

INFLUENCE DE QUELQUES SOUCHES BACTERIENNES D'ORIGINE SAHARIENNE SUR L'EXPRESSION DE LA FUSARIOSE DU LIN ET DU PALMIER DATTIER

LAMARI Lynda¹, BOURAS Nouredine¹, BOUDJELLA Hadjira¹, OULD EL HADJ-KHELIL Aminata², OULD EL HADJ Mohamed Didi² et SABAOU Nasseridine^{1*}

⁽¹⁾Laboratoire de Biologie des Systèmes Microbiens (LBSM),

Ecole Normale Supérieure de Kouba, Alger, Algérie

⁽²⁾Laboratoire de protection des écosystèmes en zones arides et semi-arides,

Université de Ouargla, 30000 Ouargla, Algérie. E-mail: sabaou@yahoo.fr

Résumé.- L'aptitude à limiter la fusariose du palmier dattier et du lin (pris comme modèle d'étude) par des souches bactériennes a été entreprise. Ces souches proviennent des racines de deux cultivars de palmier dattier, l'un sensible (Aghamu sain ou malade) et l'autre résistant (Takerbucht) à la fusariose. Nous avons constaté que la protection du lin ou du palmier dattier contre la maladie est liée beaucoup plus à la capacité de colonisation des racines qu'à un phénomène d'antibiose. De même, ce sont surtout les souches dominantes dans l'endorhizosphère du cultivar résistant Takerbucht qui se sont montrées les plus performantes. Ces résultats nous orientent sur les stratégies à entreprendre à l'avenir pour sélectionner les meilleures souches protectrices des plantes contre divers agents phytopathogènes.

Mots clés: Bactéries, *Fusarium oxysporum*, Palmier dattier, Lin, Fusariose.

Influence of some bacterial STRAINS OF SAHARAN originE on the expression of *Fusarium* WILT OF flax and date palm

Abstract.- The ability to limit the *Fusarium* wilt in date palm and flax (taken as a model) by bacterial strains was undertaken. These strains were isolated from the roots of two date palm cultivars, one sensitive (Aghamu healthy or sick) and other resistant (Takerbucht) to *Fusarium* wilt. We found that the protection of flax or date palm against the disease is much more related to the ability to colonize roots than the phenomenon of antibiosis. Similarly, it is mostly the dominant strains in the endorhizosphere of the resistant cultivar Takerbucht that have been most effective. These results guide us on the strategies to be undertaken in the future to select the best strains to protect plants against various pathogens.

Key words: Bacteria, *Fusarium oxysporum*, Date palm, Flax, Fusariosis.

Introduction

Les fusarioses des plantes cultivées demeurent des maladies difficiles à combattre. Les études effectuées jusqu'à présent sur la fusariose vasculaire du palmier dattier (Bayoud) n'ont pas abouti à un traitement efficace contre cette grave maladie. Néanmoins, les cultivars résistants constituent des moyens de lutte efficaces contre certaines formes spéciales de *Fusarium oxysporum* [1,2]. Les *Fusarium oxysporum* sont des champignons pathogènes qui mènent, tout comme les saprophytes, une vie active dans le sol avant de pénétrer à l'intérieur de la plante hôte par les racines. La gravité des maladies qu'ils occasionnent est fonction d'interactions qui s'exercent non seulement au niveau de la rhizosphère mais aussi dans le sol [2]. Le parasite *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*,

aurait dans le sol le même statut écologique qu'un saprophyte. Il est donc soumis, comme les autres germes telluriques, à un ensemble d'interactions microbiennes qui déterminent sa prolifération ou, au contraire, sa raréfaction [3]. De ce fait, pour entreprendre une lutte biologique contre les maladies des plantes, le choix des microorganismes antagonistes de l'agent pathogène est un critère très important. Les antagonistes doivent être efficaces *in situ* en présentant une aptitude importante à la compétition ou encore à l'antibiose [4]. Ils doivent en outre persister dans les sols et être capables de coloniser rapidement les racines des plantes [3,5].

Dans ce contexte, et dans le cadre de la lutte contre la fusariose du palmier dattier, nous avons testé l'aptitude de quelques souches bactériennes à limiter la fusariose du lin, pris comme modèle d'étude. Par la suite, deux souches, les plus performantes contre la fusariose du lin, ont été sélectionnées pour réaliser des essais sur les plantules de palmier dattier.

1.- Matériel et méthodes

1.1.- Isolement des souches bactériennes

Les souches bactériennes à tester pour leur aptitude à réduire la fusariose du lin, pris comme modèle d'étude, proviennent des sols rhizosphériques et de l'intérieur des racines jeunes ou des pneumatodes des cultivars résistant (Takerbucht) ou sensible (Aghamu sain ou malade). Elles sont isolées à partir des sols par la méthode des suspensions-dilutions [6] sur gélose nutritive additionnée d'un composé antifongique, l'actidione (50 mg/l). A partir des pneumatodes et de l'intérieur des racines jeunes, les souches sont isolées selon la méthode décrite par LAMARI et SABAOU (1993) [7].

1.2.- Les souches de *Fusarium*

Les souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (F.o.a. 66b) et *Fusarium oxysporum* f. sp. *lini* (F.o.ln 3-5) proviennent respectivement de la collection de notre laboratoire et de celle de l'INRA de Dijon. Elles sont résistantes au bénomyl ($C_{14}H_{18}N_4O_3$) et sont agressives vis-à-vis du palmier dattier et du lin, respectivement. Elles sont conservées sur milieu PDA à 4°C.

