C (Sedra, 2006).

La première phase est un contact entre le palmier dattier et le pathogène comprenant l'adhésion et la reconnaissance de surface, puis une deuxième phase consiste en la pénétration par les racines en cheminant la sève brute avec l'apparition des symptômes de la maladie et enfin, quand les mycéliums envahissent le bourgeon terminal du palmier, ils provoquent leur dépérissement et mort (El modafar, 2010). Après la mort de l'arbre, le FOA persiste sous forme des chlamydospores dans les tissus de certains organes, tels que, les racines et le rachis des feuilles (Sidaoui et al., 2018).

## 2. L'agent pathogène du Bayoud, *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis* (FOA)

Le parasite responsable du Bayoud a été isolé pour la première fois en 1921, mais identifié seulement en 1934 par Malençon. Il s'agit d'un champignon imparfait, spécifique du palmier dattier, la forma specialis de l'espèce *F. oxysporum* est très commune dans les sols sous tous les climats (Benlarbi, 2019).

### 2.1. Taxonomie de la F.o.a

Le *Fusarium oxysporum* f.sp.*albedinis* (F.o.a), appartient au phylum des Deutéromycètes (champignons imparfaits). Ces formes imparfaites sont caractérisées par un mycélium septé et des conidies généralement unicellulaires situées sur des conidiospores ; elles sont classées dans le groupe des Moniliales (Lepoivre, 2003). La taxonomie est présentée dans le Tableau 5.

**Tableau 5 :** Classification taxonomique du *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis* basée sur la phylogénie moléculaire (Debourgogne, 2013)

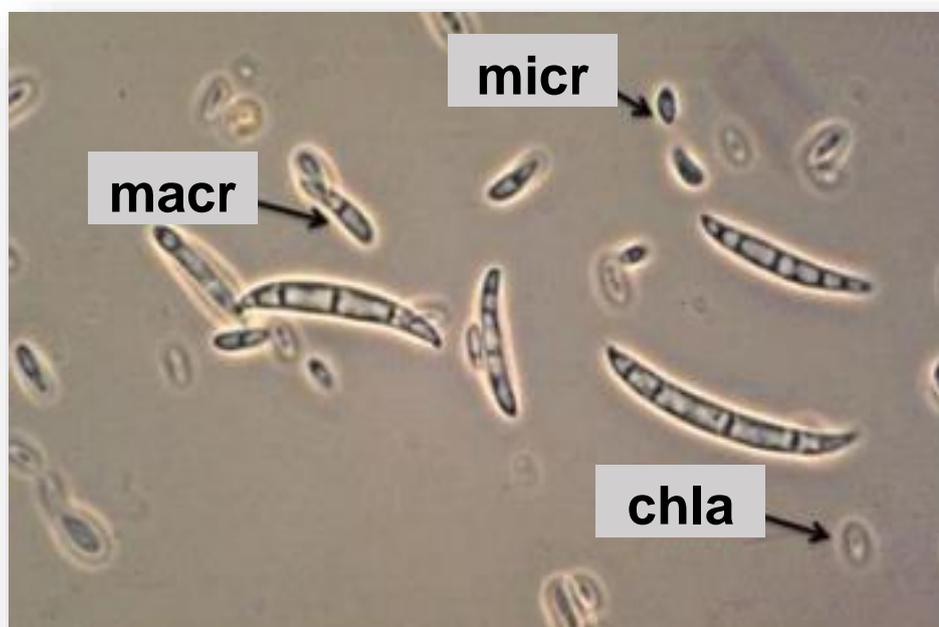
| Règne       | <i>Fungi (Mycota)</i> |
|-------------|-----------------------|
| Division    | Ascomycota            |
| Classe      | Sordariomycetes       |
| Sous classe | Hypocreomycetidae     |
| Ordre       | Hypocreales           |

|                    |   |
|--------------------|---|
| <b>Famille</b>     | Nectriaceae                                     |
| <b>Genre</b>       | <i>Fusarium</i>                                 |
| <b>Espèce</b>      | <i>Fusarium oxysporum</i>                       |
| <b>Sous-espèce</b> | <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp <i>albedinis</i> |

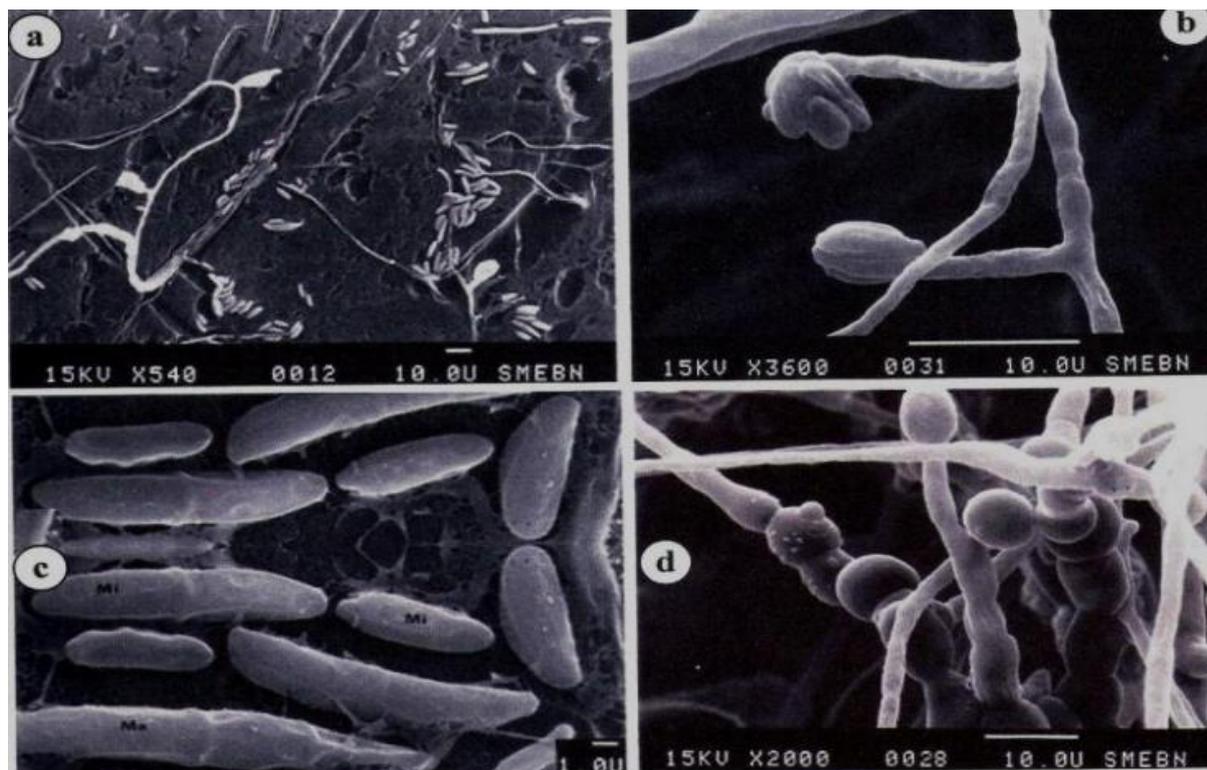
## 2.2. Morphologie du F.o.a

La reproduction du F.o.a se fait exclusivement par voie asexuée, qui se réalise par des microphialides et des macrophialides produisant respectivement des microconidies et des macroconidies (Figure 4). Les microphialides en forme de bouteille, sont implantées perpendiculairement sur le mycélium et produisent d'une manière endogène plusieurs microconidies, généralement unicellulaires, parfois bicellulaires, hyalines, globuleuses ou allongées avec des dimensions variables (3-15 x 3-5  $\mu\text{m}$ ) (Sedra,2006).

Les macrophialides, beaucoup plus grandes que les microphialides, forment des macroconidies qui sont falciformes, peu nombreuses, présentant 3 à 5 cloisons et mesurant 20-35 x 3-5  $\mu\text{m}$ . Dans les cultures âgées et dans le sol, le FOA se différencie par le mycélium ou par les macroconidies des chlamydospores qui sont sphériques, intercalaires ou terminales et dont le diamètre varie de 6 à 20  $\mu\text{m}$  (Sedra,2006) (Figure 5).



**Figure 4:** Organisation morphologique du FOA. Spores du *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis* sous microscope optique ( $\times 600$ ); micr: microconidies, macr: macroconidies, chla : chlamydospores (El Hassni *et al.*, 2004).



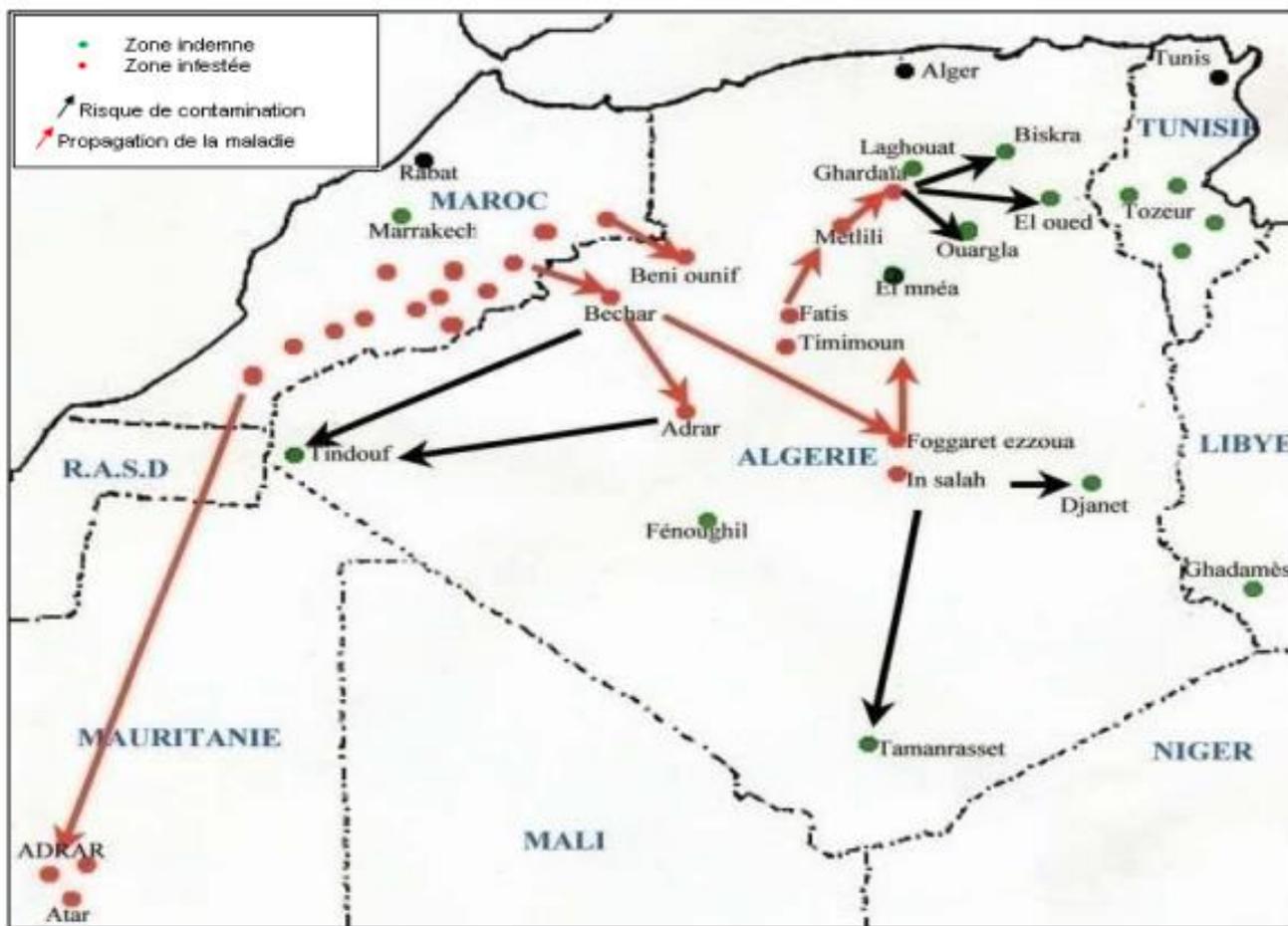
**Figure 5 :** Organes de reproduction asexuée de *Foa* au MEB (Rahmania, 2000).

a : mycélium et microconidies ; b : microphialides ; c : micro et macroconidies (Ma : macroconidies ; Mi : microconidies ) ; d : chlamydozoospores formées à partir d'hyphes mycéliens.

### **3. La fusariose vasculaire du palmier dattier ou Bayoud**

#### **3.1. Historique de la propagation de la maladie**

C'est la maladie la plus redoutable sévissant dans les palmeraies d'Afrique du Nord. Apparue vers 1870 dans la vallée du Draa au Nord de Zagora (Maroc), elle s'est propagée en Algérie et a gagnée par la suite la Mauritanie. La fusariose du palmier dattier fût signalée pour la première fois en Algérie à Béni Ounif en 1898. Elle s'est disséminée par la suite dans la plupart des palmeraies de l'Ouest algérien et a atteint en 1949, la région du M'Zab (Mezaache, 2012) (figure 6).



**Figure 6 :** Répartition et extension du Bayoud en Algérie et en Afrique du Nord (Sidaoui,2018)

### 3.2. Impact économique

Le bayoud provoque non seulement une réduction de la production des dattes, la nourriture principale des humains et des animaux dans le désert, mais aussi un déséquilibre de l'écosystème des oasis avec désertification et disparition des cultures sous-jacentes telles que, les céréales, les fourrages, les cultures maraichères et les arbres fruitiers (El modafar, 2010).

### 3.3. Symptomatologie

Les symptômes du Bayoud se manifestent par des modifications externes visibles entraînant des modifications internes au niveau des vaisseaux et des racines.

