N° d'ordre…

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

Département des Sciences de L'Environnement

THESE DE DOCTORAT

Présentée par :

Mme. BELAIDI Hakima

Filière : *Ecologie et Environnement*

Spécialité : *Ecologie Végétale et Environnement*

Intitulé

Evaluation de la résistance des cultivars locaux du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.), au Bayoud (*Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*), et lutte biologique *in vitro* et *in situ*

Soutenue le : 22 Juin 2023

Devant l'honorable jury composé de :

Présidente de jury :	Dr. Ayache Abbassia	**MCA**	**UDL SBA**
Examinateurs :	Pr. Kerfouf Ahmed	**Professeur**	**UDL SBA**
	Pr. Boumaaza Boualem	**Professeur**	**Université de Tiaret**
Directrice de thèse :	Pr. Toumi Fawzia	**Professeur**	**UDL SBA**
Co-Directeur de thèse :	Pr. Benzohra Ibrahim Elkhalil	**Professeur**	**CRSTRA, Biskra**

Année universitaire 2022 – 2023

Remerciements

Au terme de ce travail, j´exprime ma plus profonde reconnaissance à Mme. Pr. TOUMI-BENALI Fawzia, Université Djilali Liabès de Sidi Bel Abbès, pour m´avoir accepté m'encadrer, pour m´avoir fait profiter de ses connaissances et pour son soutien précieux lors de la réalisation et de la finalisation de cette thèse.

Je remercie Mr. BENZOHRA Ibrahim Elkhalil, Directeur de Recherche au Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides (CRSTRA), Biskra, pour m'avoir accepté me co-encadrer dans cette thèse, pour son aide pendant sa présence dans le Laboratoire et sa contribution dans l'interprétation des résultats et la réalisation de ce manuscrit.

Je tiens à remercier Dr. AYACHE Abbassia de bien vouloir m'honorer par sa présence en présidant le jury. Je souhaite que vous trouviez ici l'expression de mes sincères remerciements et gratitudes.

Je remercie Pr. KERFOUF Ahmed et Pr. BOUMAAZA Boualem ont d'avoir accepté d'examiner ce travail. Je vous présente mes profondes reconnaissances et mes remerciements pour vos conseils précieux.

Je remercie amplement Dr. MOKRANI Slimane, de Université Mostapha Stambouli de Mascara, qui nous a fourni les souches bactériennes.

Je tiens à remercier aussi très vivement tout le personnel de Laboratoire de Recherche « Ecodéveloppement des Espaces » de l'Université Djilali Liabès de Sidi Bel Abbès, pour son aide pendant la réalisation de cette thèse.

Un grand merci à tous ceux qui m'ont accompagné par leur soutien affectif, moral et matériel, par leurs encouragements tout au long de cette étude.

Dédicaces

Papa, tu laisses un grand vide dans ma vie, mais sache qu'il y aura toujours une place pour toi dans mon cœur. Même si tu ne sembles pas être avec moi, que je ne peux pas te toucher, te voir ni t'entendre, je sais que tu veilleras toujours sur moi, comme tu l'as toujours fait.

Mon Père !

Repose en paix,

Tu me manques trop !

Ta fille Hakima !

Je dédie cette thèse à ma chère Mère, à mes deux frères 'Hakim & Abderrahmane', à ma sœur 'Alima', Mon époux et mes enfants : Mouineddine, Sawsen et Assim !!!

Résumé

Le Bayoud du palmier dattier causé par *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa), représente la maladie la plus grave dans l'agro-système oasien de l'Algérie.

L'objectif de ces travaux de thèse consiste à lutter contre cette contrainte biotique, infectant 14 variétés locales du palmier dattier, en utilisant en premier lieu, la lutte génétique qui se traduit par la recherche des cultivars résistants au 20 souches de Bayoud, en adoptant le test de screening, en pots et en tubes. En deuxième lieu, la lutte biologique qui est effectuée sur la croissance mycélienne de Foa, *in vitro et in situ*, en utilisant les champignons (*Trichoderma harzianum* et *Aspergillus flavus*) et les bactéries antagonistes (*Bacillus subtilus, Bacillus amyloliquefasciens* et *Pseudomonas plecoglossicida*), les mycorhizes, et les extraits bruts de deux espèces végétales (*Ephedra alata* subsp. *alenda* Stapf. (Trab.) et *Urtica urens* L.), et à la fin, la lutte contre ce fléau affectant les palmeraies algériennes est assurée par l'utilisation de l'eau ozonée comme un moyen désinfectant antifongique de l'agro-système oasien de l'Algérie. Les résultats obtenus sont significatifs ($P<0,05$) dans tous les tests effectués.

Dans la lutte génétique, le test screening en pots a montré la présence de 5 variétés résistantes (Tamdjouhert, Adem Bulla, Degla Beida, Mech Degla, Taquerboucht), 1 tolérante (Feggous) et 8 sensibles (Figuig, Toudent, Azarza, Deglet Nour, H'mira, Hartan, Sbaa Soltan, Tanboucht), tandis que le test en tubes, il a montré deux cultivars résistants (Taquerboucht et Hartan).

La lutte biologique, par l'utilisation des microorganismes antagonistes, a révélé dans le test *in vitro,* un taux d'inhibition (TI%) de croissance mycélienne important qui varie entre 28,8 et 68,8 % par l'effet de *T. harzianum* et d'*A. flavus*, et entre 28,05 et 64,2% sous l'effet des trois espèces bactériennes ; par contre dans le test *in situ,* le champignon antagoniste *T. harzianum* a un effet significatif sur l'incidence et l'agressivité de Foa, avec une réduction remarquable du taux de mortalité (TM%) qui varie entre 0 et 15%, et cela sur 8 variétés du palmier dattier (Feggous, Toudent, Azarza, Deglet Nour, H'mira, Hartan, Sbaa Soltan et Tanboucht). Ce taux (TM%) varie entre 0 et 25% sous l'effet des mycorhizes qui se manifeste par une protection importante de 12 variétés (Feggous, Figuig, Toudent, Azarza, Tamdjouhert, Adem Bulla, Degla Beida, Deglet Nour, Hmira, Hartan, Sbaa Soltan, et Tanboucht), cette protection a été confirmée par l'isolement et l'identification de trois espèces mycorhiziennes (*Glomus constritum*, *G. intraradices*, et *G. microcarpum*), à partir de la

rhizosphère des plantules des variétés testées. Les extraits bruts des végétaux ont prouvé aussi une efficacité satisfaisante sur le Bayoud, et les résultats obtenus sont significatifs ($P<0,05$), avec un taux d'inhibition entre 6,7 et 75,1 %.

L'utilisation de l'eau ozonée comme un désinfectant agroécologique contre le Bayoud a présenté aussi, un effet significatif ($P<0,05$), où les deux variétés Deglet Nour et H'mira testées ont montré une résistance totale, avec l'absence des symptômes de Bayoud sur les plantules testées par rapport au témoin avec un taux de mortalité (TM%) égale à 0%.

Mots clés : palmier dattier, Bayoud, *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, lutte génétique, lutte biologique.

Abstract

This thesis deals with the Bayoud study of the date palm caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa), a very serious disease in the oasis agrosystem of Algeria. By the use of 20 strains of Foa and 14 local varieties of the date palm, we carried out the genetic control by the search for cultivars resistant to Bayoud, the biological control on the mycelial growth of Foa by the use of means biological such as antagonistic fungal (*Trichoderma harzianum* and *Aspergillus flavus*) and bacterial species (*Bacillus subtilus*, *Bacillus amyloliquefasciens* and *Pseudomonas plecoglossicida*), mycorrhizae, extracts of two plant species (*Ephedra alata* subsp. *alenda* Stapf. (Trab.) and *Urtica urens* L.), and also the ozonated water as an agroecological fungal disinfectant. The results obtained are significant ($P<0.05$) in all the tests carried out.

In genetic control, where two tests were carried out, the first is the greenhouse screening test (in pots) which showed the presence of 5 resistant varieties (Tamdjouhert, Adem Bulla, Degla Beida, Mech Degla, Taquerboucht), 1 tolerant (Feggous) and 8 sensitive (Figuig, Toudent, Azarza, Deglet Nour, H'mira, Hartan, Sbaa Soltan, Tanboucht), in all inoculated plant varieties. While the second test (cut-twig), there were only two resistant cultivars (Taquerboucht and Hartan).

The biological control by the use of antagonistic microorganisms revealed in the *in vitro* test a significant rate of inhibition (TI%) of mycelial growth which varies between 28.8 and 68.8% by the effect of *T. harzianum* and *A. flavus*, and between 28.05 and 64.2% under the effect of the three bacterial species, and 6.7 and 75.1% under the effect of the plant extract, but in the *in situ* test, the antagonist fungus *T. harzianum* has a significant effect on the incidence and aggressiveness of Foa by the remarkable reduction of the mortality rate (TM%) which varies between 0 and 15%, on 8 different varieties of the date palm tested (Feggous, Toudent, Azarza, Deglet Nour, H'mira, Hartan, Sbaa Soltan and Tanboucht). This rate (TM%) varies between 0 and 25% under the effect of mycorrhizae which can protect 12 different varieties (Feggous, Figuig, Toudent, Azarza, Tamdjouhert, Adem Bulla, Degla Beida, Deglet Nour, Hmira, Hartan, Sbaa Soltan, and Tanboucht), this protection was confirmed by the isolation and identification of three mycorrhizal species (*Glomus constritum, G. intraradices,* and *G. microcarpum*), from the rhizosphere of inoculated seedlings of tdate palm varieties. The use of ozonated water as an agroecological fungal disinfectant against Bayoud disease also showed a significant effect ($P<0.05$), where the two varieties Deglet Nour and H'mira

showed a total resistance where there was clear absence of Bayoud disease symptoms on the seedlings tested compared to the control with the mortality rate (TM%) is 0%.

These very important, innovative and encouraging results for integrating genetic control, especially in new farms or young palm groves, and biological control in oases contaminated by Bayoud. From this integration of these means of control, we can preserve our oasis agrosystem without the use of chemical inputs which are pollutants of the environment and harmful to human health, in order to arrive at the application of agroecology. in these fragile ecosystems.

Key words : date palm, Bayoud, *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, Genetical control, Biological control.

ملخص

تهدف هاته الأطروحة لدراسة مرض بيوض النخيل الفتاك الذي يسببه الفطر (*Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*) في النظام البيئي الواحاتي بالجزائر. بإستخدام 20 عزلة من الفطر المسبب للمرض و 14 صنف محلي لنخيل التمر قمنا بالمكافحة الجينية و التي هي عبارة عن البحث عن الأصناف النخيل المقاومة للمرض، و المكافحة الحيوية بإستخدام مختلف الوسائل الحيوية كالميكروبات التضادية النافعة كالفطريات (*Trichoderma harzianum* و *Aspergillus flavus*)، و البكتيريا (*Bacillus subtilus*, و *Bacillus amyloliquefasciens* و *Pseudomonas plecoglossicida*)، و الفطريات الجذرية و بعض المستخلصات النباتية لنبتتي العلندة و الحريق، و كذا الماء المشبع بالأوزون كمطهر فطري محافظ على البيئة.

بينت النتائج وجود فروق معنوية مقارنة مع الشاهد ($P<0.05$). بإستعمال تجربتين منفصلتين في المكافحة الجينية بينت غربلة الأصول الوراثية للأصناف المحلية عن طريق نبتات كاملة وجود 5 أصناف مقاومة (تمجوهرت، عظم بولا، دقلة بيضاء، مش دقلة، تقربوشت)، و صنف كتوسط المقاومة (فقوس)، و 8 أصناف حساسة للمرض (فيكيغ، تودنت، أزارزة، دقلة نور، حميرة، حرطان، صبع السلطان و طنبوشت)، بينما التجربة الثانية التي إعتمدت على أنابيب مخبرية وجود فقط صنفين مقاومين للمرض (تقربوشت و حرطان). نتائج المكافحة الحيوية أظهرت عن قدرة تثبيط للنمو الفطري معتبرة جدا مقارنة مع الشواهد تتراوح ما بين 28.8 و 68.8 % بتأثير الفطريات التضادية، و مابين 28.05 و 64.2 % بتأثير البكتيريا التضادية، و ما بين 6.7 و 75.1 % بتأثير المستخلصات النباتية. أما فيما يخص النتائج على ضراوة المرض، فقد إستطاع الفطر التضادي (*Trichoderma harzianum*) أن يقلص نسبة موت النباتات بفعل مرض البيوض بنسبة ضئيلة جدا تراوح ما بين 0 و 15 % على 8 أصناف نخيل (فقوس، تودنت، أزارزة، دقلة نور، حميرة، حرطان، صبع السلطان، طنبوشت). لوحظ أن هاته النسبة تراوحت ما بين 0 و 25 % تحت تأثير الفطريات الجذرية على 12 صنف (فقوس، فيكيغ، تودنت، أزارزة، تمجوهرت، عظم بولا، دقلة بيضاء، دقلة نور، حميرة، حرطان، صبع السلطان، طنبوشت) و قد قمنا بالتأكد بتأثير هاته الفطريات و ذلك بالتمكن بعزل و التعرف على ثلاث أنواع مختلفة (*Glomus constritum*, و *G. intraradices*, و *G. microcarpum*)، و ذلك على مستوى جذور النباتات. أما فيما يخص دور الماء الأوزوني كمطهر فطري ضد مرض البيوض، فقد بينت التجارب تمكن الصنفين 'دقلة نور و حميرة' من المقاومة المطلقة للمرض مع نسبة موت النباتات معدومة (0%) و غياب ملاحظ لأعراض المرض على النباتات.

تعتبر هذه النتائج مهمة و مشجعة لإدراجها في برنامج المكافحة المتكاملة ضد بيوض النخيل خصوصا في منطقة الجنوب الغربي الجزائري أين يوجد هذا المرض في أغلب واحات المنطقة. و بناءا على المعطيات المتحصل عليها في هاته الأطروحة، يمكن أن نحمي واحتنا مع التخلي تماما على إستخدام المبيدات الكيميائية المضرة بالمحيط و بصحة الإنسان، و نصل بذلك بالهدف المرجو و هو تطبيق زراعة بيئية و مستدامة محافظة على واحاتنا التي تتواجد في هذا النظام البيئي الهش.

الكلمات المفتاحية: النخيل، البيوض،(*Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*)، المكافحة الجينية، المكافحة الحيوية.

Liste des Abréviations

°C : Degré Celsius.

CACI-CCI: Chambre Algérienne de Commerce et d'Industrie – Chambre de Commerce et d'Industrie Algéro-Française.

gr : Gramme.

ha : Hectare.

ICARDA: Centre International de la Recherche Agronomique dans les Régions Arides, Alep, Syrie.

INPN : Inventaire National du Patrimoine National, France.

INPV : Institut National de la Protection des Végétaux, El-Harrach, Alger.

INRAA: Institut national de la Recherche Agronomique d'Algérie, Sidi Bel Abbès, Algérie.

IPGRI : The International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italie.

ITDAS : Institut Technique de Développement de l'Agriculture Saharienne, Biskra.

ml: Millilitre.

mm: Millimètre.

mm/j: Millimètre par jour..

T°: Température.

URZA : Unité de Recherche en Zones Arides (Actuellement est appelée : LRZA « Laboratoire de Recherche dans les Zones Arides, USTHB, Bab Ezzouar, Alger).

Liste des Tableaux

Tableaux	Pages
Tableau 01 : Liste des 19 espèces du genre *Phoenix* regroupées par continent (Meraneh, 2010).	**08**
Tableau 02 : Composition de la datte fraiche (en%, et en mg/100g datte en matière sèche), d'après BALLAND, HUSSON, et Perrot et Lecoq (Munier, 1973 ; Al-Shahib et Marshall, 2003).	**15**
Tableau 03 : Cycle végétatif annuel du palmier dattier (Belguedj, 2002).	**16**
Tableau 04 : Calendrier des itinéraires technique réalisés pendant l'année de production du palmier dattier (ITDAS, Biskra, 2007 ; Sedra, 2003a ; 2013).	**17**
Tableau 05: Principaux cultivars du palmier dattier en Algérie avec leurs localisations (Hannachi *et al*., 2005 ; Benzohra *et al*., 2015).	**26**
Tableau 06 : Ennemis de la culture du palmier dattier dans le monde (Sedra, 2013).	**27**
Tableau 07: Principales espèces / genres endophytes bactériennes et fongiques avec leurs plantes hôtes concernées.	**53**
Tableau 08 : Cultivars locaux du palmier dattier avec leurs origines. (Source : BELAIDI, 2020).	**70**
Tableau 09: Liste des isolats de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa) avec leur origine.	**72**
Tableau 10: Réaction des plantules des variétés du palmier dattier vis-à-vis du Bayoud en utilisant de deux tests de screening (en pot et cut-twg).	**79**
Tableau 11: Les souches de deux espèce fongiques *Trichoderma harzianum* et *Aspergillus flavus* utilisées dans le test d'antagonisme.	**84**
Tableau 12: Taux de mortalité (TM%) et Réactions des plantules de la variété Deglet-Nour incoculées Foa en présence et absence des champignons antagonistes (*T. harzianm* et *A. flavus*).	**87**
Tableau 13: Moyennes de croissance mycélienne de 20 isolats of *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa), sous l'effet antagoniste de *Trichoderma harzianum* et *Aspergillus flavus*.	**100**
Tableau 14: Effet du champignon endophyte *Trichoderma harzianum* sur l'incidence et l'agressivité de Bayoud sur 14 variétés de palmier dattier.	**105**
Tableau 15: Effet antagoniste de l'espèce bactérienne *Bacillus subtilus* sur la croissance mycélienne de 20 souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa).	**116**
Tableau 16: Effet antagoniste de l'espèce bactérienne *Bacillus amyloliquefasciens* sur la croissance mycélienne de 20 souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa).	**117**
Tableau 17: L'effet antagoniste de l'espèce bactérienne *Pseudomonas plecoglossicida* sur la croissance mycélienne de 20 souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa).	**118**
Tableau 18: Clés d'identification des espèces de champignons mycorhiziens en sebasant sur les critères morphologique (Chandrima et Vipin, 2018 ; Champyves, 2022).	**129**
Tableau 19: Effet des champignons mycorhiziens sur l'incidence et l'agressivité de Bayoud sur les plantules de 14 variétés de palmier dattier.	**131**
Tableau 20: Capacité antifongique de trois concentrations différentes (10^{-1}, 10^{-2}, et 10^{-3}) de l'extrait éthanolique de 'Alanda' sur la croissance mycélienne de 20 isolats of *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa).	**147**
Tableau 21: Capacité antifongique de trois concentrations différentes (10^{-1}, 10^{-2}, et 10^{-3}) de l'extrait éthanolique de l'Ortie (*Urtica urens*) sur la croissance mycélienne de 20 isolats of *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa).	**148**
Tableau 22: Effet de l'eau ozonée sur l'incidence et l'agressivité de Bayoud sur les plantules de deux variétés testées du palmier dattier**.**	**167**

Liste des Figures

Figures	Pages
Chapitre 01 : Revue bibliographique	
Figure 01 : Distribution géographique du genre '*Phoenix'* de palmier dattier (Gros-Balthazard *et al*., 2013).	**04**
Figure 02 : Aire de répartition des espèces du genre '*Phoenix*' avec l'origine de domestication du palmier dattier (Newton *et al*., 2013).	**06**
Figure 03 : Morphologie du palmier dattier (Sedra, 2003a).	**10**
Figure 04: Palme du palmier dattier (Sedra, 2003a).	**11**
Figure 05: Système racinaire du palmier dattier (Sedra, 2003a).	**12**
Figure 06: Spadice ou Inflorescence du palmier dattier (Gammoudi *et al*., 2016).	**13**
Figure 07: Inflorescences et fleurs du palmier dattier (Gammoudi *et al*., 2016).	**14**
Figure 08: Formes de l'épicarpe de dattes. 1, lisse ; 2, plissé ; 3, gaufré ; 4, cloqué ; 5, tatoué (IPGRI, 2005).	**15**
Figure 09: Evolution de la production et de la superficie du palmier dattier dans le monde durant la période 1987-2019 (Fao, 2021).	**20**
Figure 10: Evolution de la production et de la superficie du palmier dattier en Algérie durant la période 1987-2019 (Fao, 2021).	**22**
Figure 11 : Répartition des palmiers dattiers de l'Algérie par wilaya en 2014 (CACI-CCI Zibans, 2015).	**22**
Figure 12 : Diversité morphologique de fruits/graines des principales variétés locales du palmier dattier en Algérie. (Source : BELAIDI, 2020).	**24**
Figure 13: Diversité et distribution géographique des variétés locales algériennes du palmier dattier (Amrani, 2019).	**25**
Figure 14: Maladie des feuilles cassantes du palmier dattier (Sedra, 2013).	**28**
Figure 15: La pyrale de datte (*Ectomyelois ceratoniae* Zeller). A, B : Insecte adulte (papillon) ; C : Stade larvaire (Chenille) ; D : Stade nymphe (Cherysalide).	**29**
Figure 16: Boufaroua sur les fruits du palmier dattier. A, Adule d'acarien jeune ; B, Début d'attaques sur les fruits de dattes ; C : Dégâts finales sur les fruits de dattes (INPV, 2017 ; 2018).	**30**
Figure 17: Cochenille blanche (*Parlatoria blanchardi* TARG) et ses dégâts sur le palmier dattier. A, B: Duvet blanc sur les feuilles des palmes ; C : Adule ; D : Oeufs (Idder, 2011).	**31**
Figure 18: Le charançon rouge (*Rhynchophorus ferrugineus* Olivier), A : Ravageur en stade adule ; B : Ravageur en stade larvaire ; C : Dégâts sur le palmier dattier en route de santa-Maria en Corse, France (Corse-Fredon, 2015).	**32**
Figure 19: Pourriture des cœurs du palmier dattier causées par *Thielaviopsis paradoxa* (Zaid *et al.*, 2002 ; Sedra, 2013).	**33**
Figure 20: Pourriture des inflorescences (Khamedj) du palmier dattier causée par (*Mauginiella Scaettae*),. Symptômes de la pourriture des inflorescences du palmier dus à l'attaque de différents parasites. (Sedra, 2013).	**34**
Figure 21: Symptômes de la maladie dite 'Belâat'. A, B : Méristème apical avalée et forme une crête volcanique. C: Sporanges de *Phytophthora palmivora*. D: Zoosporanges libèrent les zoospores (spores asexuées). E : Oospore (spore sexuée). F: Oogone (gamétophyte femelle) avec anthéridie (gamétophyte male). (El-Bouhssini et Faleiro, 2018).	**35**

(*Suite Chapitre 01*) **Figures**	Pages
Figure 22 : Symptômes de Diplodia sur le palmier dattier. A : Pycnides sur le rachis ; B, C, D, E : Tissu infecté de couleur débute par le jeune et se termine par la coloration brune. F : Conidie de couleur marron et bi-cellulaire de *Diplodia phoenicicum*. (El-Bouhssini et Faleiro, 2018).	**37**
Figure 23: Maladie des taches brunes du palmier dattier (El-Bouhssini et Faleiro, 2018).	**38**
Figure 24: Progression et extension de Bayoud du palmier dattier en Algérie (Benzohra *et al.*, 2017).	**40**
Figure 25: Premiers symptômes de la maladie de Bayoud du palmier dattier : Desséchement unilatéral de rachis du palmier dattier dans les régions : Béchar (A), Adrar (B) et Ghardaïa (C). (Source : BELAIDI, 2019).	**41**
Figure 26: Mort complète du palmier dattier au stade final de la maladie dans les régions : A, Béchar ; B, Adrar et C, Ghardaïa. (Source : BELAIDI, 2019).	**42**
Figure 27: Aspect cultural du *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Souche 09), sur le milieu de culture PDA. (Source : BELAIDI, 2019).	**43**
Figure 28: Caractéristiques microscopiques *de Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa). (A: Macroconidies, B: Microconidies, macroconidies et macro et microphialides, C: Chlamydospores, D: Observations microscopique des conidies de Foa (Djerbi, 1988 ; Leslie et Summerell, 2006).	**44**
Figure 29: Cycle d'infection de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Benzohra *et al*., 2022).	**48**
Figures 30: Aspect morphologique des conidies, des conidiophores et des phialides de *Trichoderma* spp. : 1. *T. viride.* 2. *T. atroviride.* 3. *T. harzianum*. 4. *T. inhamatum.* 5. *T. aureoviride.* 6. *T. koningii* (Gams et Bissett, 1998).	**56**
Figure 31: *Hypocrea* (Téléomorphe) : a-c : Stromas d'*H. aureoviridis*: frais (a, b) et sec (c) d-g : Stromas d'*H. lixii* : frais (d, e, f) et sèche (g) ; h : Coupe dans un stroma d'*Hypocrea rufa* (4 périthèces). Périthèces d'*H. aureoviridis* (i) et d' *H. lixii* (j) ; Asques remplis d'ascospores d'*H. aureoviridis* (k) et d'*H. lixii* (l, m), (Jaklitsch *et al.*, 2006 ; Jaklitsch, 2009).	**57**
Figure 32 : Différents aspects morphologiques du champignon endophyte du genre *Aspergillus*.(*Valdes et al.,2018).*	**60**
Figure 33 : Fleurs femelles (A) et males (B), de l'espèce Alanda. (Source : BELAIDI, 2021).	**64**
Figure 34 : Fruits de l'espèce Alanda. (Source : BELAIDI ,2021).	**65**
Figure 35 : L'ortie brulante (*Urtica urens* L.). (Source: BELAIDI,2021).	**66**
Figure 36 : Schéma de principe d'injection venturi de l'ozone dans l'eau. A, B : Injecteur de l'ozone ; C : Présentation de la chambre de mixage de l'eau avec l'ozone (eau ozonée).	**68**

Figures	Pages
Chapitre 02 : Recherche des sources de résistance	
Figure 37 : Types de fruits et graines de 14 cultivars locaux du palmier dattier choisies. . (Source : BELAIDI, 2020).	**71**
Figure 38: Aspect cultural des souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa) sur le milieu PDA. (Source : BELAIDI, 2020).	**73**
Figure 39: Préparation des plantules du palmier dattier pour le test du screening. . (Source : BELAIDI, 2020).	**74**
Figure 40 : Dispositif expérimental du test de screening en tubes (Cut-Twig). (Source : BELAIDI, 2020).	**76**
Figure 41: Réaction des plantules de 14 cultivars du palmier dattier vis-à-vis du Bayoud inoculée par test de screening en pots (Greenhouse screening). (Source : BELAIDI, 2020).	**80**
Figure 42: Réaction des plantules de 14 cultivars du palmier dattier vis-à-vis du Bayoud inoculée par test de screening en tubes à essai (Cut-Twig). (Source : BELAIDI, 2020).	**81**
Chapitre 03 : Lutte biologique in situ contre le Bayoud cas de variété : Deglet Nour	
Figure 43: Pré-germination des graines de la variété Deglet-Nour. (Source : BELAIDI, 2020).	**86**
Figure 44: Réactions des plantules de la variété Deglet-Nour vis-à-vis de la maldie de Bayoud sous l'effet de deux espèces fongiques antagonistes Foa: *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (agent pathogène); *T. harzianum*: Antagonsite 01 ; *A. flavus*: Antagonsite 02. (Source : BELAIDI, 2020).	**88**
Chapitre 04 : Lutte biologique contre le Bayoud par l'utilisation des champignons endophytes	
Figure 45: Technique de confrontation directe. (Howell, 2003).	**94**
Figure 46: Méthode de mesure de croissance mycélienne journalière de Foa. D : Diamètre de colonnie de Foa ; d : Diamètre de l'explant. (Howell, 2003).	**94**
Figure 47: Plantules du palmier dattier. A : Prégermination des graines ; B : Plantules prêtes pour les inoculer après 2-3 mois de plantation (stade 2-4 feuilles). (Source : BELAIDI, 2020).	**96**
Figure 48: Colonies des 20 de Foa sous l'effet antagoniste de *Trichoderma harzianum*. Z : Zone d'inhibition. (Source : BELAIDI, 2020).	**98**
Figure 49 : Colonies des 20 de Foa sous l'effet antagoniste d'*Aspergillus flavus*. Z : Zone d'inhibition. (Source : BELAIDI, 2020).	**99**
Figure 50: Taux d'inhibiton de croissance mycélienne de 20 de Foa sous l'effet antagoniste de *Trichoderma harzianum* et d'*Aspergillus flavus*.	**101**
Figure 51: Réaction des plantes (huit (8) variétés) du palmier dattier testées après leur inoculation par Foa en présence et en absence du champignon endophyte *T. harzianum* (TH). (Source : BELAIDI, 2020).	**102**
Figure 52 : Réaction des plantes (six (6) variétés) du palmier dattier testées après leur inoculation par Foa en présence et en absence du champignon endophyte *T. harzianum* (TH). (Source : BELAIDI, 2020).	**103**

Chapitre 05 : Lutte biologique contre le Bayoud par l'utilisation des bactéries endophytes.

Figure 53: Confrontation des souches de Foa avec la bactérie antagoniste *Bacillus subtilus* avec création d'une zone d'inhibition. Z: Zone d'inhibition; BS: Colonie de *B. subtilus* ; Foa: Colonie de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* ; S1, …, S20: Souches de Foa. (Source : BELAIDI, 2021).	**112**
Figure 54: Confrontation des souches de Foa avec la bactérie antagoniste *Bacillus amyloliquefasciens* avec création d'une zone d'inhibition. Z: Zone d'inhibition; BA: Colonie de *B. amyloliquefasciens*; Foa: Colonies de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* ; S1, …, S20: Souches de Foa. (Source : BELAIDI, 2021).	**113**
Figure 55: Confrontation des souches de Foa avec la bactérie antagoniste *Pseudomonas plecoglossicida* avec création d'une zone d'inhibition. Z: Zone d'inhibition; PP: Colonie de *P. plecoglossicida*; Foa: Colonies de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* ; S1, …, S20: Souches de Foa. (Source : BELAIDI, 2021).	**114**
Figure 56: Taux d'inhibition (TI%) de croissance mycélienne (mm/j) de 20 souches de Foa sous l'effet de trois (3) espèces bactériennes antagonistes (*Bacillus subtilus, B. amyloliquefasciens,* et *Pseudomonas plecoglossicida*).	**120**

Chapitre 06 : Rôle des champignons mycorhiziens pour la résistance du palmier dattier au Bayoud

Figure 57 : Plantules du palmier dattier après leur prégermination. A : Prégermination des graines ; B : plantules du poirreau C : Plantules pretes pour les inoculer après 2-3 mois de plantation (stade 2-4 feuilles), et entourrées par les racines du poirreau. **(**Source : BELAIDI, 2022).	**125**
Figure 58 : Sol prélevé de la rhizosphère du palmier dattier. (Source : BELAIDI, 2022).	**127**
Figure 59 : Protocole expérimental pour isoler les champignons mycorhziens à partir des sols de rhizosphère des plantules du palmier dattier testées (Aziz et Zainol, 2018).	**127**
Figure 60 : Critère de morphologie pour identifier les espèces mycorhiziennes en se basant sur la forme des spores. 1 : Anguleuse ; 2 : Amygdalyforme ; 3 : Globuleuse ; 4 : Larmiforme ; 5 : Noduleuse ; 6 : Ovoide ; 7 : Ellipsoide ; 8 : Arquée ; 9 : Cylindrique. (Champyves, 2022).	**128**
Figure 61 : Lame millimétrique pour mesuer la taille des spores champignons mycorhiziens (Aziz et Zainol, 2018).	**130**
Figure 62: Effet de mycorhization sur l'incidence et l'agressivité de Bayoud sur les plantules inoculées (huit (8) variétés) du palmier dattier. (Source : BELAIDI, 2022).	**132**
Figure 63 : Effet de mycorhization sur l'incidence et l'agressivité de Bayoud sur les plantules inoculées (six (6) variétés) du palmier dattier. (Source : BELAIDI, 2022).	**133**
Figure 64: Effet de mycorhization sur le développment racinaire des plantules du palmier dattier testées. (Source : BELAIDI, 2022).	**134**
Figure 65: Observation microscopique des espèces mycorhiziennes isolées à partier de la rhizosphère du palmier dattier. A, B : *Glomus constrictum* ; C: *G. microcarpum* ; D, E: *G. intraradices* ; H : Hyphe. (Source : BELAIDI, 2022).	**135**

Chapitre 07 : Activité antifongique de l'extrait éthanolique de l'Alanda et de l'Ortie sur la croissance mycélienne de Foa

Figure 66 : Plante d'Alanda *'Ephedra alata* subsp. *alenda* (Stapf.) Trab.*'* (Région : Taghit, w. Béchar). A : Fruits ; B : Vue générale. (Source : BELAIDI, 2021).	**139**

Figure 67: Plante d'Ortie *'Urtica urens* L.*'* (Région : Sidi Lahcene, w. Sidi Bel Abbès). (Source : BELAIDI, 2021).	**139**
Figure 68: Technique d'extraction de l'Alanda par le Soxhlet à base de l'éthanol 95%. A : Branches de tiges ; B : Poudre de l'Alanda après leur broyage ; C : Extraction par technique de Soxhlet ; D : Rotavapor. (Source : BELAIDI, 2021).	**142**
Figure 69 : Extraction de l'Ortie brûlante par la technique de macération. (Source : BELAIDI, 2021).	**143**
Figure 70: Flacons contiennent l'extrait brut de l'Alanda et d'Ortie. (Source : BELAIDI, 2021).	**144**
Figure 71: Trois concentrations des extraits éthanoliques de l'Alanda et de l'Ortie après la dilution décimale de l'extrait brut. (Source : BELAIDI, 2021).	**145**
Figure 72 : Colonies de Foa (S1 – S5) sous l'effet de l'extrait éthanolique de l'Alanda avec trois concentrations décimales différentes par rapport au témoin. (Source : BELAIDI, 2021).	**149**
Figure 73 : Colonies de Foa (S6 – S10) sous l'effet de l'extrait éthanolique de l'Alanda avec trois concentrations décimales différentes par rapport au témoin. (Source : BELAIDI, 2021).	**150**
Figure 74 : Colonies de Foa (S11 – S15) sous l'effet de l'extrait éthanolique de l'Alanda avec trois concentrations décimales différentes par rapport au témoin. (Source : BELAIDI, 2021).	**151**
Figure 75 : Colonies de Foa (S16 – S20) sous l'effet de l'extrait éthanolique de l'Alanda avec trois concentrations décimales différentes par rapport au témoin. (Source : BELAIDI, 2021).	**152**
Figure 76 : Colonies de Foa (S1 – S5) sous l'effet de l'extrait éthanolique de l'Ortie avec trois concentrations décimales différentes par rapport au témoin. (Source : BELAIDI, 2021).	**153**
Figure 77 : Colonies de Foa (S6 – S10) sous l'effet de l'extrait éthanolique de l'Ortie avec trois concentrations décimales différentes par rapport au témoin. (Source : BELAIDI, 2021).	**154**
Figure 78 : Colonies de Foa (S11 – S15) sous l'effet de l'extrait éthanolique de l'Ortie avec trois concentrations décimales différentes par rapport au témoin. (Source : BELAIDI, 2021).	**155**
Figure 79 : Colonies de Foa (S16 – S20) sous l'effet de l'extrait éthanolique de l'Ortie avec trois concentrations décimales différentes par rapport au témoin. (Source : BELAIDI, 2021).	**156**
Figure 80: Taux d'inhibition de croissance mycélienne de 20 souches de Foa sous l'effet de l'extrait éthanolique de l'Alanda.	**157**
Figure 81: Taux d'inhibition de croissance mycélienne de 20 souches de Foa sous l'effet de l'extrait éthanolique de l'Ortie.	**158**
Chapitre 08 : Capacité de l'eau ozonée comme un désinfectant antifongique contre le Bayoud du palmier dattier	
Figure 82 : Technique d'obtention de l'eau ozonée par un générateur Venturi. A : Générateur de l'ozone; B : Irrigation des plantules par l'eau ozonée ; C : Méthode de l'injection et de la diffusion de l'ozone par un générateur dans l'eau d'irrigation des plantules à tester. (Source : BELAIDI, 2022).	**164**
Figure 83 : Plantules de palmier dattier utilisées dans le test d'inoculation par le Foa. (Source : BELAIDI, 2022).	**165**
Figure 84: Effet de l'eau ozonée sur l'incidence et l'agressivité de Bayoud sur les plantules des variétés, H'mira et Deglet Nour. A : Traitement (Présence de l'eau ozonée). B : Témoin (Absence de l'eau ozonée). (Source : BELAIDI, 2022).	**167**

Liste des Annexes

Annexes	Pages
Annexe 01 : Périodes d'incubation et taux de mortalité des plantules de 14 variétés de palmier dattier dans le test de screening (Lutte génétique)	**198**
Annexe 02 : Lutte génétique – Test de screening (Statistique descriptive)	**201**
Annexe 03 : Composition du milieu nutritif Hoagland	**202**
Annexe 04 : Lutte biologique *in situ* par l'utilisation des champignons endophytes sur l'incidence de Bayoud du palmier dattier : cas de variété 'Deglet Nour'	**203**
Annexe 05 : Valeurs de croissance mycélienne (en mm), des isolats de Foa sous l'effet des champignons antagonistes *Trichoderma harzianum* et *Aspergillus flavus*.	**204**
Annexe 06 : Lutte biologique par des champignons endophytes Test *in vitro* – Statistique descriptive	**205**
Annexe 07: Lutte biologique par des champignons endophytes Test *in vivo (in situ)* – Statistique descriptive	**206**
Annexe 08 : Lutte biologique par l'utilisation des bactéries endophytes Espèce 01: *Bacillus subtilus* - Statistique descriptive	**207**
Annexe 09 : Lutte biologique par l'utilisation des bactéries endophytes Espèce 02: *Bacillus amyliquefasciens* - Statistique descriptive	**208**
Annexe 10 : Lutte biologique par l'utilisation des bactéries endophytes Espèce 03: *Pseudomonas plecoglissicida* - Statistique descriptive	**209**
Annexe 11 : Taux d'inhibition (%), de croissance mycélienne de 20 souches de Foa sous l'effet des trois espèces bactériennes endophytes	**210**
Annexe 12 : Taux de mortalité (%), des plantules de 14 variétés locales du palmier dattier inoculées par le Bayoud en présence et absence des Mycorhizes	**211**
Annexe 13 : Mesures de tailles des spores des isolats mycorhiziens en µm.	**215**
Annexe 14 : Lutte biologique par l'utilisation des Extraits des Végétaux Taux d'inhibition (TI%) = Espèce 01 : Alanda (*Ephedra alata* subsp. *alenda* Stapf. (Trab.))	**216**
Annexe 15 : Lutte biologique par l'utilisation des Extraits des Végétaux Taux d'inhibition (TI%) = Espèce 02 : Ortie brûlante (*Urtica urens* L.)	**217**
Annexe 16 : Lutte biologique par l'utilisation des Extraits des Végétaux Espèce 01 : Alanda (*Ephedra alata* subsp. *alenda* Stapf. (Trab.)) = Statistique descriptive	**218**
Annexe 17 : Lutte biologique par l'utilisation des Extraits des Végétaux Espèce 02 : Ortie (*Urtica urens* L.) = Statistique descriptive	**219**
Annexe 18 : Evolution de la production et de la superficie du palmier dattier dans le monde durant la période 1987-2019 (Fao, 2021).	**220**
Annexe 19: Evolution de la production et de la superficie du palmier dattier en Algérie durant la période 1987-2019 (Fao, 2021).	**221**
Annexe 20 : Séquences ITS4 d'ADN des souches de Foa : S17, S18, S19 & S20	**222**
Annexe 21 : Résultats de séquençage de la souche de Foa : S17	**223**
Annexe 22 : Résultats de séquençage de la souche de Foa : S18	**224**
Annexe 23 : Résultats de séquençage de la souche de Foa : S19	**225**
Annexe 24 : Résultats de séquençage de la souche de Foa : S20	**226**
Annexe 25 : Taux de germination des variétés du palmier dattier utilisées dans les tests expérimentaux	**227**

Publications Internationales

Belaidi, H., Benali-Toumi, F., Benzohra, I.E., Megateli, M., Boumaaza, B., Megherbi, A., Bouzidi, M.A. (2022). Biocontrol Capacity of the Soil Fungus *Trichoderma harzianum* against *Fusarim oxysporum* f. sp. *albedinis*, a Causal Agent of Fusarium Wilt (Bayoud) Disease of Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.). Agricultural Science Digest 42(4): 385-392. DOI: 10.18805/ag.D-372. (Catégorie B).

Belaidi, H., Toumi-Benali, F., Benzohra, I.E., Mégateli, M., Boumaaza, B., Megherbi, A., Bouzidi, M.A. (2022). Antagonistic activity of three species of bacteria against *Fusarium oxysporum f. sp. albedinis*, the causal agent of Bayoud disease on date palm (*Phoenix dactylifera* L.). South Asian J Exp Biol; 12 (1): 108-116. doi: 10.38150/sajeb.12(1).p108-116 (Catégorie B).

Belaidi, H., Toumi-Benali, F., Benzohra, I.E. (2021). Biocontrol of Bayoud Disease (*Fusarium oxysporum F.* Sp. *Albedinis*) on Deglet-nour Variety of Date Palm *(Phoenix dactylifera* L.*)* in South Western Oases of Algeria. Agricultural Science Digest. 41(3): 450-454. DOI: 10.18805/ag.D-304**.** (Catégorie B).

Belaidi, H., Toumi-Benali, F., Benzohra, I.E., Boumaaza, B. (2020). Antifungal activity of plant extract of *Ephedra alata* sub.sp. *alenda* (Stapf) Trab., on mycelial growth of *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedi-nis*, the causal agent of Bayoud disease on date palm (*Phoenix dactylifera* L.). South Asian Journal of Experimental Biology. 10 (4): 192-197. doi:10.38150/sajeb.10(4).p192-197. (Catégorie B).

Publications Nationales

elaidi, H., Toumi-Benali, F., Benzohra, I.E., Mégateli, M., Megherbi, A., Bouzidi, M.A. (2021). Genetical control against Bayoud disease of date palm using the Algerian cultivars. International Journal of Human Settlements 05(2): 440-445.

Communications Internationales

1. **Belaidi H**, Benali-Toumi F, Benzohra IE, Mégateli M, Megherbi A, Bouzidi MA (2022). Lutte biologique par l'utilisation de l'extrait végétal de l'ortie contre le Bayoud (*Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*) du palmier dattier. Proceeding of the First International Seminar on the Valorization of Bioresources on Arid and semi-arid Zones, Ahmed Salhi University of Naama.

2. **Belaidi H**, Benali-Toumi F, Benzohra IE (2021). Lutte génétique contre le Bayoud (*Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*) du palmier dattier par l'utilisation de deux méthodes de screening. 1er Séminaire International sur les Sciences Naturelles et de la Vie, Oran, le 19-20 Février 2021.

3. **Belaidi H.**, Toumi F., Benzohra I.E. (2020). Réaction des cultivars locaux du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) originaires du sud-ouest algérien vis-à-vis de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, agent du Bayoud. 1st. International Symposium 'Environment & Sustainable Development', *10 & 11 February 2020, Relizane, Algeria*. (Communication Internationale).

4. **Belaidi H,** Toumi F et Benzohra IE (2019). Protection biologique de l'écosystème oasien d'Algérie par l'utilisation des champignons antagonistes contre le Bayoud du palmier dattier, la menace majeure dans le sud ouest du Sahara. 7eme Congrès international de l'Association Tunisienne de la Biotechnologie et Valorisation des Bio-Ressources (AT-BVBR), 20-23 Mars 2019, Tabarka, Tunisie.

Communications Nationales

1. **Belaidi H**, Toumi-Benali F, Benzohra IE, Mégateli M, Megherbi A, Bouzidi MA (2022). Protection de l'écosystème oasien contre *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, agent de maladie dite Bayoud sur le palmier dattier par la valorisation de l'extrait végétal de l'ortie (*Urtica urens* L.). Premier Séminaire National sur la Biotechnologie et la Biodiversité Microbienne (BBM1), Khenchela, le 26 & 27 Octobre 2022.

2. **Belaidi H**, Toumi-Benali F, Benzohra IE, Mégateli M, Megherbi A, Bouzidi MA (2021). Activité antifongique de l'extrait éthanolique de l'Alanda (*Ephedra alata* subsp. *alenda* (Stapf.) Trab.) sur la croissance mycélienne de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, agent de Bayoud du palmier dattier. La 5ème Journée Scientifique Sur La Valorisation des Phytoressources, Eau et Environnement. Sidi Bel-Abbès, le 11 Décembre 2021.

3. **Belaidi H.**, Toumi F., Benzohra I.E. (2019). Potentialité antifongique du champignon *Aspergillus flavus* contre *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, agent de Bayoud du palmier dattier. *9emes Journées Nationales des Sciences de la Nature et de la Vie 'JNSNV 2019', le 06 et 07 Novembre 2019, Mostaganem.*

4. **Belaidi H**, Toumi F et Benzohra IE (2019). Essai de l'antibiose *in vitro* contre le *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, agent de Bayoud du palmier en vue de protéger l'Ecosystème désertique. *Journée Nationale sur la Biodiversité, la Santé et l'Environnement, Tissemsilt, Samedi le 04 Mai 2019*.

Table des Matières

Titres	Pages
Remerciements	*i*
Dédicaces	*ii*
Résumé	*iii*
Abstract	*v*
ملخص	*vii*
Liste des abréviations	*viii*
Liste des tableaux	*ix*
Liste des figures	*x*
Liste des annexes	*xv*
Travaux Scientifiques de Thèse de Doctorat	*xvi*
Table des matières	*xviii*
Introduction générale	01
Chapitre 01 : Revue Bibliographique	
1.1. **Palmier dattier**	04
1.1.1. Historique et domestication du palmier dattier	04
1.1.2. Distribution géographique	06
1.1.3. Taxonomie botanique	07
1.1.4. Caractéristiques morphologiques	09
1.1.4.1. Organes végétatifs	09
1.1.4.1.1. Stipe	09
1.1.4.1.2. Palme	09
1.1.4.1.3. Système racinaire	11
1.1.4.1.4. Organes reproducteurs	12
1.1.5. Valeur nutritive	15
1.1.6. Cycle végétatif du palmier dattier	16
1.1.6.1. Stade phénologique	16
1.1.6.2. Stade annuel de production	16
1.1.6.3. Multiplication du palmier dattier	17
1.1.6.3.1. Par graine (voie sexuée)	17
1.1.6.3.2. Par rejet (voie végétative)	18
1.1.6.3.3. Culture *in vitro*	18
1.1.7. Caractéristiques agroécologiques	18
1.1.7.1. Climat	18
1.1.7.1.1. Température	18
1.1.7.1.2. Humidité	19
1.1.7.2. Sol	19
1.1.7.3. Eau	19
1.1.8. Production du palmier dattier	20
1.1.8.1. Dans le monde	20
1.1.8.2. En Algérie	21
1.1.9. Diversité variétale du palmier dattier en Algérie	23

(*Suite Chapitre 01 : Revue bibliographique*)	
1.1.10. Contraintes du palmier dattier dans l'agrosystème oasien	26
1.1.10.1. Contraintes abiotiques	27
1.1.10.1.1. Salinité	27
1.1.10.1.2. Sécheresse	27
1.1.10.1.3.. Maladie des feuilles cassantes	28
1.1.10.2. Contraintes biotiques	28
1.1.10.2.1. Ravageurs	28
1.1.10.2.1.1. Pyrale de datte	28
1.1.10.2.1.2. Boufaroua	29
1.1.10.2.1.3. Cochenille blanche	30
1.1.10.2.1.4. Charançon rouge (*Rhynchophorus ferrugineus*)	31
1.1.10.2.2. Maladies	32
1.1.10.2.2.1. Pourriture des cœurs (Dessèchement noir des palmes)	32
1.1.10.2.2.2. Pourritures des inflorescences (Khamedj)	33
1.1.10.2.2.3. Belâat (Avalement du Cœur)	35
1.1.10.2.2.4. Diplodia	36
1.1.10.2.2.3. Taches brunes	37
1.1.10.2.2.5. Bayoud	38
1.1.10.3. Contraintes socio-économiques	39
1.2. **Bayoud du palmier dattier**	39
1.2.1. Historique et distribution géographique du Bayoud	39
1.2.2. Symptômatologie	40
1.2.3. Biologie de l'agent pathogène	42
1.2.3.1. Systématique du FOA	42
1.2.3.2. Caractérisation du *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*	43
1.2.3.2.1. Caractères macroscopiques	43
1.2.3.2.2. Caractères microscopiques	43
1.2.3.2.3. Caractérisation pathogénique	44
1.2.3.2.4. Caractérisation moléculaire	45
1.2.4. Epidémiologie du Bayoud	46
1.2.4.1. Cycle évolutif	46
1.2.4.2. Processus d'infection	48
1.2.4.3. Facteurs de contamination et de dissémination	49
1.2.5. Méthode de lutte	50
1.2.5.1. Mesures prophylactiques	50
1.2.5.2. Lutte culturale	50
1.2.5.3. Lutte chimique	51
1.2.5.4. Lutte génétique	51
1.2.5.5. Lutte biologique	51
1.3. **Valorisation de la lutte biologique contre le Bayoud**	52
1.3.1. Taxonomie du genre *Trichoderma*	53
1.3.1.1. Importance de *Trichoderma* dans la lutte biologique	54
1.3.1.2. Modes d'action antagonisme de *Trichoderma*	57
1.3.1.2.1. Antibiose	57
1.3.1.2.2. Mycoparasitisme	58
1.3.1.2.3. Compétition	58
1.3.2. Historique et taxonomie du genre *Aspergillus*	59
1.3.2.1. Importance d'*Aspergillus* dans la lutte biologique	60

(*Suite Chapitre 01 : Revue bibliographique*)	
1.3.3. Bactéries endophytes	61
1.3.4. Champignons mycorhizes	61
1.3.5. Valorisation des extraits des végétaux comme moyen de lutte biologique	62
1.3.5.1. L'Alanda : *Ephedra alata* subsp. *alenda*	63
1.3.5.2. L'Ortie brulante: *Urtica urens* L.	65
1.3.6. Importance de l'eau ozonée comme un désinfectant antifongique	67
1.3.6.1. Techniques de la réalisation de l'eau ozonée	67
1.3.6.2. Eau ozonée et lutte contre les agents phytopathogènes	68

Chapitre 02 : Recherche des sources de résistance des cultivars locaux du palmier dattier au Bayoud	
2.1. Matériels et Méthodes	70
2.1.1. Matériel végétal	70
2.1.2. Matériel fongique Foa utilisé	71
2.1.3. Milieu de culture	72
2.1.4. Mise en culture des plantules du palmier dattier	74
2.1.5. Test de screening (Inoculation artifiecielle)	75
2.1.6. Analyse statistique	77
2.2. Résultats	77
2.3. Discussion	81

Chapitre 03 : Lutte biologique par l'utilisation de T. harzianum et A . flavus sur l'incidence et l'agressivité de Bayoud du palmier dattier cas de la variété Deglet Nour	
3.1. Matériels et Méthodes	84
3.1.1. Matériel végétal	84
3.1.2. Souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis ulilisées*	84
3.1.3. Souches des champignons endophytes	84
3.1.4. Milieu de culture	84
3.1.5. Préparation de l'inoculum	85
3.1.6. Inoculation des plantules	85
3.1.7. Analyse statistique	86
3.2. Résultats	86
3.3. Discussion	89

Chapitre 04 : Lutte biologique contre le Bayoud par l'utilisation des champignons endophytes	
4.1. Matériels et Méthodes adoptés	93
4.1.1. Variétés du palmier dattier	93
4.1.2. Souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*	93
4.1.3. Souches des champignons endophytes	93
4.1.4. Milieu de culture	93
4.1.5. Test de confrontation (Lutte biologique *in vitro*)	93
4.1.6. Evaluation de la croissance mycélienne	94
4.1.7. Conservation et multiplication des souches	95
4.1.8. Test de lutte biologique *in situ*	95
4.1.9. Analyse statistique	97
4.2. Résultats	97
4.2.1. Test d'antagonisme *in vitro*	97
4.2.2. Lutte biologique *in situ*	101
4.3. Discussion	106

Chapitre 05 : Lutte biologique contre le Bayoud par l'utilisation des bactéries endophytes.	
5.1. Matériels et Méthodes apliquées	109
5.1.1. Souches de Foa	109
5.1.2. Souches des Bactéries endophytes	109
5.1.3. Milieu de culture et conservation des souches	110
5.1.4. Test de confrontation directe	110
5.1.5. Analyse statistique	111
5.2. Résultats	111
5.3. Discussion	121

Chapitre 06 : Rôle des champignons mycorhiziens pour la résistance du palmier dattier au Bayoud	
6.1. Matériels et Méthodes	124
6.1.1. Variétés du palmier dattier	124
6.1.2. Variété de poirreau	124
6.1.3. Souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*	124
6.1.4. Conservation et multiplication des souches	124
6.1.5. Test d'inoculation des plantules par le Foa	124
6.1.6. Isolement des champignons mycorhiziens à partir des sols de rhizosphère des plantules inoculées	126
6.1.6.1. Purification et identifications des souches fongiques	128
6.1.7. Analyse statistique	130

(Suite Chapitre 06)	
6.3. Résultats	130
6.4. Discussion	135

Chapitre 07 : Activité antifongique de l'extrait éthanolique de l'Alanda et de l'Ortie sur la croissance mycélienne de Foa	
7.1. Matériels et Méthodes	138
7.1.1. Matériel végétal	138
7.1.2. Matériel fongique	139
7.1.3. Milieu de culture	140
7.1.4. Purification et conservation des souches	140
7.1.5. Préparation des extraits bruts	140
7.1.6. Conservation des extraits	143
7.1.7. Rendement des extraits bruts	144
7.1.8. Evaluation de la croissance mycélienne	145
7.1.9. Analyse statistique	146
7.2. Résultats	146
7.2.1. Rendement des extraits	146
7.2.2. Effet antifongique de l'extrait sur la croissance mycélienne de Foa	146
7.3. Discussion	159

Chapitre 08 : Utilisation de l'eau ozonée comme un désinfectant antifongique contre le Bayoud du palmier dattier	
8.1. Matériels et Méthodes	163
8.1.1 .Variétés du palmier dattier	163
8.1.2. Souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*	163
8.1.3. Technique de l'obtention de l'eau ozonée	163
8.1.4. Test d'inoculation des plantules par le Foa	164
8.1.5. Préparation de l'inoculum et inoculum artificielle	165
8.1.6. Analyse statistique	166
8.2. Résultats	166
8.3. Discussion	168
Conclusion Générale et Perspectives	170
Références Bibliographiques	173
Annexes	198

Introduction Générale

Introduction Générale

Dans le système oasien du sud algérien, le palmier dattier est l'élément essentiel dans les régions sahariennes, qu'il représente la clé de l'équilibre agroécologique désertique et assure la stabilité socio-économique des populations sahariennes locales (Dubost, 1992). Le palmier dattier joue un rôle important, non seulement sur le coté économique par la production de dattes, mais aussi à son adaptation écologique qui se manifeste par la protection des cultures intercalaires (culture maraichère, fourragère ou fruitière) contre les vents chauds et de sables, et par sa contribution dans la lutte contre la désertification (Sedra, 2013).