1.3.- Le sol

L'aptitude des souches bactériennes à limiter la fusariose du lin et du palmier dattier a été évaluée en utilisant un échantillon de sol prélevé durant le mois de mai dans une parcelle de la palmeraie de Bouda (Adrar), où plusieurs plants de palmier dattier sont atteints par la fusariose. Le sol est bien séché, puis réparti en lots de 500 g avant d'être inoculé par la souche bactérienne puis par l'agent pathogène.

Le sol présente les caractéristiques pédologiques suivantes. Sa texture est homogène et sableuse (plus de 70% de sable). La conductivité électrique à 20% est de 1,02 ms. cm^{-1} (donc sol non salé) et le calcaire total est de 5,68%. Son pH est légèrement basique (8,6) et sa teneur en matière organique est de 4,22%. Le nombre de microorganismes par gramme de sol sec est le suivant: $6,3 \times 10^6$ pour les bactéries, $5,1 \times 10^5$ pour les actinomycètes et $1,7 \times 10^3$ pour les champignons.

1.4.- Les graines de lin et les plantules de palmier dattier

1.4.1.- Le lin

Une variété de lin très sensible à la fusariose (variété "Héra") a été utilisée. Les graines proviennent de l'INRA de Dijon (France).

1.4.2.- Les plantules de palmier dattier

Les plantules utilisées proviennent de la germination des graines issues d'un même régime (femelle de Deglet Nour × mâle indéterminé) récoltées dans une palmeraie de la localité de Touggourt situé dans la région de Ouargla (Algérie).

Les graines sont mises dans de l'eau chaude (80°C, 15 min), puis grattées pour éliminer les fibres superficielles. Elles sont désinfectées (20 min) dans une solution d'hypochlorite de sodium, rincées à l'eau stérile puis mises à germer à l'obscurité dans de la vermiculite stérilisée et humidifiée, contenue dans des bacs. Ceux-ci sont incubés à 35-38°C dans un endroit sec.

Après 15 à 20 jours, les graines sont transférées dans d'autres bacs contenant de la vermiculite puis sont placées à la lumière et arrosées quotidiennement.

1.5.- Antagonisme *in vitro*

L'activité antibiotique des bactéries contre les champignons *F. o. albedinis*, *F. o. lini* a été mise en évidence par la méthode des stries croisées [8] sur gélose nutritive.

1.6.- Préparation des inocula bactériens et fongiques

Des colonies bactériennes croissant sur gélose nutritive ou King B et âgées de 48 h, sont recueillies et mises en suspension dans de l'eau distillée stérile. Les cellules subissent trois lavages successifs par centrifugation avant d'être recueillies dans de l'eau stérile.

Les spores de *F. o. lini* et de *F. o. albedinis* proviennent de cultures âgées de 10 jours et poussant sur extrait de malt gélosé (10% w/v). Elles sont récupérées par filtration pour éliminer les fragments mycéliens. La suspension obtenue est constituée surtout de microconidies (90%).

La concentration des suspensions bactériennes (2×10^5 cellules/ml) et fongiques (2×10^5 propagules/ml) a été ajustée à l'aide de l'hématimètre de Malassez.

1.7.- Expérimentation sur le lin

La technique utilisée [9] consiste tout d'abord à introduire les germes antagonistes un certain temps avant l'agent pathogène, de manière à leur permettre de coloniser les microhabitats et à bien s'établir dans le sol. Le champignon est ensuite inoculé et les graines de lin sont alors semées. La croissance des plantules et le nombre de plants malades sont notés chaque semaine.

Chaque lot de sol sec (lot de 500 g) est inoculé avec une suspension bactérienne de 10^8 germes par gramme de sol sec (gss), puis mis à une température ambiante pendant huit jours.

Le *F. o. lini* est par la suite inoculé dans le sol à raison de 2×10^5 propagules/gss. L'humidité est ajustée à 15%. La terre, bien homogénéisée, est répartie dans 5 pots (110 g/pot). Les graines de lin sont semées le même jour de l'inoculation du *F. o. lini*. Les pots sont placés à l'abri de la lumière pendant trois jours à 15°C (pour favoriser la germination). Douze plantules par pot sont obtenues, soit au total, 60 plantules par essai.

Un témoin, avec *F. o. lini* mais sans agents antagonistes, est réalisé. Les conditions de cultures sont les suivantes: éclairage de 10 000 lux (16 h sur 24 h), température de 25°C pendant 12 h et 20°C pendant les 12 autres heures, arrosage quotidien des plantules avec de l'eau distillée.

Les symptômes de la maladie (jaunissement et flétrissement progressif des feuilles sur un côté puis sur l'autre), apparaissent après 20 jours [5,10]. Chaque semaine le nombre de plants malades est noté. Les tiges des plantules flétries sont nettoyées superficiellement à l'alcool, rincées à l'eau stérile, découpées en fragments de 1 cm puis placées sur milieu malt gélosé (10 g/l de malt et 15 g/l d'agar) additionné de streptomycine et de benomyl (5 mg/l). Le développement du *F.o.lini* permet de confirmer la maladie.

1.8.- Expérimentation sur le palmier dattier

La conduite des essais est la même que pour le lin. Cependant, en raison des difficultés à obtenir des plantules de palmier dattier et la durée très longue de l'expérimentation, deux souches bactériennes seulement sont testées: la souche n° 1 de *Bacillus firmus* et la souche n° X7 de *Pseudomonas fluorescens*.