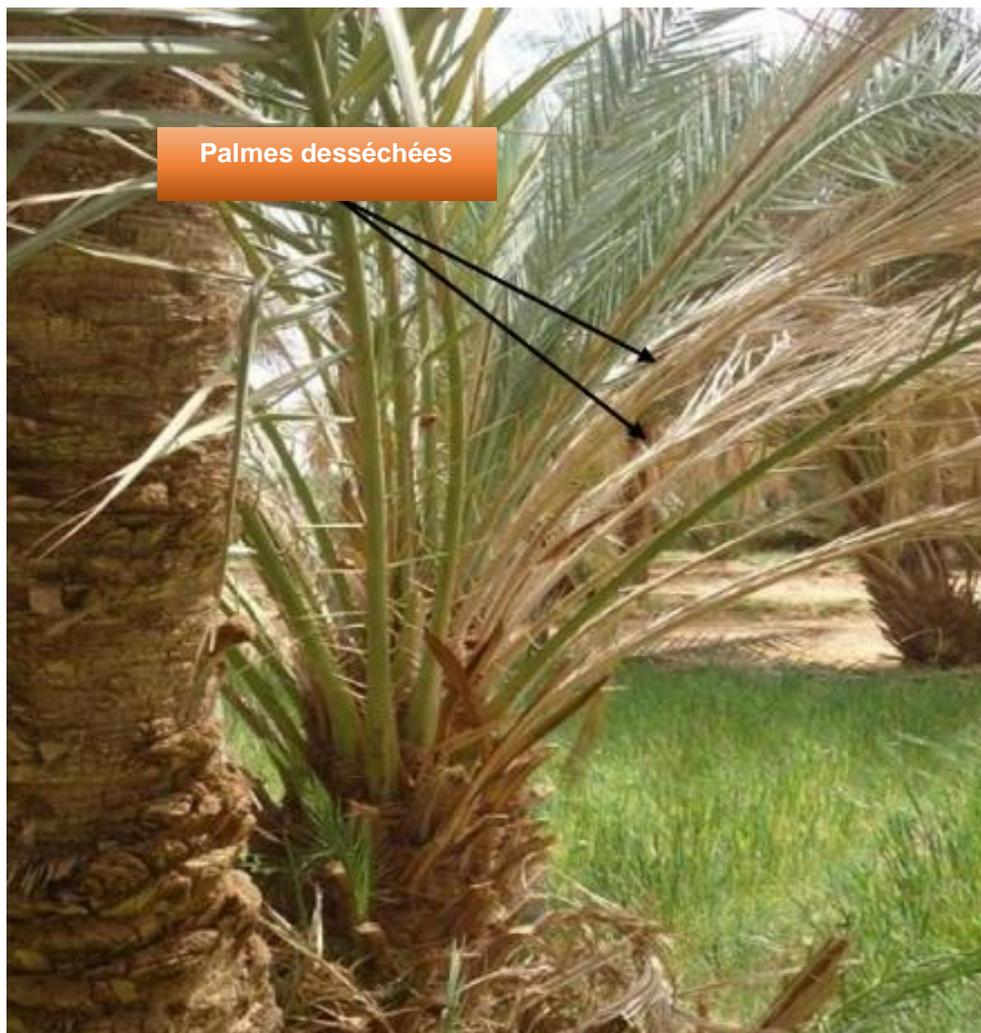
### 3.3.1. Symptômes externes

Le Bayoud attaque aussi bien les palmiers jeunes qu'adultes, de même que leurs rejets basaux. Les premiers symptômes externes de la maladie visibles, font leur apparition sur une ou plusieurs feuilles de la couronne moyenne. Les feuilles affectées prennent une teinte plombée (gris cendré) et ensuite se fanent d'une façon particulière : les pennes situées d'un côté de la feuille commencent à blanchir d'où le nom arabe de « Bayoud » dérivant d'Abiad = Blanc, et la maladie progresse de la base vers l'apex. Quand tout ce côté a été affecté, le flétrissement commence de l'autre côté, en sens inverse cette fois-ci, de l'extrémité de la feuille vers sa base, jusqu'à la mort de la feuille (figures 7, 8, 9 et 10).

Cette maladie vasculaire provoque le flétrissement par blocage de la circulation de l'eau dans les vaisseaux conducteurs qui résulte comme brunissement et formation de tyloses. Dans tous les cas, la maladie avance toujours vers le coeur de l'arbre et l'arbre meurt quand le mycélium atteint le bourgeon terminal. Le palmier peut mourir 6 mois à 2 ans après l'apparition des premiers symptômes, en fonction du cultivar et des conditions de plantation (Boulenouar *et al.*, 2009) ( Figure 10).



**Figure 7** : Dispersion unilatérale des symptômes sur les palmes de la couronne moyenne (FAO, 2002).



**Figure 8 :** Premiers symptômes typiques de la maladie du Bayoud (Boucenna Mouzali *et al.*, 2008)

### **3.3.2. Symptômes internes**

Un palmier malade déraciné, laisse apparaître un petit nombre de racines malades, rougeâtres, sans proportion avec les dégâts observés sur l'arbre. Ces racines malades correspondent à plusieurs groupes de faisceaux vasculaires du stipe qui ont pris une coloration brun-rougeâtre, de même que le parenchyme et le sclérenchyme environnants. Vers la base du stipe, les taches sont larges et nombreuses. Au cours de leur ascension dans l'arbre, les faisceaux vasculaires colorés se séparent, les frondes qui manifestent des symptômes externes ont une couleur brun rougeâtre et des faisceaux vasculaires très colorés quand on les coupe. Il y a donc continuité des symptômes vasculaires qui existent depuis les racines jusqu'aux feuilles apicales du palmier. Les symptômes sur pédoncules, fleurs ou fruits n'ont jamais été signalés (Boulenouar *et al.*, 2009).



**Figure 9 :** Symptômes de la maladie du Bayoud ( Sidaoui, 2015)



**Figure 10 :** Palmiers dépéris suite à l'attaque par le Bayoud dans les zones du Sud-Ouest de l'Algérie (Adrar) ( Sidaoui, 2015)

### 3.4.Importance des dégâts

Le Bayoud a détruit en un siècle plus de 10 millions de palmiers au Maroc et plus de 3 millions en Algérie (Djerbi, 2003), affectant surtout les cultivars productifs et d'intérêt commercial (Kettout *et al.*, 2006) (Figure 11). Les variétés qui produisent des dattes de qualité (Medjhool , Deglet Nour et Boufegous) sont très sensible à la maladie ( El hedrami *et al.*, 2005).



**Figure 11 :** Pertes de palmiers dattiers Bayoudés durant la période de 1950 à 2000  
(Benzohra *et al.*, 2013)

### 4. Dissémination

La propagation de la maladie du Bayoud se fait de différentes manières, par des rejets infectés, par le sol contaminé, par les plantes porteuses du champignon (henné, luzerne), par les tissus infectés ; en particulier des morceaux de rachis infectés et par l'eau d'irrigation. La maladie peut aussi se transmettre par contact entre les racines infectées et saines. L'ampleur de propagation de la maladie varie selon les conditions culturelles comme l'irrigation abondante, la fertilisation, et la température (Bouizgarne *et al.* ,2004).

Selon Sedra (2003), les conditions favorables pour le développement du bayoud, sont particulièrement :

- Irrigation intense et fréquente
- Travail du sol et son aération
- Les sols légers sont les plus favorables
- Sols pauvres en matière organique
- Mauvaise installation des arbres à l'échelle du verger

# **Chapitre III : Moyens de lutte contre le *Fusarium oxysporum***

### **Chapitre III : Moyens de lutte contre le *Fusarium oxysporum f.sp. albedinis***

Les travaux de recherches sur la biologie du palmier dattier ont pris de l'importance à partir des années 1970 autour de la problématique du Bayoud, alors qu'auparavant, les connaissances sur cette espèce étaient étroites. On connaissait le palmier dattier pour ses bienfaits écologiques et nutritifs, mais on ignorait comment la maladie du Bayoud attaquait le palmier.

Les études effectuées jusqu'à présent sur la fusariose vasculaire du palmier dattier n'ont pas abouti à un traitement efficace pour limiter les dégâts dus à cette grave maladie, à cause de la localisation interne du parasite, et le manque de certaines données sur les interactions entre l'agent causal et leur hôte au moment de la colonisation (Lamri *et al.*, 2014).

Les prospections sur le Bayoud réalisées en Algérie font état de deux types de situations épidémiques : soit l'infection est généralisée à l'ensemble d'une palmeraie, soit elle se limite à des foyers localisés. Ces derniers sont le plus souvent observés dans des palmeraies récemment atteintes par la maladie, mais dans quelques cas, des foyers très anciens ont pu être identifiés. Les prospections montrent également que les variétés de très bonne qualité de dattes sont les plus touchées (Bouguedoura *et al.*, 2010).

Les méthodes de lutte adoptées généralement basées sur quelques essais de traitement chimique et l'incinération des foyers Bayoudés, n'ont jamais ralenti la dissémination du Bayoud dans les palmeraies non affectées (Sidaoui, 2019).

Les techniques culturales et notamment les plantations alternant les cultivars sensibles et résistants, sont susceptibles de limiter la progression de la contamination, mais elles ne permettent pas de la stopper (Jeunot, 2005).

Certaines variétés de palmier dattier se sont avérées très sensibles au Bayoud, cette sensibilité dépend à la fois de l'hôte et aussi des facteurs de pathogénicité du Foa qui peuvent être distingués comme suit (El Modafar, 2010) :

- La synthèse d'enzymes dégradant la paroi cellulaire et permettant la pénétration et la colonisation du Foa dans les tissus de la plante hôte.
- La sécrétion de protéines supprimeuses qui suppriment le déclenchement des mécanismes de défense chez les cultivars sensibles.
- L'excrétion de toxines impliquées dans le développement des symptômes de la maladie

### **1. Techniques culturales**

En absence de pratiques culturales appropriées, le palmier dattiers reste fragile, peu ancré dans le sol et son développement végétatif risque d'être compromis. Par ailleurs, les plantations alternant les cultivars sensibles et résistants sont susceptibles de limiter la progression de la contamination, mais, elles ne permettent pas de la stopper (Daddi-Bouhoun *et al.*, 2008). Le recours à la multiplication végétative par rejet peut être pratiqué par le biais de la culture *in-vitro*, en particulier s'il s'agit de régénérer des palmeraies bayoudées (Ouamane *et al.*,2008).

### **2. La lutte chimique**

Cette méthode est écartée, du fait que les possibilités pratiques d'utilisation de fongicides systémiques dans le cas des trachéomycoses sont très limitées, en plus, ces produits sont peu stables dans le sol et risquent de favoriser la sélection de souches résistantes (El Hadrami *et al.*, 2005). En pratique, après traitement chimique, la zone ainsi traitée est clôturée et reste interdite à la culture pendant une longue période. Mais cette méthode est très chère, polluante et son efficacité n'est pas garantie. Malgré ces inconvénients, elle reste la seule méthode appliquée, surtout en Algérie ( Benzohra *et al.*, 2015).

L'éradication chimique a été réussie au niveau de deux foyers bayoudés algériens à El Meniàa et M'Zab (Sedra,2003). Cependant cette technique reste couteuse et risque d'engendrer des problèmes d'environnement et de santé humaine et animale.

### **3. La lutte génétique**

Les seuls moyens garantissant un contrôle de la maladie du Bayoud résident dans la sélection de variétés résistantes à partir de :

- Cultivars résistants au Bayoud tels que, ceux existants localement, comme, Boustammi noire au Maroc et Takerboucht en Algérie.
- Clones résistants de haute qualité à partir de populations naturelles du palmier dattier ( Sedra et Zhar, 2010)

Selon Gaceb-Terrak *et al.*, (2006), le palmier dattier réagit à l'agression fusarienne par des systèmes de défense préexistants ou induits, en particulier par des mécanismes chimiques reposant essentiellement sur les composés phénoliques qui entraînent une forte action inhibitrice sur la croissance du F.o.a. Cette dernière propriété peut être investie dans l'induction de la résistance systémique *via* l'utilisation de microorganismes.

#### **4. La lutte biologique par utilisation de microorganismes**

L'utilisation de microorganismes fait partie des alternatives prometteuses à l'emploi des fongicides, de par l'ubiquité de ces microorganismes, leur grande diversité et leur dissémination dans les sols rhizosphériques (Berg *et al.*, 2005).

L'existence de sols suppressifs empêchant le développement de la maladie du Bayoud a été attribuée aux microorganismes antagonistes du F.o.a, notamment les genres *Pseudomonas*, *Bacillus* ou des champignons du genre *Aspergillus* et *Penicillium* (Chakroune *et al.*, 2008). Il a été montré que l'inoculation des racines de palmier dattier par des souches hypo agressives de F.O.A (El Hassni *et al.*, 2004) ou leur mycorhization, améliore la résistance du palmier contre son pathogène (Jaiti *et al.*, 2008).

La recherche de microorganismes vivant dans le même environnement, la même niche écologique et la même plante comme le cas des endophytes microbiens, représente une alternative de lutte par rapport aux pesticides et autres microorganismes utilisés jusqu'à présent en lutte biologique. La colonisation naturelle par les organismes endophytes pourrait être à l'origine de l'adaptation du palmier dattier aux différents types de stress biotique et abiotique.(Mohamed Mahmoud, 2017).

# **Chapitre IV : La lutte biologique contre la fusariose vasculaire du palmier dattier**

## **Chapitre IV : La lutte biologique contre la fusariose vasculaire du palmier dattier**

La lutte contre les ravageurs en agriculture biologique est basée avant tout sur une compréhension approfondie et une gestion intelligente du système agricole pour que les espèces nuisibles aient de la difficulté à trouver leurs hôtes et à s'y installer et que les auxiliaires soient en nombre suffisant, pour maintenir la pression phytosanitaire en dessous d'un seuil critique. Pour ce faire, la phytoprotection en agriculture biologique est basée sur deux fondements : la biodiversité et la prévention (Thakore, 2006).