La phoeniciculture a pu fournir des fruits riches en éléments nutritifs et une multitude de sous produits secondaires (Bouguedoura *et al.*, 2015), qui génère des revenus nécessaires à la survie des agriculteurs et des populations oasiennes (Sedra, 2013). Malgré les efforts effectués par l'état pour créer des nouvelles méthodes de gestion et de conduite culturales, en faisant appel à des procédures biotechnologiques (croisement, amélioration, sélection, culture *in vitro*) est devenue plus que nécessaire pour le devenir de ce secteur (Sedra, 2003a), mais cette filière a des contraintes pédoclimatiques (sécheresse, salinité, insuffisance des ressources hydriques et désertification), biotiques qui sont principalement les invasions incessantes de la maladie de Bayoud (Djerbi, 2003 ; Sedra, 2013).

Le Bayoud, ou flétrissement fusarien causé par le champignon tellurique *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa), est considéré comme la maladie la plus destructive dans les palmeraies algériennes ainsi que marocaines (Sedra, 2005a,b ; Sedra, 2013). Depuis sa première apparition, qui remonte à plus d'un siècle, où il á été enregistré la disparition de plus de 10 millions de palmiers dans les palmeraies marocaines, trois millions en Algérie (Djerbi, 2003). Sa progression ne cesse d'avancer de l´ouest vers les palmeraies du centre et de l´Est algérien (Djerbi, 2003). Le Bayoud représente une menace sur, non seulement les meilleures variétés commerciales de renommée mondiale, comme Deglet Nour, mais aussi il a contribué à accentuer le phénomène de désertification et à l'exode des phoeniciculteurs vers les grands centres urbains (Bouguedoura *et al*., 2015).

En raison des caractéristiques biologiques et pathogéniques de l'agent pathogène (*Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*) et de son hôte (palmier dattier), toute tentative de lutte chimique reste inefficace pour les palmeraies anciennes où leur enracinement plus profond et

loin, et néfaste pour l'environnement et la santé humaine (nappes phréatiques, végétation et flore-faune utiles), (Saaidi, 1990 ; Sedra, 2001 ; 2013). D'autre part, les mesures prophylactiques proposées ne semblent pas en mesure d´arrêter sa progression, surtout que les données épidémiologiques sont à la faveur d´une dissémination progressive de cette maladie, mais ces mesures sont importantes pour protéger les palmeraies indemnes de sud-est algérien (Ziban, Ouest Righ et Souf), (Benzohra *et al*., 2017).

La lutte génétique par l'utilisation des variétés résistantes apparaît donc un autre moyen prometteur pour diminuer les dégâts causés par cette contrainte, mais malheureusement tous les cultivars résistants au Bayoud, ont des caractéristiques alimentaires médiocres (Sedra, 2005b), qu'il nécessite de sélectionner d'autres variétés locales pour conjuguer les caractéristiques agronomiques préférées (qualité alimentaire de dattes, précocité de récolte …), avec le caractère 'résistance au Bayoud'. Il est important donc que la sélection de palmiers productifs, de bonne qualité dattière, nécessite une méthodologie rigoureuse et un temps large pour sélectionner ces cultivars (Sedra, 2013).

Pour cela, deux méthodes de lutte sont indispensable, la première est de type biologique par l'utilisation des différents microogranismes antagonistes et mycorhiziens, des extraits des végétaux, et de la désinfection ozonée, et la deuxième est génétique, et cela par la recherche des variétés résistantes. A raison de la fragilité de notre agrosystème oasien qui se trouve dans un milieu extrême et l'inefficacité de la lutte chimique à raison de sa toxicité, et des mesures prophylactiques qui sont incapables d'arrêter l'invasion de Bayoud dans les palmeraies, ces deux méthodes de lutte, génétique et biologique, restent le meilleur moyen pour combattre le Bayoud avec la préservation de cet agrosystème (El-Hassni *et al*., 2007 ; Dihazi *et al*., 2012 ; Djerbi, 2013 ; Sedra, 2013).

Dans le même contexte, les travaux de cette thèse s'articulent dans la lutte intégrée contre le Bayoud du palmier dattier par différents moyens et qui résument comme suit :

- ✓ Le premier moyen est la lutte génétique réalisée par deux tests de screening : un, en pots et l'autre en cut-twig.
  L'objectif de ce moyen de lutte, réside dans la recherche des sources de résistance au sein de 14 variétés locales du palmier dattier

- ✓ Le deuxième correspond à l'étude de l'effet antimicrobien de quelques microorganismes comme un moyen de lutte biologique, parmi lesquels, les

champignons (*Trichoderma harzianum* et *Aspergillus flavus*), les bactéries (*Bacillus subtillus, B. amyloquefasciens* et *Pseudomonas plecoglossicida*) et les endophytes antagonistes ou mycorhiziens (*Glomus constrictum, G. intraradices* et *G. microcarpum*).

Ainsi que des extraits bruts des deux espèces végétales *Ephedra alata subsp. alenda* et *Urtica urens*, et enfin l'efficacité de l'eau ozonée comme un désinfectant des germes infectieux (spores, chlamydospores …), de l'agent pathogène *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*.

De ce fait, le manuscrit est scindé en différentes parties, (en plus d'une revue bibliographique), traitant chacune un moyen de lutte intégré contre le fléau, et qui sont comme suit :

- *Chapitre 01* : Revue bibliographique qui décrit la phoeniculture et l'importance du palmier dattier dans le système oasien (Historique, taxonomie, production et Contraintes biotiques et abiotiques), et aussi l'agent pathogène *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Origine, répartition géographique, taxonomie, biologie, épidémiologie et méthodes de lutte) ;
- *Chapitre 02* : La lutte génétique par l'utilisation de deux tests de screening différents, screening en pot et cut-twig, pour chercher des variétés résistantes au Bayoud au sein de 14 variétés locales du palmier dattier.
- *Chapitre 03* : La lutte biologique *in situ* sur l'incidence et l'agressivité de Bayoud sur la variété commerciale Deglet Nour par l'utilisation de *Trichoderma harzianum* et de *Aspergillus flavus* ;
- *Chapitre 04*: La lutte biologique *in vitro* sur la croissance mycélienne de 20 souches de Foa et aussi *in situ* sur l'incidence de Bayoud par l'utilisation du champignon endophyte *T. harzianum* ;
- *Chapitre 05* : La lutte biologique *in vitro* par l'utilisation des bactéries endophytes antagonistes (*Bacillus subtillus, B. amyloquefasciens* et *Pseudomonas plecoglossicida*) sur la croissance mycélienne de 20 souches de Foa ;
- *Chapitre 06* : La lutte biologique contre le Bayoud par la mycorhization en utilisant du poirreau (*Allium porrum* L.) sur les 14 variétés du palmier dattier ;
- *Chapitre 07* : La lutte biologique *in vitro* par l'utilisation des extraits bruts de deux espèces végétales *Ephedra alata subsp. alenda* et *Urtica urens* ;

- *Chapitre 08* : L'utilisation de l'eau ozonée comme un désinfectant antifongique et agroécologique contre le Bayoud comme un autre moyen de lutte *in situ* sur les deux variétés, Deglet Nour et H'mira.

Il est à noter qu'au sein de chaque chapitre, nous exposons la partie matériels et méthodes utilisés et aussi les résultats et leurs discussions, avec une conclusion partielle, et la production scientifique obtenue / chapitre.

Chapitre 01

Revue Bibliographique

Chapitre 01

Revue bibliographique

1.1. Palmier dattier

1.1.1. Historique et domestication du palmier dattier

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.), fut l'une des premières espèces fruitières pérennes à être cultivées, avec le figuier, l'olivier et la vigne (Zohary et Spiegel-Roy, 1975), et il est exploité puis cultivé depuis plusieurs millénaires au Moyen-Orient et dans le nord de l'Afrique (Figure 01) (Munier, 1973 ; Barrow, 1998, Zohary *et al*., 2012). Il s'agit d'une plante pérenne dioïque, dont les pieds femelles sont pollinisés à la main en culture (Newton *et al*., 2013). C'est « l'arbre » emblématique des régions arides et semi-arides de l'Ancien Monde. Espèce à usages multiples (Gros-Balthazard *et al*., 2013), elle fournit les dattes, très nutritives, consommées fraîches, sèches ou sous forme de produits dérivés (sirop, pâte, farine…) ; celles peu intéressantes d'un point de vue gustatif servent à l'alimentation du bétail. Toutes les autres parties de la plante sont également utilisées : le «tronc » ou stipe comme matériau de construction, les feuilles pour couvrir les toits ou fabriquer des clôtures ainsi que pour la vannerie. Le dattier apparaît également essentiel dans les agrosystèmes oasiens en créant des conditions climatiques locales plus fraîches et humides, permettant ainsi la culture d'arbres fruitiers, de céréales ou de légumineuses (Figure 01) ; c'est l'« effet d'oasis » (Riou, 1990).

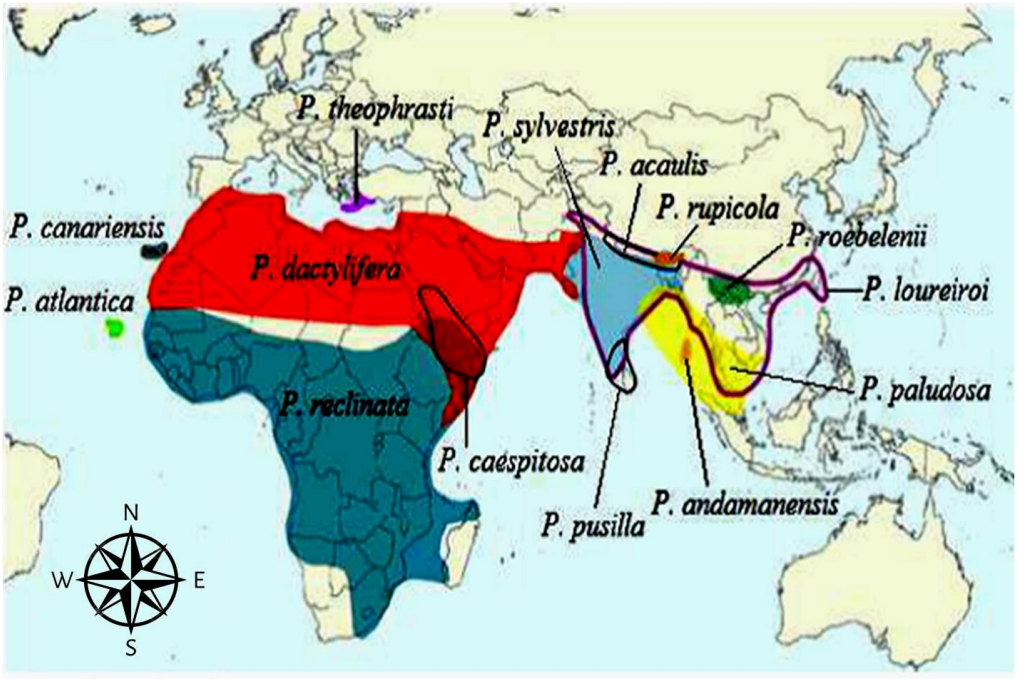


Figure 01 : Distribution géographique du genre '*Phoenix'* de palmier dattier (Gros-Balthazard *et al*., 2013).

L'origine des plantes cultivées est un sujet étudié depuis longtemps par le naturaliste anglais Charles Darwin en 1868, mais les auteurs ont souvent privilégié les plantes annuelles telles que les céréales, plus faciles à examiner car leur culture peut être réalisée en conditions de laboratoire, elles présentent un temps de génération court et un fort taux d'autofécondation (Miller et Gross, 2011). L'hypothèse la plus répandue et convenant le mieux à nos connaissances écologiques et archéologiques est une première domestication dans la région du golfe persique (Costantini et Audisio, 2000 ; Tengberg, 2003). Il n'est cependant pas exclu qu'il ait été domestiqué plusieurs fois, à plusieurs endroits et de manière indépendante (Newton *et al.*, 2013).

Si les plus anciens témoins archéologiques de consommation de dattes, des graines carbonisées ou minéralisées, proviennent du golfe Persique et remontent à la fin du Sixième millénaire (Figure 02), (Beech et Shepherd, 2001 ; Beech, 2003), la culture du dattier associée à d'autres cultures en jardin d'oasis est attestée à partir du cinquième millénaire en Mésopotamie (Neef, 1991) et du Quatrième millénaire dans le Sud-est de l'Iran (Costantini, 1985) et dans la péninsule d'Oman (Cleuziou, 1992). La phœniciculture (culture du palmier dattier) était répandue dans toute la région du golfe Persique au troisième millénaire (Tengberg, 2003 ; Méry, 2013), puis se serait étendue à partir du deuxième millénaire vers l'Afrique saharienne, dont l'Algérie (Figure 02), (Newton *et al*., 2013). Cette expansion, qui se poursuit jusqu'aujourd'hui, a dû mettre en jeu des savoirs techniques et du matériel biologique, graines et/ou boutures (Newton *et al*., 2013).

Malgré l'importance économique et socio-culturelle du palmier dattier dans le système oasien, l'origine de sa culture et l'histoire de sa diffusion par les populations humaines restent incertaines, principalement car le syndrome de domestication n'est pas actuellement identifié et mal connu (Gros-Balthazard *et al*., 2013). Mais, les vestiges archéologiques retrouvés au Moyen-Orient attestent de la culture du dattier à partir de la fin du 4ème millénaire av. J.-C. (Tengberg, 2012 ; Zohary *et al.* 2012 ; Schiettecatte, 2013).

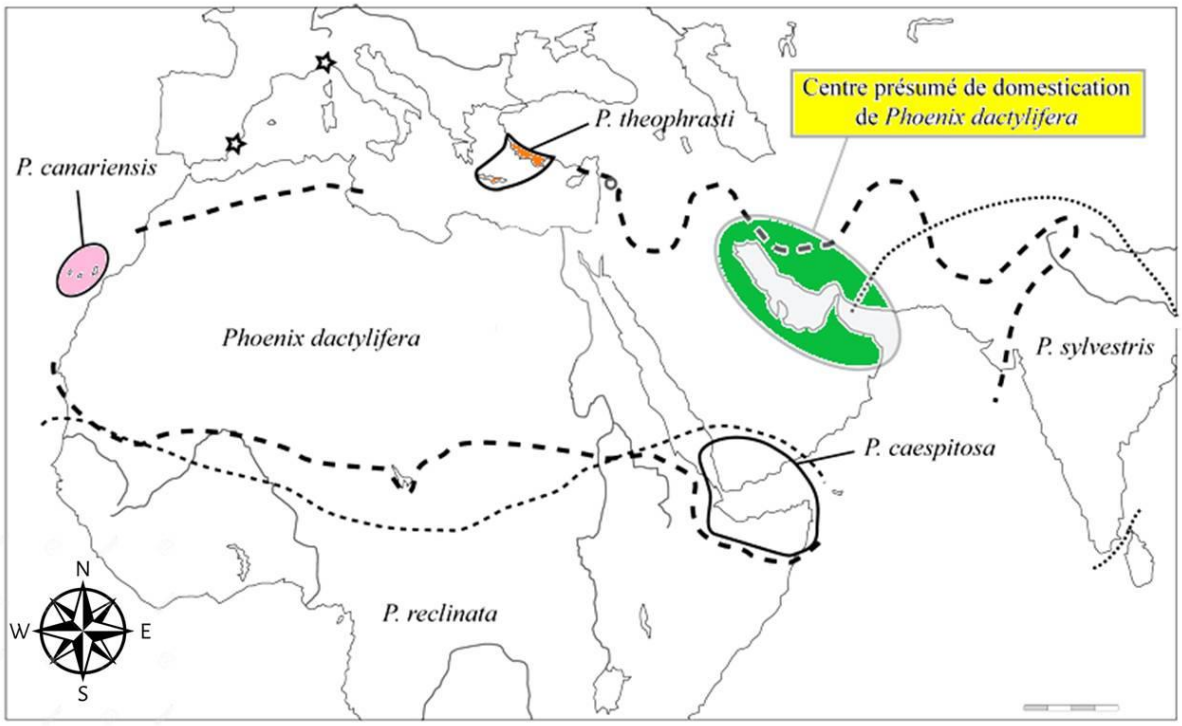


Figure 02 : Aire de répartition des espèces du genre '*Phoenix*' avec l'origine de domestication du palmier dattier (Newton *et al*., 2013).

1.1.2. Distribution géographique

L'aire de culture traditionnelle ou historique potentielle se trouve dans les zones arides et semi-arides chaudes de l'Ancien Monde, à une latitude comprise entre 15°N et 35°N (Figure 01) (Zohary *et al.*, 2012) : l'Afrique du Nord et le sud de l'Espagne, le Moyen-Orient, le Pakistan et le nord-ouest de l'Inde (Munier, 1973 ; Barrow, 1998). L'aire de distribution du dattier n'est plus aujourd'hui restreinte à ces zones de culture historiques. En effet, elle intègre des régions où le dattier a été introduit au cours des siècles derniers non seulement comme arbre fruitier mais aussi pour des rites religieux et comme essence ornementale. En Ligurie (Italie), le dattier aurait été introduit au Moyen-Âge en vue de la production des palmes liée aux rituels religieux juifs et chrétiens (Castellana, 1998). On retrouve également le dattier ici ou là sur la côte méditerranéenne où il joue un rôle ornemental. En Afrique, le dattier n'est plus restreint au Nord, il a été introduit dans les îles telles que Madagascar, les Comores et l'archipel des Mascareignes et au XXe siècle en Afrique du Sud (Munier, 1973).

En Australie, il a d'abord été introduit par voie de graines au XIXe siècle et plus tard via des rejets importés des États-Unis, d'Irak et d'Algérie, qui ont permis le développement de grandes palmeraies destinées à l'écotourisme (Ouennoughi et Dubost, 2005). L'introduction des palmiers dattiers en Nouvelle-Calédonie est liée à la déportation d'Algériens au cours des

luttes anticoloniales de 1871 (Ouennoughi et Dubost, 2005). Le dattier a également été introduit en Amérique dans plusieurs pays à partir du XVIIIe siècle ; il a une importance commerciale en Californie aux États-Unis (Munier, 1973). Ainsi, dans le monde, 800 000 ha seraient dédiés à la culture du palmier dattier (Elhoumaizi *et al*., 2002) et le nombre de palmiers dattiers dans le monde est évalué à environ 100 millions (Zaid, 2002), effectif qui augmente chaque année (FAOSTAT, 2021).

1.1.3. Taxonomie botanique

Le genre *Phoenix* comprend 19 espèces botaniques reparties depuis l'Asie du Sud (Indonésie, Philippines) jusqu'aux îles Canaries en passant par la Chine, l'Inde, le Moyen-Orient et l'Afrique (Tableau 01), (Dransfield *et al*., 2008). Kaci-Aissa Benchaba (1988) a proposé de ramener le nombre d'espèce à 12 compte tenu des fortes similitudes constatées entre plusieurs espèces d'appellations différentes, comme *P. canariensis* et *P. atlantica*. La confusion sur le nombre exact d'espèces réside non seulement dans la difficulté de distinguer les espèces entre elles, mais également dans le fait que tous les Phoenix possédant 36 chromosomes peuvent s'hybrider très facilement entre eux (Kaci-Aissa Benchaba, 1988). Ainsi, il a été rapporté l'existence de nombreux hybrides naturels ou effectués intentionnellement : c'est le cas de *Phoenix dactylifera* L. x *Phoenix reclinata* Jacq. (Sénégal) ; *Phoenix dactylifera* L. x *Phoenix canariensis* B. Chab. (Algérie, Maroc), (Menareh, 2010).

Le palmier dattier a été dénommé *Phoenix dactylifera* par Linné en 1734 (Munier, 1973). Le terme *Phoenix* proviendrait de *Phoinix*, nom du dattier chez les Grecs de l'Antiquité qui le considéraient comme l'arbre des Phéniciens (Munier, 1973), ce terme s'appliquait également à l'espèce *Phoenix theophrasti*, endémique des bords de la mer Égée (Figure 1) (Greuter, 1967) et longtemps considérée comme une forme ensauvagée de *P. dactylifera* (Barrow, 1998). Une autre hypothèse veut que les Grecs aient appelé *phoenix* l'oiseau renaissant de ses cendres et qu'il ait été attribué au dattier en raison de sa capacité à survivre après avoir été partiellement brulé (Popenoe, 1938). Le terme *dactylifera* fait référence au doigt (*dactylus* en latin, dérivant de *dachel* en hébreu, Popenoe, 1938) en raison de la forme des fruits et à *fero*, « qui porte » en latin.

Tableau 01 : Liste des 19 espèces du genre *Phoenix* regroupées par continent (Meraneh, 2010).

***Phoenix* africains**	***Phoenix* asiatiques**	***Phoenix* européens**
atlantica, A. Chev.	*acaulis,* Bush.	*theophrasti,* Grenter
dactylifera, L.	*dactylifera,* L.	*dactylifera,* L.
baoulensis, A. Chev.	*arabica,* M. Burret	
caespitosa, Chiov	*farinifera,* W. Roxb.	
canariensis, B. Chab.	*humilis,* Royle	
comorensis, O. Becc.	*paludosa,* W. Roxb.	
djalonensis, A. Chev.	*reobelinii,* O'Brien	
dibowskii, A. Chev.	*rupicola,* T. Anderson	
reclinata, Jacq.	*sylvestris,* W. Roxb.	
spinosa, Thonn.	*zeylanica,* H. Trimen	

La majorité des espèces de ce genre présentées dans le tableau 01, possèdent de multiples intérêts d'ordre économique et ornemental (Meraneh, 2010). Elles sont utilisées comme source de fibres textiles, d'amidon, de sucres ainsi que d'huile et de chaume. Six espèces (*P. dactylifera, P. canariensis, P. reclinata, P. farinifera, P. humilis* et *P. acaulis*) sont cultivées pour leurs fruits comestibles. Les deux espèces les plus connues sont le *Phoenix dactylifera,* le vrai dattier, et le *Phoenix canariensis,* le " faux " dattier des Canaries, utilisé pour son intérêt ornemental dans de nombreux pays du monde (Meraneh, 2010).

Le palmier dattier, bien que souvent considéré comme un arbre, est une monocotylédone arborescente de la famille des Arecaceae (Palmae). Le genre *Phoenix* comprend 14 espèces réparties dans les régions tropicales et subtropicales de l'Ancien Monde (Figure 1) (Barrow, 1998 ; Govaerts et Dransfield, 2005 ; Henderson, 2009). Le palmier dattier est la seule espèce du genre *Phoenix* à être cultivée pour ses fruits, et les autres espèces sont des arbres d'ornement (Peyron, 2000).

Sur le plan taxonomique, l'espèce palmier dattier est classifiée comme suivant :

- **Embranchement :** Angiospermes
- **Classe :** Monocotylédones
- **Ordre :** Palmales
- **Famille :** Arecaceae (Telabotanica, 2021)
- **Sous-Famille :** Coryphoideae
- **Tribu :** Phœniceae

- **Genre :** Phœnix
- **Espèce :** *Phœnix dactylifera* L.

1.1.4. Caractéristiques morphologiques

1.1.4.1. Organes végétatifs

1.1.4.1.1. Tronc ou Stipe

Le stipe du palmier dattier est un axe orthotrope monopodial et cylindrique issu du méristème apical de l'embryon zygotique, dont l'activité végétative est indéfinie durant toute la vie de la plante (Figure 03). Ce seul bourgeon terminal (apex ou phyllophore) assure la croissance de plante. La hauteur du stipe augmente avec l'âge et peut atteindre plus de 30 m. Le stipe est constitué d'un parenchyme amylifère dans lequel les faisceaux vasculaires sont distribués de façon dense dans la région corticale lignifiée et plus lâche dans la région centrale (Bouguedoura, 1991). Ces faisceaux sont entourés d'un tissu fibreux assurant souplesse et résistance au tronc. Le diamètre du tronc est établi grâce à la présence dans la zone apicale d'un méristème épaississeur primaire qui est responsable non seulement de son élargissement mais aussi de l'épaississement des feuilles et de l'allongement des entrenoeuds (Sedra, 2003c).

1.1.4.1.2. Palme

Les palmes sont des feuilles longues de plus de 6 m, forment la couronne du palmier dattier au sommet du stipe. Leur nombre varie de 100 à 200 pour un palmier adulte en bonne végétation (Peyron, 2000). Ce sont des feuilles composées (Figure 04**)**, pennées issues du bourgeon terminal et d'une durée de vie allant jusqu'à 7ans. Leur structure change suivant la variété, l'âge et les conditions environnementales. Les palmes adultes peuvent mesurer jusqu'à 6m de long et présentent 3 segments différents: le pétiole, le segment à épines et le segment à folioles (Zaid, 2002).

A l'aisselle de chaque palme se trouve un bourgeon axillaire qui en se développant, peut donner naissance à une inflorescence dans la région coronaire, à un rejet dans la région basale ou rarement à un gourmand dans la région moyenne et sous coronaire (Ben Abdallah, 1990).

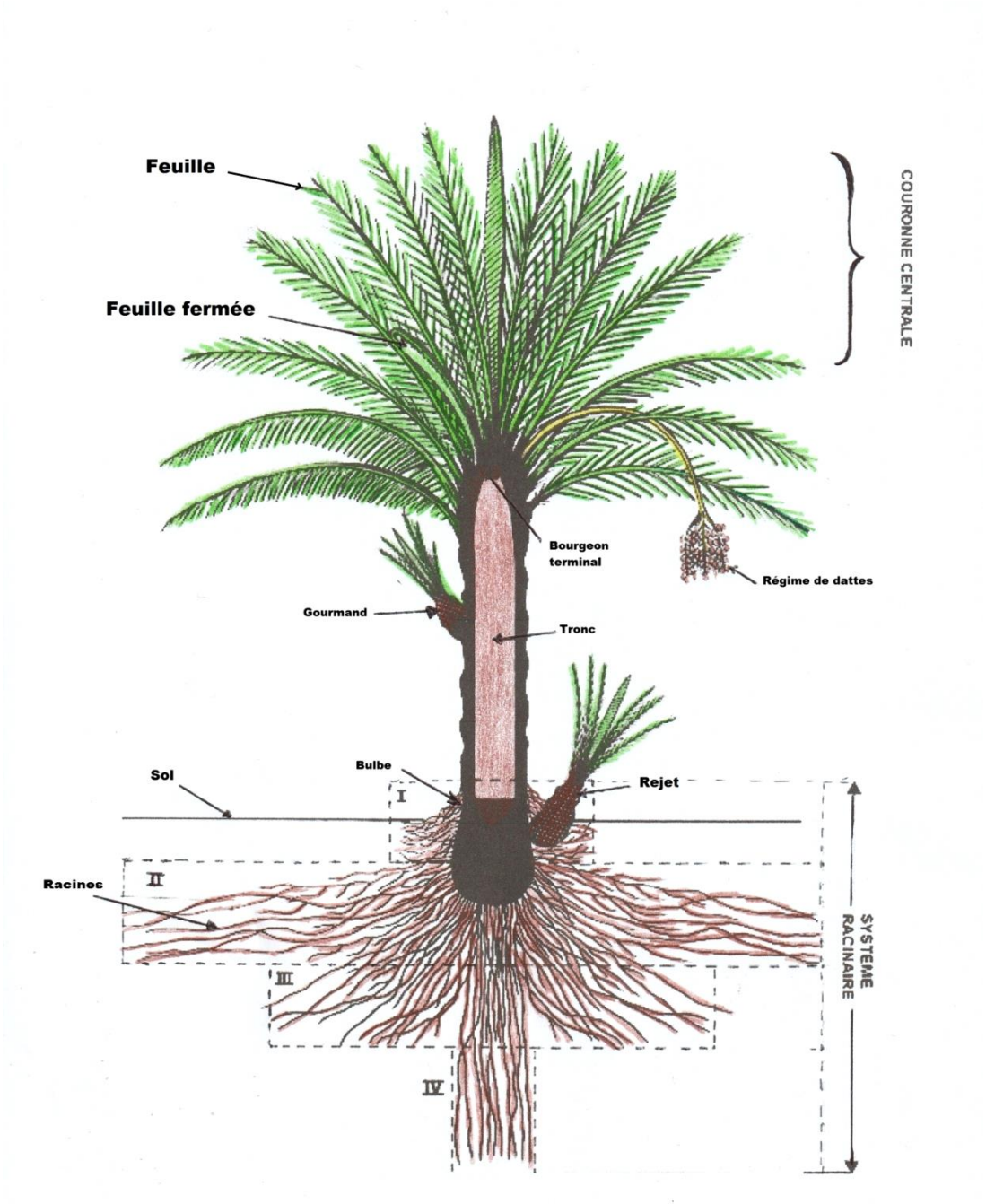


Figure 03 : Morphologie du palmier dattier (Sedra, 2003a).

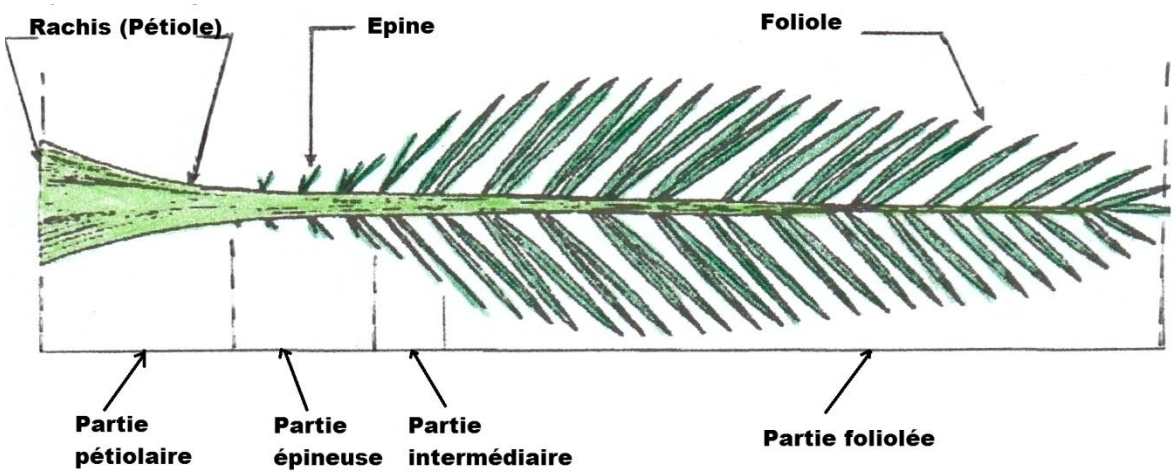


Figure 04: Palme du palmier dattier (Sedra, 2003a).

1.1.4.1.3. Système racinaire

L'organisation du système racinaire du palmier dattier au stade adulte n'a pas fait objet d'étude approfondie et cela est probablement dû à la difficulté d'accès au système racinaire (Bouguedoura, 2012). C'est sans doute leur caractère « caché » et les techniques d'observation fastidieuses dépendantes de cet état qui ont découragé la plupart des chercheurs (Jourdan, 1995). Munier, (1973) puis Oihabi,(1991) ont classé les racines du palmier dattier en quatre grands types, selon la zone du sol qu'elles occupent (I, II, III et IV), (Sedra, 2003a). Ainsi, les racines respiratoires occupent la première zone qui peut atteindre 20 cm au-dessous de la surface du sol. La zone II est occupée par les racines de nutritions qui présentent la plus forte proportion de racines du système.

La troisième zone est occupée par les racines d'absorption qui servent à chercher l'eau. En cas de manque d'eau, les palmiers développent verticalement des racines du faisceau pivotant occupant la quatrième zone du sol. Ce pivot racinaire peut atteindre l'eau jusqu'à une profondeur de 17m (Jrad, 2012).

Chez le palmier dattier adulte, le système racinaire est constitué comme suit : d'abord les racines de premier ordre (Auxirhyzes) qui se développent en premier lieux vers le bas ou obliquement. Elles émettent horizontalement des racines du deuxième ordre (Mésorhyses), qui se développent aussi bien en surface qu'en profondeur, donnant naissance à leur tour à des racines latérales de troisième ordre ou Brachyrhyzes (Figure 05) (Sedra, 2003a et Zaid, 2002).

Le développement des racines est en fonction :

- de la nature du sol ;
- du mode de culture ;
- de la profondeur de la nappe ;
- de cultivar ou variété.

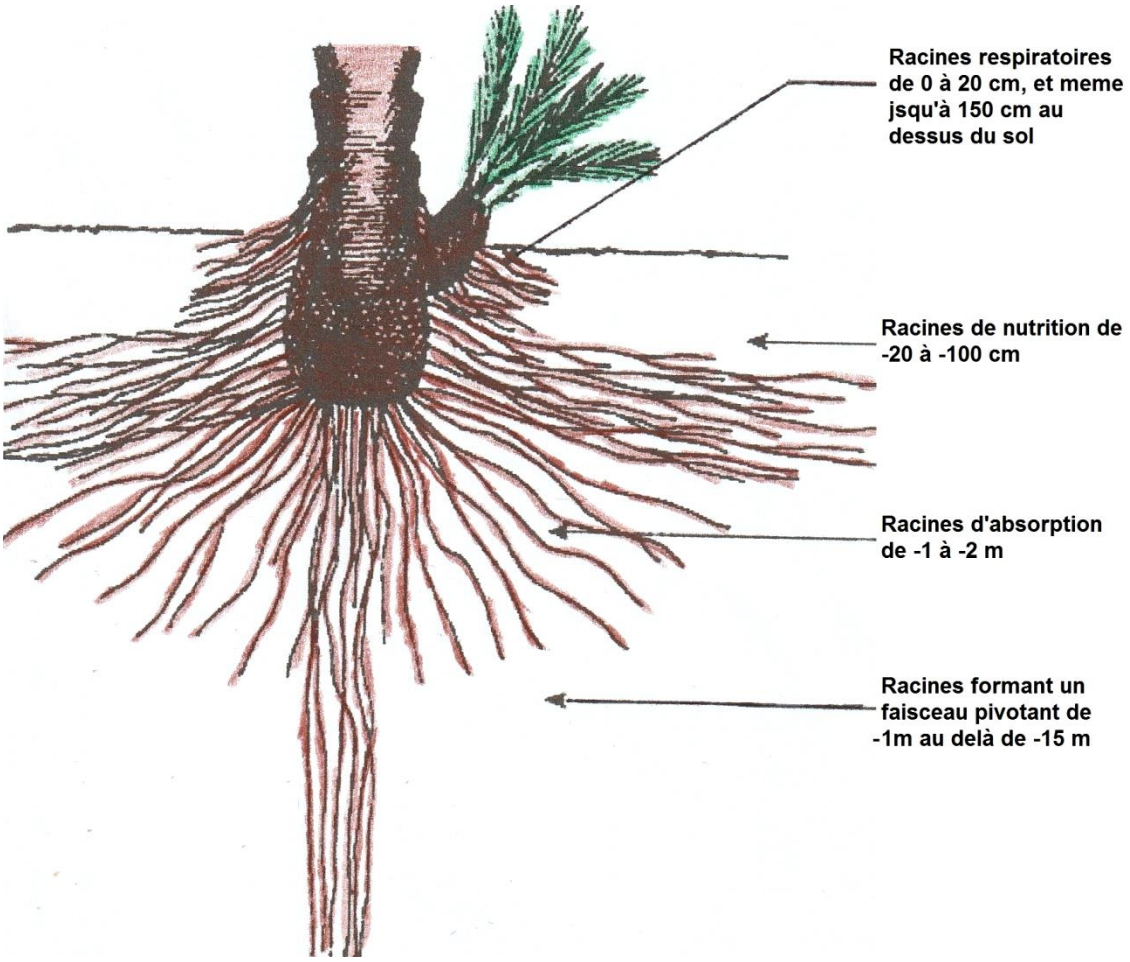


Figure 05: Système racinaire du palmier dattier (Sedra, 2003a).

1.1.4.1.4. Organes reproducteurs

L'inflorescence se développe dans la région coronaire du stipe, à partir de bourgeons axillaires situés à l'aisselle des palmes (Figure 05). Elle est munie à sa base d'une grande bractée, la spathe qui, dans un premier temps, enveloppe les axes inflorescentiels et les protège de la chaleur et du soleil. Les fleurs sont unisexuées, pratiquement sessiles, leurs pédoncules sont très courts (Gammoudi *et al*., 2016 ; Bédjaoui et Benbouza, 2020).

Le palmier étant dioïque, les fleurs mâles et femelles sont portées par des individus distincts et sont donc différents morphologiquement (Figure 06). Les fleurs femelles contiennent 3 carpelles dont un seul (en général), se transformera en fruit (Gros-Balthazard, 2012).

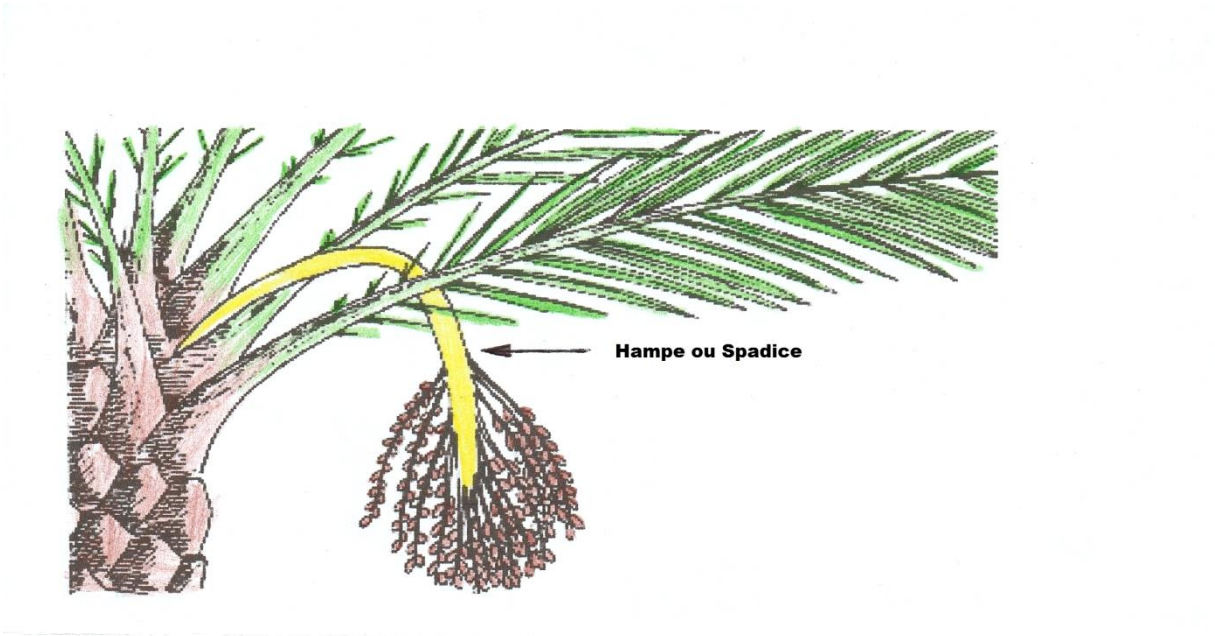


Figure 06: Spadice ou Inflorescence du palmier dattier (Gammoudi *et al*., 2016).

D'après Gros-Balthazard (2012), le fruit du dattier, la datte, provient du développement d'un carpelle après fécondation de l'ovule. En l'absence de pollinisation, il arrive que des fruits parthénocarpiques se développent mais ceux-ci arrivent rarement à maturité. La datte est une baie monosperme. Elle est constituée d'un épicarpe cireux (peau), d'un mésocarpe charnu et d'un endocarpe fin et parcheminé entourant la graine (Figure 07).

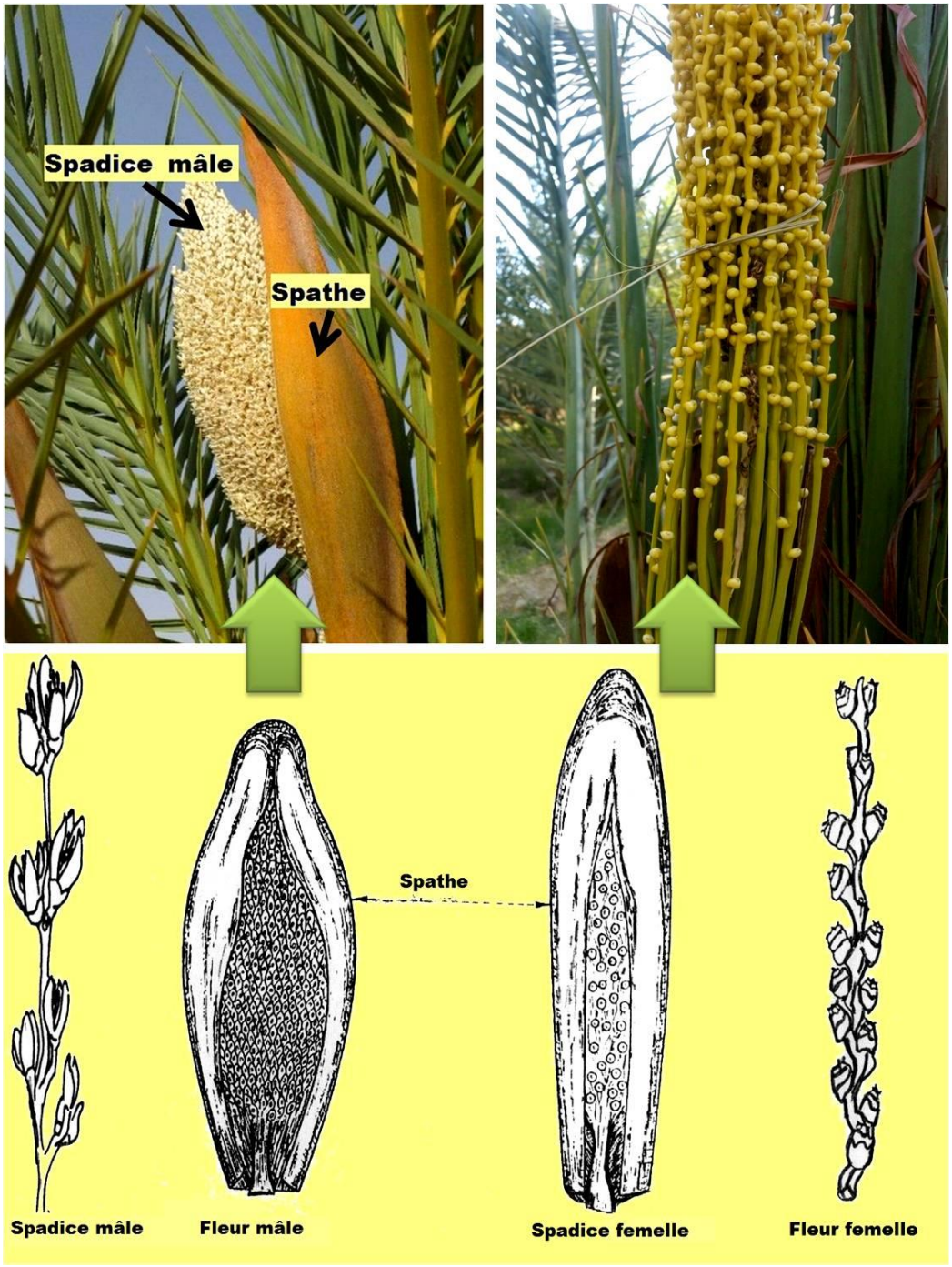


Figure 07: Inflorescences et fleurs du palmier dattier (Gammoudi *et al*., 2016).

Les dattes sont portées par un régime composé d'un long pédoncule et d'un rachis ramifié en épillets florifères. Les dattes portées par les épillets conservent le périanthe desséché à leur base. Leur couleur varie selon les cultivars et le stade de maturité. Elles sont généralement oblongues mais peuvent être presque rondes, selon la variété (Figure 08).

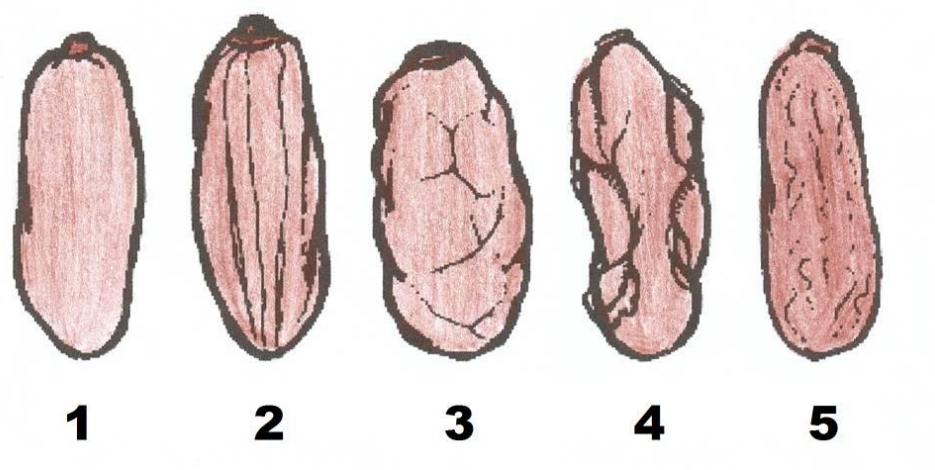


Figure 08: Formes de l'épicarpe de dattes. 1, lisse ; 2, plissé ; 3, gaufré ; 4, cloqué ; 5, tatoué (IPGRI, 2005).

1.1.5. Valeur nutritive

La datte est composée d'un noyau entourée de la chair. Les constituants de la chair sont : eau, sucres (glucose, fructose et saccharose), cellulose, éléments minéraux, tannins et vitamines. La valeur énergétique de 100 gramme de datte est de 300 calories. Le tableau 02 présente la composition de la datte fraiche en pourcentage (%) selon trois auteurs différents.

Tableau 02 : Composition de la datte fraiche (en%, et en mg/100g datte en matière sèche), d'après BALLAND, HUSSON, et Perrot et Lecoq (Munier, 1973 ; Al-Shahib et Marshall, 2003).