Le sol, bien séché, est réparti en lots de 1 Kg. Chaque souche bactérienne est ensemencée (2×10^8 germes/gss) huit jours avant le *F. o. albedinis* ($1,2 \times 10^6$ spores/gss). La dose de cet inoculum est supérieure à celle utilisée pour le lin car l'expérience dure plus longtemps et la densité de l'agent pathogène diminue sensiblement avant même l'expression de la maladie [10].

Pour chaque essai, 54 plantules de palmier dattier âgées de trois mois (stade 2 feuilles) sont utilisées à raison de 9 par pot de 1 kg et 6 répétitions. Un témoin, sans souche bactérienne mais avec *F. o. albedinis*, est réalisé dans les mêmes conditions.

Un jaunissement unilatéral des feuilles avec brunissement des vaisseaux sont les symptômes de la fusariose. La maladie des plantules est confirmée de la même manière que pour le lin.

2.- Résultats

2.1.- Sélection des souches bactériennes

Au total, 14 souches de bactéries sont sélectionnées dans cette étude. Cinq d'entre elles appartiennent au genre *Bacillus*, une au genre *Brevibacillus*, trois au genre

Pseudomonas (fluorescents), trois au genre *Burkholderia*, et deux à des bactéries corynéformes. Les résultats sont illustrés par le Tableau I.

Tableau I.- Les espèces bactériennes testées contre la fusariose du lin et du palmier dattier : croissance, origine, dominance et activités antifongiques

Souche n°	Genre et espèce	Croissance sur GN	Isolement	Présence dans:	Action contre <i>F. o. albedinis</i>	Action contre <i>F. o. lini</i>
1	<i>Bacillus firmus</i>	+++	TK (ER)	TK (ER) (+++)	–	–
16	<i>B. megaterium</i>	+++	TK (ER)	TK (ER), TK (RJ) et AS (++)	–	–
200	<i>B. circulans</i>	+	AM (ER)	AM (ER), AM (Pn), AM (RJ) (++)	–	–
11	<i>B. subtilis</i>	++	TK (RJ)	T, TK (RJ) et AS (RJ) (±)	+++	+++
34	<i>B. cereus</i>	+++	TK (RJ)	T et TK (RJ) (±)	–	–
215	<i>Brevibacillus brevis</i>	+	AM (Pn)	T et TK (RJ) (±)	–	–
71	<i>Burkholderia caryophylli</i>	+++	AS (RJ)	AS (RJ), AM (RJ) (++)	–	–
80	<i>Bu. gladioli</i>	+++	TK (Pn)	T, AM (Pn), AS (Pn) (++)	–	–
39	<i>Bu. cepacia</i>	+++	TK (RJ)	TK (RJ) (++)	–	–
X7	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	+++	TK (ER)	TK (RJ), TK (Pn) (±)	++	++
47	<i>P. fluorescens</i>	+++	TK (Pn)	ER (AS, AM) et Pn (AS, AM, TK) (++)	–	–
41	<i>P. fluorescens</i>	+++	TK (Pn)	TK (Pn) (++)	–	–
305	Bactérie à Gram + corynéforme	+++	TK (RJ) Sol témoin	TK (RJ) (++) T (+)	–	–
23	<i>Arthrobacter</i> sp.	+	TK (RJ)	TK (RJ) (++)	–	–

Note: B.: *Bacillus*; Br.: *Brevibacillus*; Bu.: *Burkholderia*; P.: *Pseudomonas*; TK: Takerbucht; AS: Aghamu sain; AM: Aghamu malade; T.: sol non rhizosphérique; RJ: sol rhizosphérique (racines jeunes); ER: endorhizosphère; Pn: pneumatodes; GN: gélose nutritive.

Croissance sur milieu GN: +++, très bonne; +, faible.

Présence: +++, représente plus de 60% du total de la microflore; ++, entre 20 et 60% du total; +, entre 5 et 20% du total; +/-, entre 2 et 5% du total. La dominance des espèces a été appréciée en observant des colonies identiques entre elles (pour chaque espèce) croissant sur milieu GN.

Activité contre *F. o. albedinis* et *F. o. lini*: +++, très forte action; ++, action moyenne; –, pas d'action.

Les souches ont été choisies surtout selon leur dominance au niveau des racines des cultivars Takerbucht (TK), Aghamu sain (AS) ou Aghamu malade (AM). Cependant, certaines ont été sélectionnées uniquement grâce à leur forte action antifongique (ex. *B. subtilis*) ou encore parce qu'elles appartiennent à des genres ou des groupes souvent utilisés dans la lutte biologique (ex. *Arthrobacter*, bactérie corynéforme).

2.2.- Antagonisme *in vitro*

Le nombre de bactéries présentant une action antifongique (stries croisées) contre *F. o. albedinis* et *F. o. lini* est relativement faible. En effet, parmi les 14 souches bactériennes testées, seules celles appartenant aux espèces *Bacillus subtilis* n° 11 et *Pseudomonas fluorescens* X7 présentent une forte activité. Les isolats ressemblant à ces deux souches

sont retrouvés en très faible quantité au niveau du sol non rhizosphérique et au niveau de la rhizosphère des cultivars Aghamu et Takerbucht pour la première espèce et dans l'endorhizosphère et les pneumatodes de Takerbucht pour la seconde espèce (tab. I).

2.3.- Influence des bactéries sur l'expression de la fusariose du lin

Dans ce cas, dans un but comparatif, les souches bactériennes utilisées appartiennent aussi bien à des espèces dominantes dans les racines qu'à des espèces peu fréquentes ou même rares et pouvant présenter ou non une activité antibiotique contre *F. o. lini*.