L'agriculture biologique, de cette manière, dispose en théorie d'une gamme de technologies plutôt modernes pouvant remplacer le recours à des produits de synthèse pour lutter contre les ennemis des cultures, comme des variétés résistantes aux maladies et l'utilisation d'antagonistes dans la lutte contre les ravageurs et les maladies (Adam, 2008).

### **1. Définitions de la lutte biologique**

La lutte biologique se définit comme l'utilisation d'agents ou de produits naturels qui nuisent à des ravageurs de plantes ou à des micro-organismes pathogènes de plantes. Cette définition inclut les microorganismes (champignons, bactéries, virus) et les substances naturelles (extraits de plantes, huiles essentielles) (Souna *et al*, 2012).

Elle consiste par conséquent, en l'utilisation d'organismes vivants dans le but de limiter la pullulation et/ou la nocivité des divers ennemis des cultures tels que, les rongeurs, les insectes, les nématodes, les maladies des plantes et les mauvaises herbes (Philippe *et al.*, 2013).

Plusieurs avantages ont été affectés à la lutte biologique. D'un point de vue environnemental, elle permet l'amélioration de la qualité de vie et la santé des travailleurs agricoles, donc diminution des risques de contamination par les produits (pas de résidus chimiques), ainsi que le maintien de la biodiversité des biotopes. Elle diminue les risques de pollution grâce à la dégradation rapide des biopesticides (Dahoumane, 2015) ;

### **2. Historique de la lutte biologique**

Pendant le IX<sup>ème</sup> siècle, beaucoup d'études biologiques des ennemis normaux ont été effectuées. Les essais pratiques au sujet de l'application de la lutte biologique ont graduellement avancé. C'était Erasmus Darwin, qui a étudié un livre sur l'agriculture et jardinage en 1800 (phytologia) et dans lequel il a souligné le rôle des ennemis naturels qui réduisent naturellement les parasites (Lenteren, 2006).

La lutte biologique soulevait beaucoup d'enthousiasme au début du XXIème siècle en raison du succès obtenu par *Rodolia cardinalis* en Californie (Vincent *et al.*, 2000). La lutte biologique est séduisante sur le plan scientifique et écologique et son image plaît au grand public. Malgré cela, les succès commerciaux de lutte biologique ont été peu nombreux au XXIème siècle en raison de ses limites.

En pratique, l'application de la lutte biologique repose souvent sur une multitude d'actions et d'informations complexes et fines (Vincent *et al.*, 2000).

La naissance de l'idée fondamentale de l'utilisation des inoculums microbiens dans le contrôle biologique remonte à plus d'une soixantaine d'années (Touha, 1996). Le concept de la lutte biologique a été utilisé avant les années 1960, exclusivement dans un but expérimental sans orientation vers la pratique. Le développement spectaculaire des travaux de recherche sur les fongicides chimiques, pendant et juste après la seconde guerre mondiale, a marqué ce genre de travaux et n'a pas laissé de place au développement de ces techniques biologiques qui sont restées à l'ombre (Sekhri *et al.*, 2006)

### **3. Les agents de lutte biologique**

Les agents de lutte biologique ou bien les biopesticides, peuvent être définis comme des produits phytosanitaires dont le principe actif est un organisme vivant ou l'un de ses produits dérivés. Ils peuvent donc être constitués d'organismes (plantes, insectes, nématodes) ou de micro-organismes (bactéries, levures, champignons, virus) exerçant une activité protectrice sur les plantes vis-à-vis d'agents phytopathogènes, mais aussi de substances d'origine naturelle telles que des extraits végétaux, phéromones, etc (Thakore, 2006).

### **4. Avantages des agents de lutte biologique**

Les biopesticides offrent de nombreux avantages permettant leur utilisation aussi bien en agriculture biologique, qu'en agriculture conventionnelle. Ils sont souvent efficaces en faibles quantités et leurs activités protectrices peuvent relever de mécanismes multiples. Ils déclenchent rarement des phénomènes de résistance chez le pathogène à cause d'une faible pression de sélection. En outre, ils peuvent compléter les pesticides conventionnels une fois utilisés dans les programmes intégrés de la gestion des parasites (Thakore, 2006).

Les biopesticides peuvent donc être complémentaires au traitement chimique, mais peuvent aussi être utilisés dans des situations pour lesquelles aucune solution de contrôle utilisant des produits de synthèse, n'est disponible (Saravanakumar *et al.*, 2007).

Ces produits biologiques ont été développés pour contrôler de multiples maladies sur diverses cultures, comme les céréales, les cultures légumières et les cultures fruitières et florales (Fravel, 2005). Il a été mis en évidence que certains micro-organismes endophytes et/ou certaines rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (Plant Growth Promoting Rhizobacteria ou PGPR) peuvent conférer à certaines cultures une tolérance aux stress abiotiques comme la sécheresse et la salinité et la protection contre les agents phytopathogènes (Wang *et al.*, 2012).

Les organismes bénéfiques utilisés en lutte biologique doivent avoir un bon taux de reproduction, être spécifiques, avoir une bonne capacité d'adaptation et leur cycle de vie doit être synchronisé à celui du ravageur ou de l'organisme parasite (Weeden *et al.*, 2007).

Les endophytes peuvent être utilisés comme agents de biocontrôle, Cette action peut être définie par la réduction de l'inoculum du pathogène ou par l'inhibition de l'activité de l'agent pathogène (Martins *et al.*, 2013).

## **5. Microorganismes utilisés dans la lutte biologique contre la fusariose du palmier dattier**

### **5.1. Les mycorhizes**

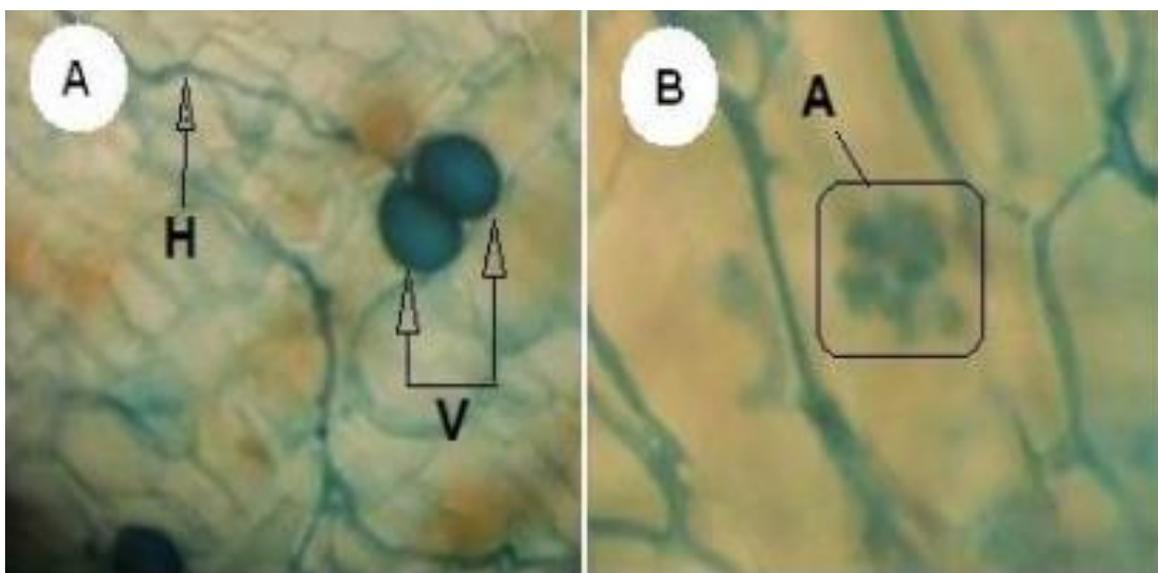
La mycorhization est l'interaction biologique utilisée par les plantes, en symbiose avec les champignons pour le renforcement de la résistance aux agents pathogènes du sol (Abohatem *et al.*, 2011). Selon Souana *et al* (2012), l'effet de l'endo mycorhization par le champignon *Glomus intraradices* sur la croissance du palmier dattier et sur la résistance de ce dernier 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 de la mycorhize a fait baisser ce taux de mortalité à 55%.

Dans une autre étude, une inoculation réalisée sur des 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 mycorhizien à arbuscules (AMF) collecté dans le sud du Maroc. Les plantes colonisées par le champignon mycorhizien (85% des plantes traitées), produisent des structures intra-racinaires arbusculaires, vésiculaires et des hyphes typiques (Figure 12).

Les mycorhizes à arbuscules ont prouvé leurs effets de limitation de l'incidence du *Fusarium oxysporum* f.sp *albedinis* sur des plants issus de semis de 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 (Christine, 2004)



**Figure 12:** A et B aspect des champignons mycorhiziens intra-racinaires H: hyphe, V: vésicules et A: arbuscule (Abohatem *et al.*, 2011)

## 5.2. Les microorganismes endophytes

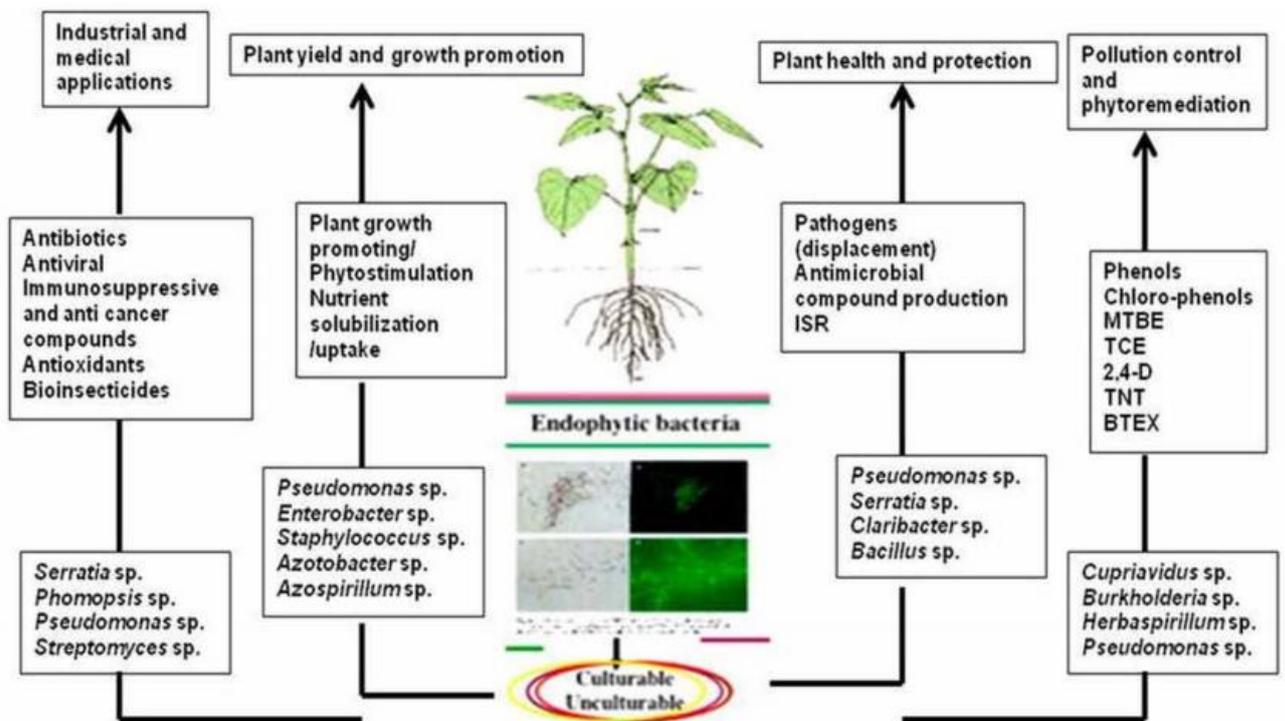
### 5.2.1. Définitions, localisation et caractéristiques

En 1995, Wilson a proposé de définir un endophyte en tant que 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 maladie.

Les endophytes sont des micro-organismes présents dans la plupart des végétaux supérieurs. La définition la plus couramment utilisée pour décrire les endophytes est celle de Petrini (1991), qui les décrit comme des micro-organismes vivants, colonisant les tissus végétaux internes sans causer de dommages apparents chez l'hôte qui les héberge (Hyde et Soyong, 2008).

L'endophytosphère regroupe les tissus internes de la plante occupés par les microorganismes. Ces derniers sont appelés endophytes, l'origine étymologique du mot «endophyte» provient du grec «endo» qui signifie «dedans » et «phyton» «plante = à l'intérieur de la plante. L'usage de ce terme est aussi large que sa définition, comme le spectre des hôtes ainsi que les organismes qui les habitent (Schulz et Boyle, 2006). Une autre définition leur a été attribuée : les endophytes sont des microorganismes qui colonisent les tissus internes des plantes sans causer des symptômes apparents (Bacon et White, 2000). Ils sont aussi définis comme des organismes qui vivent dans les tissus de la plante sans causer un réel dommage à la plante mais peuvent acquérir un bénéfice autre que leur cohabitation (Kobayashi et Palumbo, 2000).

Beaucoup d'entre eux ont des effets bénéfiques sur les plantes, du fait qu'ils peuvent fournir des nutriments, contrecarrer les pathogènes et réduire les symptômes de stress. Leur action peut se traduire chez les arbres par une amélioration de la protection contre les maladies et les insectes déprédateurs (Sessitsch *et al.*, 2013) (figure 13).



**Figure 13** : Propriétés des bactéries endophytes, rôles et applications biotechnologiques (Germaine *et al.*, 2006)

Des associations bénéfiques avec d'autres micro-organismes existent à la fois pour diverses espèces bactériennes généralement appelées PGPB (Plant Growth Promoting Bacteria), ainsi que divers champignons; désignées 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 aux stress biotiques et abiotiques (Hirt, 2012).

Les endophytes sont considérés comme le second génome de la plante du fait de leur capacité à synthétiser des métabolites secondaires très divers et constituent relativement une source potentielle pour des fins d'exploitation dans divers domaines de la biotechnologie, tels que, la médecine, la pharmacie, l'industrie et l'agriculture (Berendsen *et al.*, 2012).