Compositions	**Référence (Munier, 1973)**			**Moyenne**
	Balland	**Husson**	**Perrot et Lecoq**	
Eau	25	20	23	22.66
Cendres	1.90	1.15	1.18	1.41
Protides	1.78	2.20	1.43	1.80
Lipides	0.29	0.60	-	0.44
Glucides	67.56	73	66.32	68.96
Cellulose	3.55	-	7.22	5.38
Eléments minéraux	**Référence (Al-Shahib et Marshall, 2003)**			
Bore (B)	3,3 – 5,6			
Calcium (Ca)	9,5 – 20,7			
Cobalt (Co)	0,8 – 1,0			
Fluor (F)	0,1 – 0,2			
Magnésium (Mg)	47 - 82			
Manganèse (Mn)	0,3 – 5,9			
Potassium (K)	107,4 - 916			
Phosphore (P)	13 - 63			
Zinc (Zn)	0,1 – 1,8			

1.1.6. Cycle végétatif du palmier dattier

1.1.6.1. Stade phénologique

Le développement du palmier dattier se caractérise par quatre phases distinctes (Belguedj, 2002 ; Ferry, 2003):

- ***Phase I, jeune :*** croissance et développement (5 -7 ans) ;
- ***Phase II, juvénile :*** période d'entrée en production (30 ans) ;
- ***Phase III, adulte :*** début décroissance de production (60 ans).
- ***Phase IV, de sénescence :*** Chute de la production (80ans et plus).

1.1.6.2. Stade annuel de production

Le tableau 03 présente les différentes étapes du cycle végétatif annuel du palmier dattier avec la durée de chaque phase. Le tableau 04 résume les principales opérations de l'itinéraire technique appliquées à la culture du palmier dattier. Dans les palmerais algériennes, ces opérations sont variables dans leurs application d'une opération à une autre, d'une région phoenicicole à une autre, et d'une exploitation phoenicicole à une autre ; selon le niveau du savoir-faire, les moyens financiers et la disponibilité des moyens (Benziouche et Chehat, 2010). D'ailleurs, c'est l'une des contraintes qui entravent le développement de Phoeniciculture algérienne (Benziouche et Cheriet, 2012).

Tableau 03 : Cycle végétatif annuel du palmier dattier (Belguedj, 2002).

Stade et période	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Apparition des spathes (floraison)												
Croissance des spathes												
Ouverture des spathes												
Fécondation												
Nouaison												
Grossissement des fruits												
Pré-maturation (Bser)												
Maturation (Tamer)												
Récolte												
Repos végétatif												

Tableau 04 : Calendrier des itinéraires technique réalisés pendant l'année de production du palmier dattier (ITDAS, Biskra, 2007 ; Sedra, 2003a ; 2013).

Opérations	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Travaux du sol												
Epandage de fumier												
Epandage d'engrais												
Irrigation	**Une irrigation chaque 20 jours**				**Une irrigation chaque semaine**						**Irrigation/20j**	
Pollinisation												
Lutte contre le Boufaroua						01 traite-ment	02 traite-ments					
Lutte contre la pyrale de dattes							01 traite-ment	01 traite-ment	01 traite-ment			
Descente des régimes						20 Juin						
Limitation – Ciselage						20 Juin						
Taille des palmes												
Ensachage								15 Aout				
Lutte contre le Khamedj (*Mauginiella secatae*)												
Récolte												

1.1.6.3. Multiplication du palmier dattier

Dans les populations non cultivées, le dattier se multiplie à la fois par le biais de graines (reproduction sexuée) et par propagation de rejets (reproduction asexuée). En culture, il est principalement propagé par voie végétative. La Micropropagation du palmier dattier est maintenant devenu une réalité commerciale, rendue possible par les efforts dévoués plusieurs scientifiques (Hodel et Pittenger, 2003 et Al-khalifah et Shanavaskhan, 2012).

1.1.6.3.1. Par graine (voie sexuée)

Le palmier dattier est une plante dioïque très hétérozygote. Dans les peuplements naturels le pollen des plantes males est porté par le vent et par les insectes sur les organes sexuels des plantes femelles, fécondant les dattes (Wertheimer, 1956). La reproduction par la voie sexuée conduit à une population très hétérogène (Fki *et al.*, 2008 et Sedra, 2003a).

La multiplication par voie sexuée consiste à semer les graines. Elle entraîne l'apparition de nouveaux phénotypes qui peuvent être intéressants mais comporte également plusieurs désavantages. Dans un premier temps, il faut attendre plusieurs années avant d'obtenir des

fruits. Dans un second temps, le dattier étant hétérozygote, l'individu issu d'une graine ne produira que dans de rares cas (4%) des fruits possédant des qualités organoleptiques équivalentes ou supérieures à celles des parents (Peyron, 2000).

Enfin, les graines semées donnent 50% de mâles et 50% de femelles. Etant donné que seules les femelles produisent des dattes, cette méthode de propagation apparaît peu rentable (Fki et *al.*, 2008 ; Al-khalifah et Shanavaskhan, 2012 ; Gros-Balthazard, 2012).

1.1.6.3.2. Par rejet (voie végétative)

Depuis des siècles, la multiplication par rejet était la méthode uniquement commerciale de multiplication végétative en palmier dattier. Ces rejets sont produits à partir des bourgeons axillaires naissant de la base du tronc pendant la vie juvénile de la palme (Hodel et Pittenger, 2003 et Al-khalifah et Shanavaskhan, 2012).

La multiplication végétative contourne les contraintes engendrées par la multiplication par voie sexuée (Gros-Balthazard, 2012). Cette voie garantit la conformité des caractères du pied mère et par conséquent les qualités organoleptiques du fruit (Drummond, 1919). Néanmoins, le palmier dattier ne produit qu'un nombre limité de rejets au cours de sa vie en moyenne 20 à 40 rejets selon le cultivar (Elhoumaizi, 2002).

1.1.6.3.3. Culture *in vitro*

La multiplication traditionnelle par rejet de ces obtentions ne permet pas de répondre aux énormes besoins en plants nécessaires pour combattre contres différentes maladies telle que« le Bayoud *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, et le recours aux techniques de culture *in vitro* demeure la voie incontestable pour la multiplication en masse et la diffusion rapide de ces cultivars en palmeraie (Anjarne *et al.,*2005). Deux méthodes existent : l'organogénèse qui repose sur les capacités de bourgeonnement de plusieurs types d'explants et l'embryogénèse somatique qui vise à dédifférencier des cellules somatiques afin de permettre la formation d'embryons (Gros-Balthazard, 2012).

1.1.7. Caractéristiques agroécologiques

1.1.7.1. Climat

1.1.7.1.1. Température

Espèce thermophile, le palmier dattier ne peut fructifier au dessous de la température 18 °C, mais supporte les températures basses. Il ne fleurit que si la température moyenne est de

20 à 25°C. L'humidité qui convient au palmier est celle de la zone saharienne, souvent inférieure à 40%.

D'après Toutain (1979), le palmier doit bénéficier, pour donner une production normale d'un climat chaud, sec et ensoleillé. Il craint le gel à -6°C le bout de ses folioles gèle à - 9°C, ses palmes gèlent.

Les « Zéro » de végétation sont : +4°C et +7°C Maximum d'intensité végétative : de 32°C à 38°C. Les besoin de chaleur pour la fructification varient avec les variétés, entre 3700°C et 5000°C (+), (Toutain, 1979). Il craint les pluies à l'époque de la pollinisation et sur la récolte pendant et au moment de la maturité des dattes.

1.1.7.1.2. Humidité

Le palmier dattier est sensible à l'humidité de l'air pendant la floraison et la fructification. Une forte humidité diminue la transpiration des dattes, qui, de ce fait ne mûrissent pas (Bouguedoura, 1991). Les meilleures dattes sont récoltées dans les régions où l'humidité de l'air est moyennement faible (40%) (Bouguedoura, 1991).

1.1.7.2. Sol

Les palmiers sont cultivés dans des sols très variés, ils se contentent de sols squelettiques : sableux, sans aucune consistance mais affectionne les sols meubles et profonds, assez riches ou susceptibles d'êtres fertilisés. C'est une espèce qui craint l'argile (Toutain, 1979 ; Sedra, 2003).

Le palmier dattier s'adapte à tous les sols, les plus légers lui conviennent le mieux. Dans les sols à nappes phréatiques peu profondes, le palmier dattier doit disposer d'un minimum de 1.20 m de sol assaini pour bien végéter (Toutain, 1979).

1.1.7.3. Eau

Pour assurer une bonne production dattier, l'arbre a besoin de 16.000 à 20.000 m^3/ha/an, selon la nature du sol, la profondeur de la nappe et le degré d'insolation et de température. Les besoins en eau, la fréquence des irrigations nécessaires sont maintenant connus avec une approximation suffisante dans des conditions de salinité de l'eau et des sols et de texture de sols déterminées (Ben Abdallah, 1990).

1.1.8. Production du palmier dattier

1.1.8.1. Dans le monde

Selon les statistiques de la FAO, le nombre total de palmiers dans le monde n'a cessé pas de croitre d'une décennie à l'autre ; il passe de 106 millions de palmiers en 1994 à 180 millions en 2005 soit un accroissement de près de 69.44%.

L'Asie vient en tête des trois continents phoenicicole (l'Asie, l'Afrique et l'Amérique) avec 125.5 millions de palmiers (soit 70% du patrimoine phoenicicole mondiale), dont une grande partie se trouve surtout en Iran et en Iraq avec 25 millions et 21 millions de palmiers respectivement en 2005 (Benziouche, 2012).

En Afrique qui vient en deuxième position, on compte environ 52.6 millions de palmiers en 2005 soit 29.22% du patrimoine mondial. Ce patrimoine est concentré surtout dans les pays du Nord de l'Afrique, notamment l'Algérie qui occupe la première place avec 14 millions palmiers en 2005 (Benziouche, 2012). Actuellement, plus de 18 millions (Benziouche, 2016) suivie par l'Egypte et le Maroc. Le reste, soit 1.34% du patrimoine mondial est dispersé dans le reste du monde.

La production mondiale de dattes a arrivé jusqu'à 8 millions de tonnes en 2015 (Zehdi-Azzouzi *et al.*, 2015). En 2016, la production a arrivé jusqu'à 8460443 tonnes (Figure 09), (Fao, 2021). Et en 2019, la production mondiale a dépassé 9 millions de tonnes (9075446 tonnes), dans une superficie mondiale de 1381434 Ha (Fao, 2021).

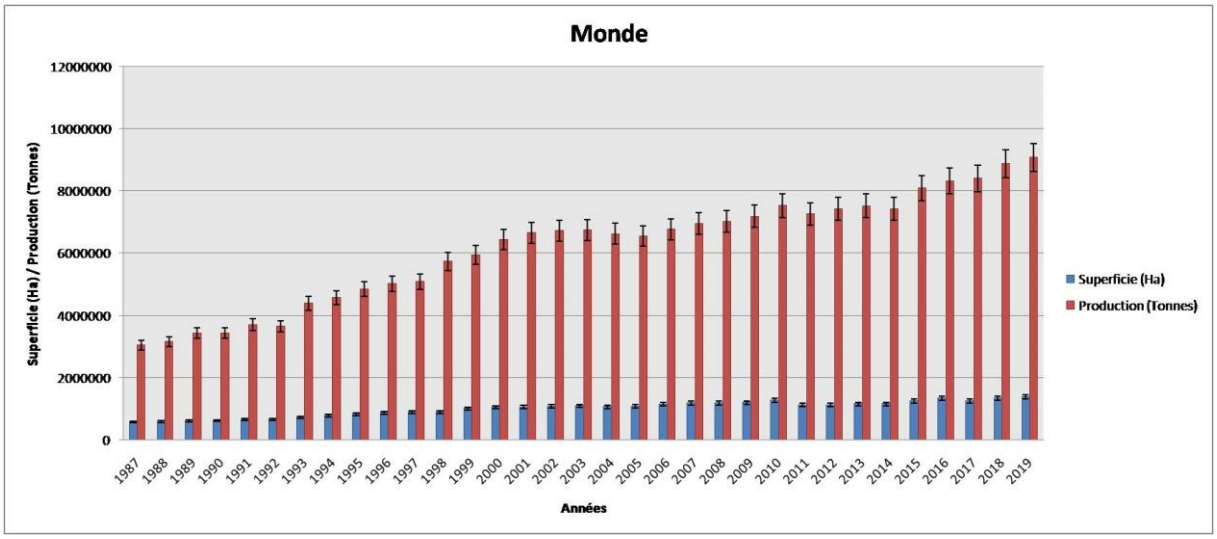


Figure 09: Evolution de la production et de la superficie du palmier dattier dans le monde durant la période 1987-2019 (Annexe 17), (Fao, 2021).

1.1.8.2. En Algérie

La phoeniciculture est considérée comme le pivot central autour duquel s'articule la vie dans les régions sahariennes. Elle revêt une grande importance socioéconomique et environnementale dans de nombreux pays (Dubost, 1990). En Algérie, cette culture occupe une place de premier rang dans l'agriculture saharienne (emploi, sédentarisation de populations, produites) (Benziouche, 2008). L'Algérie occupe une place importante parmi les pays producteurs et exportateurs de dattes dans le monde (Benziouche et Cheriet, 2012).

D'après Bouguedoura, et *al.*, (2015), le palmier dattier en Algérie est établi en plusieurs oasis réparties sur le Sud du pays où le climat est chaud et sec (zone saharienne). Compte tenu de la géographie de l'Algérie, il est possible de décrire plusieurs régions de culture de palmiers dattiers:

- Dans les contreforts des montagnes de l'Atlas (Ksour Ouled Naïl, Zibans et Aurès), il est une chaîne d'oasis qui marque l'entrée du Sahara.
- Dans l'est, Zibans (Biskra), Oued Ghir, Oued Souf (El Oued) et le bassin d'Ouargla surtout avec le cultivar Deglet Nour à haute valeur commercial.
- Dans l'Ouest, la Saoura (Béni Abbés), le Touat (Adrar), le Gourara (Timimoun), et le Tidikelt (Reggane, Aoulef) où les palmeraies incluent des cultivars de relativement faible qualité commerciale. C'est dans cette région où seulement certaines variétés résistent au bayoud, comme la Taquerboucht.
- Dans l'El Golea, le M'Zab (Ghardaïa) et Laghouat. au centre.

Selon les données de ministère de l'agriculture et du développement rural; la phoeniciculture en Algérie s'étale sur une superficie de plus de 160000 hectares depuis 2008 avec un patrimoine phoenicicole qui dépasse les 18 millions pieds et production annuelle a dépassé d'un million de tonnes à partir de l'année 2016 (1029596 tonnes), (Figure 10), (Fao, 2021). Bien que ce patrimoine soit reparti sur 17 wilayas du pays, Néanmoins il est concentré principalement dans les wilayas Sud- Est et Sud-Centre du pays (Benziouche, 2012). La première place est occupée par Biskra avec plus 23 % du patrimoine national, Suivie par la wilaya d'Adrar de près de 21% et la wilaya d'El Oued avec plus de 20% (Figure 11), (CACI-CCI Zibans, 2015).

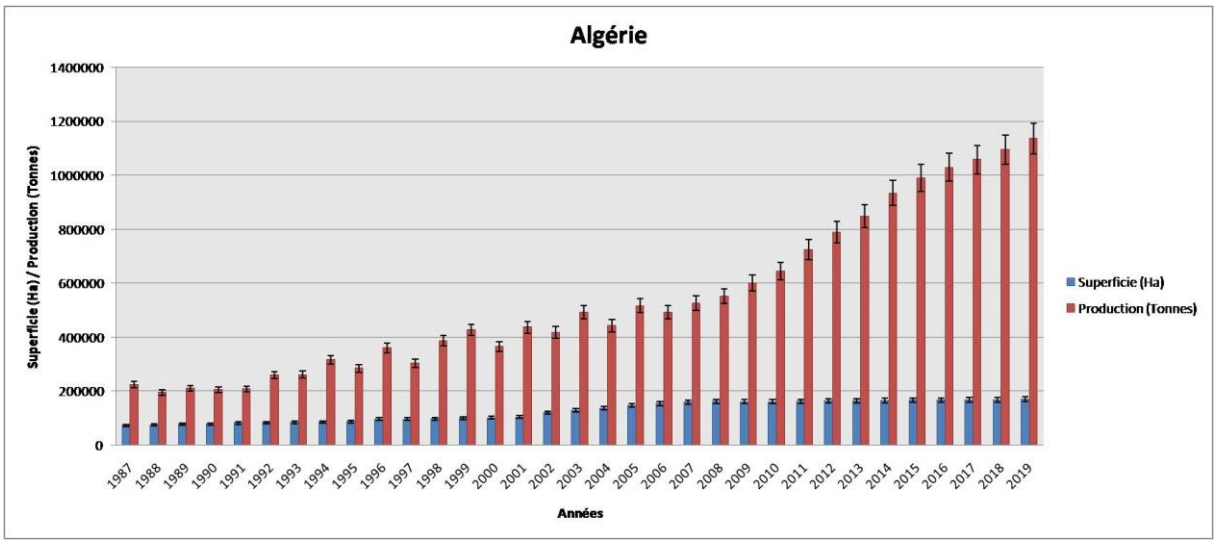


Figure 10: Evolution de la production et de la superficie du palmier dattier en Algérie durant la période 1987-2019 (Annexe 18), (Fao, 2021).

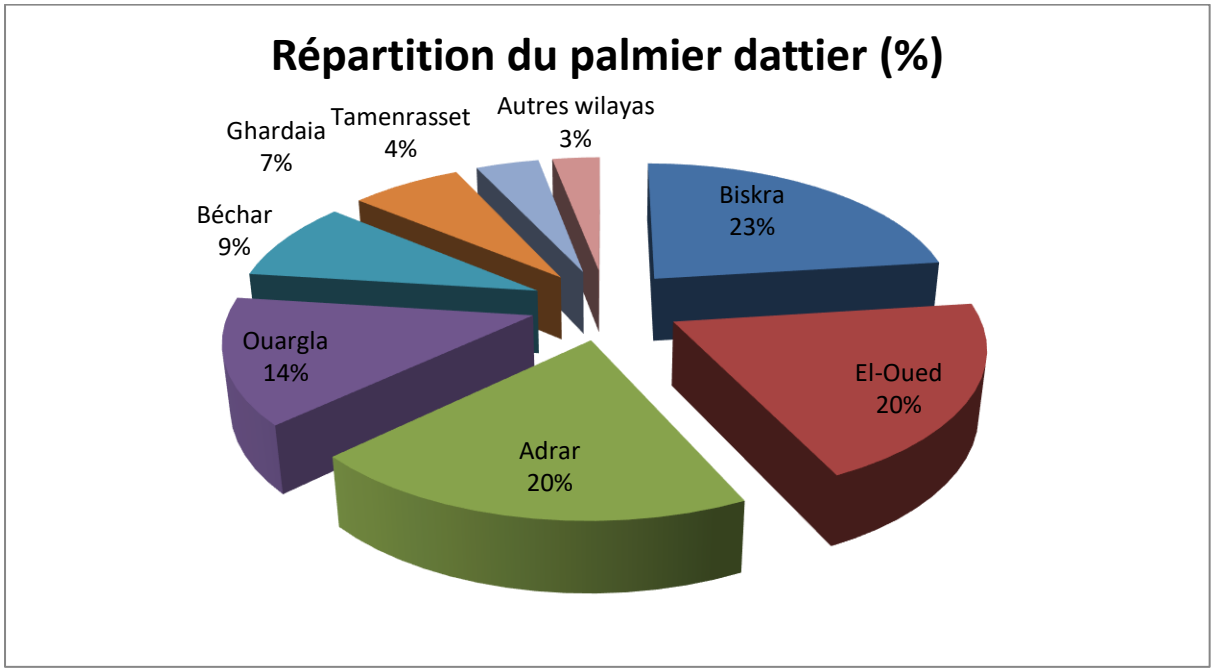


Figure 11 : Répartition des palmiers dattiers de l'Algérie par wilaya en 2014 (CACI-CCI Zibans, 2015).

La production annuelle moyenne de dattes, toutes variétés confondues, est en augmentation constante sur le long terme. Elle est passée de 361 000 Tonnes en 1996 à près de 848 000 Tonnes en 2013. En 2016, la production dattière a dépassé 1000 000 Tonnes (Fao, 2021). Ce qui la classe au 6ème rang mondial. Soit environ 10% de la production qui est dominée par l'Egypte, l'Arabie Saoudite, l'Iran, les Emirats Arabe Unies et le Pakistan. (CACI-CCI Zibans, 2015).

La production des dattes en Algérie est concentrée dans la région Sud-Est ; avec 76%. La wilaya de Biskra occupe la première place par 41%, dont 370000 de Tonnes vient de la variété Deglet Nour; soit 63.65%. La wilaya d'El-Oued vient en seconde lieu avec 25%, suivie par Ouargla par 13% ; Alors que le reste est répartie sur les autres zones phoenicicoles (Benziouche, 2016).

Au terme de variété, la variété Deglet Nour et ses analogues dominent tous les autres variétés où elles représentent la moitié de la production dattier algérienne en 2014 avec 52% (Benziouche, 2016).

1.1.9. Diversité variétale du palmier dattier en Algérie

Le patrimoine phoenicicole local, connu par sa richesse en diversité génétique; (plus de 952 cultivars selon Benziouche, 2014), est représenté par différentes catégories de ressources phytogénétiques. Beaucoup des travaux ont été initiés réaliser par certains chercheurs, Hannachi et *al.* 1998, Belguedj en 1995 et 2002 et l'étude de l'URZA en 1981 dans le cadre de programme ressources génétique de dattier …etc ; pour recenser et protéger ces richesses (IPGRI, 2005).

Le patrimoine phoenicicole local est composé d'une part importante de cultivars femelles, à un degré moindre de francs, individus issus de multiplication sexuée et de cultivars mâles appelés «Dokkars». L'ensemble forme l'essentiel du stock génétique phoenicicole Algérien. Depuis toujours, ce stock évolue sur le plan quantitatif et qualitatif. Certains cultivars ont disparu, d'autres sont apparus, des cultivars se font de plus en plus rares, alors que d'autres jouissant d'une importance économique sont régulièrement multipliés (Tirichine, 1997).

La fréquence des cultivars en Algérie diffère considérablement selon les régions. Certains sont bien représentés, d'autres le sont moins ; la rareté d'un cultivar s'étend de la représentation par quelques sujet, vieux ou non, à la quasi-disparition (Buelguedj, 1996). Ce patrimoine est caractérisé par un taux d'endémisme très élevé : 70 % dans les palmeraies du Sud-Ouest et plus de 60 % en moyenne dans celles du Sud-Est (Brac de la perriere et Benkhalifa, 1989).

Il apparaît donc que la composition variétale du palmier dattier change d'une région à une autre, suivant les conditions climatiques, les caractéristiques recherchée, etc. (Tirichine, 1997). Cette diversité variétale se manifeste par 305 variétés dattière à Adrar, 183 à Ouargla, 169 à Khenchela, 118 à Biskra et à Béchar, 81 à Naama, et 70 variétés à l'Oued (Amrani,

2019). Ces variétés sont distribuées comme fréquentes (Deglet Nour, Feggous, Degla Beida, Mech degla, Taquebouchet, Charka, Tinnaceur), rares (Sbaa Soltan, Figuig), et abandonnées (Adem, Boussekri, Madjhoul), (Figure 12), (Amrani, 2019).

Selon Tirichine, (1997), la composante variétale de l'ensemble des oasis se caractérise par:

- Une prédominance totale de la DegletNour dans les zones du sud-est (Ziban, Oued Righ, Souf) et à un degré moindre le M'zab. Il faut noter en outre la présence dans ces palmeraies des cultivars Ghars, Mech-Degla et Degla Beïda;
- Une dominance exclusive des 'variétés' dites « communes » à faible valeur marchande dans les oasis du Sud-Ouest Un seul cultivar, Taquerboucht, parmi ceux composant ces plantations est résistant au Bayoud ; malheureusement son potentiel est jugé trop faible et son adaptation est trop limitée pour repeupler des zones dévastées;
- Des 'variétés' « communes » se retrouvent à travers les oasis des zones sub-sahariennes : Tebessa, Khenchela, Batna, Laghouat, El- Bayedh et Naama (Figure 13).



Figure 12 : Diversité morphologique de fruits/graines des principales variétés locales du palmier dattier en Algérie. (Source : BELAIDI, 2020).

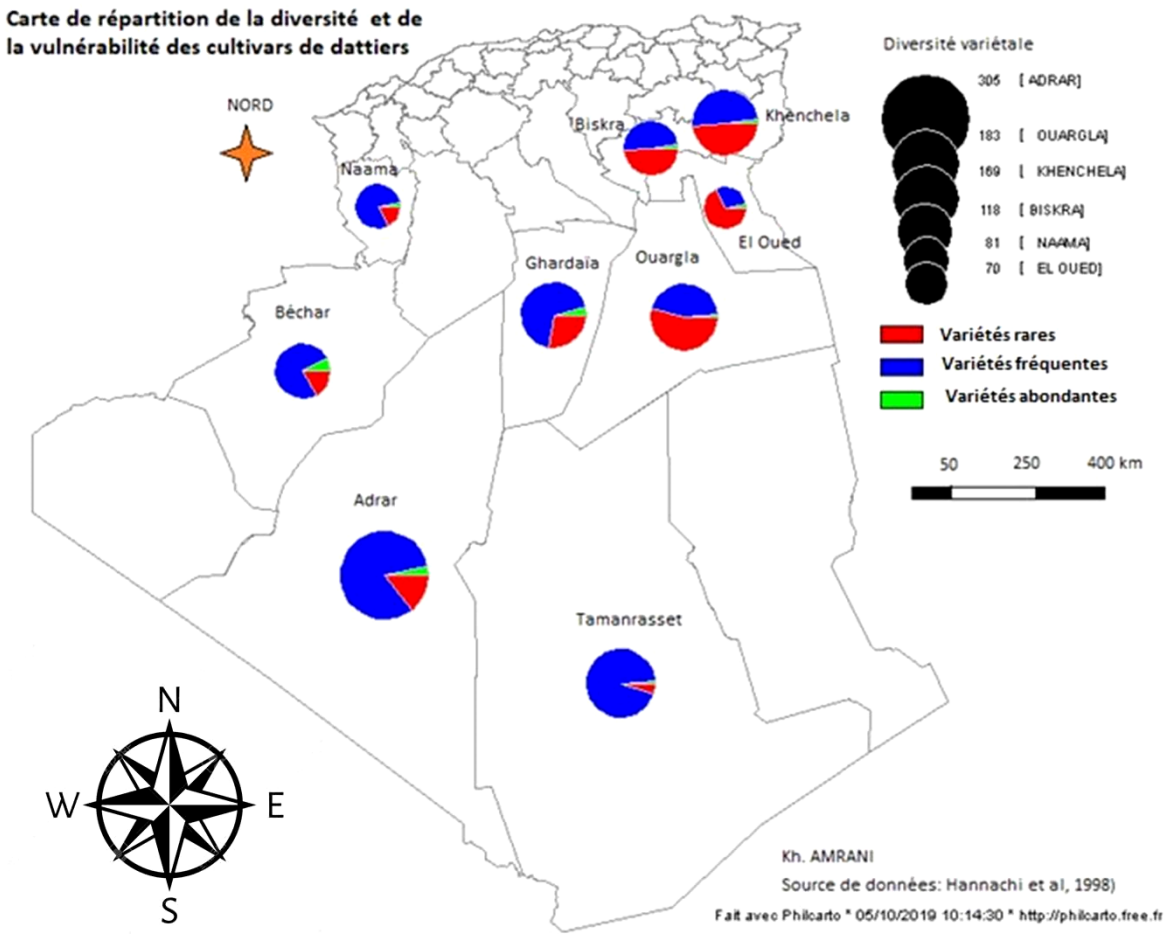


Figure 13: Diversité et distribution géographique des variétés locales algériennes du palmier dattier (Amrani, 2019).

Le tableau 05, présente les principaux cultivars locaux du palmier dattier installés dans les palmeraies algériennes avec leurs localisations géographiques.

Tableau 05: Principaux cultivars du palmier dattier en Algérie avec leurs localisations (Hannachi *et al*., 2005 ; Benzohra *et al*., 2015).

Cultivars	**Localisations**	**Cultivars**	**Localisations**
Ghars	Oued Righ, Ziban, Ouargla, Oued Souf, M'zab.	H'mira	Saoura, Touat, Gourrara.
Deglet Nour	Oued Righ, Ziban, Oued Souf, M'zab.	Hartan	Saoura, Touat, Gourrara.
Mech Degla	Oued Righ, Ziban, Oued Souf, M'zab.	Cheikh M'hamed	Touat, Gourrara.
Degla Beida	Oued Righ, Ziban, Oued Souf, M'zab.	Tinnaceur	Saoura, Touat, Gourrara.
Tanboucht	Oued Righ, Ouargla, Tidikelt.	Tamdjouhert	Saoura, Touat, Gourrara.
Charka	Saoura, Touat, Gourrara.	Adem	Touat, Gourrara.
Taquerboucht	Touat, Gourrara, Tidikelt, M'zab.	Adem Boulla	Saoura, Touat, Gourrara.
Tafezouine	Oued souf, Oued Righ, M'zab.	Feggous	Saoura
Figuig	Saoura	Taguezza	Touat, Tidikelt, El-Goléa.
Sbaa Soltan	Saoura	Bint Kbala	M'zab
Charka	Saoura, Gourrara	Azarza	M'zab

1.1.10. Contraintes du palmier dattier dans l'agrosystème oasien

Au niveau mondial, les *ennemis* de la culture du palmier dattier sont nombreux et diversifiés (Tableau 06). Les dégâts qu'ils occasionnent annuellement peuvent atteindre 40% de la production en fonction des pays phoenicicoles. Plus de *110 ennemis nuisibles* représentés jusqu'à maintenant par 135 espèces, ont été énumérés pour la culture du palmier. On compte 75 ennemis (parasites et ravageurs invertébrés) représentés par 108 espèces, plus de 11 animaux et 8 maladies correspondant aux anomalies d'origine physiologique ou inconnue. (Sedra, 2003a,b,c). Ces ennemis attaques le palmier au niveau de tous les organes : racines, base et le long du tronc, la partie apicale et le coeur de l'arbre, les palmes, les inflorescences et les fruits.

Tableau 06 : Ennemis de la culture du palmier dattier dans le monde (Sedra, 2013).

Ennemis		**Nombres d'espèces ou de contraintes**
Maladies parasitaires		35
Ravageurs	Insectes	51
	Acariens	11
	Nématodes	11
Maladies physiologiques (non parasitaires) ou d'origines inconnues		8
Mauvaises herbes (herbes concurrentes)		16
Oiseaux et chauve-souris		6
Rongeurs et mollusques		5
Autres petits animaux		Plusieurs
Total (Nombre d'espèces)		**Plus de 135**

1.1.10.1. Contraintes abiotiques

1.1.10.1.1. Salinité

La salinité accentue les effets de la sécheresse en limitant les prélèvements de l'eau par la plante, par la réduction de la différence des potentiels osmotiques entre la solution du sol et la plante (Hopkine, 2003). Le palmier dattier présente une tolérance à la salinité des eaux et des sols jusqu'à 6% des sels solubles. Mais pour des taux élevés de salinité la production dattière serait faible (Arar, 1975). La salinité élevée de l'eau d'irrigation (15g/l), a un effet médiocre sur la vitesse de croissance du palmier dattier et le rendement en dattes (Dakhia *et al*., 2013).

La toxicité des sels essentiellement les chlorures de sodium et de magnésium, dépend du taux d'humidité du sol. Le palmier dattier se développe normalement lorsque la concentration de la solution en sels est inférieure à 10%o, par conséquent, sa tolérance aux sels est très importante (Peyron, 2000).

1.1.10.1.2. Sécheresse

L'irrigation est un élément essentiel pour lutter contre la sécheresse, stabiliser les rendements et améliorer la qualité des dattes, la dose d'irrigation par arbre et par mois varie de 9 à 16 m3 en période froide et de 17 à 25 m^3 en période chaude, elle varie également en

fonction de l'âge des palmiers, de leur densité et de la méthode d'irrigation, la dose annuelle moyenne d'irrigation pour un hectare de 100 palmiers varie de 11 000 à 16 750 m^3.

1.1.10.1.3. Maladie des feuilles cassantes

La maladie des feuilles cassantes (Figure 14), est une maladie non parasitaire apparue en Algérie depuis quelques années, et elle constitue une véritable menace pour la phoeniciculture en Afrique du Nord (Triki *et al*., 2003). Les causes de cette maladie sont dues à la carence en élément nutritif, le Manganèse (Mn) (Triki *et al.*, 2003).

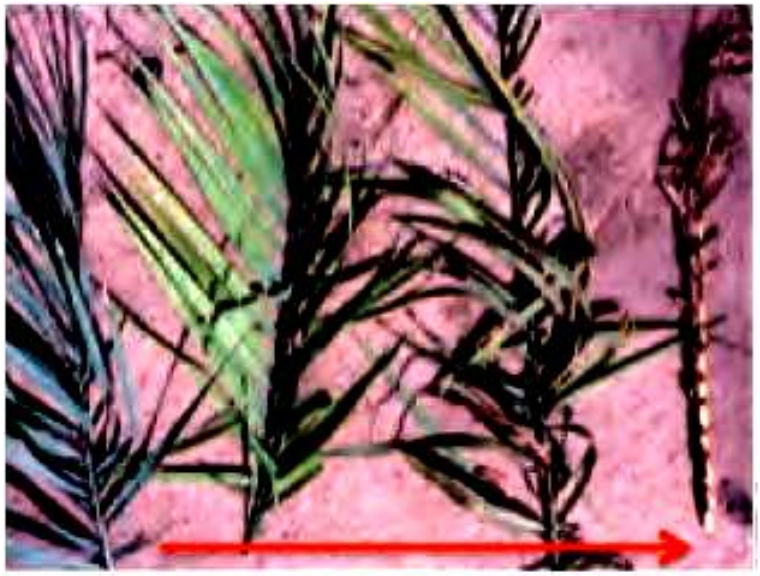


Figure 14: Maladie des feuilles cassantes du palmier dattier (Sedra, 2013).

1.1.10.2. Contraintes biotiques

1.1.10.2.1. Ravageurs

1.1.10.2.1.1. Pyrale de datte

La pyrale des dattes (*Ectomyelois ceratoniae* Zeller), (Figure 14), est considérée à l'heure actuelle comme un danger permanant pour la phoéniciculture algérienne. Les dégâts qu'elle occasionne peuvent atteindre 10 à 20 % de la production dattière et parfois atteint les 29 % (Ouamane *et al*., 2017). Ce taux varie selon les années et les conditions climatiques. La polyphagie de cet insecte et sa large répartition dans l'espace, sur des hôtes variées ainsi que le comportement particulier de ses chenilles néonatales actives se trouvant quelques heures après l'éclosion à l'intérieur des dattes (Baaziz, 2003).

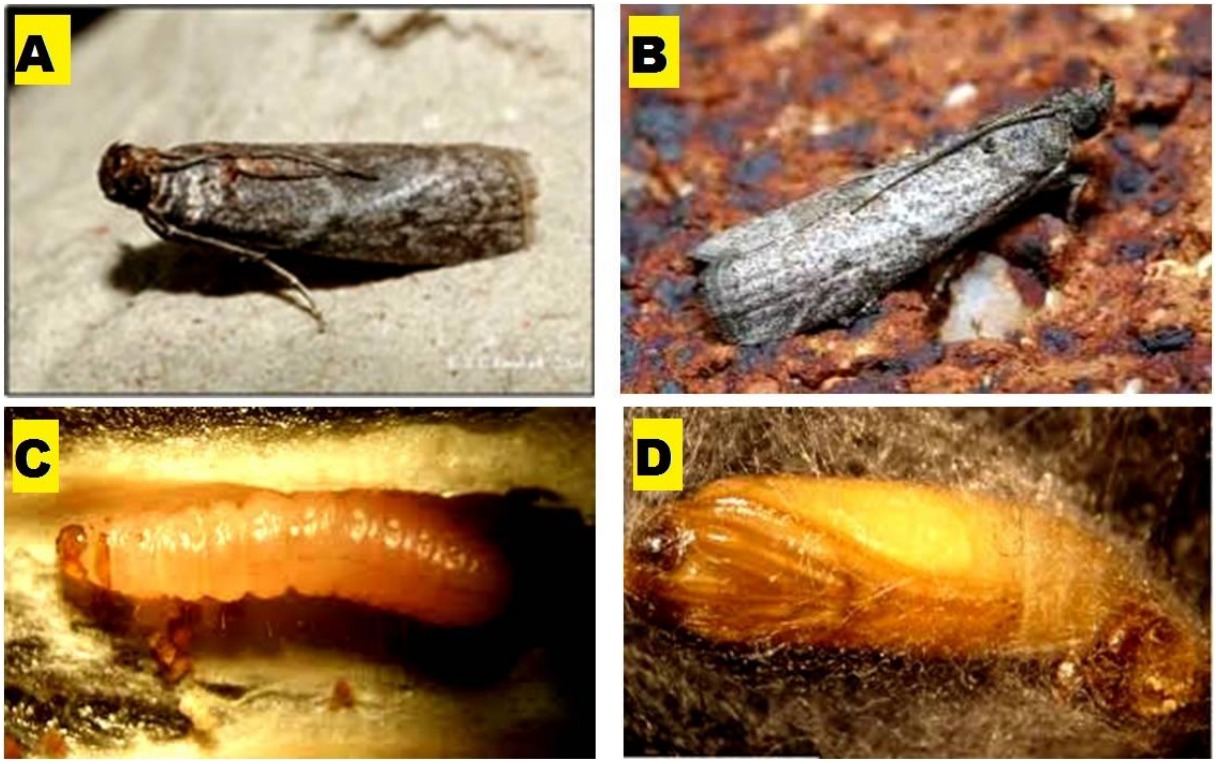


Figure 15: La pyrale de datte (*Ectomyelois ceratoniae* Zeller). A, B : Insecte adulte (papillon) ; C : Stade larvaire (Chenille) ; D : Stade nymphe (Cherysalide). Source : Cente Technique des Dattes, URL : http://www.ctd.tn/fr/pyrale-des-dattes-ectomyelois-ceratoniae-zell-185.html

1.1.10.2.1.2. Boufaroua

L'acarien du palmier dattier (*Oligonychus afrasiaticus* Mc. Gr., Aracnides, Tetranidae), communément appelé Boufaroua, est l'un des principaux ravageurs du palmier dattier qui peut causer des dégâts considérables allant jusqu'à l'anéantissement total de la récolte. Cet acarien se trouve dans toutes les palmeraies de l'Afrique du Nord (Idder, 2011). Ce ravageur attaque tous les cultivars sauf ceux qui sont précoces (Dakhia *et al*., 2013), et toutes les parties du palmier dattier comme feuilles, rejet, fruit …etc. (Figure 16), (Idder, 2011). Le risque d'attaque de ce ravageur est plus important en temps de sirocco et sous températures élevées (Baaziz, 2003).



Figure 16: Boufaroua sur les fruits du palmier dattier. A, Adule d'acarien jeune ; B, Début d'attaques sur les fruits de dattes ; C : Dégâts finales sur les fruits de dattes (INPV, 2017 ; 2018).

1.1.10.2.1.3. Cochenille blanche

La cochenille blanche (*Parlatoria blanchardi* TARG) est l'un des ravageurs touchant la vigueur et même la survie des palmiers dattiers par le biais de ses générations, au nombre de cinq, qui s'interfèrent dans l'année, et dont la plus dangereuse est celle qui parvient du mois de septembre au mois de décembre où apparaissent de nombreuses nymphes (Idder, 2011). Elle apparaît comme des écailles cireuses de forme ovale et de taille variable (1 et 1,5 mm) ; sa couleur est blanche ou grise, sur les palmes et les folioles (Figure 17), (Idder, 2011). En cas de fortes attaques, elle apparaît sur les fruits. Ces écailles ne sont autre que des cuticules de mutations et des secrétions cireuses servant à la protection de l'insecte qui vit en dessous d'elles (Idder, 2011).

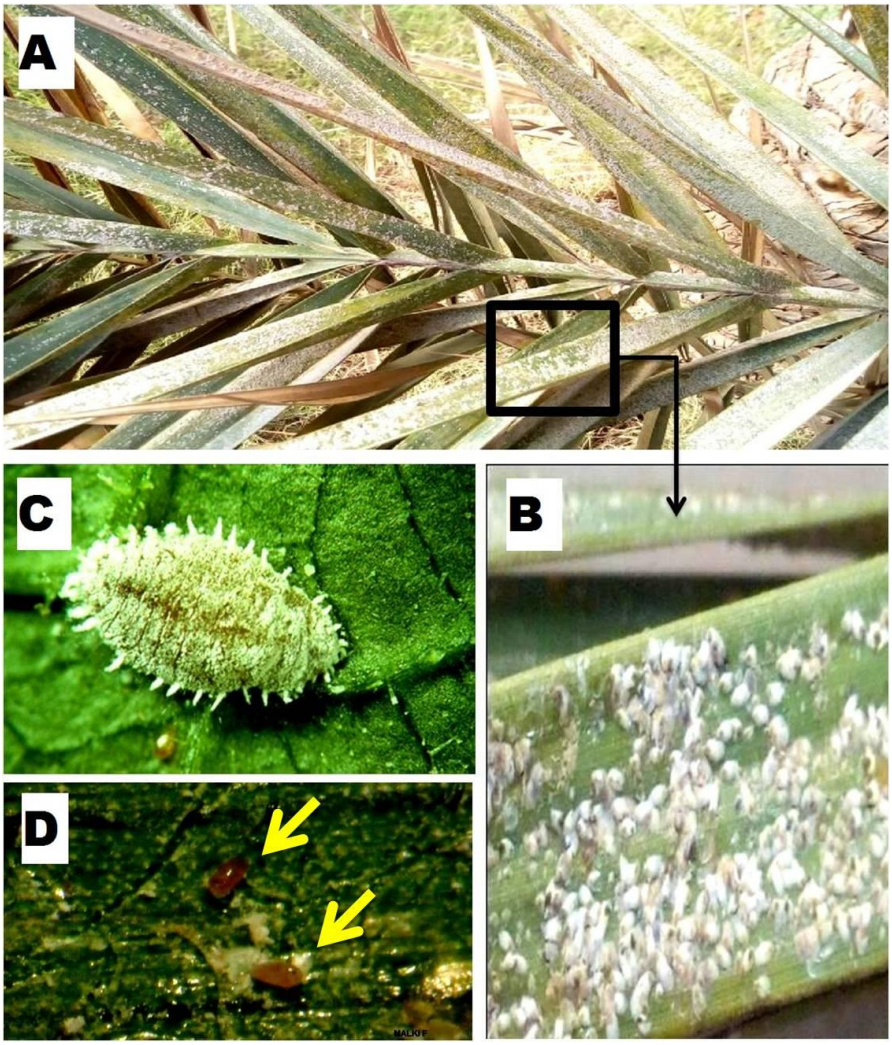


Figure 17: Cochenille blanche (*Parlatoria blanchardi* TARG) et ses dégâts sur le palmier dattier. A, B: Duvet blanc sur les feuilles des palmes ; C : Adule ; D : Oeufs (Idder, 2011).

1.1.10.2.1.4. Charançon rouge (*Rhynchophorus ferrugineus*)

Cet insecte est un coléoptère appelé charançon rouge (*Rhynchophorus ferrugineus* Olivier), originaire des régions tropicales du sud-est asiatique, il est signalé en 1985 au Moyen Orient où il a colonisé la quasi-totalité des pays en une dizaine d'années (Figure 18). Les échanges commerciaux sont la principale cause de sa dissémination mondiale. C'est ainsi qu'il sera détecté en Egypte et en Espagne en 1994, sur une île du sud du Japon en 2000, puis enfin en Italie, aux îles Canaries et en Turquie en 2005 (Besse *et al*., 2011 ; Corse-Fredon, 2015).

Le charançon rouge a été signalé sur une vingtaine d'espèces de palmiers à travers le monde parmi les plus importantes d'un point de vue économique et ornemental, tels que le cocotier (*Cocos nucifera* L.), le palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq), le palmier dattier (*Phoenix dactilyfera* L), (Besse *et al*., 2011). Il est aujourd'hui présent sur 15 % des surfaces

mondiales cultivées de cocotiers et environ 50 % des surfaces cultivées de dattiers (Faleiro, 2006).

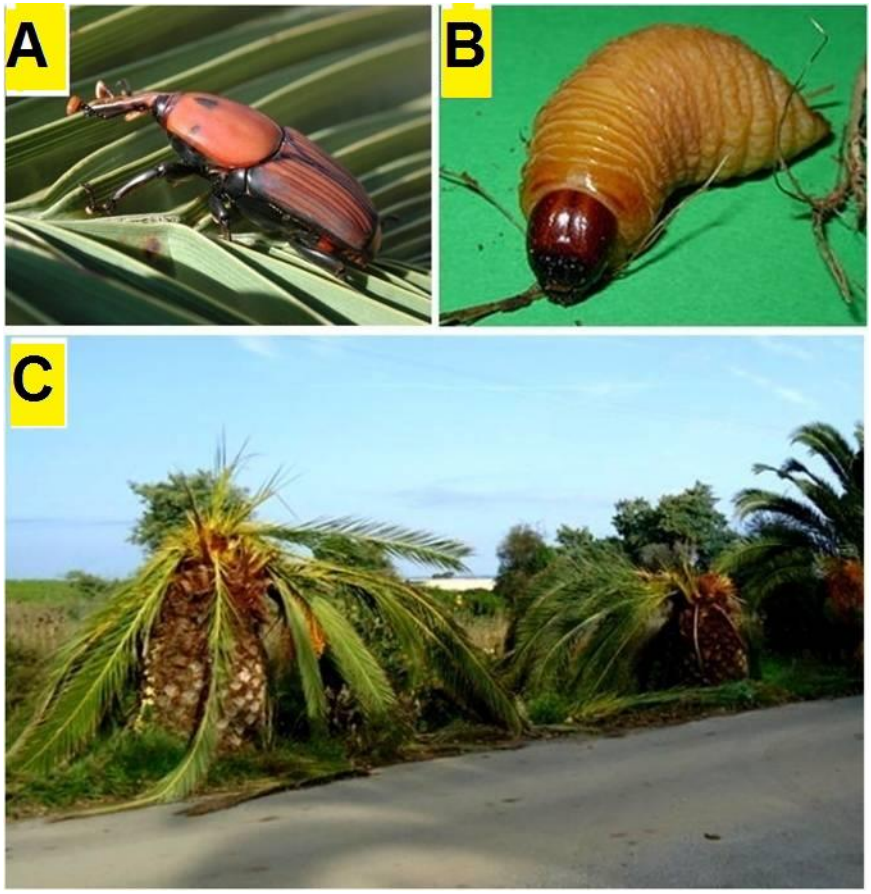


Figure 18: Le charançon rouge (*Rhynchophorus ferrugineus* Olivier), A : Ravageur en stade adule ; B : Ravageur en stade larvaire ; C : Dégâts sur le palmier dattier en route de santa-Maria en Corse, France (Corse-Fredon, 2015).

1.1.10.2.2. Maladies

1.1.10.2.2.1. Pourriture des cœurs (Dessèchement noir des palmes)

Cette maladie est appelée aussi Mejnoun (palmier fou), (Figure 19). Elle a été observée dans différentes régions du Maghreb, en Mauritanie, en Egypte, en Arabie Saoudite, en Irak, aux Emirats et à très importante, elle peut être grave et entraîne la mort des sujets atteints (Bounaga et Djerbi, 1990). Cette maladie est rencontrée dans presque toutes les palmeraies algériennes et dans la plupart des pays phoénicicoles (Sedra, 2013). Certaines variétés seraient très: est la forme imparfaite *Thielaviopsis paradoxa* (Des Seynes) Sacc. Hyphoales, ce champignon peut envahir aussi bien les parties aériennes que les racines du dattier causant : le dessèchement noir des feuilles ; la pourriture des inflorescences ; la pourriture des cœurs et du

stipe ; et la pourriture du bourgeon terminal (Figure 19). Pour prévenir et lutter contre cette maladie, il est conseillé de respecter les mesures suivantes de façon intégrée comme suivant:

• Veiller à la bonne conduite, l'entretien et le nettoyage des palmiers. Un bon entretien peut réduire l'incidence des maladies et limiter leur extension ;
• Eviter les blessures de jeunes palmes et de la zone apicale de l'arbre aux moments de la taille et de la récolte ;
• Eviter d'enlever les épines en les tirant entraînant ainsi les blessures du rachis des palmes ;
• Eliminer les palmes atteintes, les incinérer et protéger les plaies de coupure des palmes par des produits désinfectants et cicatrisants (matière active : 2% de cuivre métal 'sous forme d'oxychlorure de cuivre', formulé en paste (PA) ou produits similaires) et surtout les palmes de la couronne du haut (Sedra, 2013).



Figure 19: Pourriture des cœurs du palmier dattier causées par *Thielaviopsis paradoxa* (Zaid *et al.*, 2002 ; Sedra, 2013).

1.1.10.2.2.2. Pourritures des inflorescences (Khamedj)

Cette maladie est causée par un champignon imparfait de l'ordre des hyphales à chaînes conidies hyalines, fragmentent en articles mono ou bicellulaire appelé *Fusarium moniliform* (Forme sexuée : *Mauginiella Scaettae*). Elle est connue dans presque toutes les zones de

culture du dattier, c'est une maladie grave qui sévit dans nombreux palmeraies négligées des régions chaudes et humides (Bounaga et Djerbi, 1990).

Cette maladie affecte les inflorescences mâles et femelles du palmier dattier au moment de l'émergence des spathes au printemps et provoque leur pourriture (Figure 20), (INPV, 2017). Les premiers symptômes visibles de la maladie apparaissent sur les tissus des jeunes spathes lors de leur émergence sous forme des taches elliptiques ou allongées roussâtres puis brunâtres .Lorsque l'attaque est légère une partie seulement des bourgeons floraux est détruite et tombe. Les autres bourgeons se développent normalement. Dans le cas d'attaque sévère la spathe ne s'ouvre pas à cause de la destruction totale des fleurs et des pédicelles, les inflorescences dessèchent et se recouvrent par un feutrage mycélien. La lutte à entretenir les palmeraies et les palmiers (après destruction par le feu des inflorescences atteintes) et au traitement des palmiers à de divers fongicides (Bounaga et Djerbi, 1990).