Parmi les six souches de l'ordre des *Bacillales* testées, deux d'entre elles, *Bacillus firmus* (n° 1) et *B. megaterium* (n° 16), se sont montrées très efficaces. Elles font baisser le taux de plants malades de 67% par rapport au témoin. Par contre les souches n° 11 de *B. subtilis*, n° 34 de *B. cereus* et n° 215 de *Brevibacillus brevis* réduisent faiblement la maladie, de 22, 20 et de 18% respectivement.

La souche n° 200 de *B. circulans* s'est montrée non seulement inefficace mais a tendance à aggraver la maladie de 13,3% par rapport au témoin (fig. 1 et 5).

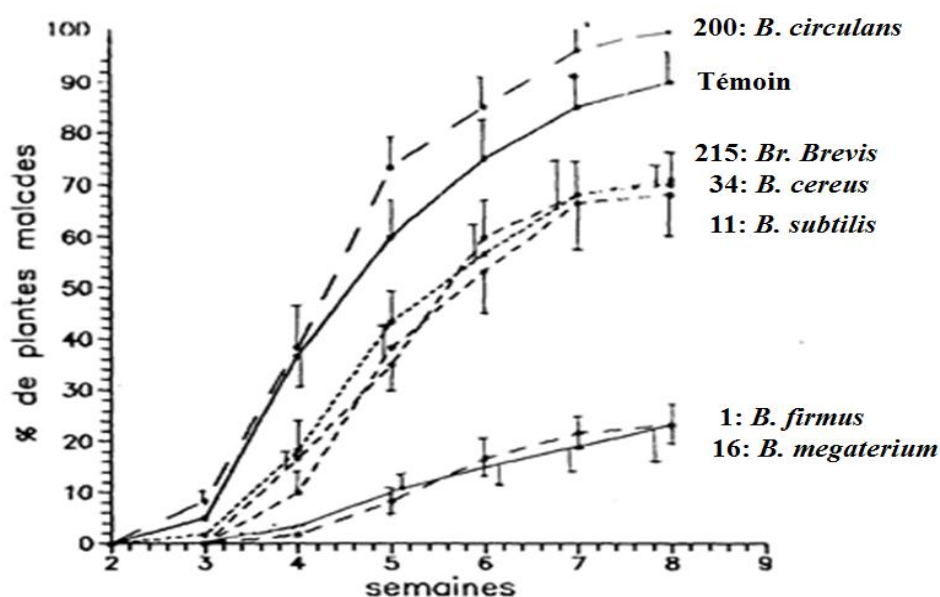


Figure 1.- Influence de cinq souches de *Bacillus* (B.) et d'une souche de *Brevibacillus* (Br.) sur l'évolution de la mortalité du lin.
Nombre de répétitions: 5×12 plantes).

Les souches de *Pseudomonas* et de *Brevibacillus* se sont montrées beaucoup moins intéressantes que celles de *Bacillus*. La meilleure d'entre elles est X7 (*P. fluorescens*). Elle fait baisser le taux de maladie de 42% par rapport au témoin.

La souche n° 80 de *Bu. gladioli* est peu efficace (27% de moins que le témoin). L'aptitude à protéger le lin est pratiquement nulle avec les autres souches, telles que *P. fluorescens* n° 47, *P. fluorescens* n° 41, *Bu. cepacia* n° 39 et *Bu. Caryophylli* n° 71. Cette

dernière espèce a même tendance à aggraver la maladie: 8% de plants malades de plus par rapport au témoin (fig. 2, 3 et 5)

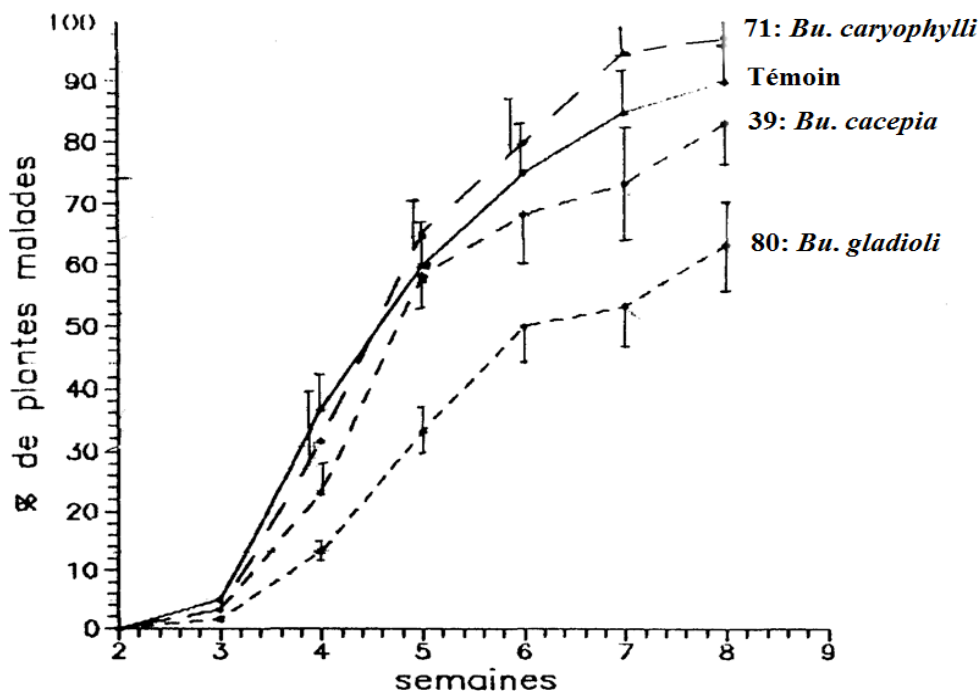


Figure 2.- Influence de trois souches de *Burkholderia* (*Bu.* sur l'évolution de la mortalité du lin. Nombre de répétitions: 5×12 plantes).