Les bactéries endophytes assurent la croissance des plantes par un certain nombre de mécanismes. Il s'agit notamment de la solubilisation du phosphore, la production d'hormones de croissance comme l'acide indole acétique (AIA) et la production des sidérophores (Lee *et al.*, 2004).

L'intérêt de l'exploitation des bactéries endophytes est importante vu leurs implications dans différents secteurs à savoir médical, la promotion de la croissance des plantes et l'exploitation des produits antimicrobiens pour la protection végétale. Un autre intérêt environnemental leur est reconnu, c'est celui de leur utilisation pour la phyto-remédiation et la décontamination des sols ( Ryan *et al*, 2008).

### **5.2.2. Diversité des bactéries endophytes**

La diversité des endophytes bactériens cultivables est liée non seulement à la variété des espèces végétales colonisées, mais aussi par rapport aux nombreux taxons impliqués, c'est ainsi que leur taxonomie reste encore mal cernée (Thakore, 2006). Cependant, la plupart de ces bactéries identifiées jusqu'à présent font partie des genres ; *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Bacillus* et d'autres ( Tila *et al*,2005).

### 5.3. Interaction endophyte - hôte et rôles des associations bénéfiques liées aux endophytes

Les interactions commensales entre la plante hôte et le microorganisme qu'elle héberge dans ses tissus sont très variées. Les endophytes interviennent dans diverses activités biologiques liées notamment à la stimulation de la croissance des plantes, la défense contre les microorganismes parasites et les herbivores et la résistance aux stress de types abiotiques.

#### 5.3.1. Stimulation de la croissance végétale

L'effet positif de l'endophyte pour sa plante hôte n'est pas seulement limité à la suppression de l'agent pathogène, mais aussi à la promotion de la croissance au moment de l'infection par l'agent pathogène (Liarzi et Ezra, 2014). De nombreux travaux font état d'une stimulation de la croissance des plantes et du rendement des cultures après bactérisation par des endophytes isolées et ré-inoculées. 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 (culture en pots et en serre ou en chambre climatisée) (Sekkal et Labгаа, 2016).

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 (Zhang *et al.*, 2006).

Les *Pseudomonas* spp. fluorescents et les bactéries du 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 révélé 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 (Glick *et al.*, 1998). (Tableau 06).

**Tableau 6:** Exemples de bactéries endophytes et leur plantes hôtes (Langner dos Santos *et al.*, 2018)

| Plante hôte | Bactéries endophytes                                | Avantages  |
|-------------|---|--|
| Riz         | Burkholderia sp., <i>Herbaspirillum Seropedicae</i> | Augmentation de la production céréalière ; fixation d'azote ; synthèse d'acide indolacétique (IAA) |

|                      |   |   |
|----------------------|---|---|
| <b>Betterave</b>     | <i>Bacillus pumilus</i> ,<br><i>Chryseobacterium indologene</i> , <i>Acinetobacter johnsonii</i>  | Augmentation de la concentration de glucides  |
| <b>Canne à sucre</b> | <i>Gluconacetobacter diazotrophicus</i> ,<br><i>Azospirillum amazonense</i> ,<br><i>Burkholderia tropica</i> ,<br><i>Herbaspirillum seropedicae</i> , <i>H. rubrisubalbicans</i> , <i>G. diazotrophicus</i> | Accélération du bourgeonnement ; augmenter la biomasse; fixation biologique de l'azote; production des sidérophores; Synthèse IAA et solubilisation du phosphate  |
| <b>Chou</b>          | <i>Enterobacter sp.</i> , <i>Herbaspirillum sp</i>  | Promotion de la croissance  |
| <b>Tournesol</b>     | <i>Burkholderia sp.</i>   | Solubilisation du calcium et du phosphate   |
| <b>Mais</b>          | <i>Azospirillum brasilense</i> ,<br><i>Burkholderia cepacia</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>B. lentimorbus</i> ,<br><i>Streptomyces sp.</i><br><i>Azospirillum lipoferum</i>                            | Fixation de l'azote; Synthèse IAA; Promotion de la croissance; réduction du toluène, évapotranspiration dans l'air; Effet d'antagoniste sur les champignons pathogènes; augmentation du rendement de grain. |
| <b>Soja</b>          | <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> , <i>B. japonicum</i> , <i>Azospirillum brasilense</i>  | production de sidérophores; Synthèse IAA; ,ACC-désaminase; activité antifongique; phytases; fixation de l'azote   |
| <b>Blé</b>           | <i>B. subtilis</i> , <i>Arthrobacter sp.</i> ,<br><i>Burkholderia cepacia</i> , <i>Azospirillum Sp</i>  | Synthèse IAA; solubilisation du phosphat<br>promotion de la croissance; réduction du toluène<br>évapotranspiration dans l'air; augmentatio<br>du rendement des grains                                       |

### **5.3.2. Défense contre les agressions biotiques**

Plusieurs mécanismes sont utilisés par les endophytes pour la protection de leurs plantes hôtes contre les agents phytopathogènes (Reinhold-Hurek *et al.*, 2011).

La production d'antibiotiques, la stimulation des mécanismes de défense de l'hôte, la concurrence pour la nourriture ou les sites de colonisation et le mycoparasitisme sont les mécanismes utilisés par les endophytes pour inhiber les microorganismes pathogènes (Cao *et al.*, 2009).

Des souches bactériennes endophytes de *P. brassicacearum*, *B. amyloliquefaciens* et *B. methyloptrophicus* inoculées préventivement sur des poires immatures ont montré une capacité de lutte biologique contre *E. amylovora* l'agent pathogène responsable de la maladie du feu bactérien des Pomoidées (Tafifet *et al.*, 2020).

Les micro-organismes peuvent stimuler les défenses des plantes, ce qui provoque une résistance de la plante contre les agents pathogènes. Des barrières structurales avec des appositions pariétales peuvent notamment se mettre en place, ainsi que l'induction de la synthèse des phytoalexines et des protéines PR (Pathogenesis-related proteins), suite à l'inoculation de la plante avec un endophyte, tel que démontré dans les travaux de Tan et Zhou (2001).

Les résultats d'une étude entreprise au laboratoire afin d'évaluer l'efficacité antagoniste de quatre souches bactériennes appartenant aux genres *Bacillus* et *Pseudomonas* et leur impact sur la réponse de défense de l'hôte, ont montré que les bactéries endophytes ont généré chez la plante, une résistance systémique induite. L'analyse de l'induction de la résistance systémique a montré l'accumulation de phénols et de l'acide salicylique et les activités enzymatiques de la peroxydase et de la polyphénol oxydase (PR protéines) chez des plants de tomate inoculés avec trois souches pathogènes d'*Agrobacterium tumefaciens* agent de la maladie de la galle du collet (Djellout *et al.*, 2020).

### **5.3.3. Défense contre les agressions abiotiques**

Le stress abiotique pourrait être le résultat des pollutions par des métaux lourds, la sécheresse, la salinité et les contraintes de température (Liarzi et Ezra, 2014).

Les effets bénéfiques que peuvent conférer les endophytes aux plantes, ont fait l'objet de recherches importantes pour l'étude des associations végétal-endophyte, dans, le contrôle biologique des maladies et la résistance au stress abiotique ( Potshangbam *et al.*, 2017).

Ainsi, les chercheurs ont montré que les PGPB principalement rhizosphériques contenant l'enzyme désaminase ACC, sont capables de protéger efficacement contre l'inhibition de la croissance par les inondations, les niveaux élevés de sel, la sécheresse, la présence de pathogènes fongiques et bactériens, les dommages causés par les nématodes, la présence de niveaux élevés de métaux et de contaminants organiques, ainsi que le stress thermique (Glick *et al.*, 2007).

# Deuxième partie : Ebauche expérimentale

**Evaluation *in vitro* du  
potentiel de biocontrôle  
des bactéries endophytes  
isolées de diverses variétés  
de palmier -dattie**

## 1. Objectif de l'étude

Cette étude s'intéresse à l'évaluation *in vitro* du potentiel des bactéries endophytes de six variétés de palmier dattier. Cinq résistantes au Bayoud et une variété très sensible.

Pour mener cette étude, nous avons procédé aux étapes suivantes :

- a. Isolement des bactéries endophytes de racines de palmier dattier
- b. Isolement de l'agent pathogène *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis* à partir de rachis de palmiers dattiers infectés.

Les étapes a, b et c ont été préalablement effectuées au laboratoire, les souches isolées nous ont servi pour la suite des manipulations

- c. Purification des bactéries isolées pour l'obtention de clones purs
- d. Essais d'antagonisme *in-vitro* à l'égard du *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis* agent du bayoud.
- e. Etude des performances des souches sélectionnées
  1. Mobilité bactérienne
  2. Production de sidérophores
  3. Production de biofilm
  4. Production de biosurfactants
  5. Tolérance au stress hydrique
  6. Tolérance au stress salin.

Les étapes d et e, ont été entamées et non finalisées.

## 2. Lieu de l'étude

Les manipulations ont été réalisées au niveau du laboratoire de protection et de valorisation des ressources agrobiologiques de l'université Blida -1-.

L'expérimentation devait porter sur la sélection de bactéries endophytes ayant un potentiel de lutte biologique contre le *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis* et l'évaluation des performances intrinsèques des bactéries utilisées en lutte biologique. Les étapes de l'expérimentation devaient être conduites en étudiant les paramètres décrits et résumés ci-dessous.

### **3. Propriétés sélectives des agents de lutte biologique bactériens**

Chez les organismes utilisés en lutte biologique, plusieurs propriétés sont requises pour leur performance et efficacité. Dans la partie qui suit, nous avons résumé l'essentiel des caractéristiques requises chez les organismes de lutte biologique bactériens.

#### **3.1. Mobilité bactérienne**

La motilité est une caractéristique importante pour la colonisation de la plante dans le cas des organismes utilisés en lutte biologique. De nombreuses bactéries flagellées ont plus d'un mode de mobilité, se déplaçant indépendamment dans un liquide en vrac (Swimming) ou se déplaçant en association avec d'autres cellules dans une mince couche de liquide sur une surface humide (Swarming) (Nicholas *et al*, 2010).

La mobilité par la nage autrement appelée « swimming motility » est la mobilité flagellaire des bactéries dans un milieu liquide ou semi-liquide (maximum 0,4 % d'agar). La mobilité par nage est initiée par une cellule bactérienne. La mobilité en essaim ou « swarming motility » est la mobilité flagellaire des bactéries dans un milieu plus visqueux (de 0,3 à 0,7 % d'agar). Cette mobilité est organisée et touche plusieurs cellules bactériennes, d'où l'appellation de mobilité en essaim (Arnold, 2007). Hao et al (2012) ont montré que la motilité est importante pour coloniser la plante lors de son inoculation.

#### **3.2. Production des sidérophores**

Les sidérophores bactériens sont des composés de faible poids moléculaire à haute affinité chélatante  $Fe^{3+}$ . La production de sidérophores par des microorganismes est bénéfique aux plantes, car ils peuvent inhiber la croissance des agents phytopathogènes (Sharma et Johri, 2003). De plus, le fer est un élément vital et sa séquestration par des bactéries antagonistes au moyen de sidérophores spécifiques peut limiter le développement des agents pathogènes responsables des maladies des plantes (Etchegaray *et al.*, 2004).

La capacité de produire ou de capturer des sidérophores est l'un des traits qui font des micro-organismes, des concurrents performants dans plusieurs environnements du fait qu'ils facilitent l'association bactérie – plante et contribuent à la colonisation des racines, tiges et feuilles (Marahiel, 2007).

Benoussaid *et al* (2018) confirment que des souches rhizobactériennes produisent de sidérophores comme métabolites secondaire impliqués dans le biocontrôle.

### **3.3. Production de biofilm**

Le biofilm permet aux bactéries la colonisation des surfaces et des espaces intercellulaires en augmentant le maintien de la source d'eau. Les agents antimicrobiens et la communauté microbienne des biofilms combattent pour la dominance ou la diffusion des molécules. Le biofilm a la capacité de développer une barrière des EPS contre les molécules de diffusion des agents antimicrobiens.

Les biofilms sont très hétérogènes et sans cesse remodelés selon des facteurs endogènes et exogènes (Tolker-Nielsen *et al.*, 2000). Les différences peuvent se situer aussi bien au niveau structural (biofilms mono- ou pluri-espèces, épaisseurs et architectures diverses) qu'au niveau des surfaces colonisées. La diversité des biofilms constitue l'un des éléments clés dans leur robustesse face aux agents antimicrobiens et autres agressions (Singh *et al.* 2002). Par ailleurs, la motilité est importante pour la formation de biofilms et la colonisation compétitive (Bianciotto *et al.*, 2001).

### **3.4. Production de biosurfactants**

Les biosurfactants sont des composés amphiphiles, c'est-à-dire qu'ils contiennent à la fois une partie hydrophile (tête) et une partie hydrophobe (queue). Ils ont pour propriété de diminuer la tension interfaciale en s'adsorbant à l'interface entre deux composés immiscibles, solide-liquide, liquide-liquide ou gaz-liquide immiscibles (Luna *et al.*, 2013).

Esteban *et al* (2017) ont prouvé qu'un grand groupe de bactéries endophytes ont la capacité d'éradiquer leurs concurrents (pathogènes) de la niche en utilisant des surfactants lipopeptidiques.

Gond *et al* (2015) ont signalé un bacille endophyte qui produit des biosurfactants antifongiques et la présence de l'expression du gène de défense de l'hôte dans le maïs.

### **3.5. Tolérance au stress hydrique**

Le stress hydrique est une forte concentration saline dans le sol provoquant une importante diminution de la disponibilité en eau. Cela nécessite un ajustement osmotique adapté, afin que le potentiel hydrique cellulaire demeure inférieur à celui du milieu extracellulaire. Lorsque l'ajustement osmotique n'est pas suffisant, l'eau a tendance à quitter les cellules ce qui provoque un déficit hydrique et une perte de turgescence (Munns, 2009).