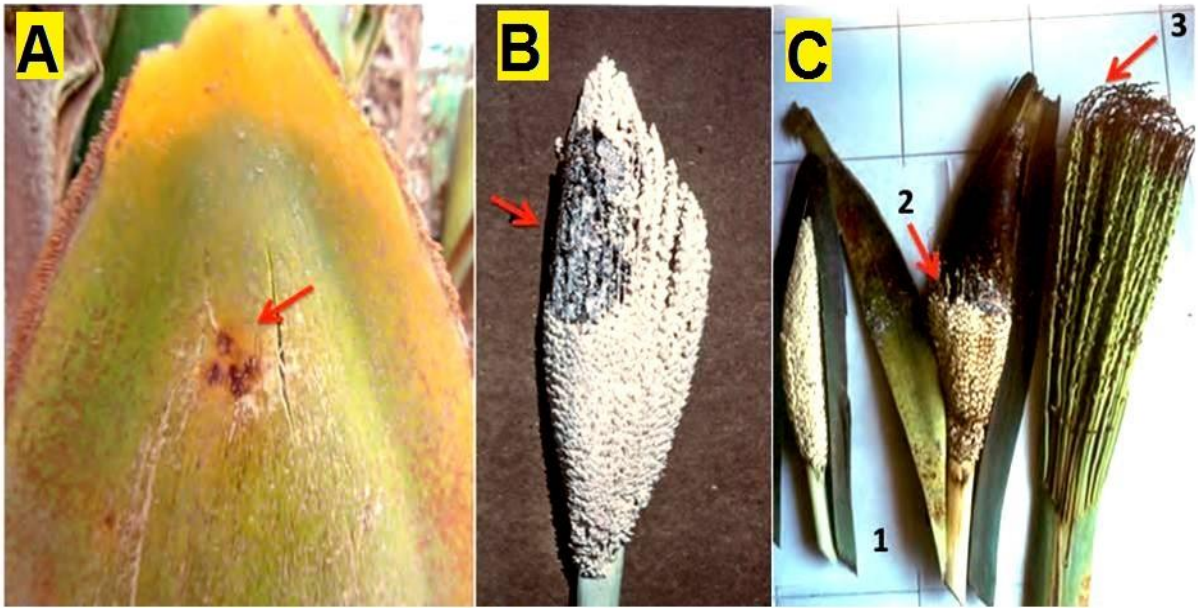


Figure 20: Pourriture des inflorescences (Khamedj) du palmier dattier causée par (*Mauginiella Scaettae*),. Symptômes de la pourriture des inflorescences du palmier dus à l'attaque de différents parasites. **A**: premier symptôme apparent (taches brun-marrons) sur l'enveloppe de la jeune spathe avant son ouverture ; **B**: pourriture blanche ; **C**: spathe saine (**1**), pourriture rosâtre (**2**) et pourriture sèche brun marron (**3**) dues à l'attaque de *Fusarium moniliforme*. (Sedra, 2013).

1.1.10.2.2.3. Belâat (Avalement du Cœur)

Cette maladie fongique causée par *Phytophthora palmivora* (Classe: Oomycètes ; Ordre: Peronosporales ; Famille: Peronosporaceae).

Les symptômes sont caractérisés par une destruction du cœur du palmier qui se traduit par la présence d'un creux sous forme d'une crête volcanique (El-Bouhssini et Faleiro, 2018).

Les méthodes de prévention et de lutte consistent à:

- Procéder aux traitements préventifs (une fois) et curatifs (répétés deux ou trois fois avec un intervalle de 12 à 15 jours). Exemples de fongicides utilisés: bouillie bordelaise à base du cuivre (préventif); injection du métalaxyle ou du fosetyl-Aluminium (préventif et curatif).
- Pulvériser les palmiers atteints avec des fongicides à l'aide de lances puissantes.
- Assurer le développement normal et droit d'un bourgeon latéral qui remplacera le bourgeon apical détruit (El-Bouhssini et Faleiro, 2018).

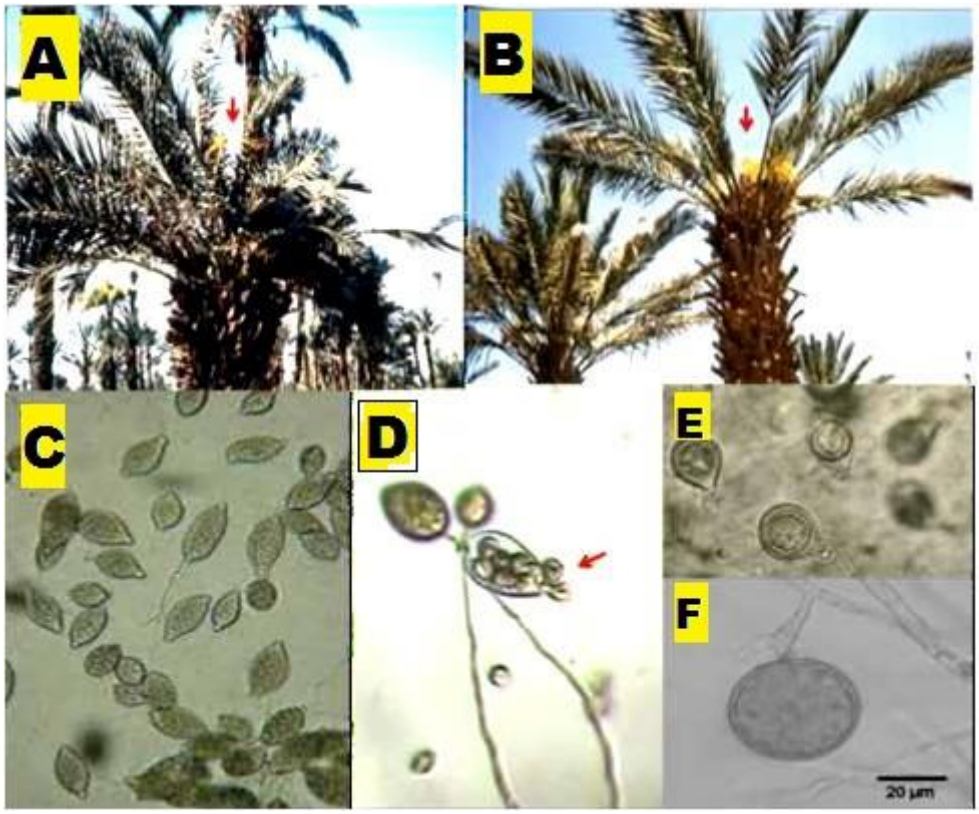


Figure 21: Symptômes de la maladie dite 'Belâat'. A, B : Méristème apical avalée et forme une crête volcanique. C: Sporanges de *Phytophthora palmivora*. D: Zoosporanges libèrent les zoospores (spores asexuées). E : Oospore (spore sexuée). F: Oogone (gamétophyte femelle) avec anthéridie (gamétophyte male). (El-Bouhssini et Faleiro, 2018).

1.1.10.2.2.4. Diplodia

La maladie peut être causée par *Diplodia phoenicum* et/ou *D. natalensis***.** Les symptômes observés sont caractérisés par un dessèchement des tissus de la base des palmes et des nécroses comme des boursouflures le long du rachis de la palme contenant des pustules et des conidies du champignon parasite (Figure 22). La maladie est présente dans la quasi-totalité des palmeraies marocaines. En cas de fortes attaques, cette maladie peut entraîner des dégâts significatifs sur les rejets et particulièrement sur les jeunes plantations (Sedra, 2013).

Lorsque les conditions de l'environnement sont favorables et l'entretien des palmiers insuffisant ou absent, la maladie peut occasionner un dessèchement total voire la mort des palmiers (El-Bouhssini et Faleiro, 2018).

Pour prévenir ou lutter contre cette maladie, il est recommandé d'appliquer les conseils suivants :

- Désinfecter le matériel de sevrage et de taille des palmes ainsi que les plaies de la coupe par des traitements désinfectants et nettoyants ;
- Incinérer les fragments du palmier atteint et ceux de nettoyage ;
- Eviter de planter des plants ou jeunes palmiers atteints de la maladie ;
- Eviter de blesser les palmes et les rejets indemnes pendant l'opération de sevrage, de plantation et de binage autour ces rejets ;
- Plonger des rejets douteux avant plantation dans un liquide désinfectant fongique comme le sulfate du cuivre ou le carbonate du cuivre et ce pendant quelque temps (5 à 10 minutes) ;
- Pulvériser les palmiers avec un fongicide comme la bouillie bordelaise.

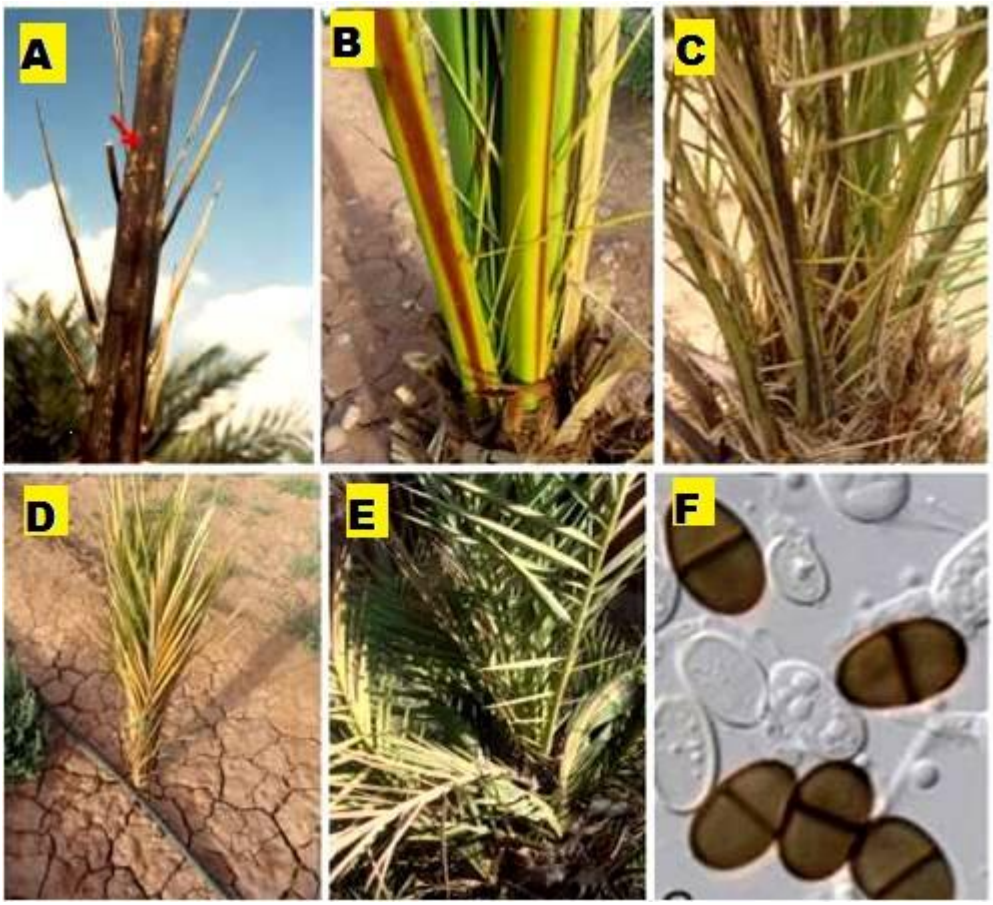


Figure 22 : Symptômes de Diplodia sur le palmier dattier. A : Pycnides sur le rachis ; B, C, D, E : Tissu infecté de couleur débute par le jeune et se termine par la coloration brune. F : Conidie de couleur marron et bi-cellulaire de *Diplodia phoenicicum*. (El-Bouhssini et Faleiro, 2018).

1.1.10.2.2.5. Taches brunes

Cette maladie est peu importante, de point de vue économique elle a été signalée dans la plupart des zones pheonicicoles (Bounaga et Djerbi, 1990). La maladie est causée par *Mycosphaerella tassiana* qui appartient d'Ascomycètes, Pyrénomycètes de l'ordre de Pseudosphaeriales et la famille de Mycosphaerellaceae dont la forme conidienne est *Cladosporium. herbarum*, Adélomycètes de l'ordre Moniliales à la famille de Dematiaceae (Agrios, 2004).

Elle a été décrite pour la premières fois au Maroc (Bounaga et Djerbi, 1990). Elle a été signalée plus tard en Algérie, en Tunisie et en Egypte (Zaid *et al.*, 2002). Les taches brunes foncée bien délimitées disposées irrégulièrement sur les rachis, les épines et les folioles (Figure 23). Les nécroses intéressent la partie superficielle du

pétiole, mais altérant toute l'épaisseur du limbe des folioles atteintes (Zaid *et al*., 2002).

Quand les palmes jaunissent, le centre des taches devient de plus en plus clair mais en bordure une marge de 1 mm de large d'une teinte brune (Figure 23). La durée de vie est souvent réduite de 3 à 5 ans.

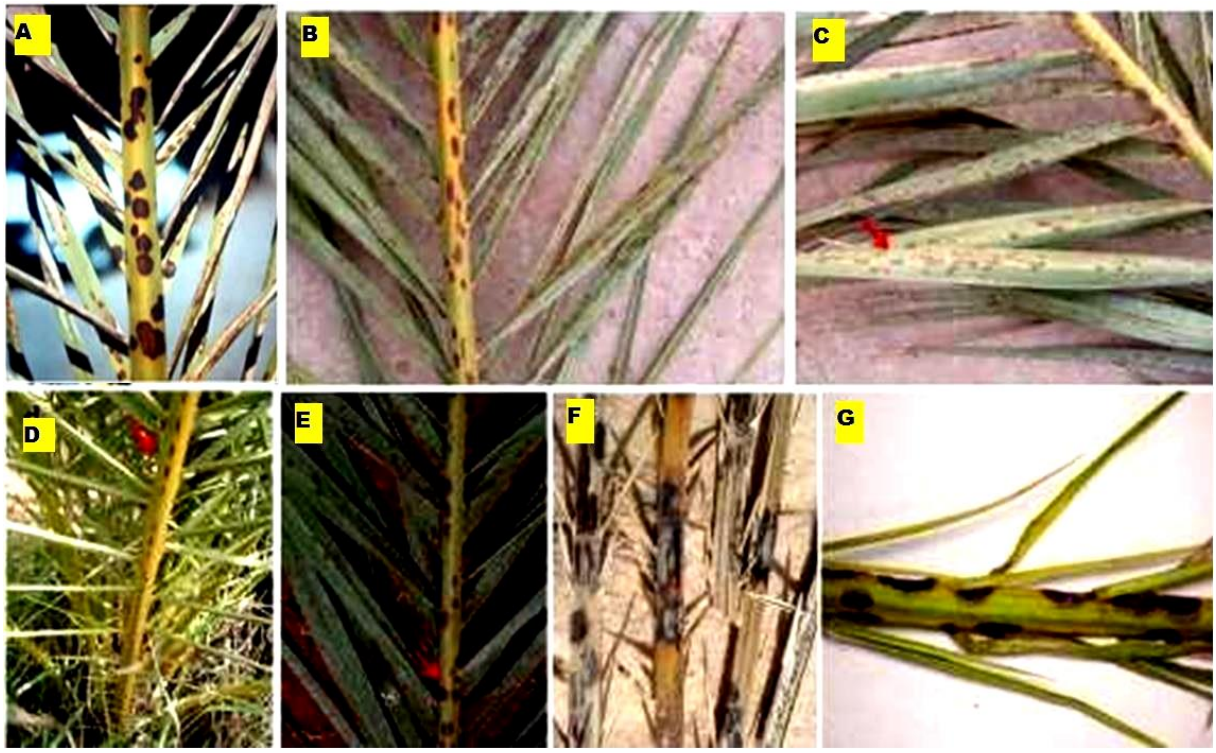


Figure 23: Maladie des taches brunes du palmier dattier (El-Bouhssini et Faleiro, 2018).

1.1.10.2.2.6. Bayoud

C'est la maladie la plus menaçante des producteurs de dattes. Elle existe au Maghreb : au Maroc, et en Algérie (Sedra, 2003b,c). Elle semble être apparue durant le siècle dernier dans la vallée du Drâa et et en suivant les cordons du palmier (Djerbi, 1982). Elle a ravagé les palmeraies marocaines : 10 millions pieds détruits en un siècle et deux des variétés commercialisées ont pratiquement disparu. En Algérie elle aurait décimé les palmeraies de du pays, et elle continue à progresser vers le centre, puis à Metlili, en 1950, et Ghardaïa, en 1978, sont atteintes. L'historique, la biologie, l'épidémiologie et méthodes de lutte contre le Bayoud sera détaillé ci-dessous.

1.1.10.3. Contraintes socio-économiques

Plusieurs contraintes de type socio-économique peuvent jouer un rôle néfaste pour le développement du secteur phoenicicole (Bouguedoura *et al*., 2008), parmi lesquelles :

- Perte de savoirs locaux relatifs à la maitrise de techniques culturales et de la conduite du palmier dattier : entretien, pollinisation, récolte, lutte, … etc.
- Erosion génétique par disparition des cultivars locaux et dominés par des cultivars de haute qualité commerciale comme Deglet Nour.
- Pression démographique par l'urbanisation vers les terres phoenicicoles (Béchar, Ghardaia) et migration des habitants sahariens vers le nord.
- Désertification et ensablement des terres phoenicicoles.
- Vieillissement de 30% de palmiers dattiers de nos palmeraies qui ont dépassés leur période de production.

1.2. Bayoud du palmier dattier

1.2.1. Historique et distribution géographique du Bayoud

Le Bayoud, fusariose vasculaire du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L) causée par un champignon d'origine tellurique *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Killian et Maire 1930), est la maladie la plus destructive et la plus menaçante dans l'Afrique du nord. Elle est répandue surtout au Maroc et dans une grande partie des palmeraies de l'Algérie (Djerbi, 1982; Brac de la Perrière et Benkhalifa, 1991). En effet, au cours d'un siècle, il a détruit plus de dix millions de palmiers au Maroc (Sedra, 2005a) et trois millions en Algérie (Djerbi 1982; Sedra 2005). Ces dernières années, la maladie a été découverte aussi dans les palmeraies d'Adrar et Tagant en Mauritanie (Sedra 1995 ; Sedra, 1999 a, b ; Sedra, 2003a). La catastrophe causée par le Bayoud ne s'arrête pas à l'érosion génétique causée par la disparition de nombreuses variétés parmi les meilleures, mais conduit également à l'accentuation de la désertification et à l'appauvrissement des phoeniciculteurs qui finissent par émigrer (Hakkou *et al*., 2012). Par ailleurs, le Bayoud constitue un véritable fléau des zones phoénicicoles d'une partie de l'Afrique du Nord et aussi une menace potentielle pour la Tunisie et les autres pays producteurs de dattes (Hakkou *et al*., 2012).

Le Bayoud fut observé pour la première fois vers 1870 dans la vallée du Draa au nord de Zagora. Il a ensuite progressé vers l'ouest et surtout vers l'est en suivant les cordons des palmeraies (Sedra, 2005a,b), (Figure 24). En 1898, ce fléau atteint les palmeraies de Figuig et Béni Onif situées côte à côte des deux côtés de la frontière algéro-marocaine (Djerbi, 1982).

Entre 1920 et 1950, la maladie a contaminé les palmeraies du Sud algérien, puis durant la période 1960-1978, elle a gagné des palmeraies du centre de Sud algérien, la région de M'zab et El-Goléa (Djerbi, 1982 ; Kada et Dubost, 1975). Récemment, cette maladie a gagné des palmeraies de l'Est de M'zab comme Zelfana et Guerrara (Benzohra *et al*., 2017). Cette maladie a été découverte aussi dans les palmeraies mauritaniennes à Adrar et à Tagant, respectivement en 1995 et 2002 (Sedra, 1995 ; Sedra, 1999 a, b ; Sedra, 2000, Sedra 2003b,c). Les derniers foyers déclarés au Maroc en 1996 sont situés dans la Vallée de Ait Mansour (région de Tafraoute), (Sedra, 1996).

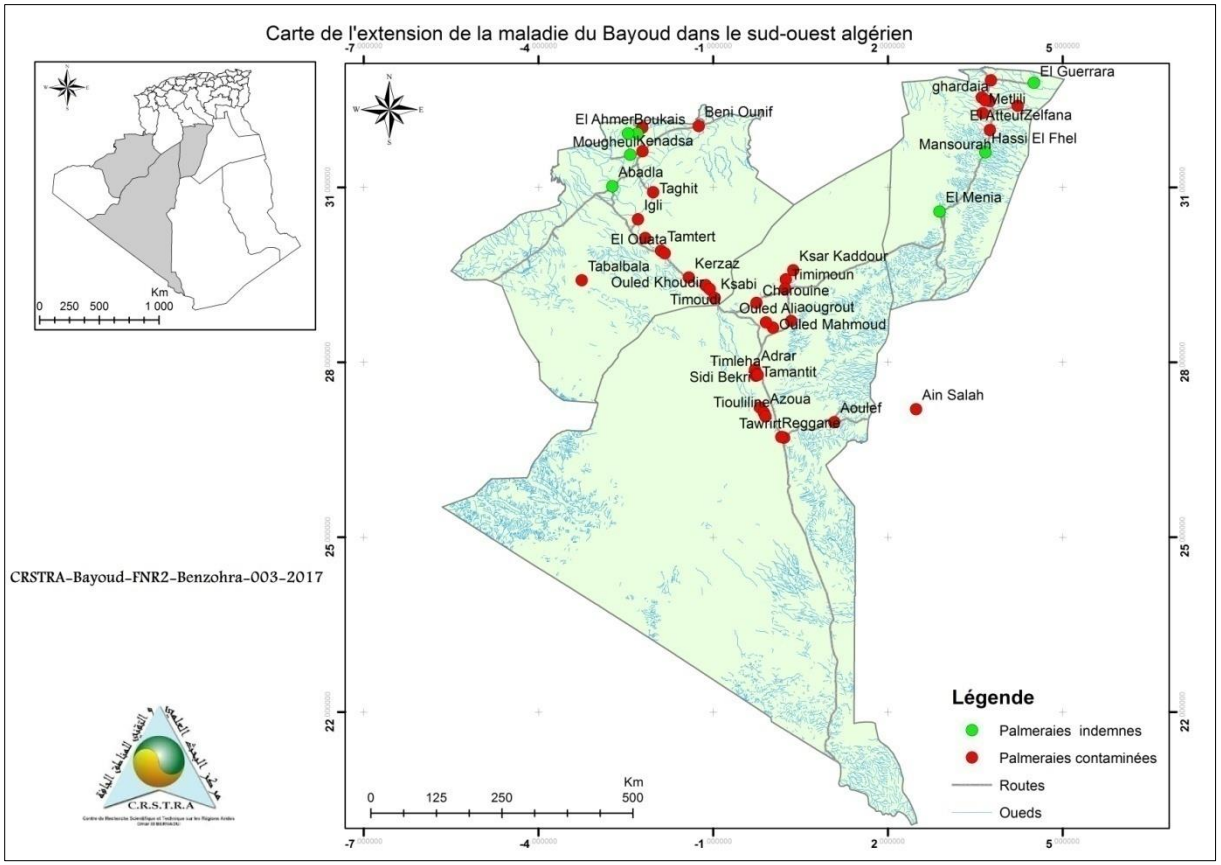


Figure 24: Progression et extension de Bayoud du palmier dattier en Algérie (Benzohra *et al.*, 2017).

1.2.2. Symptômatologie

Le premier symptôme externe de la maladie s'observe sur une palme de la couronne moyenne (Djerbi, 2003). Cette palme prend un aspect plombé et se dessèche selon un processus très particulier. 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 de Bayoud (du mot arabe pour blanc) donné à la maladie (Djerbi, 1988). La maladie progresse de la base vers l'apex, de façon Unilatéral et progresse vers l'autre coté (Figure 25), en sens inverse, de l'extrémité de la feuille vers sa base, jusqu'à la mort de la feuille (Figure 26), (Fernandez *et al*., 1995; Djerbi, 1988 ; Djerbi, 2003 ; Sedra, 2003b,c).

Mais ces symptômes ne sont pas toujours aussi typiques, il est possible qu'ils se développent d'une façon différente. Il se peut, par exemple, que la coloration brune apparaisse au milieu du rachis et que les folioles se dessèchent de l'apex vers la base, des deux cotés à la fois. Parfois, aussi, un jaunissement généralisé pourrait être repéré avant l'apparition des symptômes typiques (Sedra, 2005a,b).

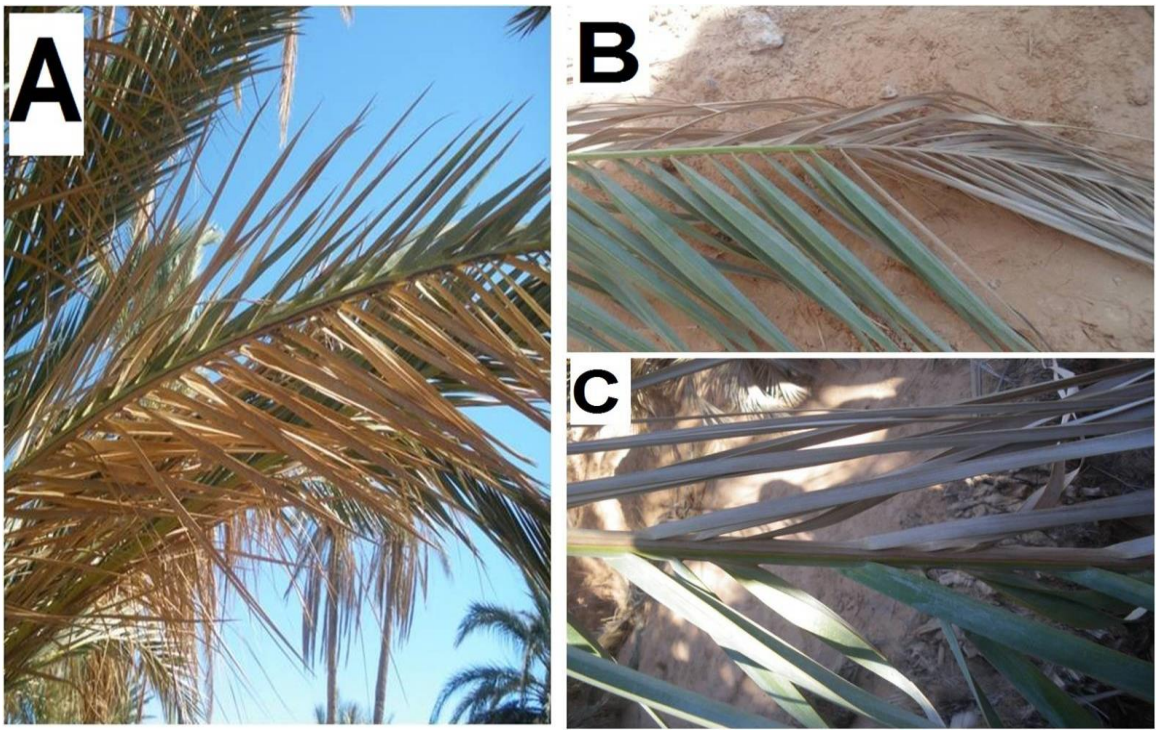


Figure 25: Premiers symptômes de la maladie de Bayoud du palmier dattier : Desséchement unilatéral de rachis du palmier dattier dans les régions : Béchar (A), Adrar (B) et Ghardaia (C). (Source : BELAIDI, 2019).

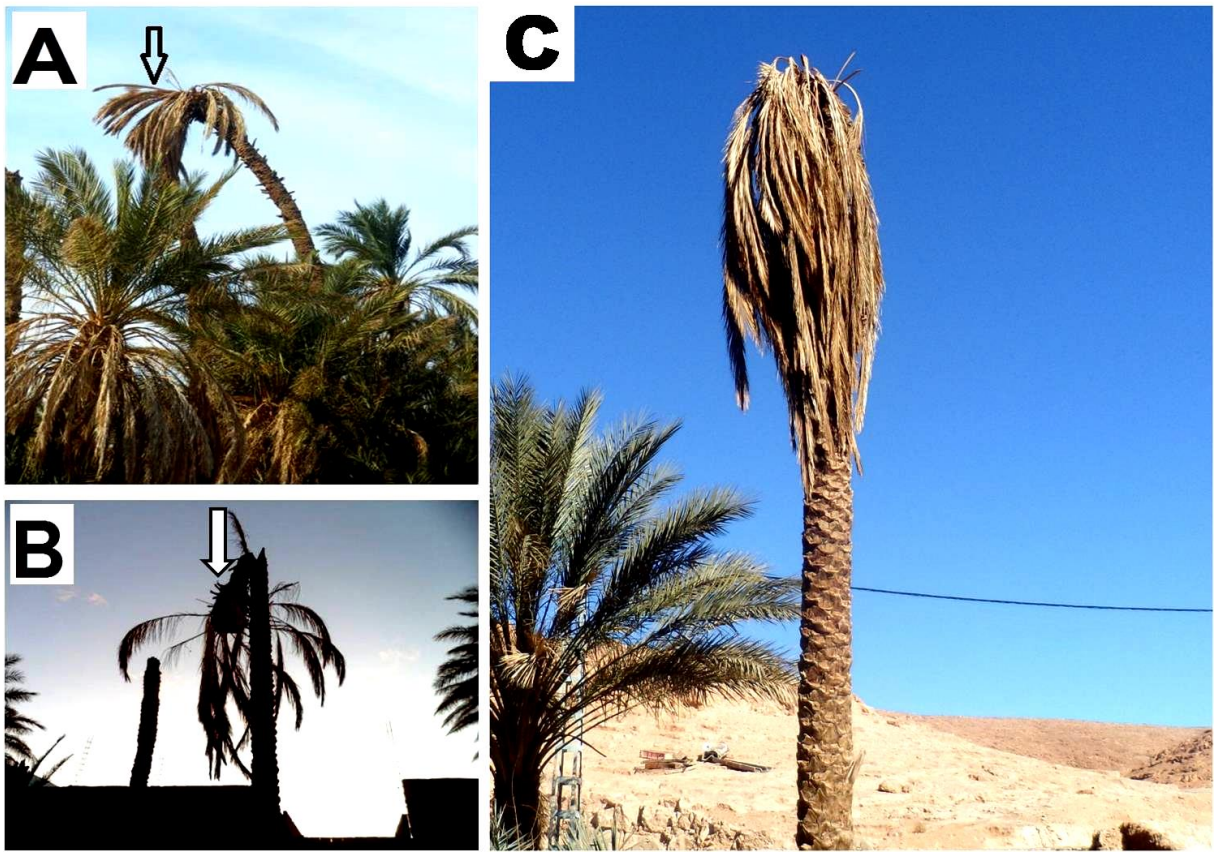


Figure 26: Mort complète du palmier dattier au stade final de la maladie dans les régions : A, Béchar ; B, Adrar et C, Ghardaïa. (Source : BELAIDI, 2019).

1.2.3. Biologie de l'agent pathogène

1.2.3.1. Systématique du FOA

Le parasite responsable du Bayoud a été isolé pour la première fois en 1921 et identifié en 1934 par Malençon. Il s'agit d'un champignon microscopique qui fait partie de la mycoflore du sol (Hakkou *et al.*, 2012). Il appartient au groupe du champignon imparfait, ordre des Moniliales, et famille des Tuberculariacées. Il a été dénommé *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Sedra, 1994).

1.2.3.2. Caractérisation du *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*

1.2.3.2.1. Caractères macroscopiques

La forme sauvage du *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* peut être observée sur le milieu PDA et Komada à partir d'un fragment de rachis de palme infectée (Djerbi *et al*., 1986). Son aspect macroscopique est caractérisé par un tapis mycélien fin frisé à croissance lente (6 à 8,5 cm de diamètre en 8 jours à 25°C), au sein duquel se forment des petits sporodochies roses saumon (Figure 27), (Djerbi *et al*., 1986 ; Sedra, 2005a).

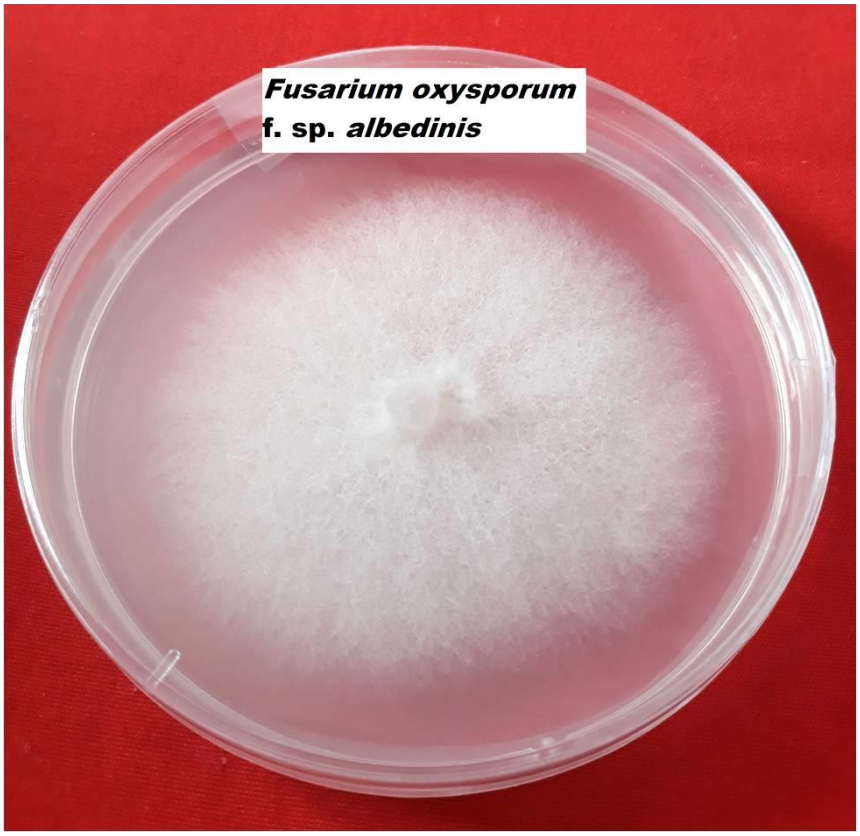


Figure 27: Aspect cultural du *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Souche 09), sur le milieu de culture PDA. (Source : BELAIDI, 2019).

1.2.3.2.2. Caractères microscopiques

Fusarium oxysporum f. sp *albedinis* possède un mycélium hyalin et cloisonné. La multiplication asexuée se réalise par des microphialides et des macrophialides, qui produisent respectivement des microconidies et des macroconidies (Djerbi, 1988). Les microconidies sont sphériques ou allongées, légèrement courbées, généralement unicellulaires, hyalines, de dimensions variables dans une même culture (3-15 × 3-5 µm), (Djerbi, 1988). Les macroconidies fusoides à falciformes, pointues aux deux extrémités, ayant généralement 3 à 5 cloisons, mesurent 20 à 35 × 3 à 5µm (Djerbi, 1988). Le parasite peut se conserver sur les

débris des palmiers attaqués, les tissus des porteurs sains, et pendant de longues années, dans le sol à des profondeurs atteignant plus d'un mètre sous forme de chlamydospores. Ces chlamydospores sont intercalaires ou terminales, sphériques, isolées ou en chaînes courtes regroupant 2 à 4 chlamydospores qui se forment soit sur le mycélium soit à partir des macroconidies (Figure 28), (Djerbi, 1988).

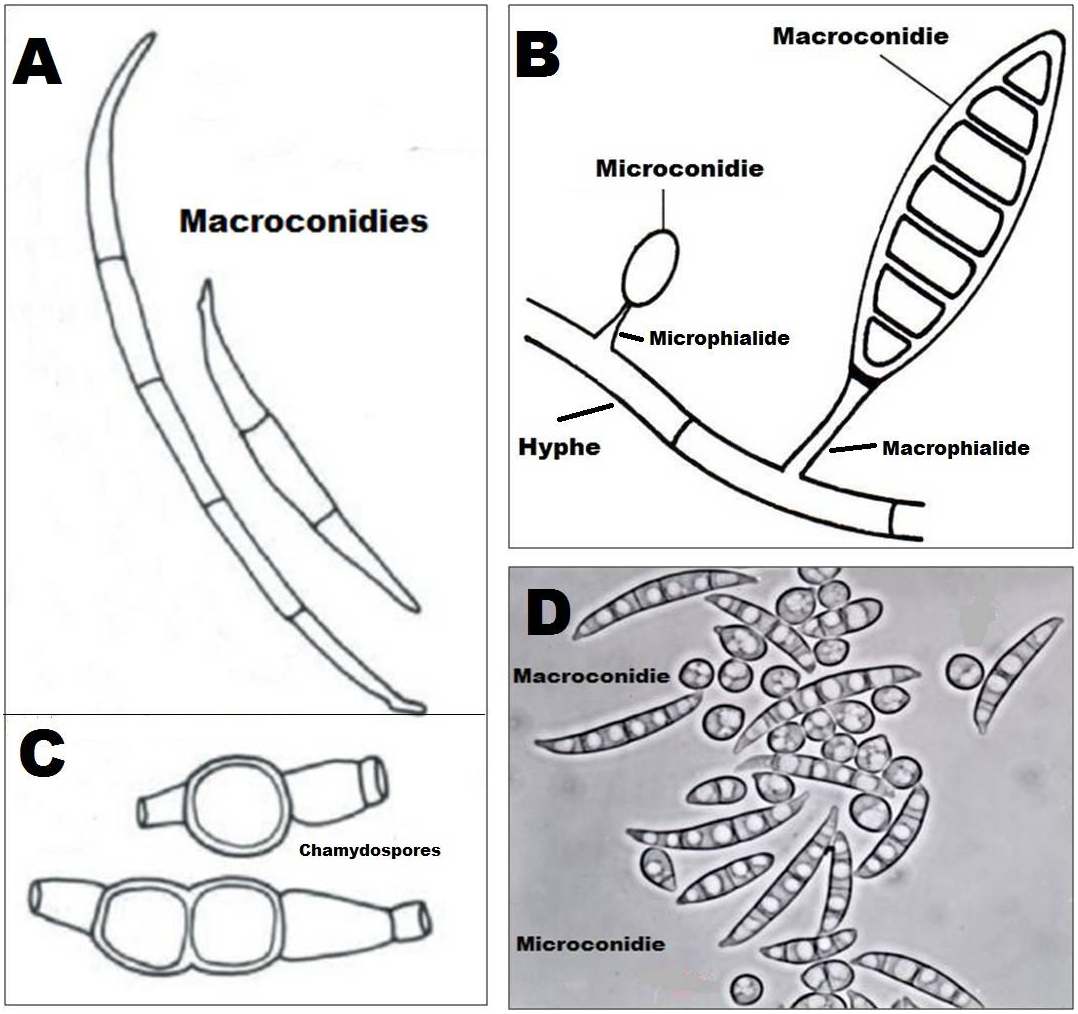


Figure 28: Caractéristiques microscopiques *de Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa). (A: Macroconidies, B: Microconidies, macroconidies et macro et microphialides, C: Chlamydospores, D: Observations microscopique des conidies de Foa (Djerbi, 1988 ; Leslie et Summerell, 2006).

1.2.3.2.3. Caractérisation pathogénique

Les formes phytopathogènes ont été étudiées durant plus de cent ans et parasitent plus de 100 espèces de plantes, y compris les angiospermes et les gymnospermes, où chaque forme pathogène a une gamme d'hôte bien déterminée (Armstrong et Armstrong, 1981). Ces formes phytopathogènes sont dénommées «formes spéciales». La forme spéciale est définie comme étant l'ensemble des souches attaquant une même espèce végétale, ou une même gamme

d'espèces d'un même genre (Snyder et Hansen, 1940). On compte 122 formes spéciales chez cette espèce selon la liste la plus récente décrite par Armstrong et Armstrong (1981). A titre d'exemple toutes les souches attaquant le palmier dattier appartiennent à la forme spéciale *albedinis.* A l'intérieur de chaque forme spéciale, la variation de la virulence est catégorisée par le classement des pathotypes en races pathogénique ou physiologique. Les races sont définies par leur interaction différentielle avec des génotypes de l'hôte, de même ces variétés portent un ou plusieurs gènes majeurs de résistance (Armstrong et Armstrong, 1975).

Malgré qu'il existe plusieurs formes spéciales caractérisées en races physiologique tel que, *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici, F.O. lini, F.O. melonis …*ect., le nombre de races caractérisées pour l'espèce *Fusarium oxysporum* n'est pas large, comparativement avec d'autres pathogènes tel que *Puccinia graminis, Phytophtora infestens* (Gordon et Martyn, 1997), *Ascochyta rabiei* (Reddy et Kabbabeh, 1985 ; Turkkan et Dolar, 2009 ; Baite et Dubey, 2018).

Des plantules de palmier dattier issues des graines sont cultivées dans des conditions exemptes de maladie (Sedra, 1994). Un volume de 200 cm^3 de la suspension de 10^6 spores par ml de Foa âgées d'une semaine est déposé sur les racines de ces plantules au stade de deux feuilles (Sedra, 1995 ; Sedra, 2005a). La souche est considérée pathogène si le taux de mortalité des plantules dépasse 20% en comparaison avec un témoin inoculé par une souche connue non pathogène. Ce test dure 3 à 8 semaines (Sedra et Djerbi, 1985 ; Djerbi, 1990).

1.2.3.2.4. Caractérisation moléculaire

Fernandez *et al.* (1998), ont mis au point une paire d'amorces (TL3-FOA28) qui pourraient être utilisées comme sondes spécifiques pour le diagnostic de Foa par réaction de polymérisation en chaîne (PCR). Ce test permet de différencier l'agent pathogène du palmier dattier des autres *Fusaruim oxysporum*, ainsi que des souches saprophytes.

Les séquences d'amorces sont 3'-GGTCGTCCGCAGACTATACCGGC-5' (TL3) et 3'ATCCCCGTAAAGCCC-TGAAGC-5' (FOA28).

1.2.4. Epidémiologie du Bayoud

1.2.4.1. Cycle évolutif

Fusarium oxysporum a un cycle de vie complexe qui pourrait être divisé en deux phases, une vie parasitaire sur son hôte spécifique et une croissance saprophyte sur les tissues morts (Figure 29). La phase saprophyte commence lorsque les tissus infectés de la plante commence à mourir. Les différentes étapes se succèdent en neuf phases:

1. **Conservation :** Le champignon produit des chlamydospores lorsque les niveaux d'hydrates de carbone sont diminue dans tissus morts. Les chlamydospores sont libérés dans le sol avec le reste des hyphes lorsque la plante meurt (Beckman, 1987). Ces structures de résistance survivent sous une forme inactive pendant de longues périodes en raison de leur capacité élevée à survivre dans le sol sous des conditions défavorables (Djerbi, 1988; Sedra, 2003b).

2. **Phase saprophytique :** En présence de conditions favorables pour le champignon au niveau du sol, les chlamydospores peuvent germer et commencer leur phase de vie saprophytes. La germination des chlamydospores, qui se produit en présence des débris végétaux ou des hôtes appropriés, peut être un processus rapide. En outre, la germination des chlamydospores peut produire de nouvelles chlamydospores avec réserves fraîches qui permettent la persistance de l'agent pathogène dans le sol (Djerbi, 2003; Sedra, 2003b,c).

3. **Colonisation des racines :** L'état de dormance des chlamydospores peuvent être interrompu lorsqu'elles rencontrent les racines de l'hôte, et le champignon peut coloniser la plante et produit une infection de l'hôte et entrer dans la phase parasitaire, mais si l'hôte n'est pas approprié il continue comme un saprophyte (Djerbi, 2003).

4. *F. oxysporum* est un colonisateur agressif et compétitif par rapport aux autres champignons filamenteux, il est capable de pénétrer dans le tissu cortical externe de la racine à travers des pointes des racines ou des blessures Dans cette première phase se déterminé le succès ou l'échec de l'agent pathogène à entrer dans le système vasculaire (Beckman, 1987; Djerbi, 2003; Sedra, 2003c).

5. **Pénétration et développement dans les vaisseaux vasculaires :** Quand il pénètre dans un hôte susceptible se déclenche la seconde phase du cycle de vie parasitaire. Le champignon envahit les tissus du xylème qui se propage rapidement à travers la

croissance des hyphes et la production des spores (conidies), ces derniers peuvent être dispersés facilement à travers les vaisseaux de la plante. Quand ce mouvement est empêché par une paroi transversale, les conidies germent, le tube germinatif pénètre dans la paroi et la formation de conidies reprend de l'autre côté de la paroi. Les souches non pathogènes sont capables de coloniser les racines, mais ne déclenchent pas la maladie parce qu'ils sont incapables de pénétrer dans le système vasculaire de la plante (Beckman, 1987; Djerbi, 2003; Sedra, 2003b).Lorsque le champignon pénètre dans un hôte non spécifique, certains mécanismes de défense de la plante se déclenchent en renforçant certaines structures cellulaires. Et par conséquence la formation de nouvelles chlamydospores, en augmentant leur capacité à persister dans le sol (Beckman, 1987; El Modafar et El Boustani, 2000; El Modafar et El Boustani, 2002).

6. **Apparition des symptômes :** La troisième phase de la maladie se constater quand ils commencent l'apparition des symptômes sur la plante. ll existe une controverse sur les mécanismes qui déclenchent l'apparition des symptômes, qui peuvent être due à l'obstruction du système vasculaire de la plante, à la production de toxines ou à la combinaison des deux mécanismes au même temps. En plus de nombreux facteurs environnementaux tels que la température, la lumière, l'aération et l'humidité du sol, la richesse du sol en calcium et en azote. le pH et la microflore du sol sont essentielles pour déclencher la maladie (Djerbi, 2003; Sedra, 2003c).

7. **Contamination par contact des racines :** Les sujets malades, par contact peuvent contaminer facilement et rapidement le reste des palmiers voisins (Djerbi, 2003; Sedra, 2003b).

8. **Mort de l'arbre :** Une fois la progression du champignon se généralise, dans les systèmes vasculaires de la plante, le palmier meurt progressivement ou brutalement (Djerbi, 2003; Sedra, 2003b).

9. **Porteurs saines :** En présence de cultures sous palmeraies, certaines espèces végétales (henné, luzerne,…), peuvent jouer un rôle important dans l'hébergement et la propagation du pathogène et deviennent des foyers de contamination (Djerbi *et al*., 1985 ; Djerbi *et al*., 1986 ; Sedra, 2003c).

10. **Décomposition du végétal atteint et libération des spores :** La désintégration des tissus végétaux permet la libération des chlamydospores dans le sol (Djerbi, 2003; Sedra, 2003b).

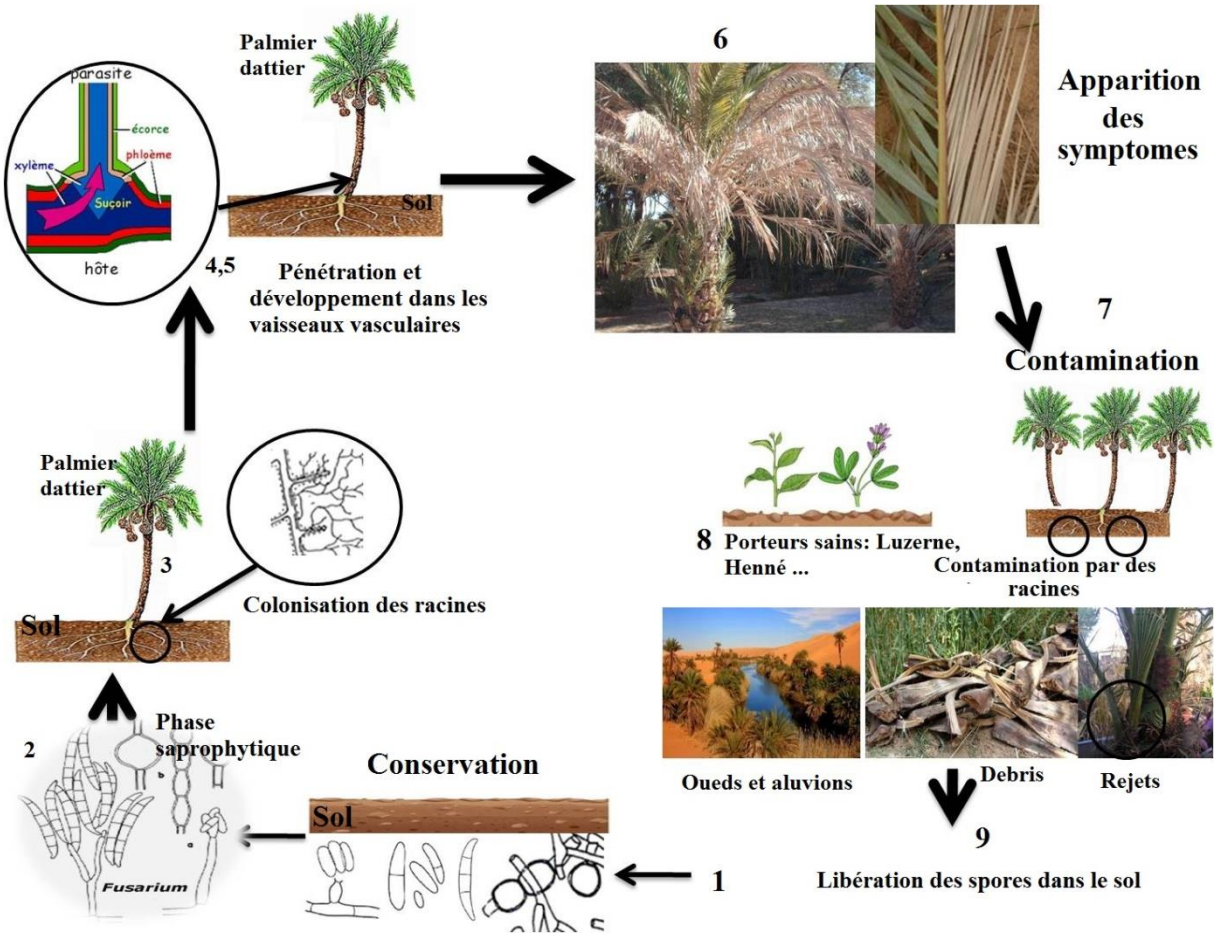


Figure 29: Cycle d'infection de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Benzohra *et al*., 2022).

1.2.4.2. Processus d'infection

Dans le pathosystème « plante hôte – pathogène », le champignon dispose de toute une gamme de mécanismes physico-chimiques capables de surmonter les mécanismes de défense du palmier dattier dans la plus part des cas. Le processus d'infection du *Fusarium oxysporum* se constitué de différentes étapes:

- **Germination et adhésion des spores:** Les spores de *F. oxysporum* germent en réponse des exsudats stimulants libérés par les racines de l'hôte, suivi d'un adhérent des tubes germinatifs sur la surface racinaires (Di Pietro *et al*., 2001).