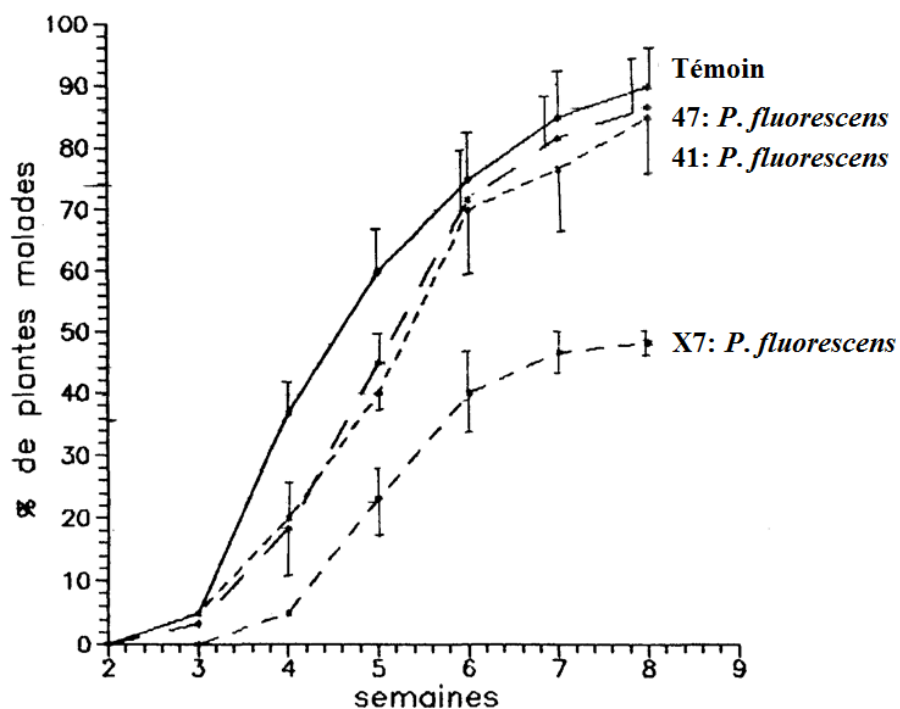


Figure 3.- Influence de trois souches de *Pseudomonas* fluorescents sur l'évolution de la mortalité du lin. Nombre de répétitions: 5×12 plantes.

Parmi les bactéries corynéformes, la souche n° 305 s'est révélée être la plus efficace de toutes les souches bactériennes étudiées. Elle fait baisser le taux de maladie de

77% par rapport au témoin. Des résultats négatifs sont obtenus avec la souche d'*Arthrobacter* sp. n° 23 qui s'est montrée totalement inapte à protéger le lin (fig. 4, 5).

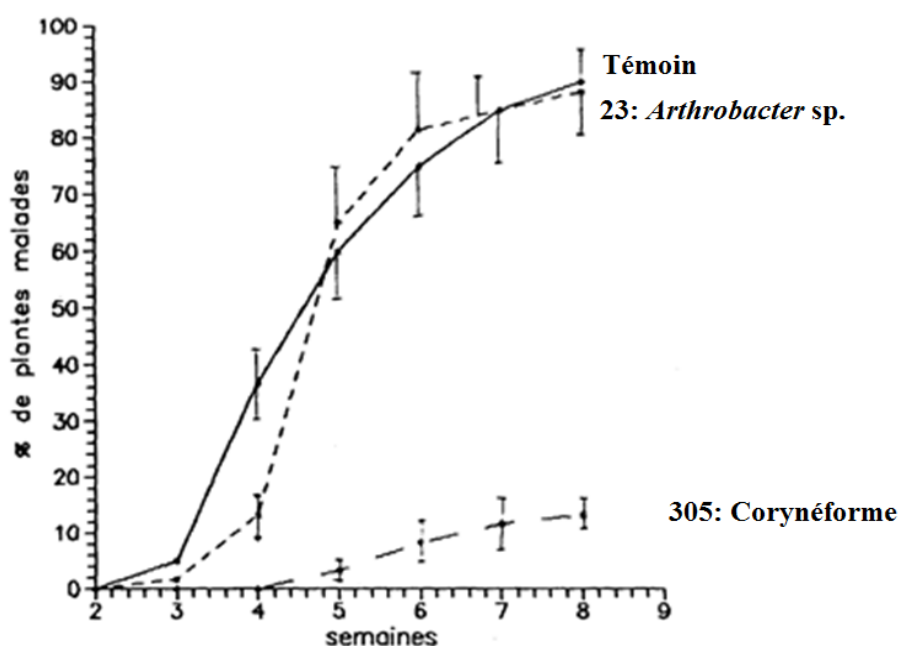


Figure 4.- Influence d'une souche d'*Arthrobacter* et d'une souche bactérienne corynéforme sur l'évolution de la mortalité du lin.
Nombre de répétitions: 5×12 plantes.