Les exopolysaccharides (EPS) produits par *Pseudomonas putida* GAP-P45 jouent un rôle positif dans les phénomènes de régulation de la teneur en eau, et la diffusion de la source de carbone aux plantes notamment dans des conditions de stress hydrique (Sandhya *et al.*, 2009).

### **3.6. Tolérance au stress salin**

La salinité, est définie selon plusieurs chercheurs comme étant la présence de processus pédologiques selon lequel le sol s'enrichit anormalement en sels solubles acquérant ainsi un caractère salin (Drevon *et al.*, 2001).

Chez le maïs (*Zea mays*), l'inoculation de *Rhizobium* et de *Pseudomonas* induit une réaction de tolérance au sel se traduisant par une augmentation de la production de proline, un maintien de la teneur en eau dans les feuilles et une absorption sélective des ions K<sup>+</sup> (Bano et Fatima, 2009).

## **4. Matériels et méthodes**

### **4.1. Matériels**

#### **4.1.1. Isolats bactériens endophytes**

Les échantillons de bactéries endophytes utilisées au cours de nos différentes expérimentations font partie de la collection du laboratoire de Protection et de Valorisation des Ressources Agrobiologiques Université de Blida1.

Ces bactéries ont été isolées de racines de diverses variétés de palmier dattiers d'apparence saine (tableau 7).

**Tableau 7 :** Variétés du palmier dattier utilisés pour l'isolement des bactéries endophytes

| <b>Variété</b>     | <b>Code</b> |
|--------------------|-------------|
| <b>MechDegla</b>   | MD          |
| <b>Bentqbala</b>   | BQ          |
| <b>Elhora</b>      | H           |
| <b>El azouzia</b>  | AZ          |
| <b>Takarboucht</b> | TK          |
| <b>DegletNour</b>  | DN          |

#### **4.1.2. Matériel fongique pathogène**

Les champignons pathogènes testés (*Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis*) appartiennent à la collection de laboratoire de Protection et de Valorisation des Ressources Agrobiologiques Université de Blida. Ils ont été isolés à partir de palmiers atteints par le bayoud dans des palmeraies du sud-ouest algérien.

#### **4.1.3. Milieux de culture**

Suivant les besoins expérimentaux, divers types de milieux de culture sont mis en œuvre. La composition des milieux de culture utilisés est indiquée dans l'annexe ( 1 ).

##### **✚ Milieux d'isolement et de purification**

- Le milieu PDA (Potato Dextrose Agar) a été utilisé pour l'isolement et la purification des isolats fongiques.
- Le milieu LPGA (Levure Peptone Glucose Agar) a été utilisé pour l'isolement et la purification des isolats bactériens.

### **4.2. Méthodes**

#### **4.2.1. Purification et conservation des souches**

La purification est une opération nécessaire afin d'obtenir des clones purs pour l'ensemble des organismes utilisés pour cette étude : (Bactérie endophytes isolées et les souches du champignon *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis*).

Les isolats obtenus ont subi une série de purification par étalement sur boîte de pétri sur le milieu de culture LPGA à PH=7. Les boîtes sont incubées à 28°C, afin de s'assurer de leur pureté.

Les cultures purifiées sont repiquées dans des tubes à essai inclinés contenant le milieu LPGA et conservées à 4°C pour des utilisations ultérieures.

La purification du F.O.A est réalisé après plusieurs repiquage par transplantation successives des disques mycéliens dans des boîtes de pétri contenant le milieu PDA, suivies par une étape d'incubation à 28°C jusqu'à l'obtention de cultures pures.

#### **4.2.2. Caractérisation des isolats**

L'identification préliminaire d'une souche représentative est effectuée par une méthode classique qui est l'observation macroscopique des caractéristiques morphologiques (Aspect des colonies) qui permet de déterminer la texture, la couleur, l'odeur....

### **4.2.3. Essais d'antagonisme *in vitro***

L'étude de l'effet antagoniste de six isolats de bactéries endophytes vis-à-vis l'agent causal de Bayoud est a été étudié selon deux méthodes (la confrontation directe et indirecte). Elle avait pour but de sélectionner les espèces les plus antagonistes sur la base des effets inhibiteurs sur la croissance mycélienne des pathogènes.

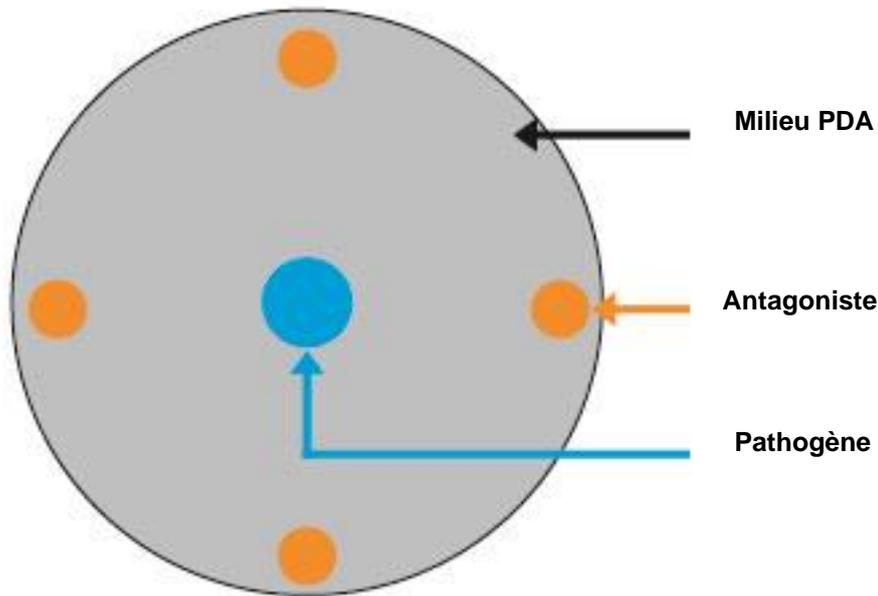
Le choix d'un milieu de culture adéquat est indispensable au bon développement du pathogène et de l'antagoniste. Les milieux PDA et KB assurent de bonnes conditions de cultures pour les deux.

#### **4.2.3.1. Confrontation directe ou simultanée**

La méthode utilisée a été décrite par Swain et Ray (2007) qui consiste à ensemencer quatre pastilles gélosées de la même bactérie isolée à une distance de 4 cm du centre de la boîte de Pétri contenant le milieu PDA, puis incubées à 28°C pendant 24h.

Par la suite et après un jour d'incubation de cette boîte de Pétri ensemencée par la bactérie, une pastille gélosée de 6 mm de diamètre du FOA est ensemencée au centre de la boîte (Figure 14).

Le témoin est constitué par un repiquage des pathogènes au centre de la boîte sans les bactéries.



**Figure 14 :** Schéma représentatif de la méthode de confrontation directe ou simultanée.

L'incubation des boîtes se fait à 25°C pendant 6 jours. La lecture des résultats consiste à mesurer la distance développée par le champignon en direction de l'antagoniste bactérien. Ainsi l'évaluation de l'inhibition exercée par la bactérie antagoniste est estimée par le calcul du pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne de FOA selon (Suarez-Estrella et al. 2007). Après 2 à 6 jours d'incubation, la région d'interface est observée sous microscope optique.

$$(\%) \text{ inhibition} = \frac{(R \text{ témoin} - R \text{ test}) \times 100}{R \text{ témoin}}$$

R témoin : distance radiale max de la croissance du champignon.

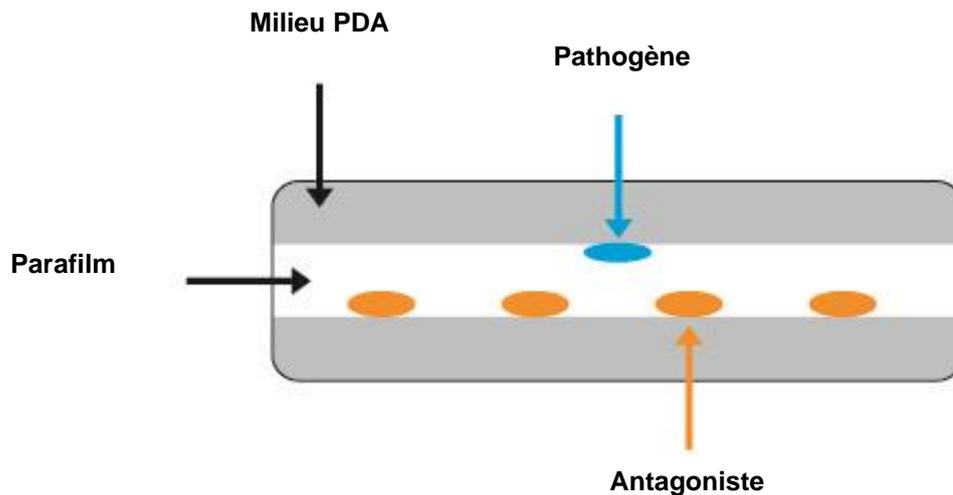
R test : distance radiale sur une ligne en direction de l'antagoniste.

#### **4.2.3.2. Confrontation déphasée**

L'inhibition bactérienne grâce à la production des substances antifongiques volatiles est mesurée selon la méthode modifiée et utilisée par Fiddaman et Rossall (1995).

Quatre disques de bactérie prélevée à partir d'une culture sur gélose nutritive ont été placés de façon équidistante le long du périmètre d'une boîte de Pétri contenant le milieu PDA.

Après incubation à 28°C pendant 24 h, une seconde boîte de Pétri contenant le milieu PDA estensemencée avec un disque de 6 mm de FOA au centre de la boîte de Pétri est placée au dessus de celle qui contient la bactérie après l'enlèvement des couvercles aseptiquement où les deux fonds adhérents sont fermés par des couches de parafilm afin d'éviter toute déperdition des substances volatiles (Figure 15).



**Figure 15** : Schéma représentatif de la méthode de confrontation déphasée.

Pour le témoin, un fond de boîte contenant le milieu PDA seul est placé en dessous d'un fond de boîte contenant le pathogène.

Après six jours d'incubation à 25°C à l'obscurité, l'inhibition de la croissance mycélienne est estimée et évaluée comme la méthode décrite précédemment

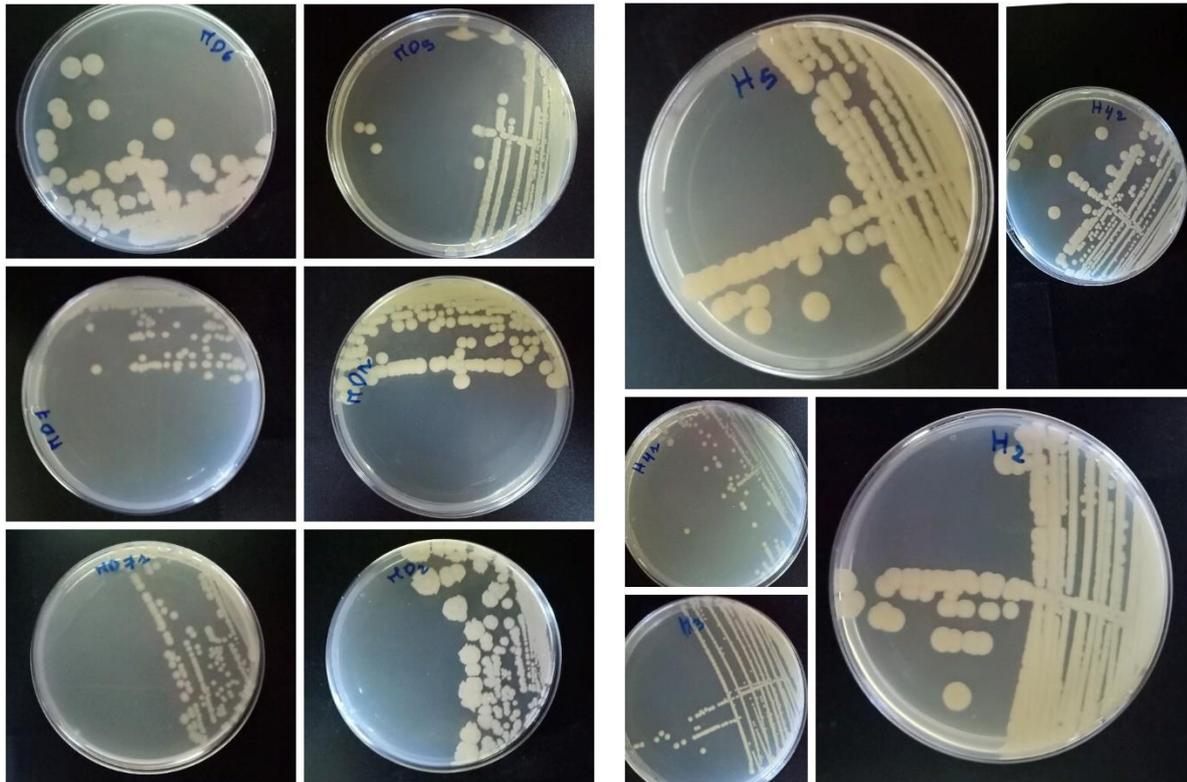
## 5. Résultats

### 5.1. Caractères cultureux des isolats cultivés sur milieu LPGA

A partir de six variétés de palmier dattier, 18 isolats de bactéries endophytes ont été isolés sur milieu LPGA. Les colonies bactériennes obtenues après 24 heures d'incubation sont décrites sur la base des caractères cultureux suivants : La couleur, l'aspect, le diamètre, la forme, l'élévation et le bord (tableau 8) (figure 16).