- **Pénétration :** Les tubes germinatifs se différencient en hyphes d'infection (Mendgen et al., 1996). Ces derniers pénètrent directement dans les membranes épidermiques (Rodriguez-Gálvez et Mendgen, 1995). Di Pietro *et al*. (2001), suggèrent que la cascade de signalisation MAPK (Mitogen-Activated Protein Kinase signaling cascades), est impliquée dans l'adhérence des spores à la surface des racines, pénétration des hyphes, la croissance invasive et la production de pectates lyases, qui sont nécessaires pour la pénétration dans la paroi cellulaire et de la colonisation de la plante par *F. oxysporum.*
- **Perception et transduction du signal par la plante:** Les communications moléculaires entre l'agent pathogène et la plantes hôte commencent presque immédiatement après contact de l'agent pathogène avec la surface des plantes. L'induction de l'activité du PAL (phenylalanine ammonia-lyase) chez la plante hôte est liée à l'éliciteur « hydrate de carbone » de la paroi cellulaire *de F. oxysporum.* Les glycosphingolipides produites par *Fusarium oxysporum* sont considérés comme éliciteurs des mécanismes de défense de la plante hôte (Umemura *et al*., 2004). La plante peut aussi produire des composés (Eliciteur endogènes) inducteurs de la réaction de défense vis-à-vis des agents pathogènes. Plusieurs travaux montrent l'implication de l'acide jasmonique et de l'éthylène dans l'induction de la résistance au *Fusarium oxysporum* (Creelman et Mullet, 1995).
- **Dégradation de la paroi cellulaire par le pathogène:** La pénétration de la paroi cellulaire semble être la première exigence de la pathogenèse de champignons pathogènes. Pour ce faire les champignons pathogènes sont capables de produire une variante d'enzymes de dégradation de la paroi végétale « CWDE » (Cell Wall-Degrading Enzymes = Enzymes de dégradation de la paroi cellulaire), pour faciliter la pénétration et la colonisation de leurs hôtes (El-Modafar *et al*., 2000, Umemura *et al*., 2004).

1.2.4.3. Facteurs de contamination et de dissémination

Fusarium oxysporum f. sp. *albedinis* peut se disséminer par des rejets, par des particules de terre ou des porteurs sains contaminés provenant de zones infectées. Les fragments de rachis infectés en particulier, et l'eau d'irrigation passant par des palmeraies infectées sont des facteurs potentiels de dispersion de la maladie. Les semences et les fruits ne disséminent pas (Sedra, 2003c). Dans une palmeraie, la maladie se dissémine par contact entre racines saines et malades (Djerbi, 1988).

Selon Djerbi *et al.* (1986) et Sedra (2003b), les Conditions favorables pour le développement du Bayoud, sont particulièrement:

- lrrigation intense et fréquente.
- Travail du sol et son aération.
- Les sols légers sont les plus favorables. Des études au Maroc ont montré que la maladie s'est manifestée dans 42.9% des sols limoneux, 54.3% dans les sols équilibrés et à 100% dans les sols sableux, contre seulement 8.6% dans les sols argileux sur un échantillon de 79 sols de différentes de palmeraies.
- Sols pauvres en matière organique.
- Sols réceptifs à potentiel infectieux mesurables élevé et culture intensive de plantes considérée comme porteurs sains « henné, luzerne ».
- Mauvaise installation des arbres à l'échelle du verger.

1.2.5. Méthode de lutte

1.2.5.1. Mesures prophylactiques

Ces mesures s'appliquent à des zones ou des pays encore indemnes de Bayoud en vue d'assurer leur protection (Benzohra *et al*., 2015). Une surveillance sérieuse doit être poursuivie et renforcée pour empêcher la progression de la maladie vers l'est algérien et la Tunisie, la où elle se concentre la variété Deglet Nour (Djerbi, 1988 ; Bennaceur *et al*., 2007).

En effet l'OEPP/EPPO (1990) recommande aux pays phoenicicoles d'interdire l'importation du matériel en provenance des pays infectés comme:

- ✓ Le matériel végétal du palmier dattier (rejets, feuilles, etc).
- ✓ Le sol et les végétaux destinés à la plantation (avec racines, boutures), accompagnés de terre.
- ✓ Les végétaux destinés à la plantation de henné (*Lawsonia inermis*), (excepté les semences).

1.2.5.2. Lutte culturale

L'utilisation de certaines techniques culturales, permet dans certains cas de réduits les dégâts, en plaçant l'agent pathogène dans des conditions défavorables comme la solarisation des sols (Essarioui et Sedra, 2017). Malheureusement, il a été démontré que le développement du Bayoud est plus rapide en cultures intensives qu'en cultures extensives et que les facteurs

favorables pour le palmier (irrigation, fumure, …), sont également pour le parasite (Djerbi, 1988 ; Sedra, 2003c).

1.2.5.3. Lutte chimique

L'objectif des techniques chimiques est surtout l'éradication des nouveaux foyers détectés dans les zones saines (Djerbi, 1988). Procédant à la fumigation du sol contaminé par le Bayoud après la délimitation du foyer avec une marge de sécurité suffisante (Hakkou *et al.*, 2012). Cette activité nécessite d'abord l'arrachage et l'incinération des arbres sur place. L'éradication chimique a été réussit au niveau de deux foyers bayoudés algériens à El Meniâa et le M'Zab (Sedra, 2005c). Cependant cette technique reste coûteuse et risque d'engendrer des problèmes d'environnement et de santé humaine et animale (Sedra, 2005b).

1.2.5.4. Lutte génétique

L'utilisation de variétés résistantes était la meilleure méthode efficace pour lutter contre la fusariose vasculaire pendant plusieurs années (Sedra, 2005b). En Algérie, la majorité des cultivars du palmier dattier varient entre la sensibilité et la tolérance, sauf le cultivar Taquerboucht a une résistance totale. Au Maroc, Parmi les 32 variétés marocaines testées (Louvet et Toutain, 1973 ; Sedra, 1993 ; Sedra, 1995 ; Sedra, 2003c), dans les stations expérimentales d'Errachidia et de Zagora, seules six variétés ont montré une résistance totale au Foa : Il s'agit de Bousthami noire, Bousthami blanche, Iklane, Tadment, Sayre Layalet et Bouffaggousse ou Moussa. Une autre variété résistante (Boukhanni) a été retrouvée 20 ans plus tard (Sedra, 1993 ; Sedra, 1995). Malheureusement, toutes les variétés résistantes ont une qualité dattière faible, ce qui constitue un handicap à leur transplantation à grande échelle (Sedra, 1995). D'autre travaux ont été effectués sur des clones résistants et de bonne qualité issues de semis naturels ou des croisements contrôlés tels que Ennajda (INRA-3014), INRA-1445, INRA-3003, Al-Amal (INRA-1443), INRA-3010, Al-Fayda (INRA-1447), Bourihane (INRA-1414) et Mabrouk (INRA-1394) qui ont été sélectionnés. Le clone Ennajda (INRA-3014), cultivé à grande échelle pour la reconstitution de la palmeraie marocaine, produit des fruits de bonne qualité acceptés par les phoéniciculteurs (Sedra, 2005a).

1.2.5.5. Lutte biologique

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, 2005). Le terme « endophyte » a été utilisé pour la première fois par Debary en 1866 pour décrire les champignons qui colonisent l'intérieur des tissus des végétaux, des tiges et des feuilles (Schulz et Boyle, 2005).

Durant le dernier siècle, une somme considérable de recherche a maintes fois démontré que plusieurs microorganismes de diverses origines phylogénétiques sont capables d'inhiber différents agents phytopathogènes (Harman *et al*., 2004 ; Howell, 2003). Les interactions plante-microorganismes sont complexes et celles menant au biocontrôle peuvent inclure l'antibiose, la compétition, l'induction des mécanismes de défense de la plante et la prédation (Benizri *et al*., 2001). La lutte contre des agents pathogènes telluriques, se fait principalement via des bactéries endophytes appartenant aux cinq genres (*Streptomyces, Bacillus, Agrobacterium, Serratia* et *Pseudomonas),* et des champignons endophytes antgonistes des genres *Ampelomyces, Aspergillus, Candida, Coniothyrium, Trichoderma,* et *Fusarium oxysporum* non pathogènes (Mc Spadden Gardener et Fravel, 2002), et des endophytes mycorhizes (Glomus, …), (Tableau 07), (Duponnois *et al*., 2013).

1.3. Valorisation de la lutte biologique contre le Bayoud

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. La lutte chimique est écartée suite à la fragilité de l'écosystème oasien et à son efficacité non garantie. Les mesures prophylactiques 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 (Sedra, 1995).

Tableau 07: Principales espèces / genres endophytes bactériennes et fongiques avec leurs plantes hôtes concernées.

Microorganismes endophytes	**Plantes hôtes**	**Références**
Champignons		
Trichoderma harzianum	Cacaotier, Blé, Seigle, Poivron, Tomate, Tabac …	Mejia *et al*., 2008
Trichoderma koningii	Tomate, Rey-gras, Tabac …	
Trichoderma asperellum 'T34'	Arabette	
Beauveria bassiana	Caféier, Tomate, Blé, Tabac, Coton, …	Peterson *et al*., 2005
Cladosporium sp., *Nemania* sp., *Colletotrichum* sp.,	Caféier, Pin d'Alep	Vega *et al*., 2010
Aspergillus sp., *Penicillium* sp.	Caféier, Agrumes	
Colletotrichum gleosporioides, *Cladosporium* sp.	Citronnier	Peterson *et al*., 2008
Piriformospora indica	Orge	
Phialocephala fortinii	Gymnospermes	
	Angiospermes monocotylédones	
Bactéries		
Bacillus sp.	Luzerne, Cotton, Maïs	Lodewyckx *et al*., 2002
Azotobacter sp.	Pois, Pois chiche, Fèves	
Pseudomonas sp.	Luzerne, Cotton, Maïs	
Serratia sp.	Luzerne, Cotton, Maïs	

1.3.1. Taxonomie du genre *Trichoderma*

Le terme «*Trichoderma*» a été utilisé pour la première fois par le mycologue sud-africain Christiaan Hendrik Persoon en 1874, est utilisé depuis les années 1930 dans la lutte biologique appliquée en agriculture en Allemagne (Howell, 2003). Différentes espèces de ce genre ont montré leur efficacité dans la lutte contre des agents phytopathogènes aériens et telluriques (Mukherjee *et al*., 2013). Depuis, différents travaux sur la taxonomie de ce genre basés sur les critères morphologiques, biochimiques et moléculaires, sur les mécanismes impliqués dans l'antagonisme, ainsi que l'augmentation du potentiel antagoniste par clonage de gène, sont effectués (Mukherjee *et al*., 2013).

Le genre *Trichoderma* est la forme imparfaite ou asexuée (anamorphe), et le genre Hypocrea représente sa forme parfaite ou sexuée (Téléomorphe), (Mukherjee *et al*., 2013). Le genre de forme asexuée *Trichoderma* appartient à l'embranchement des Champignons (Fungi), classe des Deutéromycètes (Adélomycètes)**,** Ordre des Hyphomycétales et la famille des Dematiacées (Zhu et Zhuang, 2015). Le genre de la forme sexuée *Hypocrea* appartient à l'embranchement des Champignons (Fungi), sous embranchement des Ascomycètes, classe

des Sordariomycètes**,** Ordre des Hypocréales et la famille des Hypocraceae (Chaverri *et al*., 2015).

En 1825, Elias Fries a décrit pour la première fois la forme parfaite « *Hypocrea* » comme étant une espèce avec des ascospores hyalines (Chaverri et Samuels, 2004). En 1865, les frères Tulasne ont suggéré que *Hypocrea rufa* est le téléomorphe de *Trichoderma viride* Pers. Brefeld (1891) a pu obtenir une culture de *T. viride* à partir d'une seule ascospore de *H. rufa* (Samuels, 2006).

De 1939 à 1969, toute espèce fongique à spores vertes appartenant au genre *Trichoderma* était considérée comme étant l'unique espèce : *Trichoderma viride* (Bisby, 1939). Ce système de l'espèce unique était très apprécié d'où aucune compétence particulière n'a été nécessaire pour parvenir à une nouvelle identification. Ce type de systématique « espèce unique » de Bisby a incité John Webster et son étudiant Mein RIFAI à revoir la taxonomie de *Trichoderma* et *Hypocrea* (Rifai et Webster, 1966 ; Webster et Rifai, 1968).

Les travaux de Rifai (1969) ont abouti à la publication de sa thèse, une monographie révolutionnaire sur les *Trichoderma* utilisables avec le concept d'« espèces agrégées », basé sur les caractères microscopiques anamorphes. Une espèce agrégée est une entité composée de groupement d'espèces très similaires, difficiles à séparer. Rifai a crée neuf espèces agrégées de *Trichoderma* : *T. aureoviride* Rifai, *T. hamatum* (Bonord.) Bain., *T. harzianum* Rifai, *T. koningii* Oudem., *T. longibrachiatum* Rifai. *T. piluliferum* Rifai, *T. polysporum* (Link : Fr.) Rifai, *T. pseudokoningii* Rifai, et *T. viride* (Rifai, 1969). Ce système semble le plus facilement utilisable par la communauté scientifique.

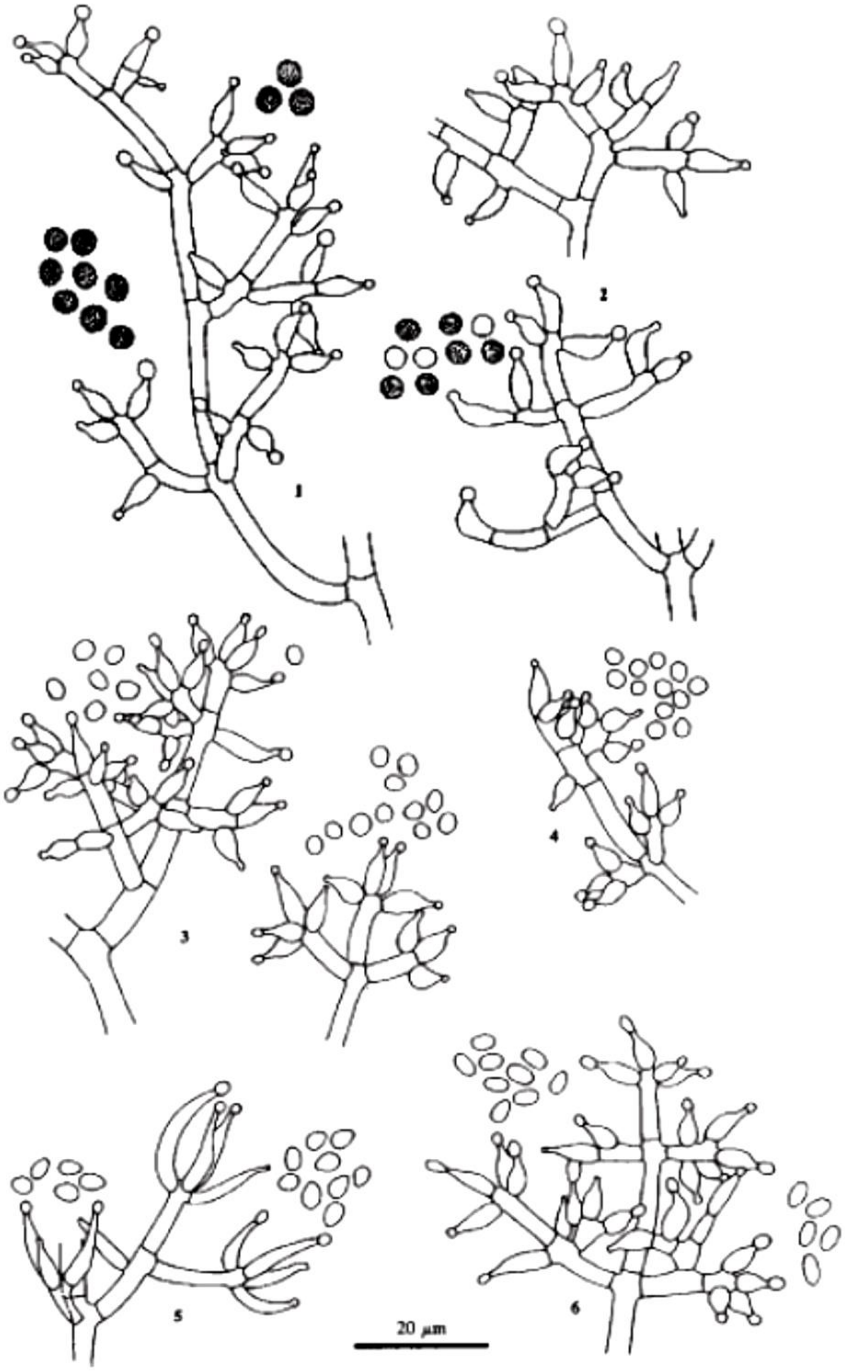
1.3.1.1. Importance de *Trichoderma* dans la lutte biologique

Le potentiel des espèces de *Trichoderma* comme agents de lutte biologique avait été observé pour la première fois par Weinding en 1932 (Howell, 2003). Ce dernier auteur a rapporté l'action mycoparasitaire de *T. lignorum* (Tode) Harz contre *Rhizoctonia solani* Kühn. Il avait décrit avec détail l'enroulement des hyphes de l'agent antagoniste contre celles de l'agent pathogène, la pénétration, ainsi que la dissolution du cytoplasme de l'hôte. Deux années plus tard Weinding en 1934 avait rapporté que la souche de *T. lignorum* produisait une substance toxique contre *R. solani* et *Sclerotinia americana* Norton et Ezekiel, et la nomma gliotoxine (Howell, 2003). Plus tard il avait été démontré que l'espèce qui produisait la gliotoxine n'était pas *T. lignorum* mais plutôt *Gliocladium virens* Miller, Gidden et Foster

(Howell, 2003). Cette dernière espèce est récemment renommée comme *Trichoderma virens* (Miller, Gidden et Foster) Arx. (Rehner et Samuels, 1994).

L'antagonisme qui existe entre les microoganismes peut être utilisé pour lutter contre les parasites phytopathogènes. Navas-Cortés (1992) a remarqué que lorsqu'il enfouit le champignon *A. rabiei* dans un sol stérile il y a une production énorme de pycnides et de pseudothèces que dans un sol naturel ; il a conclu que le champignon est affecté par d'autres microorganismes saprophytes.

Dans les années qui suivent ces travaux, plusieurs exemples de succès de la lutte biologique ont été attribués aux mécanismes de mycoparasitisme et où l'antibiose, à la rhizosphère compétence, aux enzymes lytiques qui dégradent les polysaccharides, la chitine et le β-glucane telles que les chitinases et glucanases et à l'induction des mécanismes de résistance de la plante (Chet, 1987 ; Howell et *al.,* 1993 ; Yedidia et *al*., 1999). Le renforcement des activités antifongiques a été montré chez les plantes et les microorganismes. Bissett (1991) a amélioré le système de classification des espèces de *Trichoderma* en se basant sur des études morphologiques plus détaillées des anamorphes (Figure 30). Il a remplacé les 09 espèces agrégées de *Trichoderma* par cinq sections (*Trichoderma, Pachybasium, Hypocreanum, Longibrachiatum et Saturnisporum*), comprenant 27 espèces (Druzhinina *et al.,* 2006).



Figures 30: Aspect morphologique des conidies, des conidiophores et des phialides de *Trichoderma* spp. : **1.** *T. viride.* **2.** *T. atroviride.* **3.** *T. harzianum*. **4.** *T. inhamatum.* **5.** *T. aureoviride.* **6.** *T. koningii* (Gams et Bissett, 1998).

La forme parfaite *Hypocrea* se caractérise par un stroma charnu, arrondi, de couleur variable (pâle à très coloré), pourvu de périthèces à l'intérieur du quel se trouvent des asques cylindriques avec un apex plus ou moins fin (Figure 31). Chaque asque contient 8 ascospores sphériques, désarticulées et bicellulaires donnant l'apparence d'être 16 spores (Jaklitsch, 2009).

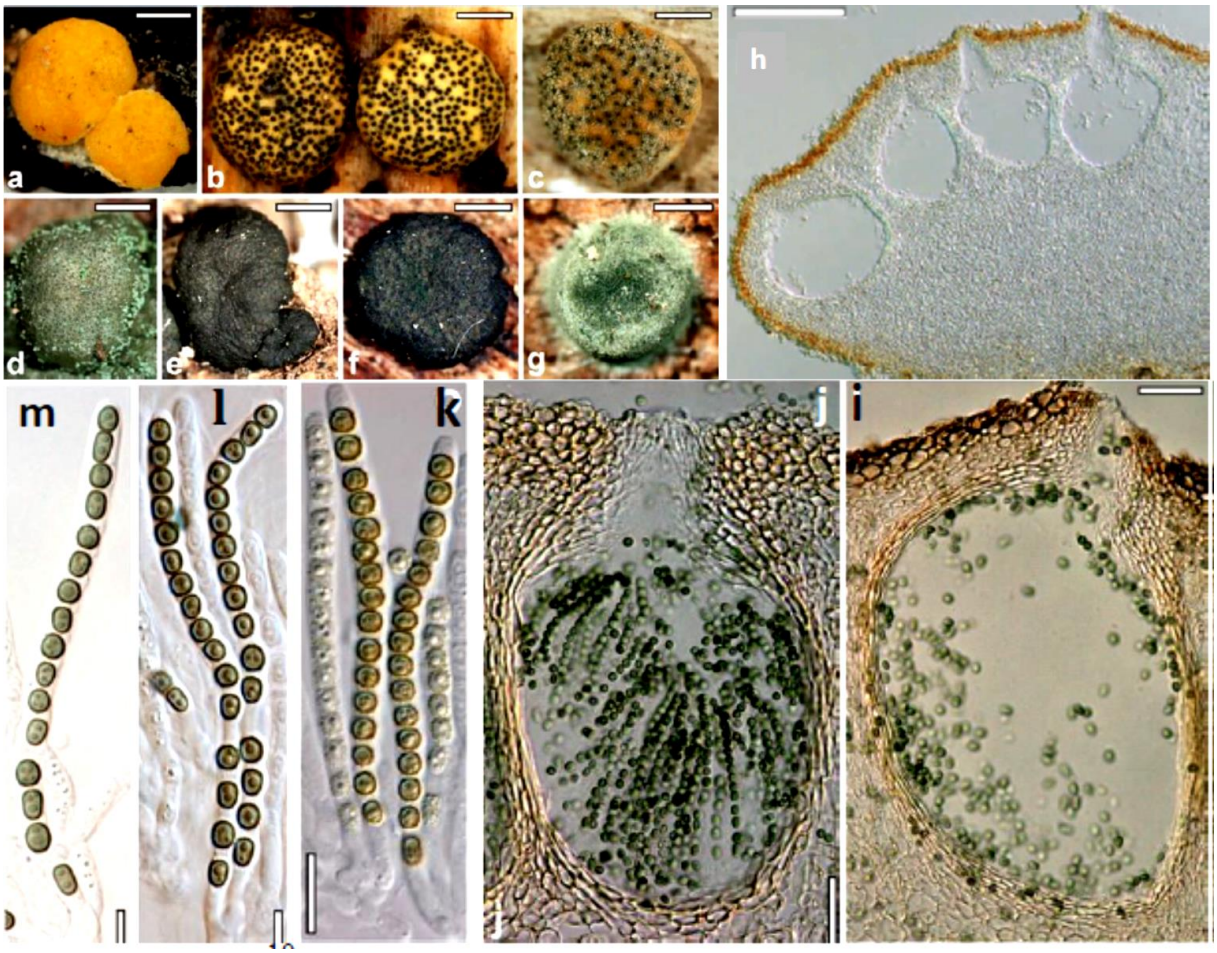


Figure 31: *Hypocrea* (Téléomorphe) : **a-c :** Stromas d'*H. aureoviridis*: frais (**a, b**) et sec (**c**) **d-g :** Stromas d'*H. lixii* : frais (**d, e, f**) et sèche (**g**) ; **h** : Coupe dans un stroma d'*Hypocrea rufa* (4 périthèces). Périthèces d'*H. aureoviridis* **(i)** et d' *H. lixii* **(j)** ; Asques remplis d'ascospores d'*H. aureoviridis* **(k)** et d'*H. lixii* **(l, m)**, (Jaklitsch *et al.*, 2006 ; Jaklitsch, 2009).

1.3.1.2. Modes d'action antagonisme de *Trichoderma*

Le *Trichoderma* spp., a fait l'objet de nombreuses études dans le cadre de la protection des plantes vis-à-vis des maladies parasitaires. Il est capable d'attaquer différents agents pathogènes par des mécanismes variés dont les principaux sont l'antibiose, le parasitisme et la compétition (Howell, 2003; Vinale *et al*., 2008). Ces mécanismes sont utilisés de manière complexe, indépendamment ou en synergie, suivant les conditions du milieu (Suty, 2010). Un autre mécanisme est proposé pour expliquer l'activité antagoniste du *Trichoderma* spp. est l'induction de la résistance chez la plante hôte (Howell, 2003 ; Shoresh *et al*, 2005).

1.3.1.2.1. Antibiose

L'antibiose est un mode d'action très répandu chez les espèces de *Trichoderma* qui repose sur la production de métabolites secondaires de nature diverse, exerçant un effet inhibiteur

voir létal sur l'agent pathogène (Vinale *et al*., 2008). Les espèces de *Trichoderma* sont capables de produire plus de 180 métabolites secondaires appartenant à différentes classes de composés chimiques (Gams et Bisset 1998; Reino *et al*. 2008). Ces composés ont été caractérisés et qui peuvent être classés en trois catégories : des composés volatiles, des composés diffusibles et des peptaïboles (Ghisalberti et Sivasithamparam, 1991). Certaines espèces de *Trichoderma*, à savoir *T. viride*, *T. harzianum* et *T. koningii*, sont capables de produire l'antibiotique 6-pentyl-α-pyrone (6PAP), qui appartient au groupe métabolites volatiles jouant un rôle dans l'action antibiose à l'égard des champignons phytopathogènes tels que *Botrytis cinerea*, *Rhizoctonia solani* et *Fusarium oxysporum* (Jeleń *et al*. 2013 ; Błaszczyk *et al.,* 2014). Les composés appartenant à cette action comprennent : les viridines, trichotoxines A et B, trichorovines (synthétisées par *T. viride*), trichorzianines A et B, trichorzines (synthétisés par *T. harzianum*), koningine, acide koningique, trichokonines (synthétisés par *T. koningii*), longibrachines (synthétisé par *T. longibrachiatum*), et autres (Vinale *et al.,* 2006 ; Reino *et al.,* 2008 ; Andrabi *et al.* 2011).

1.3.1.2.2. Mycoparasitisme

Les enzymes hydrolytiques dégradant la paroi cellulaire des champignons phytopathogènes, comme les chitinases, β-1,3-glucanases, cellulases, protéases et autres hydrolases, sont parmi les métabolites diffusibles impliqués dans le mécanisme de mycoparasitisme exercé par *Trichoderma* (Howell, 2003 ; Harman *et al*., 2004; Eziashi *et al.,* 2006 ; De Castro *et al.,* 2010).

1.3.1.2.3. Compétition

La compétition pour les éléments nutritifs et l'espace est un des mécanismes impliqués dans le contrôle biologique des agents phytopathogènes (Tronsmo et Hjeljord, 1998). Au niveau de la rhizosphère, la compétition pour l'espèce est intense et s'exprime par la colonisation de la surface racinaire (Sivan et Chet, 1989). Le *Trichoderma* est parmi les microorganismes rhizosphériques les plus compétitifs qui pourront tirer profit de l'apport nutritif libéré par le système racinaire et tenter de coloniser la racine des plantes (Harman *et al.*, 2004).

1.3.2. Historique et taxonomie du genre *Aspergillus*

Le nom *Aspergillus* est donné à un genre de champignons imparfaits (Deutéromycètes) qui comprend environ 180 espèces, réparties en 18 sections (Gams *et al*., 1986). Les formes parfaites (téléomorphes), de certaines d'entre elles sont connues, et appartiennent à l'embranchement des Ascomycota (genres *Eurotium* et *Emericella* notamment), (Samson, 1994).

Ce sont des contaminants fréquents de nombreux substrats, tels que les grains et les produits dérivés (farines, aliments composés pour animaux, etc...), (Beuchat, 1987).

Le genre *Aspergillus* appartient à l'embranchement des Champignons (Fungi), classe des Deutéromycètes (Adélomycètes)**,** Ordre des Hyphomycétales (Hyphales) et la famille des Dématiacées (Samson, 1994).

Les *Aspergillus* sont caractérisés par la présence de conidiophores dressés, terminés par une vésicule supportant, soit une seule rangée de phialides (structure unisériée), soit une rangée de phialides et une rangée de cellules sous-jacentes appelées métules (structure bisériée), (Frisvad et Samson, 1990). Les phialides et les métules sont également dénommées stérigmates. Les conidies produites en grand nombre par les phialides donnent, à la tête conidienne, un aspect radié si les stérigmates couvrent l'ensemble de la vésicule, ou une apparence en colonne si seule la partie supérieure de celle-ci est fertile (Figure 32), (Frisvad et Samson, 1990).

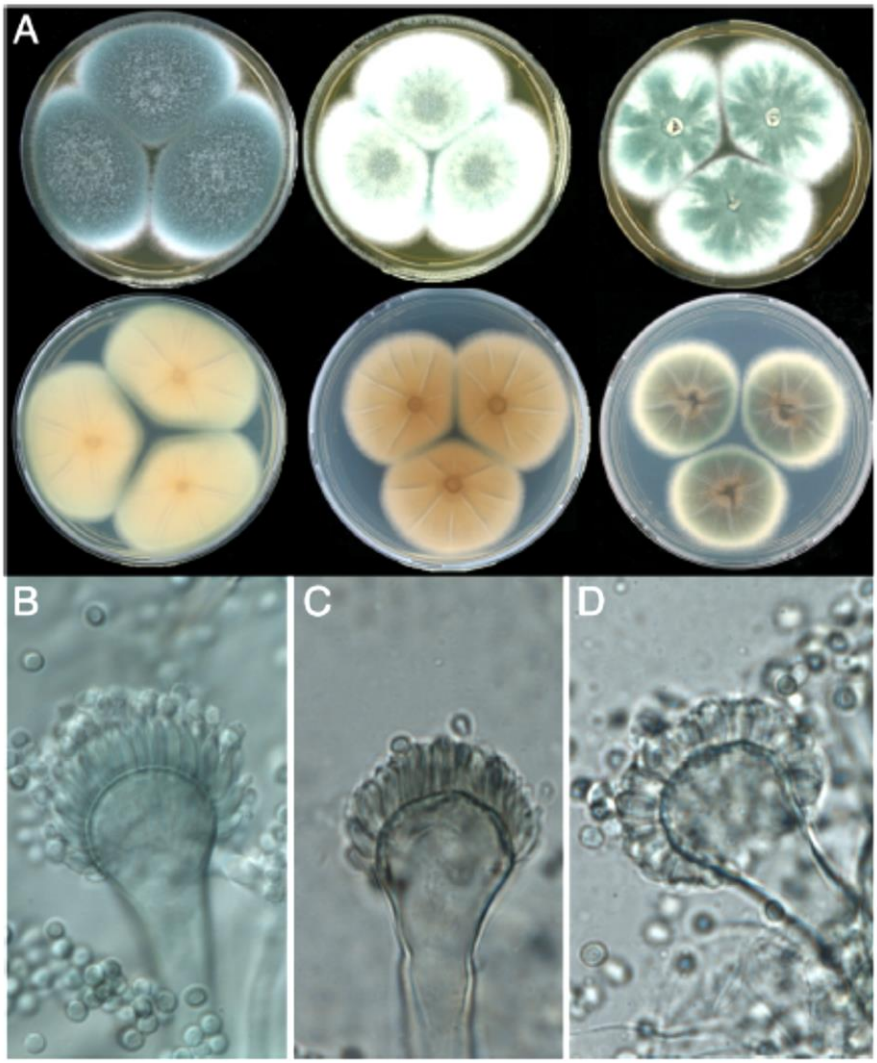


Figure 32: Différents aspect morphologique du champignon endophyte du genre *Aspergillus*. A, Différents aspects macroscopiques culturaux des colonies de *Aspergillus* sur milieu PDA ; B, C et D : Observation microscopique de différents types d'appareils fructifères et des conidiophores de *Aspergillus* (x40), (Valdes *et al*., 2018).

1.3.2.1. Importance d'*Aspergillus* dans la lutte biologique

Cette importance dans la lutte biologique se manifeste dans la production de mycotoxines: aflatoxines B1 et B2, acide aspergillique, acide kojique, acide cyclopiazonic, acide 3-nitropropionique (Samson *et al.*, 2010). En effet, les *Aspergillus* spp. ont été utilisés comme agents biologiques grâce à leurs différents mécanismes d'action durant l'antagonisme notamment mycoparasitisme par lyse mycélienne et antibiose par synthèse des substances volatiles et/ou non volatiles (Daami-Remadi *et al.*, 2012).

Aydi *et al*. (2013) ont rapporté que les espèces du genre *Aspergillus* sont considérées récemment comme des nouveaux agents de lutte biologique actifs contre les *Pythium* et les autres maladies telluriques des plantes cultivées.

1.3.3. Bactéries endophytes

Plusieurs auteurs dans le monde parlent sur l'importance des bactéries endophytes qui se trouvent au voisinage de la rhizosphère des plantes, comme des antagonistes contre plusieurs agents phytopathogènes telluriques comme le Bayoud (Benhammou *et al*., 2002 ; Fernandez *et al*., 2005). Parmi les genres bactériens les plus utilisés comme un outil microbiologique contre les maladies des plantes, on peut citer : *Bacillus, Pseudomonas, Enterobacter, Ewinia, Agrobacterium* et *Serratia* (Esitken *et al*., 2002 ; Badji *et al*., 2005).

Ces bactéries antagonistes sont capables d'inhiber la croissance et le développement des parasites fongiques des plantes par plusieurs modes d'antagonisme (Badji *et al*., 2005):

- ✓ L'hyperparasitisme, où ces bactéries envahissent les cellules des champignons phytopathogènes ;
- ✓ L'antibiose, par sécrétion des toxines afin d'occuper l'espace contre ces agents phytopathogènes ;
- ✓ L'occupation de la même niche écologique, à raison que ces bactéries ont des besoins physico-chimiques (qualité de l'eau et des sols, pH), et climatiques (température, humidité), similaires ou proches ;
- ✓ La compétition sur l'espace et les éléments nutritifs.

1.3.4. Champignons mycorhizes

Un mycorhize, c'est une association symbiotique entre une plante (arbre, arbuste, plante herbacée, vivace ou annuelle, à fleurs ou non, sauvage ou cultivée, en pot ou en pleine terre...) et un champignon, susceptible de persister durant plusieurs années. Le mot "symbiotique" a toute son importance : grâce aux mycorhizes, la plante hôte et le champignon mycorhizien se rendent mutuellement service. La symbiose est en effet, une relation de type "gagnant-gagnant", contrairement au parasitisme (Duponnois *et al*., 2013). Parmi ces mycorhizes, on distingues deux types de mycorhization :

- ✓ **Les ectomycorhizes :** (du grec ektos : à l'extérieur) où les champignons se développent essentiellement autour de la racine, en formant un manchon mycélien (**le**

manteau) à partir duquel se développent des hyphes qui s'insèrent entre les cellules corticales de la racine (**réseau de Hartig**). Les partenaires fongiques appartiennent aux Basidiomycètes (*Boletus, Russula, Laccaria*…), mais aussi aux Ascomycètes (*Tuber, Elaphomyces*…), (Duponnois *et al*., 2013).

- ✓ **Les endomycorhizes :** (du grec endon : à l'intérieur) sont caractérisées par l'absence de manchon mycélien externe et par la pénétration des hyphes fongiques dans les cellules corticales. Dans ce groupe, on distingue quelques champignons ascomycètes (Pezizaceae), et zygomycètes (Duponnois *et al*., 2013).

1.3.5. Valorisation des extraits des végétaux comme moyen de lutte biologique

L'utilisation des plantes pesticides (toute plante dont les propriétés chimiques peut être exploitée pour lutter contre les organismes considérés comme nuisibles), comme biopesticides, qui sont susceptibles de réduire significativement la pression des bioagresseurs (maladies et ravageurs), et le besoin en pesticides de synthèse (Amoatey et Acquah, 2010).

Ces plantes pesticides se manifestent par l'effet de ses substances actives qui servent d'insecticide, d'asepticide, ou de régulateur. Il existe aussi des préparations et des mélanges d'extraits de certaines plantes (les purins) ayant des effets après la vaporisation de la solution sur la culture. (Deravel *et al*., 2013).

Dans la bibliographie, il existe plusieurs espèces végétales choisies comme biopesticide, on peut citer quelques exemples :

- L'huile de neem (*Azadirachta indica* - un arbre tropical), biopesticide végétal le plus utilisé, comme fongicide, insecticide, et nématicide.
- L'extrait de fleurs de pyrèthre (*Tanacetum*) qui paralyse tous les insectes et les acariens rapidement.
- La quassine (extrait du *Quassia amara*, arbre d'Amérique) est utilisée comme insecticide.
- Le purin de sureau contre les campagnols.
- La terre de diatomées comme biocide-insecticides (contre les insectes rampants et les parasites).
- Le marc de café contre les pucerons, les fourmis, les limaces et les escargots.
- Le purin de rhubarbe contre les limaces.

- Autres substances issues du végétal utilisées comme biopesticides : certaines huiles végétales (comme le colza et la menthe verte), la nicotine, la roténone, la prêle, et beaucoup de formes de purins ou de tisanes.

Les problèmes liés aux pesticides synthétiques (pesticides chimiques) ont conduit à la recherche et au développement plus ciblés des plantes pesticides. L'utilisation des plantes pesticides présente le double avantage de respecter l'environnement et d'être efficace dans la lutte contre les ravageurs et les maladies (Stevenson *et al*., 2014 ; Mkenda *et al*., 2015). Bien que ces plantes pesticides n'aient pas eu le succès commercial attendu, leur champ d'application pour les petits agriculteurs constitue un potentiel considérable mais reste sous-exploité (Isman, 2006 ; 2008).

La plupart des plantes pesticides sont recueillies localement dans la nature, par exemple autour des fermes, au long des routes, dans des réserves forestières et les champs en jachère. Pour cela, pour le cas du Bayoud du palmier dattier, on peut choisir des espèces des plantes plus proches aux oasis qui seront disponibles pour les agriculteurs de la région pour les exploiter, c'est le cas de l'Alanda (*Ephedra alata* subsp. *alenda*), qui est installée dans les ergs et les dunes au voisinage des palmeraies, et l'ortie (*Urtica urens* L.), dans les rivières, oueds et bordures des routes (Sidaoui *et al*., 2018).

1.3.5.1. L'Alanda : *Ephedra alata* subsp. *alenda*

Cette espèce, qui est réputée pour sa tolérance élevée à la carence en eau dans les régions sahariennes, est un arbuste de 1 à 3 mètres de haut, à rameaux articulés et très ramifiés d'une couleur vert-jaunâtre, portant au niveau des noeuds de petites feuilles opposées, alternant d'un nœud à l'autre. Les fleurs sont en petits cônes blanchâtres, dioïques (fleurs mâles et femelles sur des pieds différents), (Figure 33) et les fruits entourés de bractées largement membraneuses (Figure 34). Elle présente un système de racines latérales extrêmement puissant (Ozenda, 1991; Derbel *et al*., 2010).

L'Alanda (*Ephedra alata* subsp. *alenda*) est une espèce saharienne, se distribue dans l'Afrique du Nord, pays du Sahel, Pininsule arabe, Iran et Turkestan. Elle est fixatrice des sables dont les fleurs et les jeunes pousses sont appréciés par les Camélidés. Quoiqu'elle apparaisse répartie dans l'Erg et les sables du Sahara, ses différentes populations (formées d'un nombre limité d'individus ou de pieds isolés) sont fragmentés et en déclin continu. Sa vocation pastorale la soumet à la pression de broutage abusif. Cette espèce est donc sujettes à différentes menaces dont : le pâturage qui peut anéantir les plantes adultes comme les

plantules, l'absence de régénération naturelle ; la désertification, la sécheresse et la détérioration de l'environnement écologique, l'altération de son habitat , les mauvaises pratiques de gestion qui peut créer des changements écologiques qui défavorise les plantes, la récolte et le piétinement des troupeaux qui pourraient avoir un impact négatif sur la survie des plantes, la croissance et la reproduction (Derbel *et al*., 2010).

Ephedra alata subsp. *alenda* est connue pour son usage en médecine traditionnelle dans plusieurs régions d'Algérie. Elle est utilisée contre la grippe, la coqueluche, la faiblesse et les rhumes par la population de la région d'Ouargla (Ould Elhadj *et al*., 2003; Chehma et Reda, 2008). Dans la région d'El Oued, la plante est utilisée contre les avortements, le cancer, le diabète, la toux, l'ulcère gastrique, la grippe, les gaz intestinaux, l'obésité et l'insuffisance rénale et cardiaque (Belgacemi et Dou, 2019). Le cancer n'est traité que par *Ephedra alata* subsp. *alenda* pour la communauté des Touareg de la région d'Illizi (Miara *et al*., 2018).

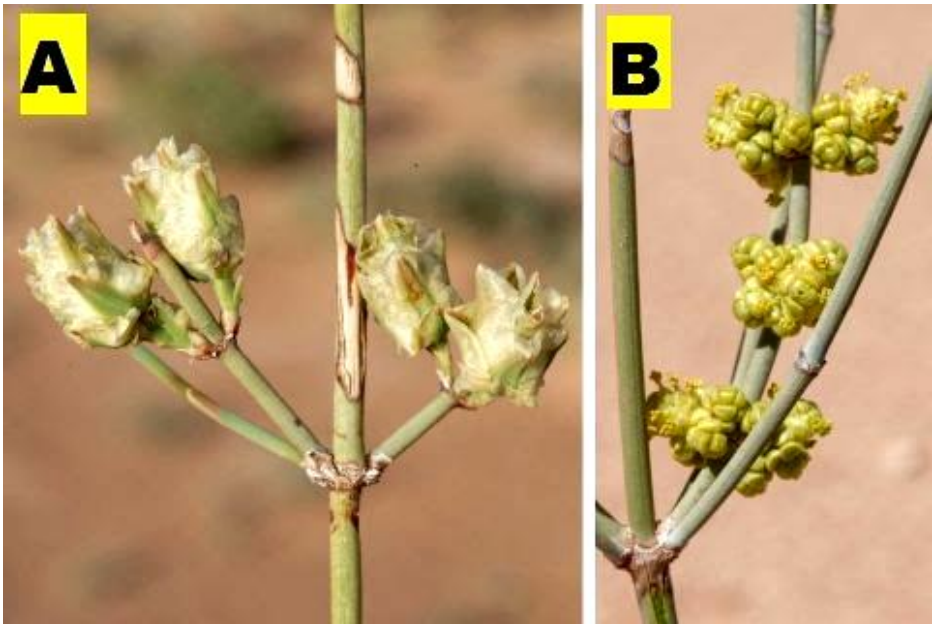


Figure 33 : Fleurs femelles (A) et males (B), de l'espèce Alanda.
(Source : BELAIDI, 2021).



Figure 34 : Fruits de l'espèce Alanda. (Source : BELAIDI, 2021).

✓ **Taxonomie de l'Alanda**

- **Domaine** : Biota Endl.(D.Don)
  - **Règne** : Plantae Haeckel, 1866
    - **Sous-Règne** : Viridaeplantae
      - **Infra-Règne** : Streptophyta John, Williamson & Guiry, 2011
        - **Classe** : Equisetopsida C.Agardh, 1825
          - **Clade** : Tracheophyta Sinnott ex Cavalier-Smith, 1998
            - **Clade** : Spermatophyta
              - **Clade** : Gymnospermae Lindl., 1830
                - **Sous-Classe** : Gnetidae Pax, 1894
                - **Ordre :** Ephedrales Dumort., 1829
                  - **Famille** : Ephedraceae Dumort., 1829 [nom. cons.]
                    - **Genre** : *Ephedra* Tourn. Ex. L., 1753
                    - ***Espèce**: Ephedra alata* Decn. 1824
                    - **Sous-Espèce :** *Ephedra alata* subsp. *alenda* (Stapf) Trab. 1905

Synonyme: Espèce = ***Ephedra alenda* (Stapf) Andr. 1931**
Source: GBIF: Global Biodiversity Information Facility, Danemark (Dk), (2021).

1.3.5.2. L'Ortie brulante: *Urtica urens* L.

Le mot français « ortie » est un dérivé du latin urtica venant du verbe urere, qui signifie « brûler », en référence au caractère urticant de cette plante. D'après Pierre Larousse (19ème siècle) le verbe urere proviendrait de la racine sanskrite ush signifiant également « brûler ». Il

apparaît donc que les deux mots ont la même origine indo-européenne. En effet dans l'alphabet romain « l'ortie » s'écrit 'VRTICA' et 'VRSCIKA' en sanskrit, ce qui est assez similaire (Swerdlow, 2000; Tissier, 2011).

L'Ortie brûlante se reconnaît à sa petite taille qui en général se situe entre 20 et 60 cm . Les feuilles sont opposées, ovales et ne dépassent pas 4–5 cm de long. Elles sont bordées de dents aiguës de 3–5 mm (Figure 35). C'est une plante monoïque alors que l'**ortie** commune (*Urtica urens* L.), est essentiellement dioïque.



Figure 35 : L'ortie brulante (*Urtica urens* L.). (Source: BELAIDI, 2021) .

✓ **Taxonomie de l'Ortie brulante**

- **Domaine** : Biota Endl.(D.Don)
  - **Règne** : Plantae Haeckel, 1866
    - **Sous-Règne** : Viridaeplantae
      - **Infra-Règne** : Streptophyta John, Williamson & Guiry, 2011
        - **Classe :** Equisetopsida C.Agardh, 1825
          - **Clade** : Tracheophyta Sinnott ex Cavalier-Smith, 1998
            - **Clade** : Spermatophyta
              - **Sous-Classe** : Magnoliidae Novák ex Takht., 1967
                - **Super-Ordre** : Rosanae Takht., 1967
                  - **Ordre** : Rosales Bercht. & J.Presl, 1820

- **Famille** : Urticaceae Juss., 1789
  - **Genre** : *Urtica* L., 1753
    - **Espèce** : *Urtica urens* L., 1753

Synonymes:

- *Urtica ovalifolia* Stokes, 1812 (Espèce CD_NOM = 128289)
- *Urtica parvula* Blume, 1856 (Espèce CD_NOM = 128290)
- *Urtica quadristipulata* Dulac, 1867 (Espèce CD_NOM = 128294)
- *Urtica verticillata* Vahl, 1790 (Espèce CD_NOM = 128299)
- *Urtica iners* Forssk., 1775 (Espèce CD_NOM = 128278)
- *Urtica intermedia* Formánek, 1896 (Espèce CD_NOM = 128281)
- *Urtica minor* Moench, 1794 (Espèce CD_NOM = 128286)

Source: INPN, 2021

1.3.6. Importance de l'eau ozonée comme un désinfectant antifongique

La molécule d'ozone a été officiellement découverte par Shönbein en 1840. Lors d'expériences d'électrolyse, il décela une odeur et l'attribua à une nouvelle molécule qu'il baptisa ozone, nom provenant du grec « ozein » qui signifie « sentir ». Dès 1848, Hunt mis en évidence le fait qu'il s'agissait d'une molécule triatomique exclusivement constituée d'atomes d'oxygène. Sous l'impulsion de Von Siemens, le premier ozoneur apparut dès 1857. Basé sur l'application de décharges électriques dans un tube alimenté en air, il permettait déjà de convertir jusqu'à 8 % d'oxygène en ozone (Pages, 2015).

L'emploi de l'ozone, sous sa forme gazeuse ou dissous dans l'eau, est actuellement en expansion du fait de l'augmentation de la demande en produits ayant peu d'impact sur l'environnement comparativement aux produits biocides conventionnels (O'Donnel *et al*., 2012). Cet oxydant puissant, qui possède des propriétés désinfectantes reconnues, se caractérise en effet par une faible rémanence : l'excédent d'ozone se décompose rapidement en oxygène sans laisser de résidus détectables (O'Donnel *et al*., 2012).

1.3.6.1. Techniques de la réalisation de l'eau ozonée

Pour transférer l'ozone dans l'eau : la diffusion du gaz dans le liquide au travers d'un système poreux (bullage) ou le recours à un injecteur type Venturi (Pages, 2015). La technique la plus utilisée est l'injection Venturi (Figure 36). Le principe de cette technique est l'utilisation de l'injecteur Venturi, un tube comportant une section réduite sur laquelle est raccordé le tuyau d'arrivée de l'ozone gazeux (Tapp et Rice, 2012). L'eau entre dans

l'injecteur à un débit constant. Lorsque le fluide arrive au niveau de la restriction, le débit ne changeant pas, la vitesse augmente. Cette augmentation entraîne une chute de la pression permettant ainsi l'aspiration de l'ozone. Le gaz se répand rapidement dans le liquide sous forme de petites bulles. Le flux est alors très agité ce qui permet un bon mélange de liquide et du gaz (Tapp et Rice, 2012).

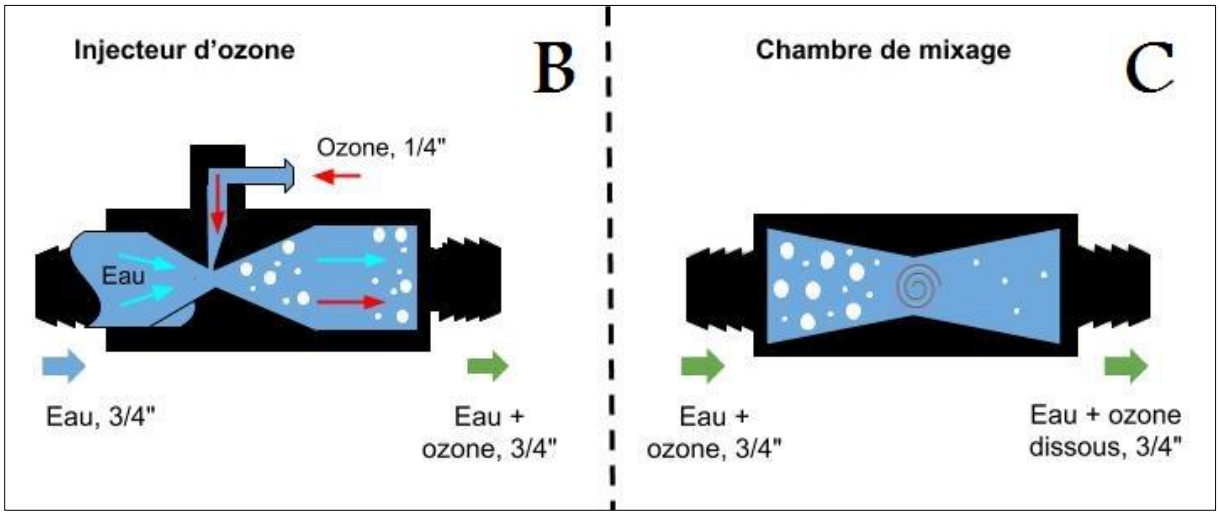


Figure 36 : Schéma de principe d'injection venturi de l'ozone dans l'eau. **A, B** : Injecteur de l'ozone ; **C** : Présentation de la chambre de mixage de l'eau avec l'ozone (eau ozonée). Source : https://www.tubs.fr/fr/injecteurs-dozone-c-75_415.html; site consulté, le 24/05/2022 à 12:56.