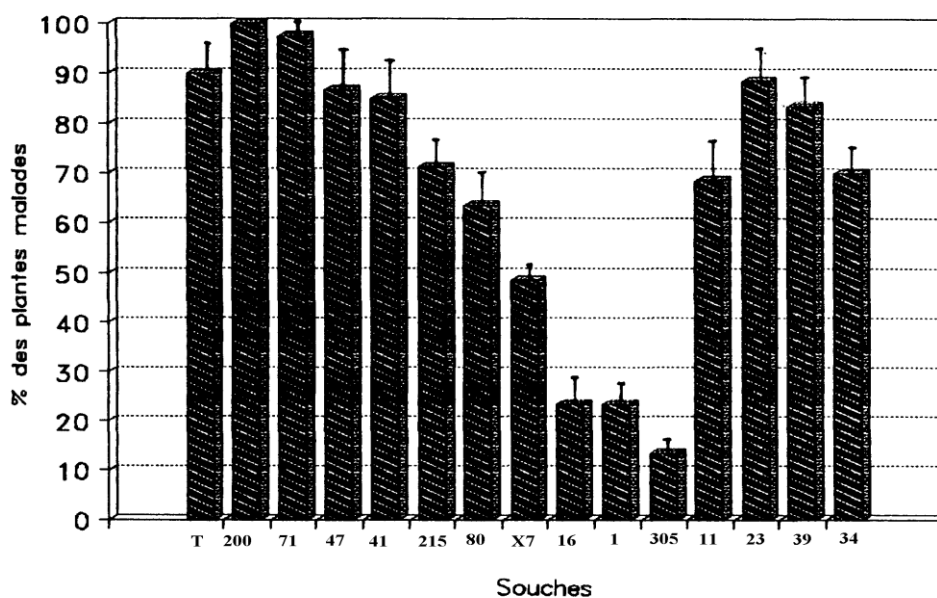


Figure 5.- Aptitude des 14 souches bactériennes à limiter la fusariose du lin.
(T): témoin avec *F. o. l.* et sans bactéries.
Bacillus: *B. circulans* (200), *B. cereus* (34), *B. subtilis* (11), *B. megaterium* (16) et *B. firmus* (1).
Brevibacillus: *Br. brevis* (215).
Burkholderia: *Bu. caryophylli* (71), *Bu. cepacia* (39) et *Bu. gladioli* (80).
Pseudomonas fluorescents: *P. fluorescens* (X7, 47 et 41).
Corynéformes: *Arthrobacter* sp. (23) et bactérie corynéforme (305).

2.4. - Influence des bactéries sur l'expression de la fusariose du palmier dattier

L'expérience sur le palmier dattier a été réalisée avec deux souches de bactéries ayant donné de bons résultats sur le lin: *Bacillus firmus* n° 1 et *Pseudomonas fluorescens* n° X7. La première est dominante dans la rhizosphère de Takerbucht et a donné de très bons résultats sur le lin, bien qu'elle n'inhibe pas les deux agents pathogènes. La seconde est rarement retrouvée au niveau de la rhizosphère, mais a donné des résultats appréciables sur le lin, tout en étant active contre les deux agents pathogènes.

La souche de *B. firmus* n° 1 s'est avérée plus efficace que celle de *P. fluorescens* X7. Les pourcentages de plants malades sont de 3,7% pour la première et 16,7% pour la seconde contre 31,7% pour le témoin (fig. 6).

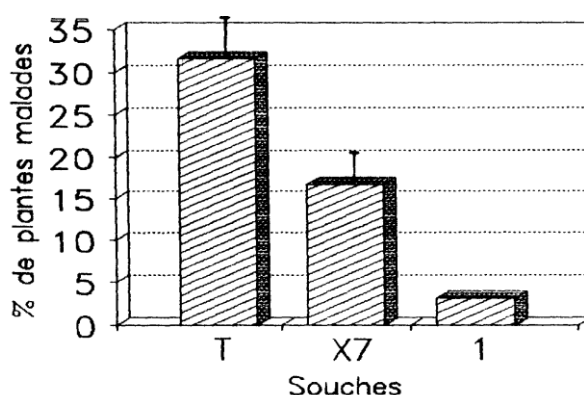


Figure 6.- Influence des souches bactériennes X7 et n° 1 sur l'évolution de la mortalité des plantules de palmier dattier. Nombre de répétitions: 6 × 9 plantes.

3.- Discussion

Diverses approches sont considérées pour lutter contre la fusariose du palmier dattier. La lutte chimique par l'utilisation des fongicides à action systémique, est une méthode écartée car ces produits sont peu stables dans le sol et risquent de favoriser la sélection des souches résistantes. De plus, il est très difficile d'effectuer une lutte chimique sur un arbre. La lutte génétique, en utilisant des variétés résistantes, représente une méthode efficace pour lutter contre la fusariose vasculaire [11].

En Algérie, de nombreux chercheurs se sont intéressés à la fusariose du palmier dattier [5,7,12,13]. L'approche abordée dans ce travail consiste à rechercher des microorganismes antagonistes du champignon *Fusarium*, et qui auraient un pouvoir élevé de colonisation des racines.

Le lin constitue un bon modèle pour l'étude des fusarioses [3]. En effet, sa période de végétation est courte (03 mois au maximum). Il constitue également un bon modèle pour l'étude de la fusariose du palmier dattier car des résultats comparables ont été obtenus entre le couple "lin-*F. o. lini*" et "plantules de palmier dattier-*F.o. albedinis*" [5,10].