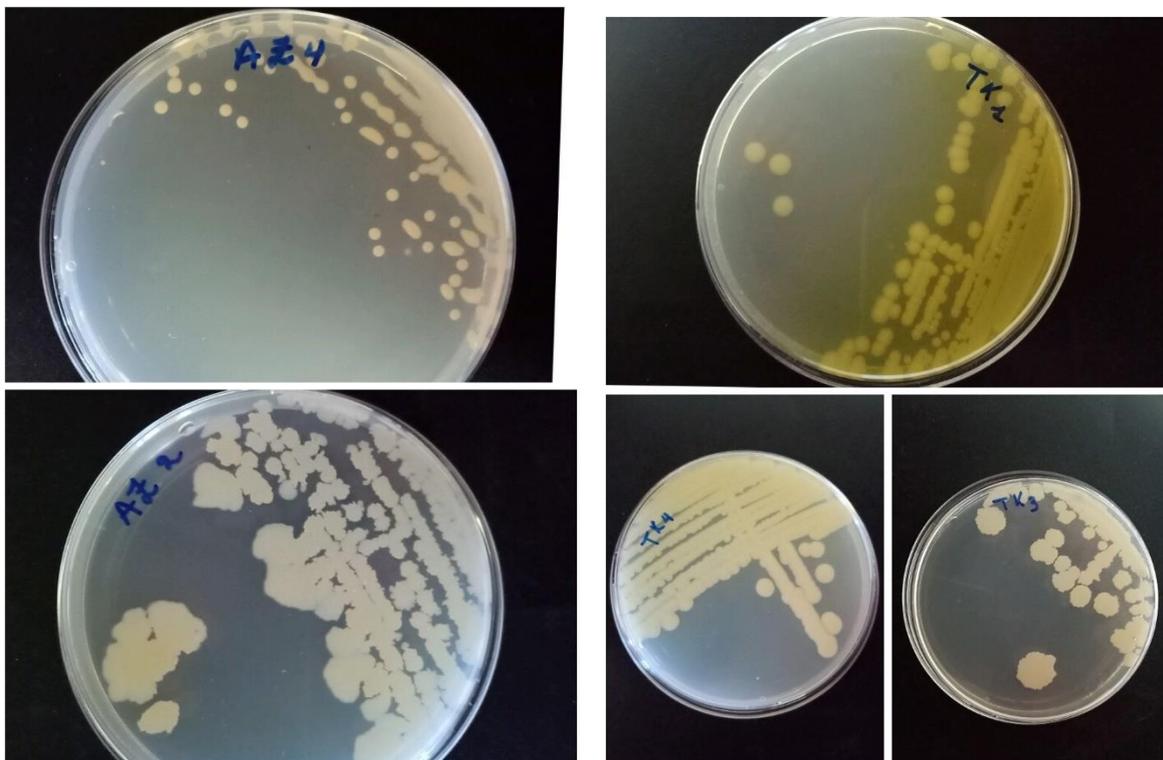
**Tableau 8 : Les caractères cultureux des isolats endophytes cultivés sur milieu LPG A :**

| Variété            | Isolats | Couleur         | Aspect   | Diamètre | Forme      | Élévation | Bord     |
|--------------------|---------|-----------------|----------|----------|------------|-----------|----------|
| <b>MechDegla</b>   | MD1     | Crème           | Lisse    | 2,5      | Circulaire | Convexe   | Régulier |
|                    | MD2     | Blanc<br>crème  | Muqueux  | 1-10     | Irrégulier | Bossue    | Ondulé   |
|                    | MD5     | Jaune<br>claire | Lisse    | 1-3      | Circulaire | Plane     | Régulier |
|                    | MD6     | Blanc<br>crème  | Muqueux  | 2-7      | Irrégulier | Bossue    | Bouclé   |
|                    | MD7     | Jaune<br>claire | Lisse    | 1-2      | Circulaire | Plane     | Régulier |
|                    | MD7.1   | Beige           | Crémeux  | 1        | Circulaire | Plane     | Régulier |
| <b>Bentaqbala</b>  | BQ1     | Blanc<br>crème  | Muqueux  | 6-9      | Irrégulier | Élevée    | Lobé     |
| <b>El hora</b>     | H2      | Beige           | Crémeux  | 3        | Circulaire | Bombé     | Régulier |
|                    | H3      | Jaune           | Lisse    | 1        | Circulaire | Convexe   | Régulier |
|                    | H4.1    | Jaune<br>foncé  | Lisse    | 1-2      | Circulaire | Elevée    | Régulier |
|                    | H4.2    | Jaune<br>clair  | Lisse    | 1-4      | Circulaire | Plane     | Régulier |
|                    | H5      | Jaune           | Lisse    | 1-4      | Circulaire | Bombé     | Régulier |
| <b>El azouzia</b>  | AZ2     | Blanc<br>cassé  | Farineux | 2-11     | Irrégulier | Plane     | Bouclé   |
|                    | AZ4     | Crevette        | Lisse    | 1-3      | Fusifforme | Convexe   | Ondulé   |
| <b>DeglatNour</b>  | DN5     | Blanche         | Lisse    | 1-9      | Circulaire | Plane     | Régulier |
| <b>Takerboucht</b> | TK1     | Jaune<br>Foncé  | Muqueux  | 1-3      | Irrégulier | Plane     | Ondulé   |
|                    | TK3     | Blanche         | Farineux | 4-18     | Irrégulier | Plane     | Dentelé  |
|                    | TK4     | Blanc<br>cassé  | Crémeux  | 1-4      | Irrégulier | Convexe   | Ondulé   |



(a)

(b)

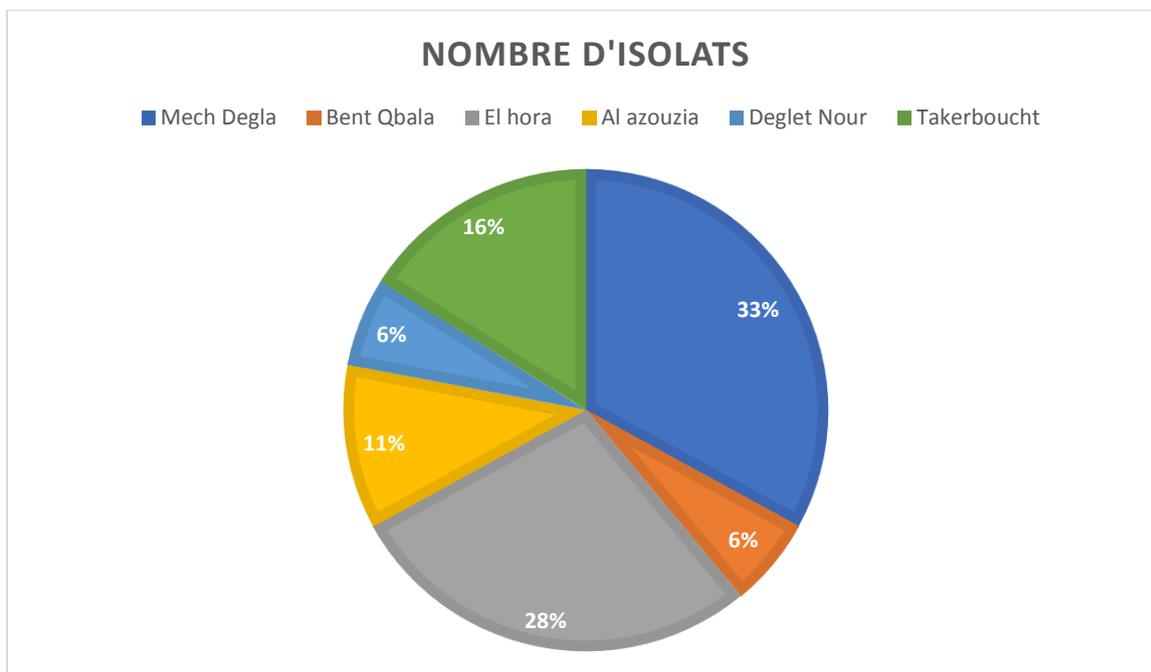


(c)

(d)

**Figure 16 :** Les caractères cultureux des isolats endophytes cultivés sur milieu LPGA  
(a) : Les isolats MD , (b) : Les isolats H, (C) : Les isolats AZ, (d) : les isolats TK

Sur un total de 18 isolats obtenus, 33% proviennent de la variété MechDegla, 6 % à partir de deux variétés Bentqbalala et Deglet Nour, 28% à partir de la variété El hora, 11 % à partir de El azouzia, et 16 % de Takerboucht (Figure 17) . Le dénombrement des isolats des variétés étudiées par variété est détaillé dans le tableau 9.



**Figure 17 :** Résultats des isolats endophytes bactériens isolées sur les différentes variétés de palmier dattier.

**Tableau 9 :** Dénombrement des isolats des variétés étudiées

| Variété            | Nombre de colonies | Code des isolats               |
|--------------------|--------------------|--------------------------------|
| <b>MechDegla</b>   | 6                  | MD1, MD2, MD5, MD6, MD7, MD7.1 |
| <b>Bentqbalala</b> | 1                  | BQ1                            |
| <b>El hora</b>     | 5                  | H2, H3, H4.1, H4.2, H5         |
| <b>El azouzia</b>  | 2                  | AZ2, AZ4                       |
| <b>Deglet Nour</b> | 1                  | DN5                            |
| <b>Takerboucht</b> | 3                  | TK1, TK3, TK4                  |

# Conclusion

# Générale

Les caractéristiques biologiques du *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis* et de son hôte le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.), rendent toute tentative de lutte très difficile. Les orientations de lutte contre cette maladie s'apparentent à celles préconisées contre les autres fusarioses vasculaires connues. Quatre méthodes de lutte contre le Bayoud ont été adoptées sur le palmier dattier. Ces méthodes de lutte classiques ; culturelles, génétiques et chimiques vis-à-vis du *Fusarium Oxysporum* f.sp *albedinis* présentent des limites et un manque de durabilité.

La lutte chimique est écartée suite à la fragilité de l'écosystème oasien et à son efficacité non garantie. Les mesures culturelles et la mise en quarantaine n'arrêtent pas la maladie. Comme la plupart des fusarioses, 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.

1. L'existence dans la nature de sols résistants à la fusariose vasculaire des dattiers et l'isolement des micro-organismes qui ont montré un effet antagoniste *in vitro* et *in vivo* vis-à-vis du *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis* ont fait l'objet de quelques études en cours de recherche dans le monde et en Algérie et ont été proposés comme une alternative à l'utilisation des substances chimiques.

Plusieurs recherches sont consacrées à la valorisation des composts en tant qu'outil de protection des cultures. Des composts issus de divers déchets qu'ils soient agricoles, industriels ou ménagers, ont montré leurs capacités à protéger la culture contre le Foa.

2. La mycorhization du palmier dattier aussi constitue un axe important, puisqu'elle s'intéresse aussi bien à l'aspect physiologique de la plante (croissance et production) qu'à l'aspect phytopathologique (contribution à la lutte contre le Bayoud). Elle a permis d'améliorer la croissance des plantes du palmier dattier en améliorant l'alimentation hydrique et la nutrition minérale et a montré aussi un effet protecteur contre les attaques du Foa.

3. D'autres travaux concernant les microorganismes antagonistes et leurs modes d'action ont été réalisés par exemple l'étude des endophytes fongiques du palmier dattier (*Penicillium* et *Aspergillus*) qui ont révélé la capacité des endophytes fongiques à inhiber la

croissance mycélienne du pathogène *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis* due principalement à la compétition entre les endophytes et le pathogène.

Cette stratégie de lutte biologique est très intéressante mais, elle est encore au stade de l'expérimentation et les cas d'utilisation à grande échelle sont très rares.

Pour résumer, la réflexion de la lutte biologique contre le Foa doit prendre en considération les priorités futures suivantes :

- La santé humaine, donc à éviter la lutte chimique et tout ce qui détériore et met en danger notre santé, en produisant des aliments exempts de résidus chimiques.
- La préservation de l'environnement, en se focalisant sur l'utilisation de compost, qui peut fournir un moyen de recyclage de tous les déchets agricoles.
- L'exploitation des ressources microbiennes locales, rhizosphériques ou endophytiques, qui sont mieux adaptées à l'environnement du palmier dattier. Certaines bactéries associées aux plantes particulièrement les *Pseudomonas* spp. fluorescents sont connus depuis longtemps pour leur aptitude à réduire l'incidence des maladies telluriques, ainsi qu'à inhiber la croissance d'un grand nombre d'agents phytopathogènes *in vitro*.

Ces résultats très intéressants dans le domaine de la biotechnologie microbienne, nous encouragent à entreprendre d'autres études dans le futur afin d'élargir nos connaissances sur l'exploitation de ces microorganismes comme des inoculums microbiens, destinés aux applications pratiques en tant que biofertilisants et biopesticides. Ces deux derniers produits biologiques constituent une solution économiquement rentable permettant de minimiser l'application des fertilisants chimiques et de maximiser la croissance et la nutrition des plantes.

# Références

- **Abed F., 2017.** Conférence régionale sur : Mutagenèse induite et Biotechnologies d'Appui pour la protection du palmier dattier contre le Bayoud.
- **Abohatem M., Zouine J., El-Hadrami I., 2011.** Low concentrations of BAP and high rate of subcultures improves the establishment and multiplication of somatic embryos in date palm suspension cultures by limiting oxidative browning associated with high levels of total phenols and peroxidase activities. *Sci. Horticult.* 130: 344–348.
- **Adam A., 2008.** Elicitation de la résistance systémique induite chez la tomate et le concombre et activation de la voie de la lipoxigénase par des rhizobactéries nonpathogènes. Thèse de Doctorat, Université de Liège. Belgique. 165p.
- **Al- Khalifa N.S., Askari E., Shanawaskhan E.A., 2013.** Date Palm Tissue Culture and Genetical Identification of cultivars Grown in Saudi Arabia. Ed. King Abdulaziz City for Science and Technology n° 321215. National Center for Agriculture technologies Riyadh. pp : 17-41.
- **Anitha A., Arun Das M., 2011.** Activation of rice plant growth against *Rhizoctonia solani* using *Pseudomonas fluorescens*, *Trichoderma* and Salicylic Acid. *Research in Biotechnology*, 2(4) : 7-12.
- **Arnold A.E., Lutzoni F., 2007.** Diversity and host range of foliar fungal endophytes: are tropical leaves biodiversity hotspots *Ecology*, 88: 541-549.
  