1.3.6.2. Eau ozonée et lutte contre les agents phytopathogènes

Plusieurs travaux de recherche dans la bibliographie confirment l'importance de l'eau ozonée comme un désinfectant antifongique de plusieurs espèces fongiques responsables des maladies des plantes (Pages, 2015). Cette capacité antifongique a été remarqué sur l'inhibition de la germination des spores de plusieurs espèces fongiques comme : *Botrytis cinerea*, agent de pourriture grise de tomate (*Lycopersicum esculentum* L.), (Minas *et al*., 2010), *Venturia inaequalis*, agent de la tavelure du pommier (*Malus domestica* Borkh.), (Pages, 2015), et *Fusarium verticillioides*, agent du flétrissement fusarien des céréales (Mylona *et al*., 2014).

D'après ces rapports importants publiés qui soutiennent la performance de l'eau ozonée comme un désinfectant et un outil de lutte agroécologique contre les agents phytopathogènes sans polluer de notre environnement ou affecter la santé humaine.

Chapitre 02

Recherche des sources résistance des cultivars locaux du palmier dattier au Bayoud

Chapitre 02
Recherche des sources de résistance des cultivars locaux du palmier dattier au Bayoud

Dans la lutte contre l'utilisation des pesticides chimiques, qui sont néfastes pour l'environnement nous considérons, dans ce chapitre, que la recherche des sources de résistance au sein de 14 cultivars locaux du palmier dattier est un moyen efficace contre le Bayoud causé par le Foa.

Nous signalons alors que la lutte génétique par l'utilisation des cultivars résistants aux agents phytopathogènes reste le meilleur moyen pour combattre ces bioagresseurs (Sedra, 1994 ; 2005b ; Kaur *et al*., 2013). Pour confirmer cette résistance il faut utiliser expérimentalement le test de screening (ou criblage), qui se base sur l'inoculation artificielle des plantes des cultivars testés. Ce test se fait par plusieurs méthodes de screening, parmi lesquels : screening sur champs, screening en pots, screening par feuilles détachées, screening par tubes à essai ou Cut-twig (El-Modafar *et al*., 2010).

Dans notre essai, on a choisi deux méthodes de screening, en pots et Cut-twig, pour chercher les sources de résistance au sein de 14 cultivars locaux du palmier dattier au Bayoud.

2.1. Matériels et Méthodes

2.1.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé correspond aux 14 variétés du palmier dattier issues du semis direct dans des pots. Les plantules sont inoculé au stade 2-4 feuilles et ont besoin d'un temps de 02-03 mois pour arriver à ce stade (Tableau 08 ; Figure 37).

Tableau 08 : Cultivars locaux du palmier dattier choisies et leurs origines.
(Source : BELAIDI, 2020).

Cultivars	Origines
Feggous, Figguig, Sbaa Soltan, Taquerboucht, H'mira, Hartan	Saoura (Béchar)
Adem Bulla, Tamdjouhert	Touat (Adrar)
Toudent, Azarza	M'zab (Ghardaïa)
Deglet Nour, Degla Beida, Mech Degla, Tanboucht	Ziban (Biskra) & Oued Righ (Touggourt)

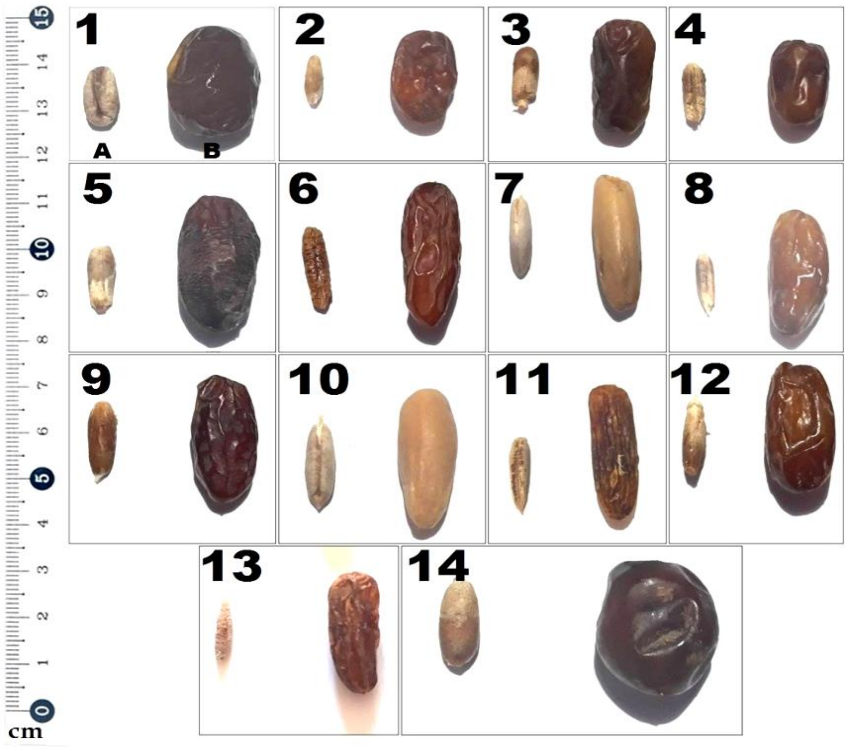


Figure 37: Types de fruits et graines de 14 cultivars locaux du palmier dattier choisies.
1 : Feggous ; **2** : Figuig ; **3**: Toudent ; **4**: Azarza ; **5**: Tamdjouhert ; **6**: Adem Bulla ; **7**: Degla Beida; **8**: Deglet Nour; **9**: H'mira ; **10**: Mech Degla ; **11**: Hartan; **12**: Taquerboucht; **13**: Sbaa Soltan ; **14**: Tanboucht. (Source : BELAIDI, 2020).

2.1.2. Matériel fongique Foa utilisé :

On a utilisé 20 souches de Foa d'origines différentes dans les deux tests de screening effectués (Tableau 09 ; Figure 38). Ces souches sont fournées par CRSTRA (Station Expérimentale du Milieu Biophysique de Naama du Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides, Biskra).

Tableau 09: Liste des isolats de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa) avec leur origine.

Isolats de Foa	**Origines**	
	Oasis	**Provinces**
S1	Ouakda	Béchar
S2	Béchar	
S3	Béni Abbes	
S4	Tabelbala	
S5	Igli	
S6	Charouine	Gourrara (Timmimoune)
S7	Ouled Said	
S8	Tinerkouk	
S9	Telmine	
S10	Charouine	
S11	Tililane	Touat (Adrar)
S12	Ouled Ahmed Timi	
S13	Reggane	
S14	Azeghemir	
S15	Adrar	
S16	Adrar	
S17	Atteuf	Mizab (Ghardaia)
S18	Atteuf	
S19	Ghardaia	
S20	Metlili	

S1, S2, … S20 : Souches de Foa ; Foa: *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis.*

2.1.3. Milieu de culture

Le milieu de culture de ce champignon pathogène le plus adéquat est le milieu PDA (Potato Dextrose Agar), qui représente le milieu usuel de culture pour la plupart des champignons (Oei, 2005).

Le milieu est soumis à une Stérilisation à l'autoclave à 121 °C pendant 15 mn à une pression de 1,2 bar, puis refroidi jusqu'à 55 °C pour éviter la condensation de la vapeur; ce dernier est distribué dans des boîtes de pétri stériles, de 9 cm de diamètre, à raison de 15 ml par boîte (Oei, 2005).

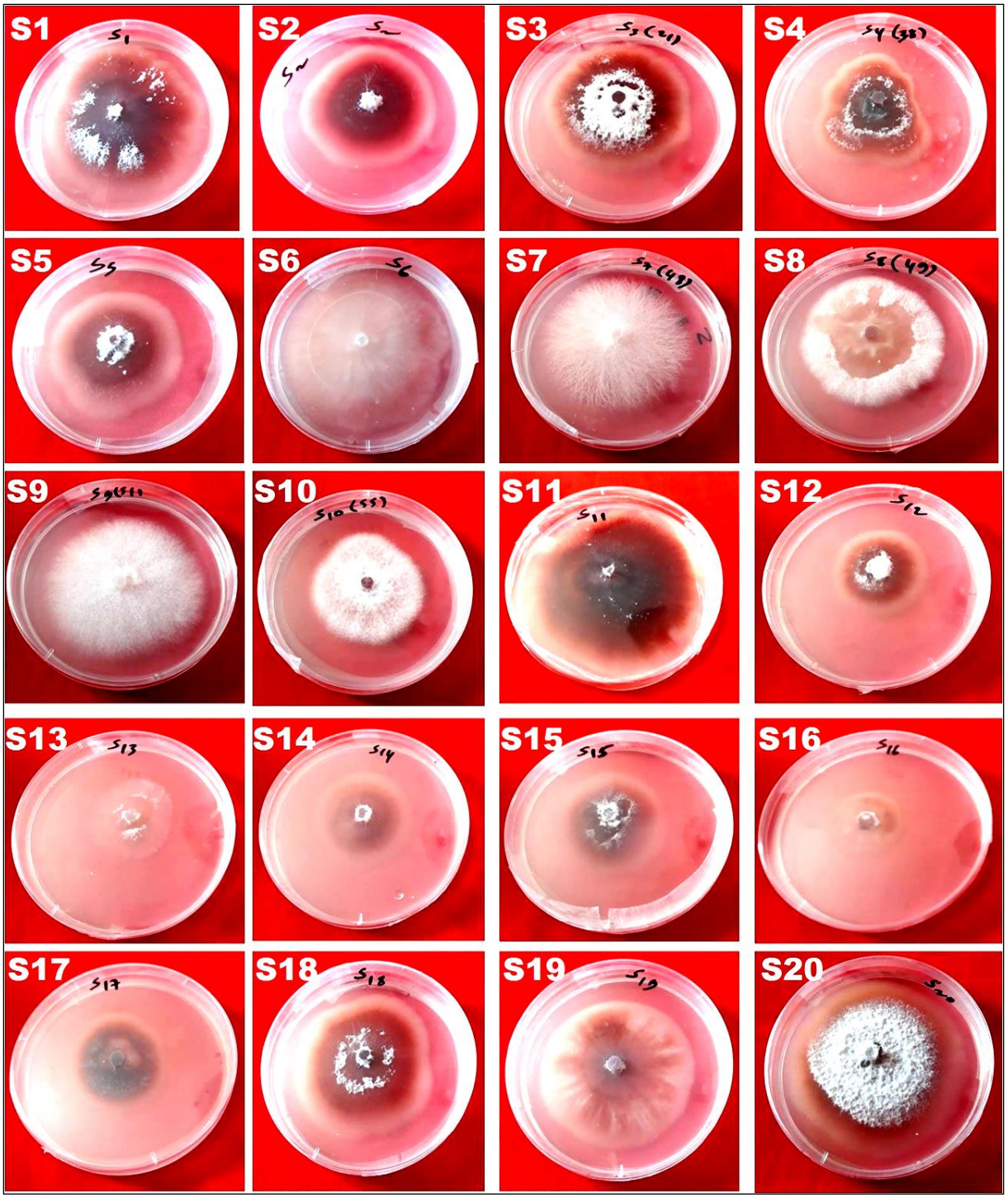


Figure 38: Aspect cultural des souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa) sur le milieu PDA. (Source : BELAIDI, 2020).

2.1.4. Mise en culture des palntules du palmier dattier

Pour obtenir les plantules du palmier dattier à inoculer par le Foa, les étapes suivantes sont entre pries comme ci-contre :

- ✓ On dispose au bond d'une boite de pétri, du coton humidifier suffisamment,
- ✓ On étale les graines du palmier dattier bien nettoyées sur la face postérieure du coton et on laisse le tout à une température ambiante idéalement comprise entre 20 et 25°C.
- ✓ On arrose avec de l'eau de robinet, quand c'est necéssaire;
- ✓ Un vaporisateur est idéal à cet effet, car le coton doit rester juste humide ;
- ✓ Au bout de 20 jours, les premières graines sont germées (Figure 39, A).
- ✓ Le taux de germination des graines du palmier dattier est par la suite est déterminé en %, (Annexe 25).

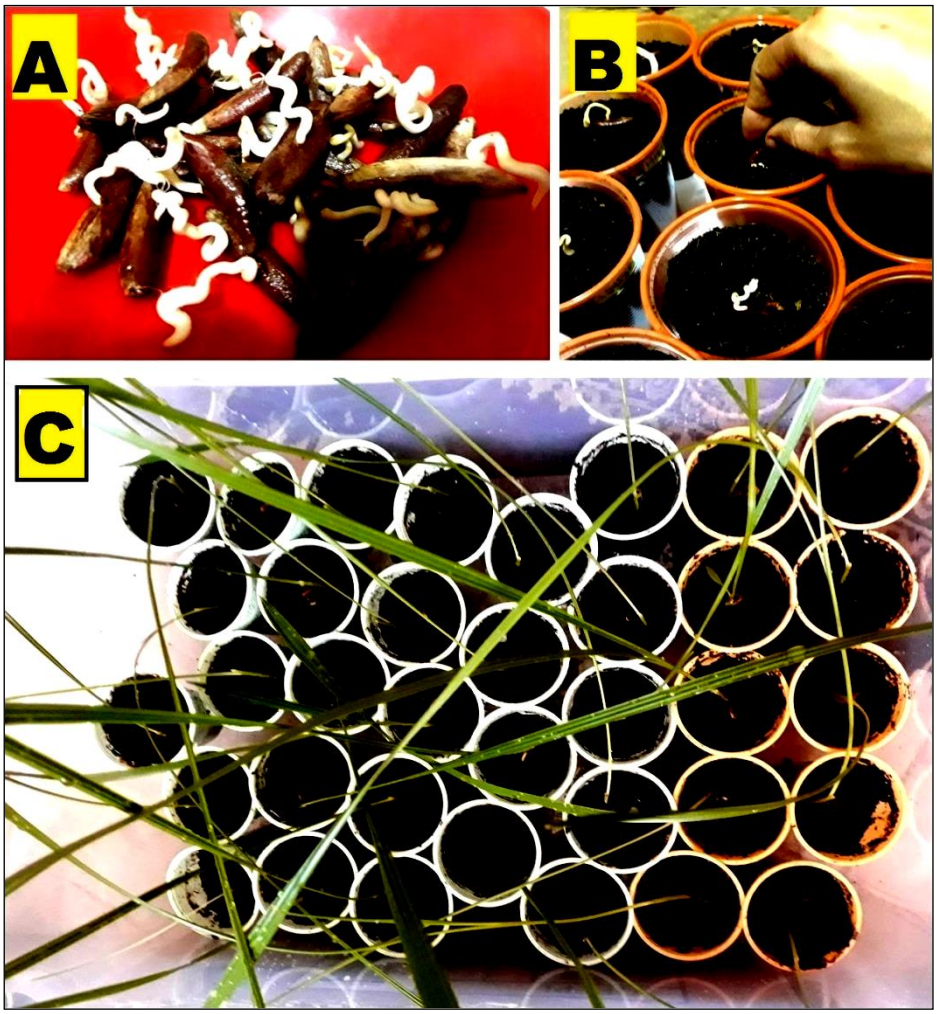


Figure 39: Préparation des plantules du palmier dattier pour le test du screening.
A : Germination des graines ; B : transplantation des graines germées dans des pots contenant du terreau ; C : Plantules du stade 2-4 feuilles prêtes pour le test d'inoculation. (Source : BELAIDI, 2020).

Après cette étape, on fait la transplantation des graines germées comme suivant :

- ✓ On enlève les graines germées pour les semer dans des pots contenant la tourbe stérile (Figure 39, B).
- ✓ On irrigue chaque 48 heure jusqu'à où les plantules arrivent au stade 2-4 feuilles (Figure 39, C).

2.1.5. Test de screening (inoculation artificielle)

- ✓ **Test de screening en pots**

Ce test consiste à arroser les plantules au stade 2-4 feuilles, cultivées dans les pots de 12 cm x 15cm (Figure 39), avec une suspension de 5×10^3 conidies/ml, selon Sedra, (2005b). Le dispositif expérimental choisi est en blocs, avec 4 répétitions pour chaque cultivar à inoculer.

- ✓ **Test de screening en tubes (Cut-twig)**

Ce test consiste à enlever les plantules au stade 2-4 feuilles, soumises aux trois (3) rinçages successifs puis mises dans des tubes à essai contenant 9 ml du milieu nutritif 'Hoagland' (Figure 40), avec 1ml d'inoculum de Foa à une suspension de 5×10^3 conidies/ml selon le protocole (Kaur *et al*., 2013).

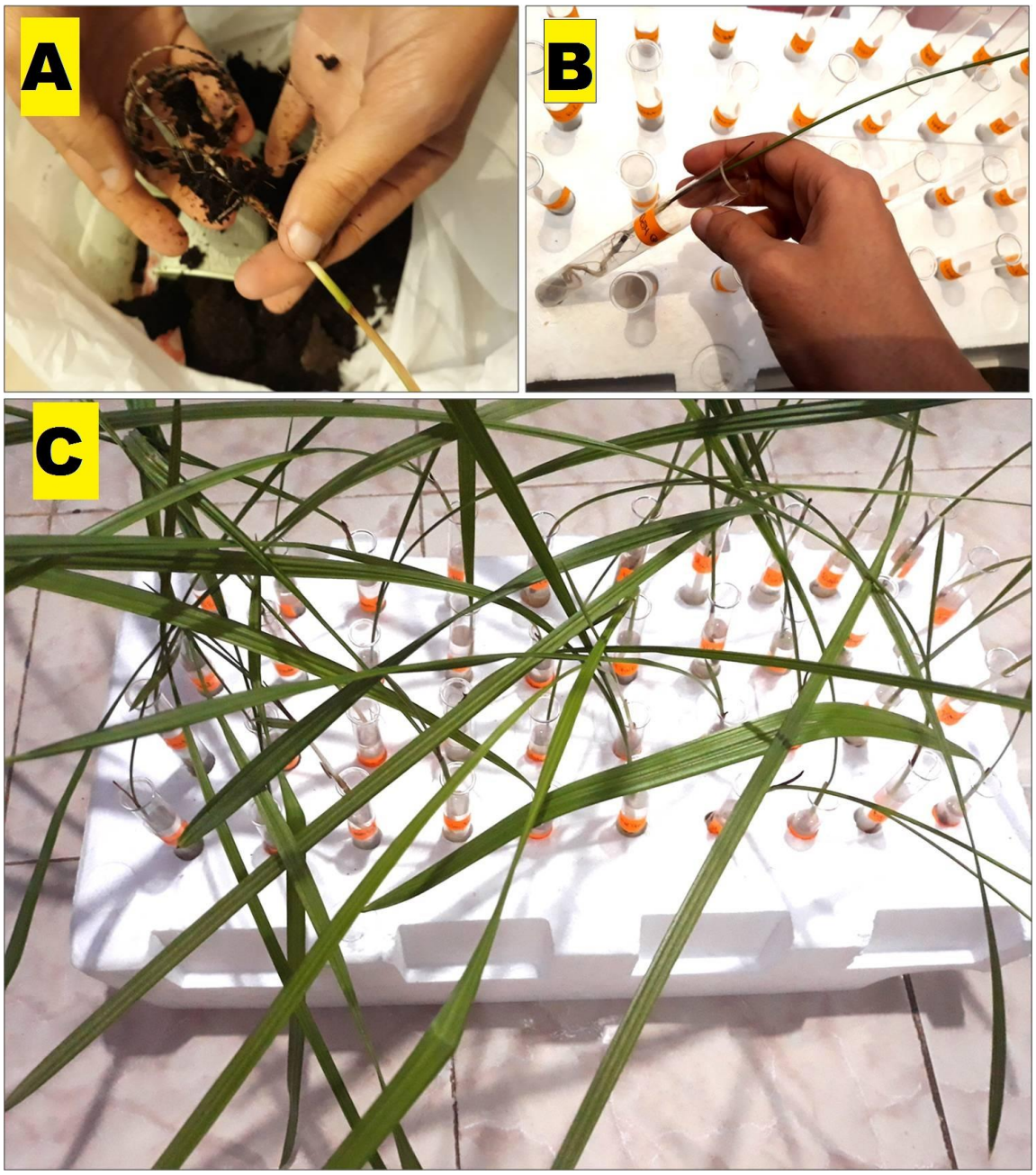


Figure 40 : Dispositif expérimental du test de screening en tubes (Cut-Twig). A : Enlèvement des plantules des pots ; B : Déposition des plantules dans des tubes à essai contenant le milieu nutritif Hoagland avec l'inoculum Foa ; C : Dispositif expérimental du test de screening Cut-Twig montrant des plantules des variétés du palmier dattier dans des tubes à essai. (Source : BELAIDI, 2020).

Le nombre de jours qui s'écoule entre l'apport de l'agent pathogène et l'apparition des premiers symptômes correspond à la période d'incubation. (Zikara-Zine et Bouznad,2007).

2.1.6. Analyse statistique

Le dispositif expérimental choisi est en blocs, avec 4 répétitions pour chaque plantule des variétés à inoculer par le mélange (mixture) des 20 souches de Foa (Silva *et al*., 2013). Le test de signification a été fait en utilisant le test non paramétrique de K échantillons de Kruskal-Wallis ($P_{0,05}$). L'analyse a été faite à l'aide du logiciel XLStat 2021.04, (AddinSoft, Etats-Unis).

- ✓ Dispositif Expérimental: Blocs Unifactoriel.
- ✓ Le test choisi: Kruskal-Wallis (5%).
- ✓ Le facteur étudié: Sensibilité/Résistance.
- ✓ L'unité expérimentale: est le Taux de mortalité qui est basé sur l'échelle de notation qui a été décrite par Silva *et al*. (2013).

Ce taux est calculé par la formule suivante :

$$\mathrm{TM}(\%) = \frac{\text{Nombre de plantes mortes}}{\text{Nombre total de plantes testées}} \times 100$$

Par cette formule, on peut déterminer les variétés sensibles et résistantes selon Silva *et al*., (2013), comme suitvant:

- ✓ **R** : Variété Résistante (0%) ;
- ✓ **T** : Variété Tolérante (1-15%) ;
- ✓ **S** : Variété Sensible (16-50) ;
- ✓ **TS** : Variété Très Sensible (51-100%).

2.2. Résultats

La réaction des 14 cultivars du palmier dattier vis-à-vis le Foa a révélé une différence significative ($P<0.05$), (Tableau 10). Cette différence se manifeste par l'apparition ou l'absence des symptômes de Bayoud du palmier dattier sur les plantules inoculées par les souches de Foa.

Les résultats obtenus ont montré que la période d'incubation varie entre 29 et 70 jours selon la vériété testée et le type du test de screening.

- ✓ Dans le test de screening en pot: La période d'incubation est égale à 70 jours, elle représente le nombre maximum de jours pour les variétés résistantes où leurs plantes ne présentent aucun symptôme de maladie. C'est le cas de six (6) variétés : Tamdjouhert, Adem Bulla, Degla Beida, Mech Degla, Taquerboucht et Tanboucht. Les variétés sensibles ont présenté des valeurs de période d'incubation varient entre 29 et 50 jours (Tableau 10).

- ✓ Dans le test de screening cut-twig: La période d'incubation est trés courte par rapport au premier test. Cette période est de 50 jours pour les variétés résistantes (Hartan et Taquerboucht), entre 18 et 32 jours chez douze (12) variétés restantes (Adem Bulla, Degla Beida, Deglet Nour, Mech Degla, Tanboucht, Feggous, Figuig, Toudent, Azarza, Tamdjouhert, Hmira et Sbaa Soltan).

Nous remarquons que le test screening en pots, les résultats ont montré qu'il y a 5 variétés résistantes (Tamdjouhert, Adem Bulla, Degla Beida, Mech Degla, Taquerboucht), 1 tolérante (Feggous) et 8 sont sensibles (Figuig, Toudent, Azarza, Deglet Nour, H'mira, Hartan, Sbaa Soltan, Tanboucht), (Tableau 10; Figure 41).

Alors que dans ce deuxième test de screening (en tubes): les résultats ont montré qu'il y a seulement 2 variétés résistantes, Taquerboucht et Hartan, et toutes les autres, sont sensibles (Tableau 10 ; Figure 42).

Nous déduisons de ce fait que malgré les résultats positifs obtenus dans notre essai, le test d'inoculation des plantules de 14 cultivars du palmier dattier ne montre que cinq (5) variétés résistantes (Taquerboucht, Adem Bula, Mech Degla, Tamdjouhert, Degla Beida). Et malheureusement, la variété importante en Algérie, 'Deglet-Nour', est très sensible au Bayoud, en comparaison entre ces deux tests de screening, nous remarquons des résultats très proches et presque similaires en les différentes variétés mais dans le test Cut-Twig le nombre des variétés sensibles est plus important (12 variétés) par rapport au premier test (en pot) qui a présenté 08 variétés sensibles, avec une période d'incubation plus courte dans le test Cut-Twig que dans le test de screening en pot (Tableau 10).

Tableau 10: Réaction des plantules des variétés du palmier dattier vis-à-vis du Bayoud en utilisant les deux tests de screening (en pot et cut-twg).

Cultivars du palmier dattier	**Période d'incubation (jours)**		**Réaction des cultivars**			
			Taux de mortalité (%) (Moyenne ± δ)		**Réaction**	
	En pot	**Cut-Twig**	**En pot**	**Cut-Twig**	**En pot**	**Cut-Twig**
Feggous	59 ^{b} ± 17,67	27 ^{c} ±17,61	12,5 ^{cd} ± 16,87	75^{a} ± 25	T	S
Figuig	31,5 ^{a} ±0	25 ^{c} ±39,25	68,7 ^{a} ±41,37	100 ^{a} ± 0	TS	S
Toudent	37^{bc} ±2,45	22 ^{c} ±1,63	62,5 ^{a} ±43,3	50 ^{ab} ± 35,35	S	S
Azarza	41^{b} ±38	21 ^{c} ±0,81	43,75 ^{b} ±37,5	75 ^{a} ± 28,86	S	S
Tamdjouhert	70 ^{a} ±0	23 ^{c} ±1,41	0 ^{d}	50 ^{ab} ± 35,35	R	S
Adem Bulla	70 ^{a} ±0	30 ^{bc} ±4,08	0 ^{d}	43,75 ^{b} ±12,5	R	S
Degla Beida	70 ^{a} ±0	30 ^{bc} ±3,26	0 ^{d}	43,75^{b}±12,5	R	S
Deglet Nour	35 ^{bc} ±19,6	30 ^{bc} ±3,26	68,75 ^{a} ±23,9	93,75^{a} ±12,5	TS	S
H'mira	40 ^{bc} ±26,5	26,5 ^{c} ±1,9	25 ^{c} ±50	56,25 ^{ab} ±12,5	S	S
Mech Degla	70 ^{a} ±0	32 ^{bc} ±2,8	0 ^{d}	43,75 ^{b} ±12,5	R	S
Hartan	50 ^{b} ±4,08	50 ^{b} ±4,08	25 ^{c} ±50	6,25 ^{cd} ±12,5	S	R
Taquerboucht	70 ^{a} ±0	50 ^{b} ±4,08	0 ^{d}	6,25 ^{cd} ±12,5	R	R
Sbaa Soltan	29 ^{c} ±0,8	18 ^{d} ±0,8	100 ^{a} ±0	100 ^{a} ±0	TS	S
Tanboucht	70 ^{a} ±0	29 ^{c} ±1,4	43,75 ^{b} ±37,5	50 ^{ab} ±35,3	S	S
Taux de mortalité global (%)			**27,67 %**	**4,64 %**		
F Calculé			**143,84***			
Ddl			**55**			
C.V. (%)			**18,5%**			
P (Probalibité)			**0,0001**			

Foa : *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis ;* **F :** F calculé ou critique ; **S1, S2, .. S20 :** Isolats de Foa ; **ddl:** Degré de liberté; P: Probabilité à 5%; **a, b, c, d:** Groupes homogènes; **δ** : Ecart-type; R : Variété Résistante (0%) ; T : Variété Tolérante (1-15%) ; S : Variété Sensible (16-50) ; TS : Variété Très Sensible (51-100%), (Silva *et al*., 2013).

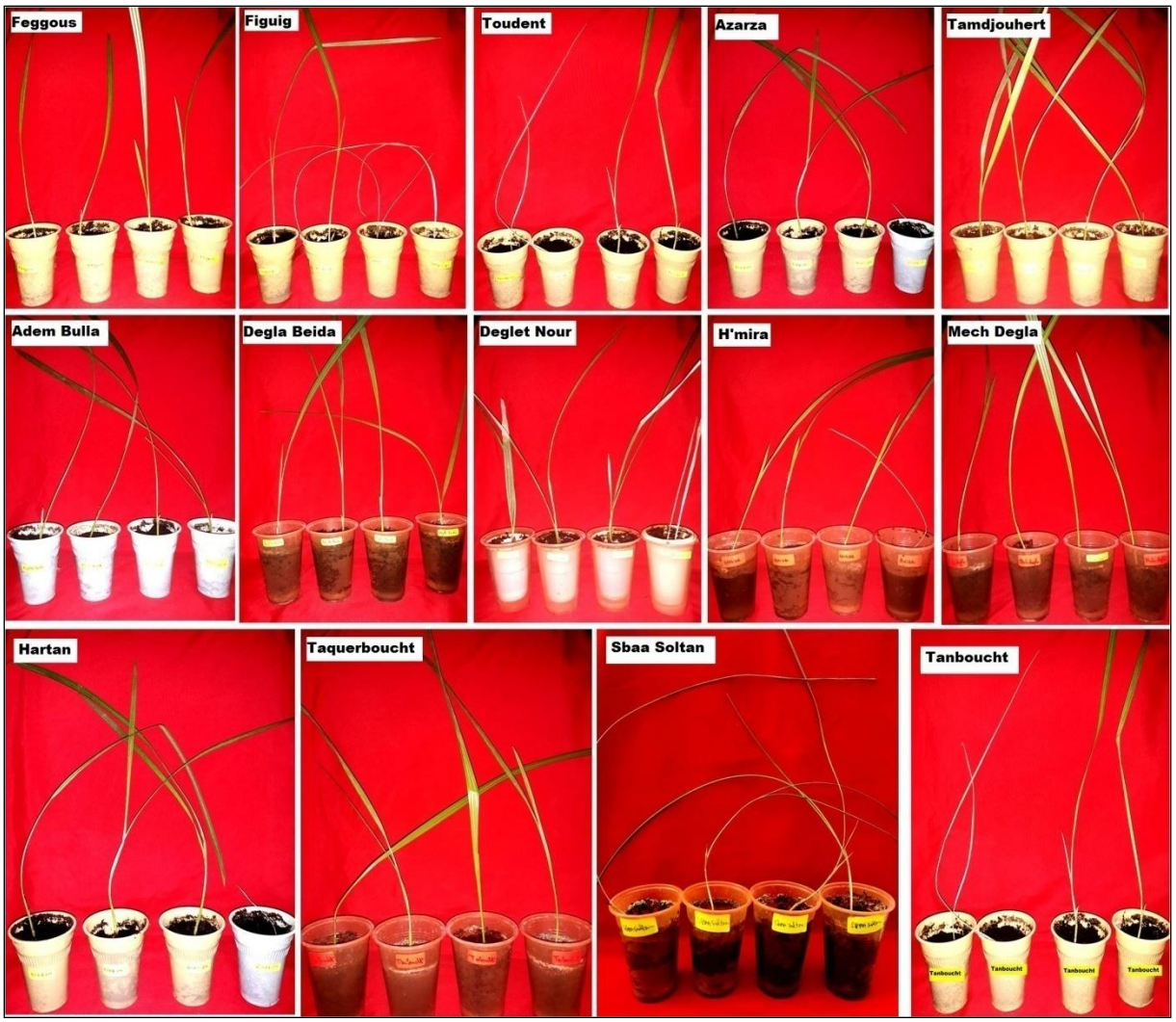


Figure 41: Réaction des plantules de 14 cultivars du palmier dattier vis-à-vis du Bayoud inoculée par le test de screening en pots (Greenhouse screening). (Source : BELAIDI, 2020).

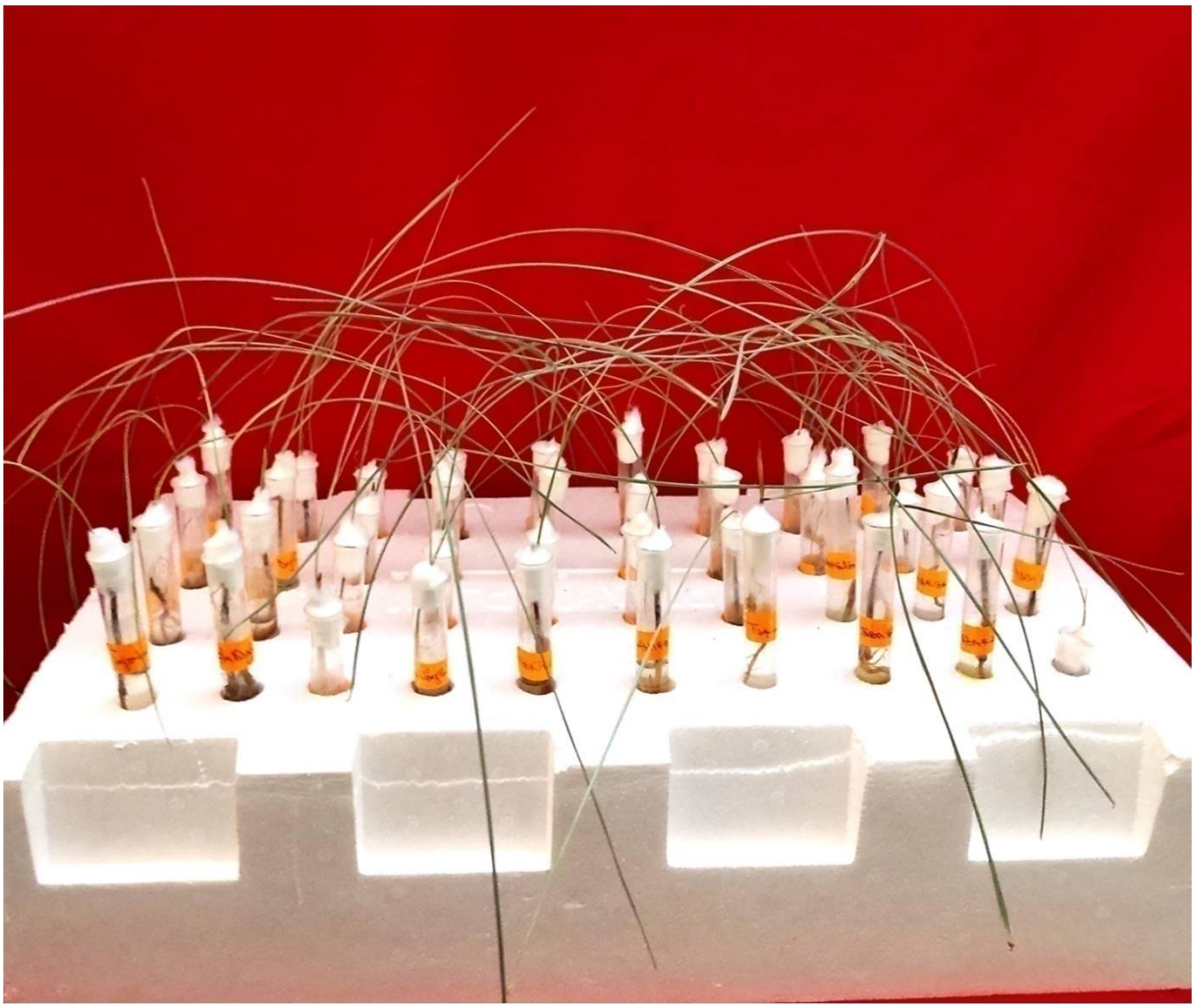


Figure 42: Réaction des plantules de 14 cultivars du palmier dattier vis-à-vis du Bayoud inoculée par le test de screening en tubes à essai (Cut-Twig). (Source : BELAIDI, 2020).

2.3. Discussion

Les résultats obtenus ont montré qu'il y a cinq (5) variétés résistantes (Tamdjouhert, Adem Bulla, Degla Beida, Mech Degla, Taquerboucht), une (1) tolérante (Feggous) et huit (8) sensibles (Figuig, Toudent, Azarza, Deglet Nour, H'mira, Hartan, Sbaa Soltan, Tanboucht), en utilisant le test de screening en pot (Tableau 10, Figure 41); alors que l'application du deuxième test (cut-twig), permet d'avoir seulement deux variétés résistantes (Taquerboucht et Hartan), (Tableau 10 ; Figure 42). Ces résultats nous indiquent la rareté des variétés résistantes. Cette rareté de nombre des cultivars résistants a été rapporté également par les chercheurs marocains (Sedra, 1994; Sedra, 2005; Sedra, 2012), comme Saaidi (1992) qui a rapporté que dans la gamme de 32 cultivars du palmier dattier testés, il y avait seulement trois cultivars résistants (Bousthami Noire, Bousthami Blanche et Tadment).

En Sedra (1995) a signalé seulement deux cultivars qui présentent une résistance (Bousthami Noire et Boukhanni), acceptable sur 16 cultivars testés vis-à-vis le Foa.

Cette période a été rapportée aussi par Zikara-Zine et Bouznad (2007) sur l'anthracnose du pois chiche (*Cicer arietinum* L.), causé par *Ascochyta rabiei*, où la période de latence a atteint 11-12 jours selon la souche pathogène et la variété testée. Par contre, Fukui *et al.* (1999) ont enregistré 20-23 jours d'incubation chez la Brûlure bactérienne (*Xanthomonas compestris* pv. *dieffenbachiae*) appliquée sur la plante d'ornement *Athurium andraeanum*. Par un test de screening différent, en utilisant des feuilles détachées.

Ce pendant, Danelli et Reis (2016) ont confirmé que la rouille de Soja (*Glycine max* L.), causée par *Phakopsora pachyrhizi*, a présenté une période d'incubation s'étalent entre 10 et 30 jours. Ces valeurs sont très proches de celles enregistrées dans le test de screening cut-twig que celle du test en pot de notre essai.

D'après ces résultats, tous les cultivars de haute qualité dattière comme Deglet Nour à l'est, et Hmira et Feggous à l'ouest d'Algérie, sont très sensibles au Bayoud, alors que tous les cultivars qui sont résistants ont des qualités alimentaires médiocres. Cela, nous oblige de rechercher plus de sources de résistance au Bayoud dans tout le territoire algérien, afin d'obtenir des sources de résistance importante avec la conservation de la qualité supérieure des fruits de dattes.

En conclusion nous disons que cette partie de thèse a pour objectif d'étudier le pouvoir pathogène de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, agent de Bayoud du palmier dattier, et chercher des sources de résistance au sein des 14 cultivars locaux du palmier dattier vis-à-vis de cette contrainte.

Enfin, il est indispensable, et nécessaire d"éffectuer une séléction variétale et des croisements entre les cultivars de meilleure qualité alimentaire mais sensibles au Bayoud avec celles qui sont résistantes mais de faible qualité, afin d'arriver à protéger nos palmeraies contre le Bayoud, et éviter les traitements phytosanitaires chimiques qui sont inefficaces, polluants de l'environnement et néfastes pour la santé humaine.

Ce chapitre a fait l'objet d'une publication nationale dans une revue de renommé établie voir ci-contre.

International Journal of Human Settlements Vol. 5 Nr. 2 2021
ISSN: 2588-1779

GENETICAL CONTROL AGAINST BAYOUD DISEASE OF DATE PALM USING THE ALGERIAN CULTIVARS

Hakima BELAIDI
Doctorante, Laboratoire Ecodéveloppement des Espaces, Département des Sciences de l'Environnement, Université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbès,
e-mail: hakimabenzohra@hotmail.fr

Fawzia TOUMI-BENALI
Professeur, Université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbès

Ibrahim Elkhalil BENZOHRA, Mohamed MEGATELI
Station Taghit (Béchar) - Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides (CRSTRA), Biskra.

Aicha MEGHERBI, Mohamed Ali BOUZIDI
Professors, Université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbès

Abstract:
This work has the goal to the find the resistance sources of 14 local varieties of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.), in Bayoud caused by the soil fungus named *Fusarium oxysporum* f. sp. *Albedinis* (Foa), the major disease in phoeniculture in southwest oases of Algeria, by using two screening methods, seedlings in pots (greenhouse) and tubes (cut-twig). Reaction scoring was performed from calculations of seedling mortality rate. A significant difference ($P < 0.05$), was observed in the reaction of the varieties against Foa. In the screening test in greenhouse, the results showed that there are 5 resistant, 2 tolerant and 7 susceptible varieties. While the second test (cut-twig), only two varieties showed there resistance. In comparison between the two tests performed, there are some differences in the results obtained, but the resistance / sensitivity spectrum remains similar with the tube test being easier and more practical and we make it in short time. These results are very important for promoting these resistant varieties in order to integrate them into the new palm groves to be installed in order to achieve integrated pest management program with the preservation of the environment and this fragile oasis ecosystem.

Key words: date palm, Bayoud, genetical control, screening, resistance, sensitivity.

Résumé:
Ce travail porte sur la recherche des sources de résistance de 14 variétés locales du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.), au Bayoud causé par le champignon tellurique *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, maladie la plus menaçante de la phoeniculture dans le sud ouest algérien. Par l'utilisation de deux méthodes de screening, plantules en pots et en tubes. La notation de réaction a été réalisée à partir des calculs du taux de mortalité des plantules. Une différence significative ($P<0,05$), a été observée dans la réaction des variétés vis-à-vis de Foa. Dans le test screening en pots, les résultats ont montré qu'il y a 5 variétés résistantes, 2 tolérantes et 7 sensibles. Tandis que le deuxième test (en tubes), seulement deux variétés qui sont résistantes. En comparaison entre les deux tests réalisés, il y a certaines différences dans les résultats obtenus, mais le spectre de résistance/sensibilité reste similaire avec que le test en

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (CC BY-NC-ND)

International Journal of Human Settlements Vol. 5 Nr. 2 2021
ISSN: 2588-1779

tube est facile et plus pratique et gagnant du temps. Ces résultats sont très importants pour valoriser ces variétés résistantes afin de les intégrer dans les nouvelles palmeraies à installer pour arriver à la lutte intégrée avec la préservation de l'environnement et l'écosystème oasien fragile.

Mots clés: palmier dattier, Bayoud, lutte génétique, screening, résistance, sensibilité.

Introduction:

Phoeniciculture is considered as the central pivot around which life in the Saharan regions revolves (Dubost, 1990). The date palm is a key factor in the oasis system: it represents the stability of the Saharan populations and the barrier against desertification (Dubost, 1990), and it is of great socioeconomic and environmental importance in many countries (Dubost, 1990). The average annual production of dates, all varieties combined, is constantly increasing over the long term. It went from 361,000 tonnes in 1996 to nearly 848,000 tonnes in 2013. In 2016, date production exceeded 1,000,000 tonnes (Fig. 1), (Fao, 2021).

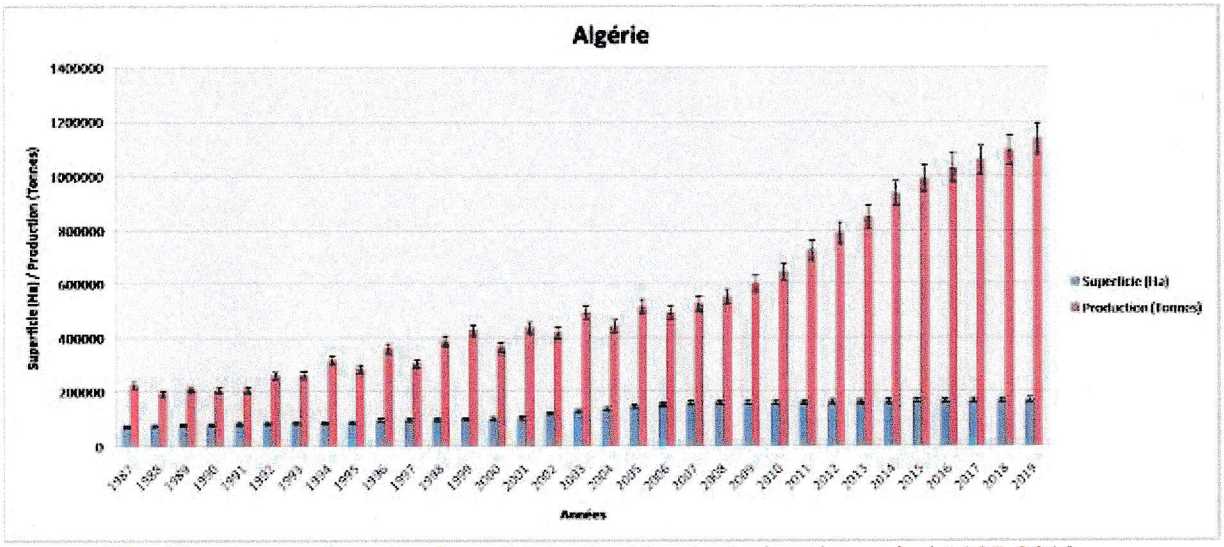


Fig. 01 : Area and production of dates in Algeria during the period 1987-2019 (Fao, 2021).

Problematic:

Bayoud, a vascular fusarium wilt of the date palm (*Phoenix dactylifera* L) caused by a soil-borne fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Killian and Maire 1930), (Foa), is the most destructive and threatening disease in North Africa (Sedra 1995). Indeed, in last 50 years, it has destroyed more than ten million palm trees in Morocco (Sedra, 2005) and three million in Algeria (Djerbi 1982; Sedra 2005). In few recent years, this disease has also been discovered in the palm groves of Adrar and Tagant in Mauritania (Sedra 1995; Sedra, 1999 a, b; Sedra, 2003).

The agricultural losses caused by the Bayoud does not stop with the total death of date palm plants and the genetic erosion caused by the disappearance of many of the best varieties, but leads to the destruction of the oasis system and also to the accentuation of desertification and the poverty of date palm farmers who end up migrating (Hakkou et al., 2012). The best

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (CC BY-NC-ND)

solution against this constraint is genetic control, by selecting and using resistant cultivars, which remains the best way to protect our palm groves, even in the presence of the disease (Sedra, 2003).

This study aims to search for sources of resistance in 14 local date palm cultivars through the use of two screening methods: greenhouse and cut-twig screenings.

Materials and methods:

For the plant material used, 14 varieties of date palm obtained from direct sowing in pots. Ready-to-inoculate seedlings from the 2-4 leaf stage need 02-03 months to reach this stage (Table 01).

Cultivars	Origin	Cultivars	Origins
Feggous, Figguig, Sbaa Soltan, Taquerboucht, H'mira, Hartan	Saoura (Bechar)	Toudent, Azarza	M'zab (Ghardaïa)
Adem Bulla, Tamdjouhert	Touat (Adrar)	Deglet Nour, Degla Beida, Mech Degla, Tamboucht	Ziban (Biskra) & Oued Righ (Touggourt)

Table 1. Date palm cultivars with its origin.

Concerning the fungal material, 20 Foa strains of different origins were used for the two screening tests (Fig. 2).

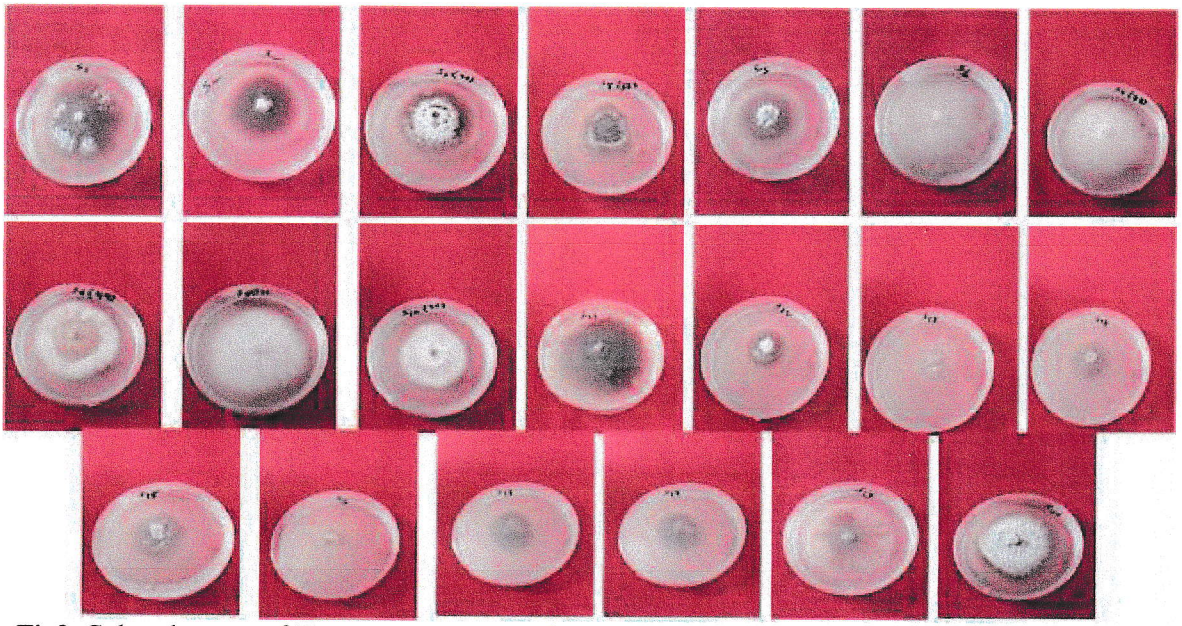


Fig2. Cultural aspect of *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa) strains on PDA (Potato Dextrose Agar).

To obtain the date palm seedlings to be inoculated with the Foa, the following steps were carried out to germinate the date palm seeds (Fig. 3):

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (CC BY-NC-ND)

International Journal of Human Settlements Vol. 5 Nr. 2 2021
ISSN: 2588-1779

- ✓ Take any container: deep plate, dish, bowl, petri dish, etc.
- ✓ Place a layer of cotton wool at the bottom and moisten it well,
- ✓ Spread the well cleaned seeds on the back side on the cotton.
- ✓ Leave everything at an ambient temperature, ideally between 20 and 25 °C.
- ✓ Monitor the humidity daily and adjust it as needed.

A spray bottle is ideal for this purpose, because the cotton should stay just damp: After 20 days, the first seeds have germinated (Fig. 3).



Fig3. Germinated date palm seeds, after 14 days.

After this step, we plant the germinated seeds as follows:

- ✓ The germinated seeds are removed for sowing in pots containing the sterile peat.
- ✓ We irrigate every 48 hours until the seedlings reach the 2-4 leaf stage.

Screening test in pots: This test consists of watering the roots of seedlings with the 2-4 leaf stage, grown in 12 cm x 15 cm pots, with a suspension of 5 × 103 conidia / ml (Sedra, 2005). The experimental set-up chosen is in blocks, with 4 repetitions for each cultivar to be inoculated.

Screening test in tubes (Cut-twig): This test consists in removing the seedlings, then we do three (3) successive rinses and we put it in test tubes containing 9 ml of nutrient medium 'Hoagland', with 1 ml of Foa inoculum to a suspension of 5×10^3 conidia / ml (Kaur et al., 2013).