Dans le présent travail, les résultats montrent que l'efficacité des bactéries à protéger le lin contre la fusariose est variable selon les souches. Sur les 14 souches, quatre

seulement ont présenté une grande efficacité: les souches n° 1 (*B. firmus*), n° 16 (*B. megaterium*), n° X7 (*P. fluorescens*) et surtout n° 305 (corynéforme). Les quatre bactéries croient rapidement *in vitro* sur gélose nutritive mais, à l'exception de X7, aucune ne possède une activité antifongique inhibant le *F. o. lini* ou le *F. o. albedinis*. Deux d'entre elles (n° 1 et n° 16) appartiennent à des espèces dominantes dans la rhizosphère et l'intérieur des racines du cultivar résistant Takerbucht. La souche n° 305 n'est pas dominante mais est fréquemment retrouvée aussi bien au niveau du sol non rhizosphérique que de la rhizosphère. Leur aptitude à protéger le lin n'est donc pas liée à la production d'antibiotiques mais il est fort probable que leur croissance rapide et leur pouvoir de colonisation des racines assez élevé, leur permettent d'être compétitives pour les sources de carbone et d'autres composés essentiels et d'occuper ainsi les sites racinaires avant l'agent pathogène, phénomènes évoqués dans les mécanismes expliquant l'efficacité des souches [2,14,15,16]. Des souches de *Bacillus*, surtout *Bacillus subtilis*, sont souvent utilisées avec succès dans la lutte biologique [17,18,19].

Dans notre cas, la souche n° 11 de *Bacillus subtilis* qui a présenté *in vitro* une action antifongique puissante contre *F. o. lini*, a montré par contre une faible aptitude à protéger le lin, comparativement aux deux autres souches de *Bacillales* non productrices d'antibiotiques, *B. cereus* et *Br. brevis*. Il faut signaler que *B. subtilis* est rarement isolée de la rhizosphère du palmier dattier (donc apparemment non adaptée). Ceci montre donc qu'une souche sécrétant *in vitro* un composé antifongique à très forte action n'est pas forcément intéressante *in situ*. Tout comme *B. subtilis*, *B. cereus* et *Br. brevis* n'appartiennent pas à des espèces prédominantes dans la rhizosphère, ce qui peut être expliqué par un pouvoir assez faible de colonisation des racines. De plus, *B. subtilis* (n° 11) et *Br. brevis* (n° 215) ont une croissance lente à modérée sur gélose nutritive.

Des résultats analogues ont été obtenus par MOUSTIRI (1992) [20] qui a constaté que l'efficacité des souches d'actinomycètes est beaucoup plus liée à leur aptitude à coloniser les racines qu'à leur action inhibitrice (*in vitro*) envers les champignons pathogènes *F. o. albedinis* et *F. o. lini*.

Les souches de *Pseudomonas* (toutes fluorescentes) n'ont pas donné les résultats attendus. Leur rôle très important, dans la résistance des sols aux maladies et dans la lutte biologique, a été signalé par de nombreux auteurs. L'efficacité de ce groupe a été expliquée par la production de sidérophores, composés chélatant le fer et le rendant indisponible pour les agents pathogènes lesquels sont alors inhibés, ainsi que par des composés antifongiques tels que les phénazines et la pyrrolnitrine [21,22, 23,24].

Dans notre cas, deux souches de *P. fluorescens* (n° 41 et 47) se sont révélées inefficaces et seule une souche (X7) a montré une efficacité moyenne. Il est à noter que cette dernière, à l'inverse des deux autres, produit un composé antifongique. AMIR (1991) [5] a constaté que 4 souches de *Pseudomonas* fluorescents ont montré une aptitude faible ou nulle. LEMANCEAU et ALABOUVETTE (1991) [25] ont constaté que sur 74 isolats de *Pseudomonas* fluorescents, seuls 21% se sont montrés efficaces dans la lutte contre la fusariose de quelques plantes, ce qui montre donc la variabilité que l'on peut avoir selon les souches sélectionnées.

Cependant, dans le cas de notre étude, les souches de *Pseudomonas* ne se sont pas montrées meilleures que les souches de *Burkholderia* telles que *Bu. gladioli* et *Bu. cepacia* ou encore par rapport à certaines espèces de *Bacillus* et d'*Arthrobacter*.

Deux souches de *B. circulans* (n° 200) et *Bu. caryophylli* (n° 71) ont même tendance à aggraver légèrement la maladie. Un cas analogue a été noté par VANCURA et STANEK (1976) [26] qui ont constaté qu'une souche fluorescente de *P. putida* aggrave la fusariose du haricot. Ces auteurs attribuent ce phénomène à la production de vitamines par la bactérie, qui favoriserait le champignon.

La souche n° 1 de *B. firmus* et n° X7 de *P. fluorescens*, testées sur des plantules de palmier dattier, ont donné des résultats intéressants (surtout pour la souche n° 1) et analogues à ceux obtenus sur le lin. Cette analogie a été constatée par AMIR (1991a, 1991) [5,10] et MOUSTIRI (1992) [20].

Les résultats de ce travail peuvent être utilisés pour renforcer les moyens de lutte contre la fusariose du dattier, et incitent à poursuivre cette étude par la recherche d'autres microorganismes antagonistes, notamment les actinomycètes, en utilisant le modèle "*lin-F. o. lini*".