- **Baaziz M., 2003.** La culture du palmier dattier au Maghreb. Contraintes actuelles et recherches scientifiques. Laboratoire de Biochimie et Amélioration des Plantes (BAP), Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences-Semlalia, Marrakech, Morocco.
- **Bacon C.W., White J.F., 2000.** Microbial Endophytes Marcel Dekker Inc., New York.
- **Bano A., Fatima M., 2009.** Salt tolerance in *Zea mays* following inoculation with *Rhizobium* and *Pseudomonas*. *Biol. Fert. Soils.* 45: 405–413
- **Benlarbi L., 2019.** Contribution à l'étude de *Fusarium oxysporum* f sp *albedinis* agent causal de la fusariose vasculaire du palmier dattier et moyens de lutte. Thèse de doctorat. Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem. 175.
- **Benlarbi L., 2009.** Isolement et caractérisation du *Fusarium oxysporum* f sp *albedinis* du sud-ouest algérien thèse Magister. Université de Bechar.
- **Benoussaid N., Benchabane M., Thonart P., 2018.** Identification de souches de *Pseudomonas Fluorescents* et application de leurs lyophilisats pour le biocontrôle de la fusariose de la tomate. *Agrobiologia.* 2507-7627.
- **Benzohra IE., Megatli M., Berdja R., 2015.** Bayoud disease of date palm in Algeria: History, epidemiology, and integrated disease management. *African Journal of Biotechnology.* 9PP.
- **Benzohra IE., Megatli M., Berdja R., 2013.** Progression et extension du Bayoud du palmier dattier en Algérie. Premier séminaire international sur : les problématiques en régions arides et semi – arides. university of Batna, Algeria 14:255–60.
- **Berg Van Den E., 2005.** Liste des nématodes phytoparasites (Nematoda : *Tylenchida* et *Dorylaimida*) des départements français d'Amérique et dispositions réglementaires. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 35 : sous presse.

- **Bianciotto V., Andreotti S., Balestrini R., Bonfante P., Perotto S. 2001.** Mucoid mutants of the biocontrol strain *Pseudomonas fluorescens* CHA0 show increased ability in biofilm formation on mycorrhizal and nonmycorrhizal carrot roots. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 14:255–60.
- **Boucenna-Mouzali B., Gaceb-Terrak R., Rahmania F., 2008.** GC–MS analysis of cell wall-bound phenolic compounds and lignin quantification in date palm cultivars that are resistant or susceptible to *Fusarium oxysporum* f. sp. *Albedinis* Arabian J. Sci. Eng., 43 (2018), pp. 63-71, 10.1007/s13369-017-2581-4
- **Bouguedoura N., Bennaceur M., Babahani S., Benziouche S. E., 2015.** Date palm status and perspective in Algeria. In Date palm genetic resources and utilization. Chapter 4. Al Khairi J.M., S.M. Jain, and D.V. Johnson, Africa and America, 1: 125-168.
- **Bouguedoura N., Benkhalfa A., Bennaceur M., 2010.** Le palmier dattier en Algérie Situation, contraintes et apports de la recherche. Actes du 3e Séminaire du réseau AUFBIOVEG « Biotechnologies du palmier dattier » Montpellier (France). IRD édition, 15-33.
- **Bouizgarne B., Oudhouch Y., Bouteau F., Elhadrami I., 2004.** Electrophysiological responses to fusaric acid root seedlings of date palm – susceptible and resistant to *Fusarium oxysporum* F.sp *albedinis*. *Phytopathology*, 152: 321\_324.
- **Boulanouar A., 2015.** Bio écologie de l'entomofaune des différentes palmeraies de la région de la Saoura(Béchar) : Application a quelques espèces fréquentant la plante-hôte *Phoenix dactylifera*. Thèse Doc. Univ. Tlemcen. Algérie.
- **Boulenwar N., Marouf A., Cheriti A., 2009.** Le Bayoud : symptômes et lutte. Annales de l'université de Bechar N° 5. ISSN : 1112- 6604.
- **Brown D.W., Proctor R.H, 2013.** *Fusarium: genomics, molecular and cellular biology.* Norfolk: Caister Acad. Press.
- **Berendsen MC., 2012.** Diversity and classification of mycorrhizal associations. *Biol Rev* 79:473–495.
- **Cao S., Clement C., Sessitch A. 2010.** Plant growth promoting rhizobacteria in the rhizo and endosphere of plants: their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. *Soil Biol. Biochem.* 42: 669-678.
- **Chakroune K., Bouakka M., Lahlali R., Hakkou A., 2008.** Suppressive effect of mature compost of date palm by-products on *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*. *Plant Pathol.* 7: 148-54.
- **Christie J. M., Arvai A.S., Baxter K.J., Heilmann M., Pratt A.J., Ohara A., Kelly S.M. Hothorn M., Smith B.O., Hitomi K., Jenkins G.I. Getzoff E.D., 2004.** Plant UVR8 Photoreceptor Senses UV-B by Tryptophan-Mediated Disruption of Cross-Dimer Salt Bridges. *Science*, 335(6075), 1492-1496.
- **Daddi Bouhoun M., Saker M. L., Ould El-Hadj M. D., Brinis L., 2008.** Impact of hydro edaphic stress on rooting and productivity of “Deglet Nour” date palm of the Ouargla basin (Northern Algerian Sahara). *Acta Horticultura. ISHS*, 994: 93-97.
- **Dahoumane B., Brinis L., Lakhder M., Cote M., Rabier J., 2009.** Effects of hydro-edaphic environment on the rooting of date palm (*Phoenix dactylifera* L) Deglet Noor in the Ouargla Basin ( South east algeria ). *Ecologia Mediterranea.* 35. 41-48.

- **Dakhia N., Ben salad MK., Roumani M., Belhamra M., 2013.** État phytosanitaire et diversité variétale du palmier dattier au Bas Sahara – Algérie. Journal Algérien des Régions Arides. 17pp.
- **Debourgogne A., 2013.** Typage moléculaire du complexe d'espèces *Fusarium solani* et détermination de son mécanisme de résistance au voriconazole. Thèse du doctorat. Université de lorraine.
- **Dignani M. C., Anaissie E., 2004.** Human fusariosis. Clin Microbiol Infect 10 .67–75
- **Di Pietro A., Madrid M P., Caracuel Z., Delgado-Jarana J., Roncero MIG., 2003.** *Fusarium oxysporum*: exploring the molecular arsenal of a vascular wilt fungus. Molecular Plant Pathology. 4:315-325.
- **Djellout H., Raio A., Boutoumi H., Krimi Z., 2020.** Bacillus and Pseudomonas spp. strains induce a response in phenolic profile and enhance biosynthesis of antioxidant enzymes in Agrobacterium tumefaciens infected tomato plants. Eur J Plant Pathol. 157.
- **Djerbi M., 2003.** *Fusarium oxysporum* f.sp *albedinis*. OEPP: EPPO bulletin, 33
- **Drevon J.J., Saadallah K., Hajji M., Abdelly C., 2001.** Genotypic variability for tolerance to salinity of N<sub>2</sub>-fixing common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Agronomy, 21, 675-682.
  
- **El hadrami I., Elhadrami., A., 2009.** Breeding date palm. Univ. Marrakech. 191-195.
- **El hadrami A., El Idrissi-Tourane A., El Hassni M., Daayf F., El Hadrami E., 2005.** Toxin-based *in vitro* selection and its potential application to date palm for resistance to the bayoud Fusarium wilt, a review. C. R. Biol. 328:732–744.
- **El hassani M., J'aity F., Dihazi A., Ait Barka E., Daayf F., El hadrami L., 2004.** Enhancement of defense responses against Bayoud disease by treatment of date palm seedling with an hypoaggressive *Fusarium oxysporum* f.sp *albedinis* isolate. Journal of phytopathology, 152:pp 182- 189.
- **El joughany L., 2010.** Degradation of date palm trees and date production in Arab countries. Cause and potential rehabilitation. Australian Journal of basic and applied science, 4 (8) 3998 – 4010.
- **El modafar C., 2010.** Mechanisms of date palm resistance to Bayoud disease: Current state of knowledge and research prospects. Physiological and molecular plant pathology, 74: 287-294.
- **Espiard E., 2002.** Introduction à la transformation industrielle des fruits. Ed. Tech et Doc- Lavoisier, 360.
- **Esteban Beltran-G., Macedo-Raygoza G., Juan Villafaña R., Martinez-Rodriguez A., Chavez-Castrillon Y., Froylan M., Espinosa-Escalante., Di Mascio P., Tetsuya O., Miguel J., 2017.** Production of Lipopeptides by Fermentation Processes: Endophytic Bacteria, Fermentation Strategies and Easy Methods for Bacterial Selection. Open access peer. DOI: 10.5772/64236.
- **Etchegaray A., Silva-Stenico M., Moon D.H., Tsai S.M., 2004.** *In silico* analysis of nonribosomal peptide synthetases of *Xanthomonas axonopodis* pv. citri: identification of putative siderophore and lipopeptide biosynthetic genes. Microbiological Research, v.159, p.425-437.

- **FAO. 2007.** Les Principaux Pays Producteurs de Dattes. FAOSTAT Agriculture <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
- **FAO. 2002.** Date Palm Cultivation. FAO, Rome. 156 Rev.1.
- **Fiddaman P., Rossall S., 1995.** The production of antifungal volatiles by *Bacillus subtilis*, Journal of Applied bacteriology 74, 119\_ 126.
- **Fravel D. R., 2005.** Commercialization and implementation of biocontrol. Annu. Rev. Phytopathol. 43:337-359.
- **Gaceb-Terrak R., 2006.** Contribution à la connaissance des interactions palmier dattier (*Phoenix dactylifera L*) agent causal du bayoud (*Fusarium oxysporum f. sp. albedinis*) par analyses phytochimiques des lipides et des phenylpropanoïdes. Thèse de Doctorat d'état, Facultés des Sciences Biologiques, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Alger.
- **Germaine K., Liu X., Cabellos G., Hogan I., Ryan D., Dowling DN., 2006.** Bacterial endophyte enhanced phyto remediation of the organochlorine herbicide 2,4 – dichlorophenoxyacetic acid. FEMS microbial Ecol 57: 305 – 310.
- **Ghazi F., Sahraoui S., 2005.** Evolution des composés phénoliques et des caroténoïdes totaux au cours de la maturation de deux variétés de dattes communes : Tantbouchet et Hamraia. Mémoire d'Ingénieur. Institute national d'agronomie. Alger.81.
- **Gilles P., 2000.** Cultiver le palmier dattier. Ed. CIRAS, 110.
- **Glick B.R., Cheng Z., Czarny J., Duan J., 2007.** Promotion of plant growth by ACC-deaminase producing soil bacteria. Eur. J. Plant Pathol. 119:329–339.
- **Glick B.R., Penrose D.M., Jiping L.,1998.** A model for the lowering plant ethylene concentrations by plant growth promoting bacteria. J. Theor. Biol. 190:63–68.
- **Gond S. K., Bergen M. S., Torres M. S., 2015.** Endophytic bacillus spp. Produce antifungal lipopeptides and induce host defence gene expression in maize. Microbiol. Res. 172, 79–87. doi: 10.1016/j.micres.2014. 11.004
- **Gros-Balthazard M., Newton C., Ivorra S., Tengberg M., Pintaud J.C., Terral J.F., 2013.** Origines et domestication du palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*). Revue d'ethnoécologie (4) : 5-6
- **Hao L, Kyle D, Andrews – Polumenins H, McClelland M, Barak J D,2012.** Requirement of Siderophore Biosynthesis for Plant Colonization by *Salmonella enterica*. Applied and enviremntal Biotechnology 78(13): 4561–4570.
- **Hopkine W., 2003.** Physiologie végétale. 1ère Ed. Deboeck. Larcier. S.A. Bruxelles.
- **Ibraheem, Y. M., I. Pinker., M. Böhme.,2012.** The effect of sodium chloride-stress on 'Zaghloul ' date palm somatic embryogenesis. Acta Hort. 961:367–373.
- **Jaiti F., Kassami M., Meddich A., El hedrami I., 2008.** Effect of Arbuscular Mycorrhization on the Accumulation of Hydroxycinnamic Acid Derivatives in Date Palm Seedlings challenged with *Fusarium oxysporum f.sp albedinis*. Journal of phytopathology. 1439-0434.
- **Jeunot B., 2005.** Les fusariotoxines sur cérélaes : détection, risque et nouvelle réglementation. Agriculture science. 125.