Statistical analysis: The device used is a single-factor block with the Newman and Keuls test (P0.05 and P0.01). Analysis was performed using STAT BOX 6.0.4 software. (GRIMMERSOFT).

- ✓ The experimental device: Single-factor blocks.
- ✓ The test chosen: Newman and Keuls (P0,05 and P0,01).
- ✓ The factor studied: Sensitivity / Resistance.
- ✓ The experimental unit: Mortality rate which is based on the rating scale: 0%; 25%; 50%; 75%; 100% (Sedra, 2005).

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (CC BY-NC-ND)

International Journal of Human Settlements Vol. 5 Nr. 2 2021
ISSN: 2588-1779

Results and discussions:
The response of the 14 date palm cultivars to Foa revealed a significant difference ($P<0.05$). In the screening test in pots (greenhouse screening), the results showed that there are 6 resistant varieties, 2 tolerant and 6 susceptible. In this second screening test (cut-twig): the results showed that there are just 2 resistant varieties, Taquerboucht and Hartan date palm varieties. While all others had the sensitive rection (Fig. 4).

In our trial, the inoculation test of 14 date palm cultivars showed only six (6) resistant varieties (Taquerboucht, Adem Bula, Mech Degla, Tamdjouhert, Degla Beida, Tanboucht). Unfortunately, the important variety 'Deglet-Nour' is very susceptible. This scarcity of number of resistant cultivars has also been reported by the Moroccan authors (Sedra, 1995; Sedra, 2005).

The search for sources of resistance to Bayoud of the date palm and the aggressiveness of the pathogen, remain the major objectives to study this threat either in Morocco or Algeria.

All high quality date palm cultivars such as Deglet Nour in Algeria, and Boufeggous, Boussekri and Madjhoul in Morocco, are very susceptible to Bayoud (Sedra, 2005). Unfortunately, all resistant cultivars have poor nutritional qualities (Sedra, 2011).

It is necessary to make a selection and a crossing between cultivars sensitive to Bayoud and of better food quality (Deglet Nour) and resistant cultivars which are of low quality.

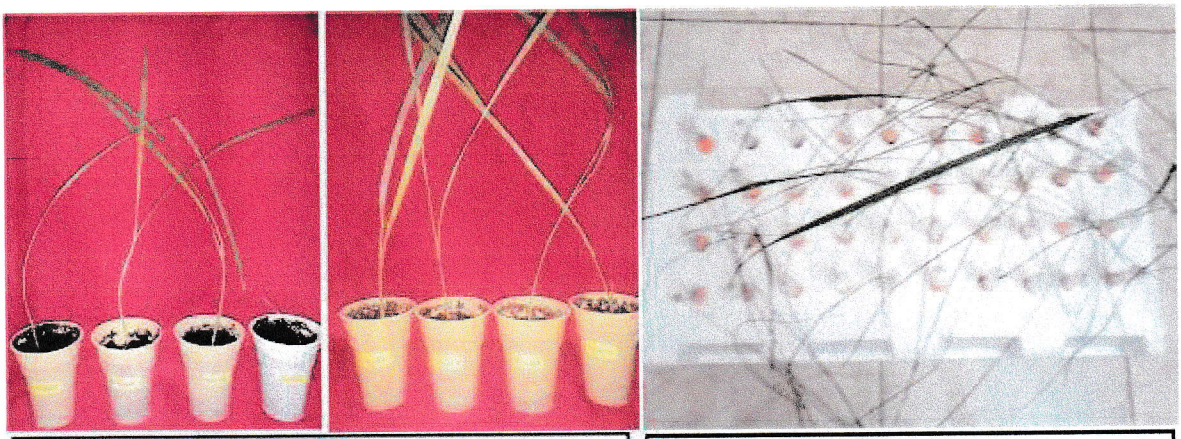


Fig3. Reaction of some Algerian date palm cultivars against Bayoud disease using two methods of screening.

Conclusion:
This work made the objective of studying the pathogenicity of *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, Bayoud's agent of the date palm, and the search for sources of resistance.

In the inoculation test, we found only six resistant cultivars: (Taquerboucht, Adem Bula, Mech degla, Tamdjouhert, Degla Beida, Tanboucht). But the latter have low quality in food characteristics.

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (CC BY-NC-ND)

To succeed in protecting our palm groves against Bayoud, it is therefore necessary to make a varietal selection by targeted crosses between the resistant cultivar such as Taquerboucht and our commercial but sensitive cultivars such as Deglet Nour and Feggous.

Acknowledgements:
We are very gratefull to the DGRSDT (Direction Générale de la Recherche Scientifique et du Développement Technologique, Algiers, Algeria), affiliated to Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherché Scientifique, Algérie, pfor its financial support and which makes it easier for us to carry out the "Bayoud" socio-economic research project in the research laboratory named "Ecodéveloppement des Espaces" of Djillali Liabes University of Sidi Bel Abbes, Algeria.

References:

Djerbi M. (1982). *Bayoud disease in North Africa: history, distribution, diagnosis and control.* Date palm Journal, **01 (2):** 153-97.

Dubost D. (1990). *Mutation du système de production oasien en Algérie.* Éd. CRSTRA, Algérie.

FAO (2021). *FAO Statistical Yearbook suite of products. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC*

Hakkou A., Chakroune K., Souna F., Bouakka M. (2012). *La fusariose vasculaire du palmier dattier (Bayoud) : Méthodes de lutte. URL : https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/26115/1/5%20La%20fusariose%20vasculaire%20du%20palmier%20dattier.pdf*

Kaur L., Sirari A., Kumar D., Sigh Sandhu J., Singh S., Kapoor K., Singh I., Gowda C.L.L., Pande S., Gaur P., Sharma P., Imtiaz M., Siddique K.H.M. (2013). *Combining ascochyta blight and Botrytis grey mould resistance in chickpea through interspecific hybridization.* Phytpathologia Mediterreanea **52(1):** 157-165.

Sedra My.H. (1995) *Triage d'une collection de génotypes de palmier dattier pour la résistance au Bayoud causé par Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis.* INRA-Rabat Maroc. Al Awamia **90**:9–18.

Sedra My.H. (1999a). *Identification et caractérisation des cultivars du palmier dattier en Mauritanie. Rapport de mission de consultation d'expert*, 30/6/99-23/7/99, OADA.

Sedra My.H., (1999b). *Prospection et importance du bayoud en Mauritanie et action urgentes à prendre pour lutter contre la maladie. Rapport de mission de consultation FAO effectuée du 19/10/99 au 18/11/99 en République Islamique de Mauritanie et proposition de projet de lutte contre le bayoud dans ce pays. Projet de Développement des oasis, phase* II, FAO/UFT/MAU/020/MAU'.

Sedra My.H. (2003). *Le palmier dattier base de la mise en valeur des oasis au Maroc : Techniques phoenicicoles et création d'oasis. INRA-Editions: Division de l'Information et de la Communication, BP. 6512 Rabat-Instituts Maroc,* Imprimerie Al-Watania, **265**p.

Sedra My.H. (2005). *La maladie du Bayoud du palmier dattier en Afrique du Nord : Diagnostic et caractérisation. Actes du Symposium International sur le Développement Durable des Systèmes Oasiens.* Maroc. pp **:** 26-34.

Sedra My.H. (2011). *Development of new moroccselected date palm varieties resistant to Bayoud and of good fruit quality. Chapter 24 in S.M. Jain et al. (eds.), Date Palm Biotechnology,* DOI 10.1007/978-94-007-1318-5_24, © Springer Science+Business Media B.V. 2011. pp: 513-531.

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (CC BY-NC-ND)

Chapitre 03

Lutte biologique par l'utilisation de *Trichoderma harzianum* et *Aspergillus flavus* sur l'incidence et l'agressivité de Bayoud du palmier dattier sur la variété Deglet Nour

Chapitre 03

Lutte biologique par l'utilisation de *Trichoderma harzianum* et *Aspergillus flavus* sur l'incidence et l'agressivité de Bayoud du palmier dattier : Cas de la variété Deglet Nour

Les palmeraies algériennes contiennent un patrimoine génétique très important et diversifié où des centaines de variétés locales en Algérie sont recensées (Djerbi, 2003). Mais malheureusement cette diversité est menacée par la disparition des plusieurs variétés, car au fil du temps où les nouvelles exploitations sont majoritairement installées par 'Deglet Nour' en raison de son importance socio-économique, par ces propriétés alimentaires meilleures (Benziouche, 2017).

Cette variété est cultivée principalement au Ziban (Région de Biskra), mais elle se trouve aussi dans Oued Righ (Touggourt), Souf, Ouargla et quelques palmeraies de M'zab (Ghardaïa), (Munier, 1974 ; Djerbi, 2003).

L'origine de la variété 'Deglet-Nour' est due à une mutation naturelle des populations du palmier dattier installées dans la région d'Oued-Righ dans le 14eme siècle (Munier, 1974).

Actuellement, cette variété est considérée comme une variété noble et un patrimoine qui doit être protégé aux différentes contraintes qui le menacent. Lorsque cette monoculture par variété Deglet Nour s'est élargie au fil des années, elle a accentué un agrosystème très fragile, surtout qu'elle s'est installée au voisinage des palmeraies contaminées par le Bayoud (Ghardaïa et In Saleh), qui nous oblige d'intervenir par différents moyens de lutte biologique pour la protéger avec le respect de l'environnement.

Dans ce cadre là, cette étude a pour objectif d'évaluer la capacité de contrôle biologique *in situ* de deux espèces fongiques endophytes et antagonistes, *Trichoderma harzianum* et *Aspergills flavus*, sur l'incidence et l'agressivité de Bayoud du palmier dattier : cas de la variété, Deglet Nour.

3.1. Matériel et Méthodes

3.1.1. Matériel végétal

La variété choisie est appelée Deglet-Nour. Les graines sont originaires de la région de Biskra, collectées dans le mois d'Octobre 2020.

3.1.2. Souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *Albedinis* utilisée

Les 20 souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa), ont été utilisées dans cette étude originaires des régions différentes dans le sud ouest algérien, fournies par CRSTRA (Station Expérimentale du Milieu Biophysique de Naama du Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides, Biskra), ces souches sont mentionnées dans le Tableau 09 (Chapitre 02).

3.1.3. Souches des champignons endophytes

Les souches des deux espèces antagonistes *Trichoderma harzianum* et *Aspergillus flavus* (Laboratoire Lpv-Mostaganem 2018), ont été fournies par le Laboratoire de recherche de Protection des Végétaux (LPV), affilié à l'Université de Mostaganem (Tableau 11).

Tableau 11: Souches des deux espèce fongiques *Trichoderma harzianum* et *Aspergillus flavus* utilisées dans le test l'antagonisme.

Nom Scientifique	Informations sur les champignons endophytes		
	Origine	**Date d'isolement et d'identification**	**Type d'antagonisme**
Trichoderma harzianum	(Laboratoire de recherche LPV, Université de Mostaganem)	2018	Antibiose
Aspergillus flavus	Fragments des racines du palmier dattier (endophytes)	2018	Antibiose

3.1.4. Milieu de culture

Le milieu de culture PDA (Potato Dextrose Agar), est le meilleur milieu pour conserver les souches de Foa, ainsi que les antagonistes sous une température 22±2°C (Oei, 2005).

3.1.5. Préparation de l'inoculum

Les cultures des souches de Foa et d'endophytes sont inondées dans l'eau distillée stérile puis grattées avec une spatule de verre stérile. La suspension de spores obtenue est ajustée à 5×10^3 spores/ml à l'aide d'une cellule de Malassez (Sedra, 2005a).

3.1.6. Inoculation des plantules

Ce test consiste à arroser les racines des plantules au stade 2-4 feuilles, cultivées dans des petits pots de 07 cm × 10 cm, avec une suspension de 5×10^3 conidies/ml (Sedra, 2005a,b).

Le dispositif expérimental choisi est en blocs, avec 4 répétitions comme suivant :

-Bloc 01 : Plantules de Deglet-Nour sans inoculum ;

-Bloc 02 : Plantules de Deglet-Nour inoculées par Foa (Témoin) ;

-Bloc 03 : Plantules de Deglet-Nour inoculées par *Foa* + *T.harzianum* (Traitement 01) ;

-Bloc 04 : Plantumes de Deglet-Nour inoculées par *Foa* + *A. flavus* (Traitement 02).

L'évaluation de ce test de lutte biologique est exprimée en calculant le taux de mortalité (TM) en pourcentage selon Silva *et al*., 2013, et qui est comme suit :

$$\mathrm{TM}(\%) = \frac{\text{Nombre de plantes mortes}}{\text{Nombre total de plantes testées}} \times 100$$

Par cette formule, on peut déterminer la réaction sensibilité/résistance selon Silva *et al*., (2013), comme suivant :

- ✓ **R** : Variété Résistante (0%) ;
- ✓ **T** : Variété Tolérante (1-15%) ;
- ✓ **S** : Variété Sensible (16-50) ;
- ✓ **TS** : Variété Très Sensible (51-100%).

3.1.7. Analyse statistique

Le dispositif utilisé correspond à des Blocs avec un facteur contrôlé (Présence ou absence de l'inoculum), qui 'est une comparaison non paramétrique de K échantillons. L'étude de la signification est effectuée avec le test de Kruskal-Wallis à 5% ($P<0.05$). L'analyse se fait à l'aide du logiciel XLStat 2021.04, (AddinSoft, Etats-Unis). Le facteur étudié est l'incidence de la maladie du Bayoud ; l'observation est le taux de mortalité et l'unité expérimentale est la sensibilité/résistance des plantes.

3.2. Résultats

Les résultats de l'analyse statistique ont montré des différences significatives ($P<0,05$), entre les plantules obtenus après leur germination à un taux de 58.06 %, (Annexe 25), et une période de latence de 10 - 15 jours (Figure 43), qui sont inoculées par Foa en seul, et celles inoculées par Foa en mélange avec l'antagoniste (Tableau 12).



Figure 43: Germination des graines de la variété Deglet-Nour. (Source : BELAIDI, 2020).

Tableau 12: Taux de mortalité (TM%) et Réactions des plantules de la variété Deglet-Nour incoculées Foa en présence et absence des champignons antagonistes (*T. harzianm* et *A. flavus*).

Pots de plantules de Deglet-Nour	**Taux de mortalité (TM%) / Réaction R/S**			
	Témoin 01 (plantules inoculées par Foa)	**Témoin 02 (Plantules non inoculées)**	**Traitement 01 (plantules inoculées) Foa + *T. harzianum***	**Traitement 02 (Plantules inoculées) Foa + *A. flavus***
1	100 [a*]	00 [c]	00 [c]	50 [b]
2	100 [a]	00 [c]	00 [c]	00 [c]
3	100 [a]	00 [c]	00 [c]	50 [c]
4	100 [a]	00 [c]	00 [c]	00 [c]
1	S	R	S	S
2	S	R	R	S
3	S	R	R	R
4	S	R	R	S
TM (%)	100	0	0	25
P 0.05	5,65*			

- ✓ Les valeurs mentionnées dans le tableau sont des moyennes de quatre répétitions du TM% ;
- ✓ Foa: *Fusarium oxysporum* f. s*p. albedinis*; S: reaction sensible; R: reaction résistante.
- ✓ *TM* (%): Moyennes du taux de mortalité (TM%).
- ✓ *: Facteur étudié (calculé) à 5%.
- ✓ P: Probabilité à 5%.
- ✓ a, b, c: Groupe homogènes.

Les résultats ont montré un niveau très élevé de réduction du taux de mortalité (TM%) par les deux antagonistes sur l'incidence de la maladie de Bayoud touchant la variété Deglet-Nour par rapport au témoin. Le témoin (inoculation directe avec Foa en seul), a présenté un taux de mortalité très élevé à raison de 100% (Tableau 12), tandis que le témoin (sans inoculum) aucun symptôme de Bayoud n'est observée (Figure 44).



Figure 44: Réactions des plantules de la variété Deglet-Nour vis-à-vis de la maladie de Bayoud sous l'effet de deux espèces fongiques antagonistes Foa: *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (agent pathogène); *T. harzianum*: Antagonsite 01 ; *A. flavus*: Antagonsite 02. (Source : BELAIDI, 2020).

Une absence totale des symptômes de Bayoud a été observée au niveau des plantules inoculées par le champignon antagoniste *trichoderma harzianum* avec un taux de mortalité de 0 %, alors que l'inoculation des plantules de Deglet Nour avec le

second champignon antagoniste *aspergillus flavus* a permis de diminuer les symptômes de la maladie et par conséquent réduire le taux de mortalité et qui est de 25% .

De ce fait, même sue ce dernier champignon antagoniste n'annule pas le taux de mortalité des sujets de Deglet Nour contaminé, mais il reste comme même un moyen de lutte acceptable, permettant de sauvegarder 75% des pieds touchés par le Bayoud.

En parallèle, le meilleur remède de lutte biologique, au terme de microorganismes à effet antagoniste, reste bien évidement, l'inoculation avec de *trichoderma harzianum* a une supériorité par rapport au *l'Aspergillus Flavus*.

3.3. Discussion

Notre étude a montré que les espèces fongiques endophytes testées ont prouvé une activité antagoniste significative contre la maladie de Bayoud sur la variété du palmier dattier 'Deglet-Nour'. Ces deux espèces fongiques sont *Trichoderma harzianum* et *Aspergillus flavus* (Tableau 12), et par l'utilisation du test d'inoculation artificielle par 20 souches de Foa avec ou sans ces deux antagonistes. Le taux de mortalité (TM%) a montré des valeurs, significativement, par rapport au témoin, plus efficace de *T. harzianum* (TM=0%), que *A. flavus* (TM=25%).

De nombreux travaux scientifiques ont été publiés sur l'importance de la lutte biologique par des champignons endophytes, et ont confirmé que c'est le meilleur moyen pour combattre les flétrissements vasculaires dus au *Fusarium oxysporum* (Sajeena *et al*., 2020 ; Cheng *et al*., 2019 ; Ou-Zine *et al*., 2020). L'importance des champignons antagonistes comme *Trichoderma harzianum* comme biofongicide contre la fusariose de nombreuses cultures a été rapportée par Kala *et al*. (2016), - contre la fusariose du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) causée par *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*, par Sahampoor *et al.* (2020), sur la fusariose des cucurbitacées causée par *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum*, et par Fitrianingsih *et al.* (2019), sur la fusariose de tomate (*Lycopersicum esculentum* L.), causée par le champignon du sol *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersisci*.

En Tunisie, Hibar *et al.* (2007) ont rapporté que l'antagoniste fongique a pu réduire l'incidence de fusariose de tomate plus de 90% sur les variétés « Elko, Maria et Roxane », et plus de 80% sur la variété « Riogrande ».

Il est à noter aussi qu'une espèce fongique de *Trichoderma*, « *T. longibrachiatum* » a réduit l'incidence de Bayoud sur la variété Deglet-Nour (région de Ghardaïa), jusqu'à 42% (Sidaoui *et al*., 2018).

Nous déduisons aussi que l'espèce antagoniste *Aspergillus flavus* a également été signalée par des auteurs ayant une activité biologique contre les flétrissements fusariens. Parmi ces fusarioses, on peut citer *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* sur la melon (*Cucumis melo* L.), *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* sur le coton (*Gossypium herbaceum* L.), (Dong et Cohen, 2002), *Fusarium graminearum* des céréales (Mejdoub-Trabelsi *et al*., 2017), et *Fusarium sambucinum* de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.), (Aydi *et al*., 2015). Et aussi sur d'autre maladies non fusariennes comme *Rhizoctonia solani*, agent du rhizoctone noir de la pomme de terre (Vibha, 2010).

En conclusion, nous signalons que cette étude avait pour objectif d'évaluer la capacité du contrôle biologique *in situ* sur l'incidence et l'agressivité de la maladie de Bayoud causée par *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa), correspondant à la contrainte majeure de la culture du palmier dattier dans les palmeraies du sud-ouest de l'Algérie. Ce biocontrôle a été réalisé, par l'utilisation des deux espèces antagonistes *Trichoderma harzianum* et *Aspergillus flavus*, sur la variété commerciale importante de palmier dattier en Algérie appelée 'Deglet-Nour'. Les résultats ont montré des différences significatives des valeurs du taux de mortalité (TM%), sur les plantules de Deglet-Nour inoculées par Foa, en présence des deux champignons antagonistes avec celles prises comme témoin.

En comparaison entre ces deux espèces antagonistes, on peut conclure que *T. harzianum* est plus efficace que l'espèce *A. flavus*, avec un taux TM% égale à 0% pour la première, 25% pour la deuxième espèce fongique.

Dans cette étude, nous avons montré que ces deux espèces fongiques (*T. harzianum* et *A. flavus*), ont la capacité antagoniste qui peut aider cette variété (Deglet-Nour), à résister au Bayoud dans nos palmeraies installées dans l'ouest algérien.

Enfin, nous déduisons que la stratégie la plus efficace contre les agents pathogènes du sol, est l'utilisation d'agent biologique tel que les champignons antagonistes qui

permet de renforcer la résistance des variétés sensibles comme Deglet-Nour contre ce pathogène, qui représente une alternative écologique aux pesticides utilisés à plusieurs reprises pour contrôler ce type de maladie.

Ce chapitre a fait l'objet d'une autre publication dans une revue reconnue, voir ci-contre.

RESEARCH ARTICLE Agricultural Science Digest, Volume 41 Issue 3: 450-454 (September 2021)

Biocontrol of Bayoud Disease (*Fusarium oxysporum* F. Sp. *Albedinis*) on Deglet-nour Variety of Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) in South Western Oases of Algeria

Hakima Belaidi[1], Fawzia Toumi-Benali[1], Ibrahim Elkhalil Benzohra[2]

10.18805/ag.D-304

ABSTRACT

Background: This work has the objective to biocontrol the bayoud disease of date palm caused by the fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa), is the major disease in Algerian palm groves of south western region. This *in vivo* biocontrol was done on date palm variety Deglet-Nour, using two antagonistic fungi species, *Trichoderma harzianum* and *Aspergillus flavus*.

Methods: Twenty Foa isolates obtained from isolation of the spines carrying the typical symptoms of Bayoud disease were used. Two strains *T. harzianum* and *A. flavus*, were isolated from rhizosphere soils of the date palm trees. Using the greenhouse screening test, which was carried out on 3-4 month-old date palm seedlings at the rate of 5 ml of inoculum suspension.

Result: A statistical analysis showed a significant (P<0.05), difference of Deglet-Nour seedlings reactions against Foa isolates and antagonistic fungi were observed. All date palm trees present susceptibility against Foa until the total mortality of seedlings. The biocontrol test showed that two antagonists showed different reaction, with the complete resistance for seedlings treated by *T. harzianum* with the mortality rate (*rm*%) reduced at 100%, while, the second antagonist *A. flavus* reduced the *rm*% at 25%. We can apply of these antagonistic fungi to protect our groves contaminated by Bayoud disease and also contain this susceptible commercial variety.

Key words: Antagonist, *Aspergillus flavus*, Bayoud disease, Biocontrol, Date palm, Degle-nournour, *Trichoderma harzianum*.

INTRODUCTION

The date palm (*Phoenix dactylifera* L.) is considered a symbol of life in the desert, while it tolerates high temperatures, drought and salinity more than other crop plant species. It is one of the oldest trees from which man has derived benefit and it has been cultivated since ancient times (Zohary and Hopf, 2000). It the only indigenous wild desert plant definitely domesticated in its native harsh environments appears to be the date palm (Zohary and Hopf, 2000 ; Vinita and Punia, 2016). Among the most cultivated and important varieties in Algeria, Deglet Nour, considered as the golden fruit of the oases, means: Deglet: light; Nour: light, is the best variety in the world (Munier, 1974). The Algerian palm groves represent 45% of Deglet Nour variety cultivation (Bouguedoura *et al*., 2008). The annual production of Deglet-Nour variety of dates is 5670000 quintals (Statistica, 2020), which represents 51,8% of total Algerian date palm production (FAO, 2020). The date palm sector has many problems like sand dunes, salinity, secheresse and seriously damaged by Bayoud disease (Touzi, 2007; Benzohra *et al*., 2015), which destroyed a half date palm trees of Algerian palm groves in the south-west region (Bouguedoura *et al*., 2008).

Bayoud disease caused by the soil fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa), is considered as the most destructive fungal disease in south west of Algerian palm groves (Djerbi, 2003). It's originated from Morocco and its progression continues to advance from the west and central of Algerian palm groves (Benzohra *et al*., 2015; 2017). The proposal used of prophylactic measures against this disease doesn't seem able to stop progressive spread of this disease (Benzohra *et al*., 2017). Other method was used, a genetic control by resistant varieties is therefore another promising way to reduce this constraint, but unfortunately all resistant cultivars haven't high food quality in date fruits (Sedra, 2005a,b). It is necessary to protect this variety (Deglet-Nour), against this constraint with an effective method that does not pollute the environment. The biological control remains the best way to combat this constraint to protect this variety (El-Hassni *et al*., 2007; Jaiti *et al*., 2006, Jaiti *et al*., 2008; Kala *et al*., 2016; Fitrianingsih *et al*., 2019).

[1]Laboratoire Ecodeveloppement des Espaces, Department of Environmental Sciences, Djillali Liabes University of Sidi Bel Abbes, Algeria.
[2]Department of Phoeniciculture, Experimental Station for Biophysical Environment Bechar (Taghit)-Centre for Scientific and Technical Research on Arid Regions (CRSTRA), Campus Universitaire B.P. 1682 RP, Biskra, Algeria.

Corresponding Author: Hakima Belaidi, Laboratoire Eco developpement des Espaces, Department of Environmental Sciences, Djillali Liabes University of Sidi Bel Abbes, Algeria.
Email: hakimabelaidi8@gmail.com

How to cite this article: Belaidi, H., Toumi-Benali, F. and Benzohra, I.E. (2021). Biocontrol of Bayoud Disease (*Fusarium oxysporum* F. Sp. *Albedinis*) on Deglet-nour Variety of Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) in South Western Oases of Algeria. Agricultural Science Digest. 41(3): 450-454. DOI: 10.18805/ag.D-304.

Submitted: 15-08-2020 **Accepted:** 30-10-2020 **Online:** 01-03-2021

In this case, this study has the objective to evaluate the biocontrol capacity of two antagonistic fungi species, *Trichoderma harzianum* and *Aspergills flavus* on the incidence of bayoud disease by testing of the important commercial date palm variety, Deglet Nour, but susceptible to Bayoud diseases.

MATERIALS AND METHODS

Date palm variety's seedlings

The date palm variety used in this test named Deglet-Nour, this Algerian variety, has the high quality of date fruit in the word (Munier, 1974).

Fungal material

Twenty isolates of Foa were used in the inoculation test of date palm seedlings, was sampled from contaminated palm groves in Saoura, Gourrara, Touat and M'zab provinces in 2016 (Table 1). The antagonistic microorganisms were obtained from soils of date palm rhizosphere of Bechar region in 2019 (Table 2). These antagonistic fungi used in this study provided by CRSTRA institute (Center for Scientific and Technical Research on Arid Regions, Biskra, Algeria), from Laboratory of Plant Pathology and Protection, of Experimental Station of Biophysical Environment, Naama, Algeria. The isolates were conserved in PDA cultures (For each 1000 ml of distillated water: 200 g potato filtrate; 15 g glucose; 20 g agar-agar; pH=5,5), with temperature of conservation at 04°C and incubation at 23°C (El-Hassni *et al*., 2007).

Table 1: Foa isolates with its origin.

Foa isolates	Provinces	Oases
S 01	Saoura	Ouakda, Bechar
S 02	Saoura	Bechar
S 03	Saoura	Beni Abbes
S 04	Saoura	Tabelbella
S 05	Saoura	Igli
S 06	Gourrara	Charouine
S 07	Gourrara	Ouled Said
S 08	Gourrara	Tinerkouk
S 09	Gourrara	Telmine
S 10	Gourrara	Charouine
S 11	Touat	Tililane
S 12	Touat	Ouled Ahmed Timi
S 13	Touat	Reggane
S 14	Touat	Inzeghemir
S 15	Touat	Adrar
S 16	Touat	Adrar
S 17	Mizab	Atteuf
S 18	Mizab	Atteuf
S 19	Mizab	Ghardaïa
S 20	Mizab	Metlili

S: Strain of *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis.*

Preparation of inoculum

Date palm seedlings of Deglet-Nour variety of 2-3 months-old, were obtained by pre-germination of date palm seeds (Fig 1), after disinfection with Hypochlorite of Sodium at 2%, then rinsed with sterile distilled water three successive times (Sedra, 2005b). The date palm seeds were placed in Petri dishes containing the cotton soaked with sterile distilled water and then stored in the oven at a temperature of 23±2°C (El-Hassni *et al*., 2007). After 20 days of pre-germination (Fig 1), the seeds were transplanted into pots containing sterile peat for two months (Sedra, 1985).

The *in vivo* biocontrol test was performed using the mixture 'Foa inoculum + antagonistic fungus' and two controls, one for seedlings treated with Foa inoculum alone and other without Foa inoculum. Four seedlings were used per treatment and repetition. After inoculation tests, the seedlings were conserved in small greenhouse at 25±2°C with 16 h of photoperiod.

Rating scale

The mortality rate of date palm seedlings was based on rate of mortality and calculations of dead plants as compared to all the plants inoculated (Sedra, 2005b). The mortality rate (mr) formula was as follows:

$$mr\ (\%) = \left(\frac{\text{Number of dead seedlings}}{\text{Total number of inoculated seedlings}} \right) \times 100$$

Statistical analysis

The experiment design was randomized complete blocks. Four replicates (number of seedlings tested), per treatment were taken and each whole experiment was performed independently. All collected data were submitted to ANOVA analysis using XLStat software 9 (AddinSoft, USA Ltd.) and the significance of differences was recorded at $P<0.05$, by Newman-Keuls test.

RESULTS AND DISCUSSION

The results of statistical analysis showed significant differences ($P_{0.05}$), between the date palm varieties and also between two antagonistic microorganisms (Table 3). The results showed a high level of reduced mortality rate (*mr*) due to two antagonists of incidence of Bayoud disease on deglet-Nour variety seedlings compared to the control.

Table 2: Informations of antgonistic fungi strains' species used in '*in vivo*' biocontrol test against bayoud disease.

Strains	Antagonistic fungi strains information		
	Origin of sampling	Date of sampling	Antagonism type
Trichoderma harzianum	Mostaganem	2018	Antibiosis
Aspergillus flavus	Sidi Bel Abbes	2018	Antibiosis

The control (direct inoculation with Foa alone), presented a very high mortality rate up to 100% (Table 3), while the control without Foa isolates inoculums had no typical symptoms of bayoud (Fig 2). Absences of symptoms were observed on seedlings inoculated by the antagonistic fungus *T. harzianum* with no *mr* (%). The second antagonistic fungus *A. flavus* could reduced the *mr* at 25% of seedlings tested (Table 3). In comparison between these two antagonistic species, we confirm that *T. harzianum* was more efficient than *A. flavus*.

Our study showed that the antagonistic fungal species tested have significant biocontrol activity against Bayoud disease when tested *in vivo*. The mortality rate (*mr*) varied significantly ascompared tocontrol, when compared with two antagonistic fungi, *T. harzianum* was more efficient with mr=0%, than *A. flavus* with mr =25%.

Many reports have been published about the importance of biocontrol as the best way to combat Fusarium wilt (Sajeena *et al*., 2020; Cheng *et al*., 2019; Ou-Zine *et al*., 2020). The importance of antagonistic fungi like *T. harzianum* as biofungicide against Fusarium wilt of many crops has been reported by Kala *et al*. (2016), including Fusarium wilt of chickpea (*Cicer arietinum* L.) caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*, by Sahampoor *et al*. (2020), on Fusarium wilt of cucurbits caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum* and also by Fitrianingsih *et al*. (2019), on Fusarium wilt of tomato (*Lycopersicum esculentum* L.) caused by the soil fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*.

The antagonistic fungus *Aspergillus flavus* was also reported by many authors effective against Fusarium wilt diseases. Among these, *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* of melon (*Cucumis melo* L.), *Fusarium oxysporum* f. sp.



Fig 1: Pre-germinatings seeds of Deglet-Nour variety used for test of biocontrol.

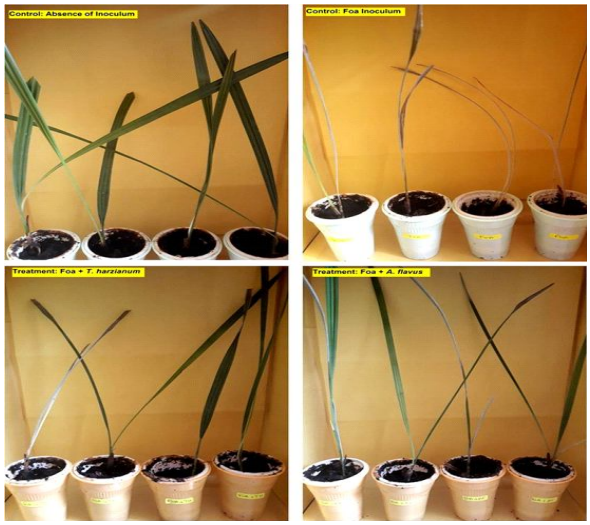


Fig 2: Reactions of Deglet-Nour variety's seedling against Bayoud disease in presence of two antagonistic fungi species. Foa: *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*; antagonistic fungi species: *T. harzianum*: *Trichoderma harzianum*, *A.flavus*.: *Aspergillus flavus*; *: date palm varieties names.

Table 3: Mortality rates and reaction of Deglet-Nour variety seedlings of date palm in the biocontrol test against bayoud disease.

Deglet-Nour seedlings plots	Mortality rate (%). Control (With Foa isolates)	Control (Without Foa isolates)	Foa + *T. harzianum*	Foa + *A. flavus*
1	100[a]*	00[c]	00[c]	50[b]
2	100[a]	00[c]	00[c]	00[c]
3	100[a]	00[c]	00[c]	50[c]
4	100[a]	00[c]	00[c]	00
1	S	R	S	S
2	S	R	R	S
3	S	R	R	R
4	S	R	R	S
mr (%)	100	0	0	25
LSD 0.05		5.65*		

✓The values are mean of 04 replicates (Deglet-Nour seedlings of date palm). In the column, values having the same letter are not statistically different ($P_{0.05}$) according to the LSD test.

✓Foa: *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*; S: Susceptible reaction; R: Resistant reaction.

✓The mortality rate (%) was calculated according to dead date palm seedlings compared with total seedlings tested.

✓*mr* (%): Averages of mortality rates (%).

✓ *: Significant difference between control and treatment at 5%.

✓LSD: Least significant difference at 5%.

vasinfectum of Cotton (*Gossypium herbaceum* L.), (Dong and Cohen, 2002), *Fusarium graminearum* of cereals (Mejdoub-Trabelsi *et al*., 2017) and *Rhizoctonia solani* (Vibha, 2010) and *Fusarium sambucinum* of potato (*Solanum tuberosum* L.), (Aydi *et al*., 2015).

It can therefore be concluded that two antagonistic fungi species (*T. harzianum* and *A. flavus*), can enhance the ability to of host to resist bayoud disease in Deglet-Nour variety under *in vivo* biocontrol tests in palm groves in Algeria.

CONCLUSION

This study had the objective to evaluate the capacity of *in vivo* biocontrol on incidence and aggressiveness of Bayoud disease caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa), which is the major constraint of date palm cultivation in south-western palm groves of Algeria. This biocontrol was realized by use of two antagonistic fungal species *Trichoderma harzianum* and *Aspergillus flavus,* against the important variety of date palm in Algeria named Deglet-Nour. The results showed significant differences between two antagonistic fungi as well as the control (inoculation with and without Foa strains mixture inoculum). In comparison between these two antagonistic species, we can say that *T. harzianum* is more efficient than that species *A. flavus*, with *mr* % values of 0%, 25%, respectively.

The use of biological agents manage disease in the susceptible varieties like Dglet-Nour against Bayound provide an ecologically friendly alternative to pesticides to control the disease. This strategy has more significance against soil-borne pathogens such as Fusarium wilt in palm groves of south-west region of Algeria.

ACKNOWLEDGEMENT

We would like to thanks the DGRSDT (Direction Générale de la Recherche Scientifique et du Développement Technologique, Algiers, Algeria), affiliated with the Ministry of High Education and Scientific Research of Algeria, for its funding support which facilitated us to realize this work in the Social – Economical project.

REFERENCES

Aydi, B.A.R., Jabnoun-Khiareddine, H., Mejdoub-Trabelsi, B., Daami-Remadi, M. (2015). Soil-borne and compost-borne *Aspergillus* species for biologically controlling post-harvest diseases of potatoes incited by *Fusarium sambucinum* and *Phytophthora erythroseptica*. Journal of Plant Pathology and Microbiology. 06: 313. doi:10. 4172/2157-7471.1000313.

Benzohra, I.E., Megateli, M., Berdja, R. (2015). Bayoud disease of date palm: History, epidemiology and integrated disease management. African Journal of Biotechnology. 14(7): 542-550. Doi 10.5897/AJBX2014.14292.

Benzohra, I.E., Megateli, M., Elayachi, B.A., Zekraoui, M., Djillali, K., Bouafia, A., Benouis, S., Benaziza, A., Rekis, A. (2017). Integrated management of Bayoud disease on date palm (*Phoenix dactylifera* L.) caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* in Algeria. Journal Algérien des Régions Arides. 14: 93-100.

Bouguedoura, N., Ibrahim, A., Ould Mohamed, A., Saker, M., Trifi, M. (2008). A Paper Presented at NEPAD Biotechnology Workshop "Challenges for North Africa and Promises for A Regional Integrated Program", Ezzahra, Tunisia, in Collaboration with the Tunisian Society of Microbiology. pp. 22-25.

Cheng, C., Li, C., Qi, Q., Sun, X., Anue, M.R., Mahoudjro David, B., Zhang, Y., Hao, X., Zhang, Z., Lai, Z. (2019). The root endophytic fungus *Serendipita indica* improves resistance of Banana to *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4. European Journal of Plant Pathology. 156: 87-100. doi 10.1007/s10658-019-01863-3.

Djerbi, M. (2003). *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedini*. OEPP/EPPO Bulletin. 33: 245-247.

Dong, H., Cohen, Y. (2002). Induced resistance in cotton seedlings against Fusarium wilt by dried biomass of *Penicillium chrysogenum* and its water extract. Phytoparasitica. 30: 77-87.

El-Hassni, M., El-Hadrami, A., Daayf, F., Cherif, M., Ait Barka, E., El-Hadrami, I. (2007). Biological control of bayoud disease in date palm: Selection of microorganisms inhibiting the causal agent and inducing defense reactions. Environmental and Experimental Botany. 59: 224-234.

FAO. (2020). FAO Statistical Yearbook suite of products. http:// www.fao.org/faostat/en/#data/QC.

Fitrianingsih, A., Martanto, E.A., Barahima, A. (2019). The effectiveness of fungi *Gliocladium fimbriatum* and *Trichoderma viride* to control fusarium wilt disease of tomatoes (*Lycopersicum esculentum*). Indian Journal of Agricultural Research. 53(1): 57-61. DOI: 10.18805/IJARe.A-363.

Jaiti, F., Meddich, A., El-Hadrami, I. (2006). Effect of Arbuscular Mycorrhization on the Accumulation of Hydroxycinnamic Acid Derivatives in Date Palm Seedlings Challenged with *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*. Proceedings Polyphenols Communications. 22-25 August 2006, Winnipeg, MB, pp. 349-350.

Jaiti, F., Kassami, M., Meddich, A., El-Hadrami, 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. 156 (11-12): 641-646.

Kala, C., Gangopadhyay, S., Godara, S.L. (2016). Eco-friendly management of wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *Ciceri* in chickpea. Legume Research. 39(1): 129-134. Doi 10.18805/lr.v0iOF.6789.

Mejdoub-Trabelsi, B., Aydi, R.B.A., Nawaim, A., Daami-Remadi, M. (2017). Antifungal potential of extracellular metabolites from *Penicillium* spp. and *Aspergillus* spp. naturally associated to potato against *Fusarium* species causing tuber dry rot. Journal of Microbial and Biochemical Technology. 09: 181-190. doi: 10.4172/1948-5948. 1000364.

Munier, P. (1974). Sur l'origine de la datte Deglet-Nour. Fruits. 29(12): 823-824.

Ou-Zine, M., Bouhlal, Y., El-Hilali, R., Achbani, E., Haggoud, A., Bouamri, R. (2020). Evaluation of compost quality and bioprotection potential against Fusarium wilt of date palm. Waste Management. 113: 12-19. doi 10.1016/j.wasman. 2020.05.035

Sahampoor, L., Zaker-Travallaie, F., Fani, S.R., Shahbazi, S. (2020). *In vitro* efficiency of *Trichoderma harzianum* mutants in biocontrol of *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum.* Journal of Crop Protection. 9(2): 285-300.

Sajeena, A., Nair, D.S., Sreepavan, K. (2020). Non-pathogenic *Fusarium oxysporum* as a biocontrol agent. Indian Phytopathology. 73: 177-183. doi https://doi.org/10.1007/s42360-020-00226-x.

Sedra, My H. (1985). Potentiel infectieux et réceptivité de quelques sols de palmeraies 'à la fusariose vasculaire du palmier dattier (bayoud) causée par *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Kill. et Maire) Malençon. Ph.D. Thesis 3rd. Cycle. Agricultural Sciences. I.A.V. Hassan II, Rabat, Morocco. 88p.

Sedra, M.H. (2005a). La maladie du Bayoud du palmier dattier en Afrique du Nord : Diagnostic et caractérisation. Proceeding Actes du Symposium International sur le Développement Durable des Systèmes Oasiens, 08-10 March 2005, Arfoud, Morocco. pp. 26-34.

Sedra, M.H. (2005b). Caractérisation des clones sélectionnés du palmier dattier et prometteurs pour combattre la maladie du Bayoud. Proceeding Actes du Symposium International sur le Développement Durable des Systèmes Oasiens, 08-10 March 2005 Arfoud, Morocco. pp 72-79.

Statistica. (2020). Statistiques de production de Dattes en Algérie. https://fr.statista.com/statistiques/991013/production-totale-de-dattes-par-type-algerie/.

Touzi, A., (2007). Algerian experience in preserving fragile ecosystems from desertification, a paper presented at "Fifteenth OSCE Economic and Environmental Forum - Part 2: "Key challenges to ensure environmental security and sustainable development in the OSCE area: Land degradation, soil contamination and water management" Prague, 21-23 May 2007. Session IV: Challenges to the management of water resources and to countering desertification in the Mediterranean region, Organization for Security and Cooperation in Europe Secretariat.

Vibha, M. (2010). Effect of fungal metabolites and amendments on mycelium growth of *Rhizoctonia solani*. Journal of Plant Protection Research. 50: 93-97.

Vinita, D., Punia, D. (2016). Nutritional composition of fruit of four date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars grown in Haryana, India. Asian Journal of Dairy and Food Research. 35(4): 331-334. doi 10.18805/ajdfr.v35i4.6635.

Zohary, D., Hopf, M. (2000). Domestication of Plants in the Old World (3rd Ed.), Oxford University Press, Oxford, UK.

Chapitre 04

Lutte biologique contre le Bayoud du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.), par l'utilisation des champignons endophytes

Chapitre 04

Lutte biologique contre le Bayoud du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.), par l'utilisation des champignons endophytes *Trichoderma harzianum* et *Aspergillus flavus*

Dans ce chapitre, on a effectué un test de lutte biologique *in vitro* sur la croissance mycélienne de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa), et in situ sur l'incidence et l'agressivité de la maladie de Bayoud. Ces tests ont été réalisés en utlisant 20 souches de Foa, deux espèces fongiques endophytes *Trichoderma harzianum* et *Aspergillus flavus, et* 14 variétrés locales du palmier dattier. Le premier test in vitro est l'essai d'antagonisme, et le deuxième est l'inoculation artificielle des plantes du palmier dattier par le Foa en présence et en absence des champignons endophytes antagonistes.

Plusuieurs chercheurs ont démontré et présenté que les champignons endophytes sont extrêmement ubiquitaires, il a été conclu que la majorité des espèces végétales dans les écosystèmes naturels hébergent des champignons endophytes (Rodriguez *et al.,* 2009). Les meilleurs hôtes étudiés sont des plantes cultivées, des arbres forestiers et des arbustes ainsi que des membres de la famille des *Ericaceae*. En outre, quelques familles de plantes montrent une relation proche avec leurs endophytes associés, tels que les *Orchidaceae* (Bayman et Otero, 2006), et d'autre famille de la classe des monocotylédones comme le palmier dattier (Siala *et al*., 2016).

Le palmier dattier, une plante endémique de ces contrées, constitue un modèle pour isoler des souches fongiques endophytes productrices de métabolites secondaires stables et à utilités biologiques (Siala *et al*., 2016).

Dans ce chapitre, on va presenter l'effet antagoniste *in vitro* des deux espèces fongiques endophytes *Trichoderma harzianum* et *Aspergillus flavus* sur la croissance mycélienne de 20 souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa), et *in situ* sur l'incidence et l'agressivité de Bayoud en inoculant des plantes de 14 variétés locales du palmier dattier.

4.1. Matériels et Méthodes adoptées

4.1.1. Variétés du palmier dattier

14 variétés du palmier dattier issues du semis direct dans des pots, sont utilisées comme un matériel végétal.

Deux à trois mois, s'écoulent, sont nécessaires pour obtenir des plantules au stade 2-4 feuilles, prêtes à etre inoculées. (Tableau 08 ; Chapitre 02).

4.1.2. Souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *Albedinis*

Les 20 souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa), ont été utilisées dans cette étude originaires des différentes régions dans le sud ouest algérien, fournies par CRSTRA, ces souches sont mentionnées dans le Tableau 09 (Chapitre 02).

4.1.3. Souches des champignons endophytes

Les souches des deux espèces antagonistes *Trichoderma harzianum* et *Aspergillus flavus* ont été fournies par le Laboratoire de Protection des Végétaux (LPV) comme mentionné dans le Tableau 11 du Chapitre 03.

4.1.4. Milieu de culture

Le milieu de culture PDA (Potato Dextrose Agar), est le milieu usuel de culture pour la plupart des champignons (Oei, 2005).

4.1.5. Test de confrontation (lutte biologique *in vitro*)

Nous avons effectué la méthode de Howell (2003) pour évaluer l'action inhibitrice de *T. harzianum* et d'*Aspergillus flavus* sur la croissance mycélienne de 20 souches de Foa. Nous disposons dans des boîtes de Pétri contenant 15 ml de milieu de PDA, diamétralement opposés, deux explants (5 mm de diamètre) issus de colonie de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (*Foa*) et de l'antagoniste selon le schéma de la Figure 45. Quatre répétitions sont réalisées.

Les témoins sont constitués de colonies de *Foa* dans des boites de Pétri sans antagoniste. La croissance mycélienne des isolats de *Foa* est évaluée par la mesure du rayon des colonies, pendant 7 jours selon la méthode cité par (Aydi *et al.*, 2014).

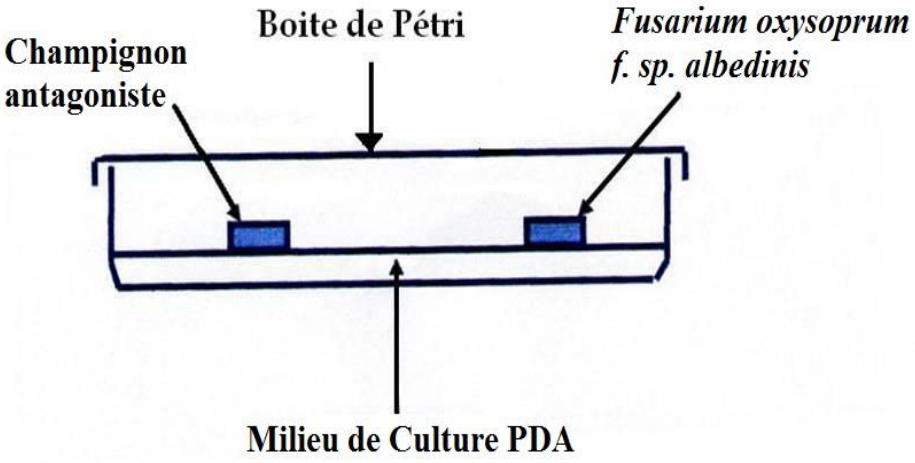


Figure 45: Schéma de la technique de confrontation directe. (Howell, 2003).

4.1.6. Evaluation de la croissance mycélienne

Pour l'estimation de la croissance mycélienne, la technique utilisée est celle indiquée par Howell (2003), (Figure 46).

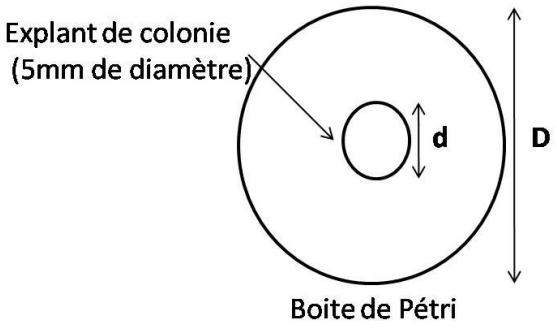


Figure 46: Méthode de mesure de croissance mycélienne journalière de Foa. D : Diamètre de colonnie de Foa ; d : Diamètre de l'explant. (Howell, 2003).

Cette méthode consiste à mesurer la croissance mycélienne linéaire journalière des colonies jusqu'au septième jour, selon la formule suivante:

$$\mathbf{L(mm) = \frac{D - d}{2}}$$

L : Croissance mycélienne (mm).

D : Diamètre de la colonie (mm).

d : Diamètre de l'explant (5mm).

Les moyennes de croissance mycélienne sont calculées par la formule suivante :

$$\mathbf{V(mm/j)} = \frac{\sum(\mathbf{Ln} - \mathbf{Ln-1})}{\mathbf{N}}$$

V : Vitesse de croissance mycélienne (mm/j),

Ln , Ln-1 … Croissances mycéliennes pendant le jour n.

Le taux d'inhibition (%), est calculé comme suit :

$$\mathbf{TI}(\%) = \frac{(\mathbf{Lt} - \mathbf{L})}{\mathbf{Lt}} \times \mathbf{100}$$

TI : Taux d'inhibition (%).

Lt : Croissance mycélienne journalière du témoin.

L : Croissance mycélienne journalière des isolats de *Foa* sous l'effet de l'antagoniste.

4.1.7. Conservation et multiplication des souches

La multiplication de l'inoculum est effectuée dans des boites de petri contenant le milieu PDA (Potato Dextrose Agar), autoclavé pendant 25 min sous pression de 1 bar et une temperature de 121°C., le coulage du milieu liquide se fait à raison de 15 ml pour chaque boite. Pour conservation des souches de Foa et des endophytes antagonistes se fait à une température de 22 ± 2 °C et l'incubation du champignon se déroule jusqu'à 14 jours (Hibar et *al*. 2007).