Références bibliographiques

- [1].- Bennaceur M., 1981.- Sur la fusariose du palmier dattier: effets des exsudats racinaires sur le *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Killian et Maire) Gordon. Thèse Doctorat, 3^{ème} cycle. Université de Montpellier, 78p.
- [2].- Ryder M. H., Brisbane P. G., Rovira A. D., 1990.- Mechanisms in the biological control of take-all of wheat by rhizosphere bacteria. In: Biological control of soil borne plant pathogens. Hornby D., Cook R. J., Henis Y., Eds., CAB. International, Wallingford, Oxford, UK, Chap. 9, 123-130.
- [3].- Alabouvette C., Rouxel F., Louvet J., 1980.- Recherche sur la résistance des sols aux maladies. VII. Etude comparative de la germination des chlamydospores de *Fusarium oxysporum* et *Fusarium solani* au contact de sol résistant et sensible aux fusarioses vasculaires. Annales de phytopathologie, 12: 21-30.
- [4].- Dihazi A., Jaiti F., Taktak W., kilani-Feki O., Jaoua S., Driouich A., Baaziz M., Daayf F. Serghini M. A., 2012.- Use of two bacteria for biological control of bayoud disease caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* in date palm (*Phoenix dactylifera* L) seedlings. Plant Physiology and Biochemistry, 55: 7-15.
- [5].- Amir A., 1991a.- Rôle des facteurs biotiques et abiotiques dans le déterminisme de la réceptivité de quelques sols de palmeraies algériennes aux fusarioses vasculaires. Thèse de Doctorat ès-Sciences, USTHB, Alger, 129 p.
- [6].- Rapilly F., 1968.- Techniques de mycologie en pathologie végétale. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, 324 p..
- [7].- Lamari L., Sabaou N., 1993.- Etude comparative de la flore bactérienne de la rhizosphère de deux cultivars de palmier dattier sensible et résistant à la fusariose. Canadian Journal of Microbiology, 39: 874-881.

- [8].- Waksman S. A., 1945.- Microbiological antagonism and antibiotic substances. The Commonwealth Fund, New York, 264 p.
- [9].- Alabouvette C., 1983.- La réceptivité des sols aux fusarioses vasculaires. Rôle de la compétition nutritive en microorganismes. Thèse Doctorat ès-Sciences, université de Nancy, Nancy, 158 p.
- [10].- Amir H., 1991.- Interaction entre populations du genre *Fusarium* dans les sols sahariens. Déterminisme de l'aptitude des souches non pathogènes à limiter l'expression de la fusariose vasculaire. Thèse Doctorat ès-Sciences, USTHB, Alger, 122 p.
- [11].- Pereau-Leroy, P., 1958.- Le Palmier dattier au Maroc. Ministère de l'Agriculture, Service de la recherche agronomique, Maroc, 142 p.
- [12].- Bounaga N., 1985.- Contribution à l'étude de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Killian et Maire) Gordon. Agent de la fusariose du palmier dattier. Thèse Doctorat ès-Sciences. USTHB. Alger, 195p.
- [13].- Sabaou N., Bounaga N., 1987.- Actinomycètes parasites de champignons: étude des espèces, spécificité de l'action parasitaire au genre *Fusarium* et antagonisme dans le sol envers *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Killian et Maire) Gordon. Canadian Journal of Microbiology, 33: 445-451.
- [14].- Weller D. M., 1984.- Distribution of take-all suppressive strain of *Pseudomonas fluorescens* on seminal roots of winter wheat. Applied and Environmental Microbiology, 48: 897-899.
- [15].- Howie W. J., Cook R. J., Weller D. M., 1987.- The effect of soil matric potential and cell motility on wheat root colonization by fluorescent Pseudomonads suppressive to take-all. Phytopathology, 77: 286-292.
- [16].- Juhnke M. E., Mathre D. E., Sands D. C., 1987.- Identification and characterization of rhizosphere competent bacteria of wheat. Applied and Environmental Microbiology, 53: 2793-2799.
- [17].- Broadbent P., Baker K. F., Waterwhath Y., 1971.- Bacteria and actinomycetes antagonistic to fungal root pathogens in australian soils. Australian Journal of Biological Sciences, 24: 925-944.
- [18].- Utkhede R. S., Sholberg P. L., 1986.- *In vitro* inhibition of plant pathogens by *Bacillus subtilis* and *Enterobacter aerogenes* and *in vitro* control of two postharvest cherry diseases. Canadian Journal of Microbiology, 32: 963-967.
- [19].- Maplestone P. A. and Campbell R., 1989.- Colonization of roots of wheat seedlings by *Bacilli* proposed as biocontrol agents against take-all. Soil Biology and Biochemistry 21: 543-550.

- [20].- Moustiri A., 1992.- Etude comparative des actinomycètes de la rhizosphère de deux cultivars de palmier dattier sensible et résistant au bayoud: influence de quelques isolats sur l'expression de la fusariose. Thèse de Magister, ENS, Alger, 130 p.
- [21].- Buyer J. S., Sikora L. J., 1990.- Rhizosphere interaction and siderophores. *Plant and Soil*, 129: 101-107.
- [22]. - Weller D. M., Howie W. J., Cook R. J., 1988.- Relationship between *in vitro* inhibition of *Gaeumannomyces graminis* var *tritici* and suppression of take-all of wheat by fluorescent *Pseudomonads*. *Phytopathology*, 78: 1094-1100.
- [23].- Haas D., Défago G., 2005.- Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads. *Nature Reviews Microbiology*, 3: 307-319.
- [24].- Lemanceau P., Expert D., Gaymard F., Bakker P. A. H. M., Briat J. F., 2009.- Role of iron in plant-microbe interactions. *Advances in Botanical Research*, 51: 491-549.
- [25].- Lemanceau P., Alabouvette C., 1991.- Biological control of *Fusarium* diseases by fluorescent *Pseudomonas* and non pathogenic *Fusarium*. *Crop Protection*, 10: 279-286.
- [26].- Vancura V., Stanek M., 1976.- Synergistic relationships of *Pseudomonas putida* and some phytopathogenic fungi in plant rhizosphere. *Folia Microbiology*, 21: 213-221.