- **Kettout A., Azouaoui T., Rahmania F., 2006.** Effet des extraits de feuilles de palmier dattier sur la production de phytotoxines et sur la croissance de *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis* agent causal du bayoud. Revue des régions arides, pp : 1136- 1137.
- **Khene B., Senoussi A., Nouacer Y., Cheham A., 2015.** Analyse du dispositif de lutte contre la tracheomycose du palmier dattier causée par *fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis* dans la région de Ghardaïa (Algérie). Revue des Bioressources Vol 5 (1) : 1-9.
- **Kobayashi DY., Palumbo JD., 2000.** Bacterial endophytes and their effects on plants and uses in agriculture. In: Bacon CW, White JF (eds) Microbial endophytes. Dekker, New York, pp 199–236
- **Krimi Z., Alimi Dj., Djellout H., Tafifet L., Mojamed Mahmoud F., Raio A., 2016.** Bacterial endophytes of weeds are effective biocontrol agents of *Agrobacterium* spp., *Pectobacterium* spp., and promote growth of tomato plants. Doi: 10.14601.13.
- **Lamari L., Bouras N., Boudjella H., Ould El Hadj Khelil A., Ouled El hadj Mohamed D., Sabaou N, 2014.** Influence de quelques souches bactériennes d'origine saharienne sur l'expression de la fusariose du lin et du palmier dattier. Algerian Journal of arid environment. 4 (2) 19- 30.
- **Lee J. M., Tan W. S. et Ting A. S. Y., 2004.** Revealing the antimicrobial and enzymatic potentials of culturable fungal endophytes from tropical pitcher plants (*Nepenthes* spp.). *Mycosphere*, 5 (2): 364-377.
- **Lenteren Van J.C., Bale J., Biglet F., Hokkanen H.M.T., Loomans A.J.M., 2006.** Assessing risks of releasing exotic biological control agents of Arthropod pests. Annual review of Entomology. Vol.51:609-634.
- **Lepoivre P., Busogoro JP., Etame JJ., El Hadrami A., Carlier J., Harelimana G., Mourichon X., Panis B., Riveros AS., Salle G., Strosse H., Swennen R., 2003.** Banana-*Mycosphaerella fijiensis*- interactions. In: Jacome et al.: *Mycosphaerella* leaf spot diseases of bananas: present status and outlook. Proceedings of the 2nd International workshop on *Mycosphaerella* leaf spot diseases, San José, Costa Rica. 151-159.
- **Liarzi O., Ezra D., 2014.** Endophyte-Mediated Biocontrol of Herbaceous and Nonherbaceous Plants. *Advances in Endophytic Research.*, 18:335-356.
- **Luna Juliana M., Raquel D., Rufino Leonie A., Sarubbo G., Campos M., 2013.** Characterisation, Surface Properties and Biological Activity of a Biosurfactant Produced from Industrial Waste by *Candida Sphaerica* UCP0995 for Application in the Petroleum Industry. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 102: 202–209.
- **Mahra B., 2013.** Botanique du palmier dattier- le palmier dattier patrimoine à ksar.
- **Marahiel M., 2007.** Siderophore-based iron acquisition and pathogen control. *Microbiol Mol Biol* 71(3):413–451.
- **Martin F., Duplessis S., Ditengou F., Lagrange H., Voiblet C., Lapeyrie F., 2013.** Developmental cross talking in the ectomycorrhizal symbiosis: signals and communication genes. *New Phytol* 151:145–154
- **Matallah, M., 2004.** Contribution à l'étude de la conservation des dattes de la variété Deglet-Nour. Isotherme d'adsorption et de désorption. Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Agronomie. Spécialité Technologie Alimentaire à l'I.N.A. Alger.

- **Mezaache – Aichour S., Guechi A., Nicklin J., Drider D., Prevost H, Strange R.N., 2012.** Isolation, identification and antimicrobial activity of Pseudomonads isolated from the rhizosphere of potatoes growing in Algeria. *Journal of Plant Pathology*. Vol.94. No.1. PP.89-98.
- **Mohamed Mahmoud F.,2017.** Activités biologiques de champignons endophytes isolés du palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*). Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach.
- **Munns, R. 2009.** Strategies for Crop improvement in Saline Soils. Chapter 11. In M. Ashraf, M. Ozturk, H.R. Athar (ed.), *Salinity and water stress, improving crop efficiency*, Springer Science. Business Media B.V.
- **Nawar LS., 2016.** Phytochemical and SDS-dissociated proteins of pathogenic and nonpathogenic *Fusarium oxysporum* isolates. *Int J Chem Tech Res* 9(6):165–172.
- **Nicholas C., Darnton., Linda Turner., Svetlana Rojevsky., Howard C., 2010.** Dynamics of Bacterial Swarming. *Biophysical Journal* Volume 98. 2082–2090.
- **Nucci M., Anaissie M., 2007.** *Fusarium* Infections in Immunocompromised Patients. *Clinical Microbiology reviews*. DOI: 10.1128/CMR.00014-07.
- **Ouamane A., Bensalah MK., Djazouli Z.,2008.** Approche au monitoring de la pyrale des dattes *Ectomyelois Ceratona zeller* par le recours aux moyens biologiques. *Agrobiologia*. 7(1) : 312-320. ISSN : 2507-7627.
- **Philippe J., Derval J., Krier F., 2013.** Les biopesticides, compléments et alternatives aux produits phytosanitaires chimiques. *Biotechnol .Argon*, 220-232.
- **Planetoscope - statistiques 2012.** Production mondiale de dattes. <https://www.planetoscope.com/fruits-legumes/1381-production-mondiale-de-dattes.html> .
- **Potshangbam M., Devi S. I., Sahoo D. et Strobel G. A., 2017.** Functional Characterization of Endophytic Fungal Community Associated with *Oryza sativa L.* and *Zea mays L.* *Front. Microbiol.*, 8:325.
- **Rahmania F. 2000.** Contribution à la connaissance des relations hyto-cytophysique entre le palmier dattier, *Phoenix dactylifera L.* et l'agent causal du Bayoud, *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis* . Thèse doctorat d'état, USTHB, Alger, pp : 156.
- **Ramírez-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, université de Toulouse.
- **Relais Sciences,2012-** Le Palmier dattier, Relais sciences.org PP 1-3
- **Robinston M.L., Brown B., Williams C.F.,2012.** The date palm in rge southern Nevada. University of Nevada Cooperative Extension. pp : 1-10.
- **Sandhya, V., Ali S., Grover M., Reddy G., Venkateswarlu B., 2009.** Alleviation of drought stress effects in sunflower seedlings by the exopolysaccharides producing *Pseudomonas putida* strain GAP-P45. *Biol. Fertil. Soils*. 46: 17-26.

- **Saravanakumar D., Vijayakumar C., Kumar N., Samiyappan R., 2007.** PGPR-induced defense responses in the tea plant against blister blight disease. *Crop Protect.* 26(4):556-565.
- **Schulz B., Boyle C., 2006.** The endophytic continuum. *Mycological Research* ; 109: 661- 686.
- **Sedra M.H., 2015.** Date Palm Status and Perspective in Morocco. In: Al-Khayri JM, Jain SM, Johnson DV, Eds. *Date palm genetic resources and utilization.* Dordrecht: Springer; pp 257– 323.
- **Sedra M.H., 2013.** The bayoud (vascular wilt) of date palm in North Africa: situation, research achievements and applications. *First IS on Date Palm. Acta Horticultura. ISHS, 994: 59-75.*
- **Sedra MH. 2006.** La maladie du Bayoud du palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*): apparition, extension, dégâts, conditions de développement, méthodes de diagnostic et de lutte, acquis, perspectives et recommandations pratiques. *Broch. de vulgaris., Edit. OADA, Khartoum, Soudan.*
- **Sedra MH. 2005.** Caractérisation des clones sélectionnés du palmier dattier pour combattre la maladie du Bayoud. Erfoud-Maroc: Actes du symposium international sur : le développement durable des systèmes oasiens. 08 au 10 mars 2005, pp. 72–79.
- **Sedra M.H.,2003.** Le Bayoud du palmier dattier en Afrique du Nord.
- **Sedra H., Zhar N., 2010.** Genetic variability analysis of populations of *Fusarium* causal agent of bayoud disease of date palm and other molecular techniques. DOI: 10.17660.
- **Seifert K., 2011.** *Fusarium* and anamorph generic concepts. pp. 15 – 28.eds. APS Press. St. Paul, Minnesota.
- **Sekhiri F., Guerroum N., Makhloufi Z., 2006.** Contribution à l'étude de la lutte biologique des champignons phytopathogènes par l'utilisation de *Trichoderma* sp. DES. Université de Msila.
- **Sekkal I., Labгаа Y., 2016.** Contribution à l'étude *in vitro* et *in situ* de l'action antagoniste de *Pseudomonas* spp. fluorescents sur *Verticillium dahliae* *Kleb.*, agent de la verticilliose de l'olivier (*Olea europea L.*) Mémoire de fin d'études. Magister en Agronomie. Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem.
- **Sessitsch A., Kuffner M., Kidd P., Vangronsveld J., Wenzel W., Fallmann K.,2013.** The role of plant-associated bacteria in the mobilization and phytoextraction of trace elements in contaminated soils. *Soil Biol. Biochem.* 60, 182–194. doi: 10.1016/j.soilbio.2013.01.012.
- **Sharma A., Johri B.N., 2003.** Growth promoting influence of siderophore-producing *Pseudomonas* strains GRP3A and PRS9 in maize (*Zea mays L.*) under iron limiting conditions. *Microbiological Research*, v.158, p.243-248.
- **SIDABtech 2017.** 3<sup>ème</sup> salon international de la datte de Biskra: la transformation de la datte en point de mire <https://www.dzentreprise.net/sidabtech-2017-transformation-de-datte-point-de-mire>.
- **Sidaoui A., Karkachi N., Bertella A., El Goumi Y., Haouhach S., Oguiba B., Boudeffeur S., Chhiba M., Kihal M.,2018.** Pathogenicity and biological control of Bayoud disease by *Trichoderma longibrachiatum* and *Artemisia herba-alba* essential oil. *Journal of applied Pharmaceutical science* Vol .8 (04), pp 161-167. DOI: 10.7324/JAPS.2018.8423. ISSN 2231-3354.

- **Sidaoui A., Karkachi N., Bertella A., Terbeche Ryme., El Goumi Y., Chhiba M., Kihal M. 2015.** Correlation between hydrolytic enzymes activity, Geographical origin and pathogenicity of some isolates of *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis*. Pharmacy and pharmacology research. ISSN: 2641-2020.
- **Singh PK, Parsek MR, Greenberg ET, Welsh MJ. 2002.** A component of innate immunity prevents bacterial biofilm development. *Nature*, 417, pp 552-555.
- **Souna F., Himri I., Benabbas R., Fethi F., Chaib C., Bouakka M., Hakkou A. 2012.** Evaluation of *Trichoderma harzianum* as a biocontrol agent against vascular fusariosis of date palm ( *Phoenix dactylifera* L.). *Australian journal of Basic and applied sciences*. Vol.6.No.5. pp.105-114.
- **Suarez-Estrella F., Vargas-Garcia C., Lopez M.J., Capel C., Moreno J., 2007.** Antagonistic activity of bacteria and fungi from horticultural compost against *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*. *Crop. Prot.* 26 (1): 46–53.
  
- **Taffet L., Raio A., Maria C. H., Dikhai R., Ould ouskoussa C., Cesbron S., Krimi Z., 2020.** Molecular characterization of Algerian *Erwinia amylovora* strains by VNTR analysis and biocontrol efficacy of *Bacillus* spp. and *Pseudomonas brassicacearum* antagonists. *Eur J Plant Pathol.* 156:867–883.
- **Thakore y., 2006.** The biopesticide market for global agricultural use. *Industrial biotechnology*. Vol.2, No.3.
- **Thrane U., 2001.** Developments in the taxonomy of *Fusarium* species based on secondary metabolites. pp. 29-49. In: *Fusarium*. Summerell BA et al., eds. APS Press. St. Paul.
- **Trichine H S., 2010.** Etude ethnobotanique, activité antioxydants et analyse photochimique de quelques cultivars de palmier dattier (*phoenixdactylifera* L.) du sud-Est Algérien. Mémoire du diplôme de Magister en Biologie. Université d'ORAN- Es Senia. 106.
- **Tolker-Nielsen T, Molin S. 2000.** Spatial organization of microbial biofilm communities. *Microbiological Ecology*,40, pp 75-84.
  
- **Vincent C., Panneton B., Fleurad- Lessard F.,2000.** Place de la lutte physique en phytoprotection.
  
- **Weeden C.R., Shelton A.M., Hoffman M.P., 2007.** *Biological Control: A Guide to Natural Enemies in North America*.
- **Wang C.J., 2012.** Induction of drought tolerance in cucumber plants by consortium of three plant growth promoting rhizobacterium strains. *PLoS One* 7(12).
- **Wang S.L., HSIO W.T.,2013.** Purification and characterization of an antimicrobial chitinase extracellularly produced by *Monascus purpureus* CCR31499 in a shrimp and crab shell powder medium. *J.Agric.Food.Chem.*, 50, pp.2249-2255.
  
- **Yatta D., Abed F., Amora B., Yakhou M. S. et Bouguedoura N., 2013.** Protoplast isolation from cell suspension of two Algerian cultivars of date palm ('Takerbucht' and 'Tegaza'). *Proceedings of the first international symposium on date palm. Acta Hort.*, 994: 323-329.

- **Zaid A., WET F., 2002.** Origin, geographical distribution and nutritional values of date palm. In : Date palm cultivation. Ed. FAO. Rev, 1:156.
- **Zegaye F., Khalid A., Hasnaoui A., Caid Serghini H., El Amrani H., 2012.** Ectomycorrhization of date palm. Mater. Environ. Sci. 2 (4) (2011) 345-350 .ISSN : 2528-2028.
- Zhang H. W., Song Y. C., Tan **R. X 2006.** Biology and chemistry of endophytes. Natural Product Reports; 23: 753-771.

# Annexes

## Composition des milieux de culture

### I. Milieu LPGA

|                          |             |
|--------------------------|-------------|
| <b>Extrait de levure</b> | <b>5g/L</b> |
| <b>Bactopeptone</b>      | 5g/L        |
| <b>Glucose</b>           | 10g/L       |
| <b>Agar</b>              | 20g/L       |
| <b>PH</b>                | 7-7,2       |

### II. Milieu King B

|                 |              |
|-----------------|--------------|
| <b>Peptone</b>  | <b>20g/L</b> |
| <b>Glycerol</b> | 15ml/L       |
| <b>K2HP04</b>   | 1,5g/L       |
| <b>MgSO4</b>    | 1,5g/L       |
| <b>Agar</b>     | 20g/L        |
| <b>PH</b>       | 7            |

### III. Milieu PDA

|                       |             |
|-----------------------|-------------|
| <b>Pomme de terre</b> | <b>200g</b> |
| <b>D-Glucose</b>      | 20g/L       |
| <b>Agar</b>           | 20g/L       |
| <b>Eau distillée</b>  | 1L          |
| <b>PH</b>             | 6,5         |

Après préparation et vérification du pH, tous les milieux de culture sont autoclavés pendant 20 minutes à 120°C