4.1.8. Test de lutte biologique *in situ*

Les étapes qui sont entrepris, pour réaliser la germination des graines, ensuite la mise en culture des plantules germées et atteints le stade 2-4 feuilles ont été expliquées en détail dans le chapitre 02. (Figure 47).

Il est à noter que la préparation de l'inoculation, et le test d'inoculation se font de la même manière à adopter, le même dispositif cité dans le chapitre précédent chapitre 03.



Figure 47: Plantules du palmier dattier prêtes pour les inoculer après 2-3 mois de plantation (stade 2-4 feuilles). (Source : BELAIDI, 2020).

Pour évaluer la réaction des plantules des variétés du palmier dattier à tester, on calcule du taux de mortalité (TM%), (Silva *et al.*, 2013). Ce taux est calculé par la formule suivante :

$$\mathrm{TM}(\%) = \frac{\text{Nombre de plantes mortes}}{\text{Nombre total de plantes testées}} \times 100$$

Par cette formule, on peut déterminer les variétés sensibles et résistantes selon Silva *et al.*, (2013), comme suivant :

- ✓ **R** : Variété Résistante (0%) ;
- ✓ **T** : Variété Tolérante (1-15%) ;
- ✓ **S** : Variété Sensible (16-50) ;
- ✓ **TS** : Variété Très Sensible (51-100%).

4.1.9. Analyse statistique

Le dispositif utilisé est une randomisation totale unifactorielle et une comparaison non paramétrique de K échantillons. L'étude de la signification est effectuée avec le test de Kruskal-Wallis à 5% ($P<0.05$). L'analyse a été faite à l'aide du logiciel XLStat 2021.04, (AddinSoft, Etats-Unis). L'étude de la signification est effectuée avec le test de Kruskal-Wallis à 5% ($P<0.05$). Le facteur étudié est l'antagonisme, l'observation est les souches de Foa et l'unité expérimentale est la croissance mycélienne et le taux de mortalité des plantes.

4.2. Résultats

4.2.1. Test d'antagonisme *in vitro*

L'analyse statistique des résultats a révélé un effet significatif ($P<0.05$), (Tableau 13). Cette signification se manifeste par une différence remarquable de croissances mycéliennes des souches de Foa confrontées avec *Trichoderma harzianum* et *Aspergillus flavus* par rapport au témoin (Tableau 13). On constate que la croissance mycélienne chez le témoin est toujours plus importante par rapport à celle obtenue avec les colonies des souches confrontées (Foa – Antagoniste).

Les moyennes de la croissance mycélienne des souches de Foa sont toujours inférieures (varient entre 2,04 et 2,6 mm/j sous l'effet de *Trichoderma harzianum*, et entre 1,77 et 2,5 mm/j sous l'effet d'*Aspergillus flavus*), que celles du témoin (variant entre 2,85 et 5,4 mm/j), (Tableau 13), avec la création d'une zone d'inhibition (Figures 48 et 49), Cette réduction est suivie par un arrêt complet de la croissance.

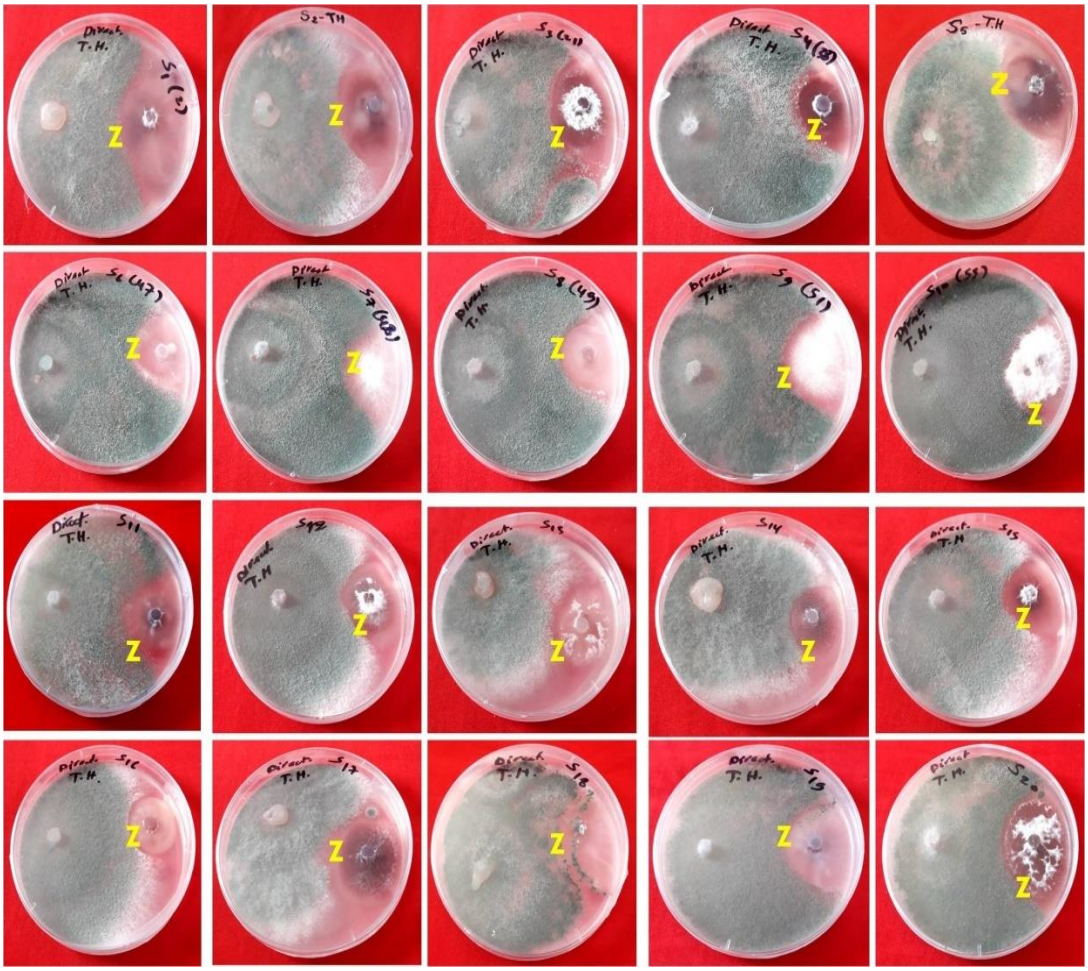


Figure 48: Colonies des 20 de Foa sous l'effet antagoniste de *Trichoderma harzianum*. Z : Zone d'inhibition. (Source : BELAIDI, 2020).

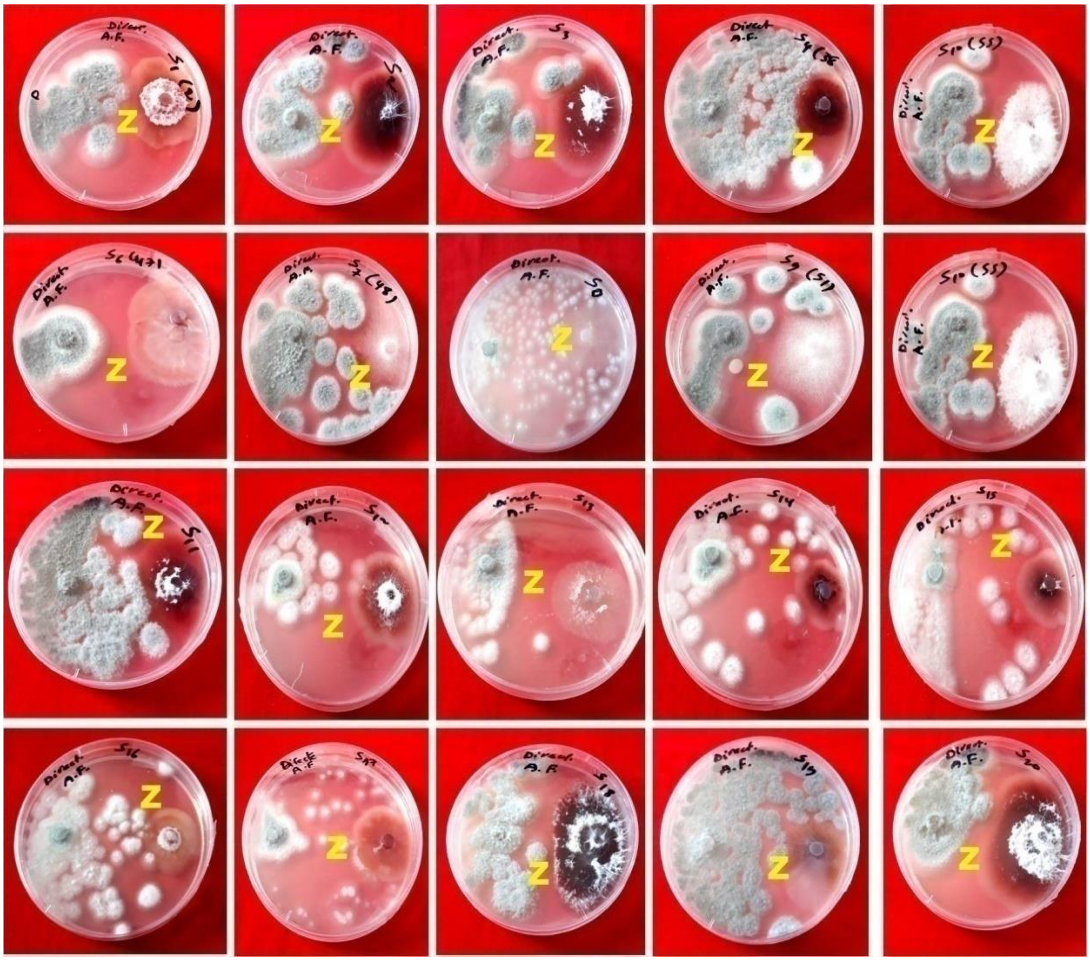


Figure 49: Colonies des 20 de Foa sous l'effet antagoniste d'*Aspergillus flavus*. Z : Zone d'inhibition. (Source : BELAIDI, 2020).

Cette inhibition de croissance mycélienne est traduite par le calcul du taux d'inhbition (TI%), ce taux varie entre 28,8 et 68,8% sous l'effet de *T. harzianum*, et entre 31,5 et 65,4% sous l'effet de *A. flavus* (Figure 50). Pour *T. harzianum*, 13 souches de Foa (S2, S3, S4, S9, S10, S11, S12, S15, S16, S17, S18, S19, et S20), ont montré un taux d'inhibition plus remarquable, à raison de 50% et 7 souches moins de 50% (S1, S5, S6, S7, S8, S13, et S14); la deuxième espèce fongique antagoniste *A. flavus* a révélé pour 17 souches un taux d'inhibition supérieures à 50% (S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11, S12, S15, S16, S17, S18, S19, et S20), et seulement 3 souches moins de 50% (S1, S13, et S14). Et donc un taux d'inhibition global de 51,3% par l'effet antagoniste de *T. harzianum*, et 57,5% par *A. flavus* (Tableau 13; Figure 50).

Tableau 13: Moyennes de croissance mycélienne de 20 isolats of *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa), sous l'effet antagoniste de *Trichoderma harzianum* et *Aspergillus flavus*.

Isolats de Foa	**Croissance mycélienne (Moyenne ±δ)**			**F**	**ddl**	**P**
	Foa+ TH	**Foa+AF**	**Témoin**			
S1	$2,5^{a}$±0,5	$1,95^{ab}$±0,1	$4,97^{d}$±0,34	138,03*	79	0,0001
S2	$2,1^{a}$±0,14	$1,77^{a}$±0,17	$4,22^{d}$ ±0,25			
S3	2^{a} ±0,08	$1,95^{ab}$ ±0,3	$4,73^{d}$ ±0,44			
S4	$1,95^{ab}$±0,1	$1,95^{ab}$±0,1	$4,8^{d}$±0,53			
S5	$2,02^{a}$ ±0,05	$1,92^{ab}$ ±0,15	$4,65^{d}$ ±0,4			
S6	$1,92^{a}$ ±0,09	$1,95^{ab}$ ±0,34	$4,88^{d}$ ±0,24			
S7	$1,87^{a}$ ±0,15	$1,57^{a}$ ±0,09	$4,78^{d}$ ±0,44			
S8	2^{a} ± 0	$1,77^{a}$ ±0,05	$4,75^{d}$ ±0,5			
S9	$1,92^{a}$ ±0,09	$1,92^{ab}$ ±0,15	$4,9^{d}$±0,26			
S10	$1,9^{ab}$ ±0,11	$1,95^{ab}$ ±0,1	$5,39^{d}$±0,15			
S11	2^{a} ± 0	$1,97^{ab}$ ±0,05	$5,35^{d}$±0,17			
S12	$1,82^{a}$ ±0,23	$1,97^{ab}$ ±0,05	$5,21^{d}$ ±0,25			
S13	$1,95^{a}$ ±0,1	$1,92^{ab}$ ±0,15	$2,85^{d}$ ±0,3			
S14	$1,9^{a}$±0,11	$1,92^{ab}$±0,15	$3,1^{d}$ ±0,11			
S15	2^{a} ± 0	$1,95^{ab}$ ±0,64	5^{d} ±0,35			
S16	$1,82^{a}$ ±0,2	$2,02^{b}$ ±0,05	$4,33^{d}$ ±0,2			
S17	$1,95^{a}$ ±0,06	$1,95^{ab}$ ±0,1	$5,35^{d}$ ±0,17			
S18	$1,77^{a}$ ±0,09	$1,87^{ab}$ ±0,09	5^{d} ± 0			
S19	2^{a} ± 0	$1,92^{ab}$ ±0,09	$5,2^{d}$ ±0,23			
S20	$1,85^{a}$ ±0,24	$1,87^{ab}$ ±0,15	$5,35^{d}$ ±0,17			
Coefficient de variation (C.V.)	**12,8%**					

Foa : *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis ;* **F :** F calculé ou critique ; **S1, S2, .. S20 :** Isolats de Foa ; **ddl:** Degré de liberté; P: Probabilité à 5%; **A, b, c, d:** Groupes homogènes ; **δ** : Ecart-type. TH : *Trichoderma harzianum* ; AF : *Aspergillus flavus*.

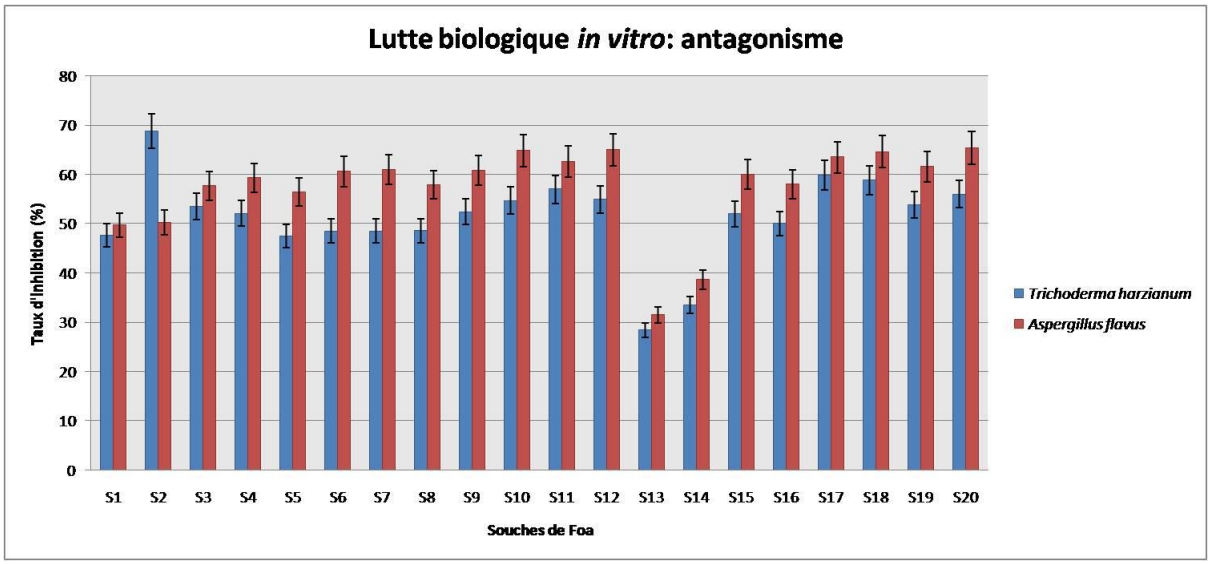


Figure 50: Taux d'inhibiton de croissance mycélienne de 20 de Foa sous l'effet antagoniste de *Trichoderma harzianum* et d'*Aspergillus flavus*.

4.2.2. Lutte biologique *in situ*

Des différences significatives (P<0,05) ont été enrigistrées dans le test de lutte biologique *in situ* par l'utilisation de *T. harzianum* sur 14 variétés du palmier dattier citées dans le tableau 08 ; page 70, par rapport au témoin (plantes inoculées par Foa sans antgoniste).

La notation des symptômes sur les plantles inoculées des variétés testées s'est basée sur le culcul de la période d'incubation qui se définit par le nombre de jours écoulés entre l'inoculation et l'apparition des premiers symptomes (Sedra, 2005a). Après la notation, la réaction des plantes des variétés du palmier dattier inoculées (Foa & Foa+antgoniste), a été évaluée par le calcul du taux de mortalité (TM%), et par lequel on peut classer les variétés comme résistantes (R), sensibles (S), et très sensibles (TS), (Figures 51 et 52 ; Tableau 14).



Figure 51: Réaction des plantes (huit (8) variétés) du palmier dattier testées après leur inoculation par Foa en présence et en absence du champignon endophyte *T. harzianum* (TH). (Source : BELAIDI, 2020).

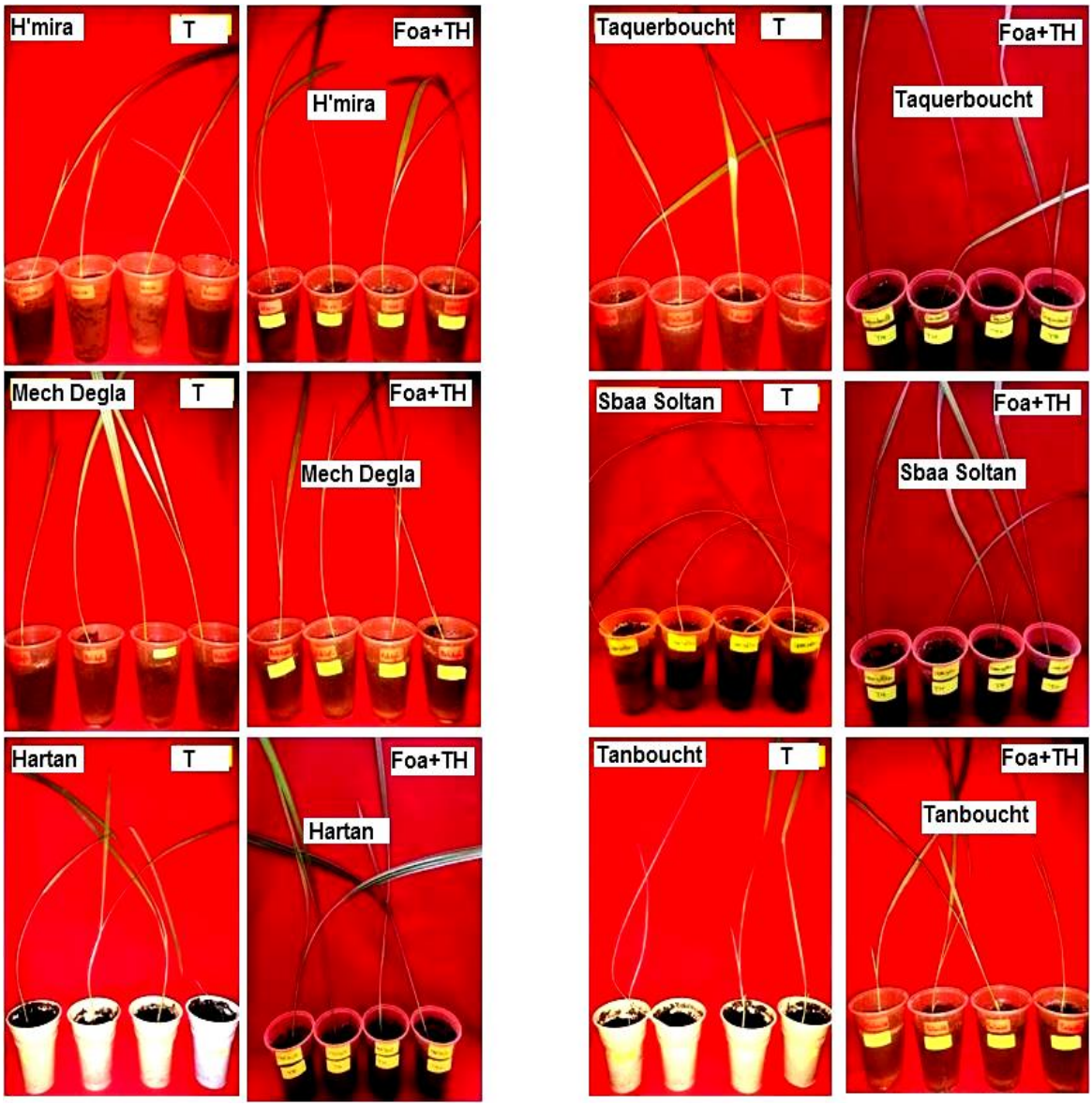


Figure 52: Réaction des plantes (six (6) variétés) du palmier dattier testées après leur inoculation par Foa en présence et en absence du champignon endophyte *T. harzianum* (TH). (Source : BELAIDI, 2020).

Les résultats obtenus ont montré que la période d'incubation varie entre 29 et 70 jours selon la variété testée. Pour la période d'incubation est de 70, représente le nombre maximum de jours pour les variétés résistantes où leurs plantes ne présentent aucun symptôme de maladie. C'est le cas de six (6) variétés : Tamdjouhert, Adem Bulla, Degla Beida, Mech Degla, Taquerboucht et Tanboucht. Les variétés sensibles ont présenté des valeurs de période d'incubation varient entre 29 et 50 jours (Tableau 14), c'est le cas de sept variétés : Figuig, Toudent, Azarza, Deglet Nour, H'mira, Hartan, Sbaa Soltan.

En effet, le taux de mortalité des variétés inoculées, en présence de l'antagoniste *Trichoderma harzianum*, est toujours 0% pour 12 variétés testées, 15% pour 'Deglet Nour', et seulement une variété (Figuig) qui reste toujours sensible avec un taux de mortalité de 50% (Tableau 14).

Le taux de mortalité global pour le témoin (inoculum de Foa en seul) est de 27,67%, tandis que ce taux pour les traités (Inoculum : Foa+antagoniste), est de 4,64%.

Nous déduisons à partir des ces résultats, et ces deux valeurs précuisement, que le champignon antagoniste *Trichoderma harzianum*, a reduit le taux de mortalité presque six fois si on le compare au test temoin (inoculation du Foa seulement) ; (Tableau 14), et que ce antagoniste, a prouvoir vu la majorité des variétés du palmier dattier testés, de resister au Bayoud (13 variétés), à l'exception d'une seul variété Figuig qui demenue sensible et rendue l'endophyte incapable d'aider la variété à résister et suporter l'agressivité de Bayoud. (Tableau 14).

Tableau 14: Effet du champignon endophyte *Trichoderma harzianum* sur l'incidence et l'agressivité du Bayoud sur 14 variétés de palmier dattier.

Cultivars du palmier dattier	**Période d'incubation (jours)**	**Lutte biologique *in situ***				**F**	**ddl**	**P**
		Taux de mortalité (%)		**Réaction**				
		Témoin	**Traité**	**Témoin**	**Traité**			
Feggous	59	12,5	0	T	R	143,84*	55	0,0001
Figuig	32	68,7	50	TS	S			
Toudent	37	43,75	0	S	R			
Azarza	38	43,75	0	S	R			
Tamdjouhert	70	0	0	R	R			
Adem Bulla	70	0	0	R	R			
Degla Beida	70	0	0	R	R			
Deglet Nour	35	68,75	15	TS	T			
H'mira	40	25	0	S	R			
Mech Degla	70	0	0	R	R			
Hartan	50	25	0	S	R			
Taquerboucht	70	0	0	R	R			
Sbaa Soltan	29	100	0	TS	R			
Tanboucht	70	43,75	0	S	R			
Taux de mortalité global (%)		**27,67 %**	**4,64 %**	**C.V. (%) = 18,5%**				

Foa : *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis ;* **F :** F calculé ou critique ; **S1, S2, .. S20 :** Isolats de Foa ; **ddl:** Degré de liberté; P: Probabilité à 5%; **A, b, c, d:** Groupes homogènes. R : Variété Résistante (0%) ; T : Variété Tolérante (1-15%) ; S : Variété Sensible (16-50) ; TS : Variété Très Sensible (51-100%), (Silva *et al*., 2013).

4.3. Discussion

Les potentialities d'utilisation des microorganismes endophytes comme des agents de lutte biologique est connu pendant plusieurs années dans différents pays du monde (Howell, 2003). L'action antagoniste des microorganismes a été étudiée sur plusieurs espèces fongiques comme *Trichoderma*, *Gliocladium* et *Aspergillus* (Wells et *al*. 1972, Schirmbock *et al*. 1994, Elad et Kapat, 1999 ; Yedidia *et al*. 1999 ; Yedidia *et al*. 2001 ; Harman, 2000 ; Sharon *et al*. 2001 ; Ozbay et Newman, 2004 ; Hibar *et al*. 2007 ; El-Hassni *et al*. 2007 ; Kuçuk *et al*. 2007 ; Dawidziuk *et al*. 2016; Benzohra *et al*. 2020).

Au cours de ces traveaux, nous avons étudié le contrôle biologique contre le Bayoud du palmier dattier en utilisant deux espèces fongiques endophytes (*Trichoderma harzianum* et *Aspergillus flavus*). Ce contrôle a été confirmé *in vitro* sur la croissance mycélienne de 20 souches de l'agent causal (*Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*), et *in situ* sur l'incidence et l'agressivité de cette maladie contre 14 variétés locales du palmier dattier. Les résultats du test *in vitro* a révélé des valeurs de croissance mycélienne des souches de Foa confrontées avec les deux espèces fongiques antagonistes toujours inférieures par rapport au témoin.

Dans le test *in situ*, on a constaté que le champignon endophyte *Trichoderma harzianum* a pu réduire le nombre de variétés sensibles de huit (8) à seulement une (1) seule variété qui montre sa sensiblité au Bayoud (Figuig), (Tableau 14).

En paralléle, les résultats obtenus par Hibar *et al.* (2007), *T. harzianum* ont révélé un taux d'inhibition de croissance mycélienne très élevé qui varie entre 70 et 76% contre *Fusarium oxysporum* f. sp. *radici-lycopersici*, agent de flétrissement vasculaire de tomate (*Lycopersicum esculentum* L.). Tandis que Boughedid and Filali (2015) ont rapport un taux un peu faible, varient entre 50 et 57% sur la croissance de *Fusarium graminearum*, agent de flétrissement de l'orge (*Hordum vulgare* L.). Pour le Bayoud, Sidaoui et *al.* (2018) ont testé l'effet d'autre espèce fongique, *Trichoderma longibrachiatum* qui a présenté un taux d'inhibition de 63%. Ces valeurs sont similaires à ceux obtenus dans notre essai.

Cette inhibition est connue dans la bibliographie par le mot "antibiose". L'antibiose est l'un des modes d'action de l'antagonisme par les champignons endophytes (Mach et *al.* 1999; Kala et *al*. 2016; Fitrianingsih et *al*. 2019), par sécrétion des métabolites secondaire comme les glio-viridines et glio-toxines (Howell, 2003).

D'autres recherches ont montré que le champignon endophyte *T. atroviride* capable de produire des enzymes lytiques des parois des champignons parasites appelés endochitinases (Kullnig et *al.* 2000), et des antibiotiques comme les pyrones (Keszeler et *al.* 2000 ; Oh et *al.* 2000), et aussi l'induction des mécanismes de resistance des plantes (Brunner et *al.* 2005).

L'importance des champignons endophytes sur l'incidence des maladies des plantes a été rapportée par plusieurs auteurs dans le monde (Hmouni et *al.*, 1999 ; ElHassni et *al.*, 2007 ; Hibar *et al.*, 2007 ; Bennett et *al*., 2011 ; Silva et *al*., 2013).

Hervas et *al.* (1997) ont signalé que *T. harzianum* lorsqu'il est enfouis dans les sols, a pu réduire sur l'incidence de flétrissement vasculaire du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) causé par *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*. Dubey *et al.* (2007) ont signalé également que cette réduction sur la fonte des semis en pépinière (*Pytium* sp.). Wang *et al.* (2003) ont rapporté que l'éspèce fongique *Trichoderma viride*, a un effet inhibiteur sur la conservation et le développement de *Ascochyta rabiei*, agent de l'anthracnose du pois chiche. Certains auteurs marrocains ont noté que l'absence du Bayoud du palmier dattier dans certaines palmeraies à Marrakech par rapport aux oasis du désert (sols sableux), a été expliqué par la présence des microorganismes endophytes utiles dans les sols (Sedra et Rouxel, 1989 ; Sedra, 1993). Cette remarque a été observée aussi aux palmeraies de M'zab (Ghardaia), par rapport aux oasis du Sahara algérien (Adrar, Timmimoun et In Saleh), (Benzohra *et al*., 2017).

Toute cette bibliographie confirme l'importance de ces microorganismes comme un autre moyen de lutte contre le Bayoud qui peut etre intégrée en alternance avec d'autres moyens de lutte.

En conclusion cette étude avait objectif pour évaluer la capacité de deux espèces fongiques endophytes (*Trichoderma harzianum* et *Aspergillus flavus*) sur la croissance et le développement de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa). Cette capacité a été évaluée sur la croissance mycélienne de 20 souches de Foa et sur l'incidence par un test d'inoculation artificielle par l'utilisation des variétés locales du palmier dattier, en présence des champignons endophytes.

Les resultants ont montré des differences significatives de croissances mycéliennes de 20 souches de Foa par rapport au témoin avec un taux d'inhibition varie entre 28,8 et 68,8% sous l'effet de *T. harzianum*, et entre 31,5 et 65,4% sous l'effet de *A. flavus*. (Figure 50).

Dans le test *in situ*, la reaction des variétés inoculées par le Foa en présence et en absence de l'antagoniste a révélé que ce dernier a pu protéger ces plantules avec de valeurs de taux de mortalité très faibles par rapport au témoin. Et seulement la variété 'Figuig' qui a montré sa sensibilité au Bayoud malgré la présence de l'antagoniste. Et globalement, l'effet antagoniste a pu réduire le taux de mortalité de 27,67 à 4,64 % (Tableau 14).

Ce chapitre a fait l'objet d'une autre publication interntionale dans une revue de reconnue, voir ci-contre.

RESEARCH ARTICLE Agricultural Science Digest, Volume 42 Issue 4: 385-392 (August 2022)

Biocontrol Capacity of the Soil Fungus *Trichoderma harzianum* against *Fusarim oxysporum* f. sp. *albedinis*, a Causal Agent of Fusarium Wilt (Bayoud) Disease of Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.)

H. Belaidi[1], F. Toumi-Benali[1], I.E. Benzohra[2], M. Megateli[2], B. Boumaaza[3], A. Megherbi[1], M.A. Bouzidi[1]

10.18805/ag.D-372

ABSTRACT

Background: This study has the objective to study antifungal effect of the antagonistic fungus of soil named *Trichoderma harzianum* on mycelial growth of twenty isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa), agent of the bayoud disease on the date palm, originated from south western region of Algeria.

Methods: Twenty Foa isolates obtained from isolation of the spines carrying the typical symptoms of Bayoud disease were used. The strain of *T. harzianum* was isolated from rhizosphere soils of the date palm trees. The *in vitro* test affected by two tests of confrontation, direct which is dual confrontation and indirect confrontation by volatiles substances, on mycelial growth.

Result: A statistical analysis showed a significant difference (P<0.05), of Foa isolates reaction against the antagonistic fungus *T. harzianum*in the test realized. The results of *in vitro* test showed a significant effect (P<0.05), on mycelial growth in both tests used. The inhibition rate (IR) of mycelial growth of Foa by *T. harzianum* varies between 28.42 and 59.12%, with 12 Foa isolates showed IR, more than 50% in the direct test and between 3.3 and 56% with just three (3) isolates have IR more than 50% in the indirect test by volatile substances. Based on these encorageous results, we can apply of this antagonistic fungus to protect our groves contaminated by Bayoud disease and also contain this susceptible commercial variety.

Key words: Bayoud disease, Biocontrol, Confrontation, Date palm, *Trichoderma harzianum*.

INTRODUCTION

In the oasis system of southern Algeria, the date palm represents the key to the agroecological equilibrium of the desert and ensures the socio-economic stability of the local Saharan populations (Dubost, 1992). The phoeniciculture is an essential element in the agro-economic development of oases (Bouguedoura *et al*. 2015). The proposal of new management method using biotechnological procedures like plant breeding, phylogenic selection, micropropagation *etc*.), has become more than necessary for the future of this field (Sedra, 2003). But all these methods have limits against bayoud disease on date palm culture (Djerbi, 2003). Bayoud disease, is a vascular wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa), is considered as the most destructive fungal disease in Moroccan and Algerian palm groves cultivated with important economical varieties like Bouskri, Majhoul, Boufeggous,but all are susceptibles to this plant pathogen (Sedra 2005a, b; Djerbi, 2003). Since its first appearance, which goes back more than a century, in the Moroccan palm groves where it has been recorded the disappearance of more than 12 million palm trees (Djerbi, 2003). Its progression continues to advance from the west to the palm groves of central and eastern of Algeria (Djerbi, 2003).

In the absence of an updated estimate of the last years, the losses reported since 2003 (Djerbi, 2003), estimated at more than 3 million palms are in a clear evolution, especially since several unaffected regions in the past are reconsidered as contaminated by Bayoud (Essarioui and Sedra, 2017). Bayoud represents not only the risk to elimine the best commercial varieties, but also to the phenomenon of desertification and the immigration of oasis habitants to large urban cities (Bouguedoura *et al*. 2015).

[1]Laboratory of Ecodevelopment of Spaces, Department of Environmental Sciences, Djillali Liabes University of Sidi Bel Abbes, Algeria.

[2]Department of Phoeniciculture, Experimental Station for Biophysical Environment-centre for Scientific and Technical Research on Arid Regions (CRSTRA), Campus Universitaire B.P. 1682 RP, Biskra, Algeria.

[3]Department of Agronomy, Ibn Khaldoun University, Tiaret, Algeria.

Corresponding Author: H. Belaidi, Laboratory of Ecodevelopment of Spaces, Department of Environmental Sciences, Djillali Liabes University of Sidi Bel Abbes, Algeria. Email: hakimabelaidi8@gmail.com

How to cite this article: Belaidi, H., Benali, F.T., Benzohra, I.E., Megateli, M., Boumaaza, B., Megherbi, A. and Bouzidi, M.A. (2022). Biocontrol Capacity of the Soil Fungus *Trichoderma harzianum* against *Fusarim oxysporum* f. sp.*albedinis*, a Causal Agent of Fusarium Wilt (Bayoud) Disease of Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.). Agricultural Science Digest. 42(4): 385-392. DOI: 10.18805/ag.D-372.

Submitted: 22-06-2021 **Accepted:** 04-04-2022 **Online:** 24-05-2022

Due to the biological and pathogenic characteristics of *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* and its host date palm, any attempt at chemical control remains ineffective for old palm groves where their rooting is deeper and harmful to the environment and human health (Saaidi, 1990). On the other hand, the proposed prophylactic measures don't seem able to stop its progression, especially since the epidemiological data are favoured by a progressive spread of this disease, but these measures are important to protect the Southern Algerian of healthy date palms (Benzohra *et al*., 2017).

Genetic control by resistant varieties is therefore another promising way of reducing the damage caused by this constraint, but unfortunately all resistant cultivars haven't high quality in date fruits (Benzohra *et al*., 2021a; Sedra, 2005b).

In this latest decade, a bayoud has eliminated thousands of individuals "Khalts" (natural hybrids) and important populations of better quality date, were widely cultivated as Mejhoul, Boufeggous and Jihel in Morocco, have disappeared (Sedra, 2005b). The selection of productive date palms, with good quality date palms and resistance to Bayoud requires a rigorous methodology and a broad time to select these cultivars (Benzohra *et al*., 2021b; Sedra, 1993; Sedra, 1994a, b; Sedra and Besri, 1994).

To control and limit this constraint, the biological control through the use of antagonistic (El-Hassni *et al*., 2007; Negi *et al*., 2019; Kuchlan *et al*., 2017) and mycorrhizal microorganisms remains the best way to combat this threat in palm groves contaminated by Bayoud (Jaiti *et al*. 2006; 2008; Dihazi *et al*., 2012).

The objective of this work is to study the *in vitro* antagonistic effect of *Trichoderma harzianum* on the mycelial growth of twenty isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa).

MATERIALS AND METHODS

Isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*

Twenty (20) isolates of *Fusariumoxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa) used in this study of different originsprovided by CRSTRA (Center for Scientific and Technical Research on Arid Regions, Biskra). The citation of isolates and its origins was presented in Table 1. All isolates were conserved in PDA medium (For 1000 ml : 200 g potato juice; 15 g glucose; 20 g agar-agar; pH =5.5), with temperature of conservation at 04°C and incubation at 23°C (Sedra, 2005a).

Strain of antagonist *Trichoderma harzianum*

The strain of the antagonist *Trichoderma harzianum* (Th-Lpv-Most-2018), was provided by the Laboratory of Plant Protection (LPV) of the University of Mostaganem (Table 2). The strain was used in the confrontation tests.

Dual confrontation

We performed the method of Howell (2003) to evaluate the inhibitory action of *T. harzianum* on mycelial growth of Foa. We have in Petri dishes containing 15 ml of diametrically opposed PDA medium; two explants (5 mm in diameter) from the Foa and the antagonist (Fig 1), with four repetitions were performed. The control consisted by colonies of Foa in petri dishes without the antagonist. The mycelial growth of Foa isolates was assessed by measuring the radial diameter of mycelial growth of Foa for 6 days of incubation.

Indirect confrontation

This technique consists in depositing at the center of each Petri dish containing the PDA culture medium, an explant of 5 mm in diameter one from colony of the antagonist and another from Foa (Aydi *et al*., 2013; Belaidi *et al*., 2021). The lower part containing the antagonist *Trichoderma harzianum* is sealed with another containing the pathogen, by a band of parafilm so as to avoid any contamination and any loss of volatile substance (Aydi *et al*. 2018). Four repetitions are made with an untreated control (Aydi *et al*., 2014).

Evaluation of mycelial growth

For the estimation of mycelial growth, the technique used is that indicated by Hibar *et al.* (2007b). This method consists in measuring the daily linear mycelial growth of the colonies until the seventh day, according to the following formula:

$$L = (D-d) / 2$$

Where
L: Mycelial growth (mm).
D: Colony diameter (mm).
d: Explant diameter (5 mm).

The mycelial growth averages are calculated by the following formula:

$$V(mm/j) = \sum (Ln - Ln-1) / n$$

Where
V: Mycelial growth per day (mm/j).
Ln, Ln-1: Mycelial growth during the day n.

The inhibition rate (%), is calculated as follows:

$$IR (\%) = (Lt - L) \times 100 / Lt$$

Where
IR: Pourcentage of inhibition rate (%).
Lt: Daily mycelial growth of control.
L: Daily mycelial growth by *T. harzianum* effect.

Multiplication of foa

The multiplication of the inoculum was carried out in petri dishes containing PDA medium (Potato Dextrose Agar), autoclaved for 25 min at a pressure of 1 bar and a temperature of 121°C, to which we have added 10 ml of a liquid culture of *F. oxysporum* f. sp. *albedinis*. These dishes are then incubated at 22±3°C for two weeks (Hibar *et al*. 2007).

Multiplication of the antagonist

The multiplication of *T. harzianum* was carried out in the same way as for *F. oxysporum* f. sp. *albedinis*, but with an incubation period of one week.This is explained by the fact that *T. harzianum* has a faster of mycelialgrowth than *F. oxysporum* f. sp. *albedinis* (Hibar *et al*. 2005).

Table 1: Foa isolates with its origin.

Foa isolates	Provinces	Oases
S1	Saoura	Ouakda, Bechar
S2	Saoura	Bechar
S3	Saoura	Beni Abbes
S4	Saoura	Tabelbella
S5	Saoura	Igli
S6	Gourrara	Charouine
S7	Gourrara	OuledSaid
S8	Gourrara	Tinerkouk
S9	Gourrara	Telmine
S10	Gourrara	Charouine
S11	Touat	Tililane
S12	Touat	Ouled Ahmed Timi
S13	Touat	Reggane
S14	Touat	Inzeghemir
S15	Touat	Adrar
S16	Touat	Adrar
S17	Mizab	Atteuf
S18	Mizab	Atteuf
S19	Mizab	Ghardaïa
S20	Mizab	Metlili

S: Strain of *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*.

Statistical analysis

The device used is a univariate total randomization and nonparametric comparison of K samples. The significance study is performed with the 5% Kruskal-Wallis test ($P<0.05$). The analysis was done using the XLStat 2009.1.02 software, (AddinSoft, USA). The studied factor is the inhibition of mycelial growth; the observation is the Foa strains and the experimental unitsarethe linear or radial of mycelial growth.

RESULTS AND DISCUSSION

Dual confrontation

Statistical analysis revealed a highly significant effect ($P<0.05$), a remarkable difference in mycelial growth of Foa isolates with *Trichoderma harzianum* (TH), compared to the control (Table 2), with formation of zone inhibition (Z), (Fig 1). We found that the mycelial growth in the control is always greater that obtained with the direct (dual) confrontations (Foa + TH), (Table 3).

The averages of mycelial growth of Foaisolates were consistently lower (between 2.04 and 2.53 mm / day), than the control (between 3.15 and 5.42 mm / day), (Table 3). This reduction is followed by a complete stop of the growth.

The inhibition rate (%) of mycelial growth (RI), of Foa under the direct effect of *T. harzianum* varies between 28.42 and

Table 2: Informations of antgonistic fungi strains' species used in '*in vivo*' biocontrol test against bayoud disease.

Strain name	Antagonistic fungus strain information		
	Origin of sampling	Date of sampling	Antagonism type
Trichoderma harzianum (T-22)	Mostaganem	2018	Antibiosis

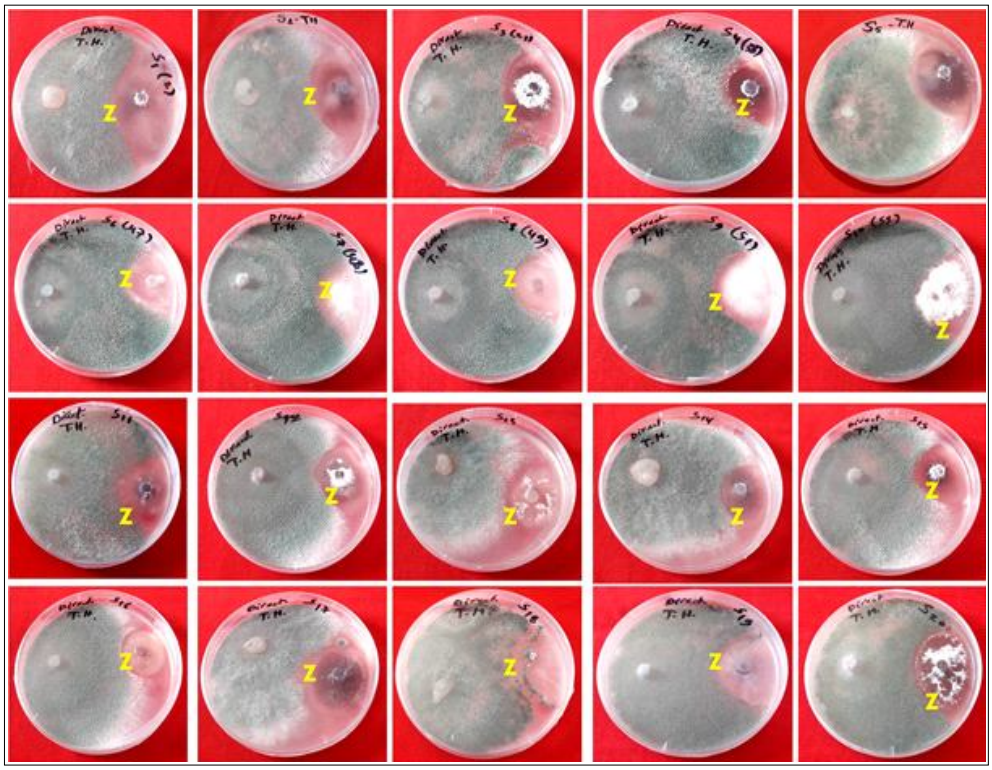


Fig 1: Colonies of twenty Foa isolates in dual confrontation with *T. harzianm*. Z: Zone of inhibition.

59.12% (Fig 2), according to the isolate. 12 isolates (S1, S3, S9, S10, S11, S12, S15, S16, S17, S18, S19, S20), showed a very high inhibition rate that exceeded 50%. Also, we observed that all four isolates of Ghardaia region showed IR more than 50% (S17, S18, S19 and S20), (Table 3; Fig 2).

Indirect confrontation

Also, a significant effect ($P<0.05$) was observed by appearance of a difference on mycelial growth of Foa isolates in the effect of volatile substances indirectly confronted against *Trichoderma harzianum* compared to the control (Table 4).

We observed that the average of the mycelial growth of Foa isolates by the effect of *T. harzianum* (Table 3), is always lower (between 2.04 and 2.53 mm/day), than the control (between 2.13 and 4.88 mm/day).

The inhibition rate (IR%) of the mycelial growth of Foa under the effect of *T. harzianum*varies between 3.3 and 52.9% (Fig 2).

In comparison between the two tests of confrontation effects, we observed that the dual confrontation presented IR values very important with global average very close to 50% (49.80%), than IR values of indirect confrontation with global average under 50% (35.9%).

The potential of microoganisms as biological control agents against plant diseases has been identified for several years (Howell, 2003). The antagonism action of microorganisms has been studied for many plant diseases (Wells *et al*. 1972; Schirmbock *et al*. 1994; Elad and Kapat,1999; Yedidia *et al*. 1999; Yedidia *et al*. 2001; Harman, 2000; Sharon *et al*. 2001; Ozbay and Newman, 2004; Hibar *et al*. 2007; El-Hassni *et al*. 2007; Kuçuk *et al*. 2007; Dawidziuk *et al*. 2016; Benzohra *et al*. 2020).

Table 3: Averages of mycelial growth of foa by direct effect of *T. harianum* in dual confrontation.

Foa isolates	Mycelial growth (mm/day) ($x \pm \sigma$)	
	Control (mm/day)	Foa + TH (mm/day)
S1	4.92^a±0.08	2.44^b±0.11
S2	4,.22^a±0.31	2.50^b±0.00
S3	4.71^a±0.00	2.24^b±0.13
S4	4.79^a±0.35	2.53^b+0.23
S5	4.65^a±0.26	2.44^b+0.11
S6	4.88^a±0.07	2.51^b±0.03
S7	4.78^a±0.14	2.46^b±0.04
S8	4.71^a±0.20	2.44^b±0.11
S9	4.89^a±0.13	2.33^b±0.11
S10	5.42^a±0.00	2.44^b±0.11
S11	5.35^a±0.14	2.30^b±0.10
S12	5.21^a±0.08	2.35^b±0.10
S13	2.85^a±0.00	2.04^b±0.19
S14	3.15^a±0.14	2.06^b±0.17
S15	5.00^a±0,00	2.40^b±0.11
S16	4.33^a±0.10	2.17^b±0.30
S17	5.26^a±0.12	2.15^b±0.27
S18	5.00^a±0.00	2.06^b±0.17
S19	5.21^a±0.08	2.40^b±0.11
S20	5.35^a±0.14	2.35^b±0.10
LSD 5%	126.83*	
C.V.	12.8%	

*Significant effect at $P\leq0.05$; σ: Standard deviation; x: Average of mycelial growth; a and b: Homogenate groups; Foa: *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*; TH: *Trichoderma harzianum*; LSD: Least significative difference; C.V.: Coefficient of variation.

The direct and indirect confrontation between the fungal antagonist *Trichoderma harzianum* and the pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa) showed significant reductions in mycelial growth compared with the controlin all the isolates used. This reduction was represented by the inhibition rate (IR%) of mycelial growth. In dual confrontation, this rate varies between 28.42 and 59.12% and the indirect confrontation showed an inhibition rate varies between 3.3 and 56%, by the effect of *T. harzianum*.

Hibar *et al.* (2007) reported that *T. harzianum* was able to show a growth inhibition rate of 70 to 76% of *Fusarium oxysporum* f. sp. *radici-lycopersici*, tomato vascular wilt agent (*Lycopersicum esculentum* L.). While Boughedid and Filali (2015) reported aninhibition rate of mycelial growth by *T. harzianum* varies between 50 and 57% on *Fusarium graminearum*, Fusarium wilt agent of barley (*Hordum vulgare* L.). Concerning a bayoud disease, Sidaoui *et al.* (2018) reported that *Trichoderma longibrachiatum* had a 63% inhibition rate on mycelial growth. These last two results are very closer to those obtained in our tests.

This inhibition of mycelial growth is known in the bibliography as “antibiosis”. Antibiosis is one of antagonism mode actions carried out by antagonistic fungi by the secretion of secondairyvolatile substances such as glio-viridines and glio-toxins, substances that act as antibiotics, can inhibit the development of several phytopathogenic fungi (Howell, 2003).

In direct confrontation, there is another mode of antagonism called “mycoparasitism”. An example of this mode of action is on the *T. atroviride* strains, which showed a mycoparasitism action against *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris* (Foc), a vascular wilt agent in chickpea (*Cicer arietinum* L.), by its ability to invade Foc colonies and sporulate above (Mach *et al.*1999). A significantly positive correlation exists between the efficacy of *Trichoderma* strains in reducing disease index and growth inhibition in indirect confrontation under the effect of volatile antifungal substances (Howell, 2003; Kala *et al*. 2016; Fitrianingsih *et al*. 2019). This finding suggests that the antagonistic activation of our Foo isolates may be due in part to these volatile antifungal substances (Mach *et al*. 1999). Many researches showed the biological control activity of *T. atroviride*, that was due in part to the production of endochitinases (Kullnig *et al.* 2000), to the production of antibiotics (antifungals), including aromatic antibiotics such as pyrones (Keszeler *et al*. 2000), peptides (Oh *et al.* 2000) and induction of resistance mechanisms in plants (Brunner *et al.* 2005).

T. atroviride has shown a good efficacy in the biological control of *Rhizoctonia solani* on potato in the field (Kullnig *et al.* 2000) and also good protection against *Fusarium*

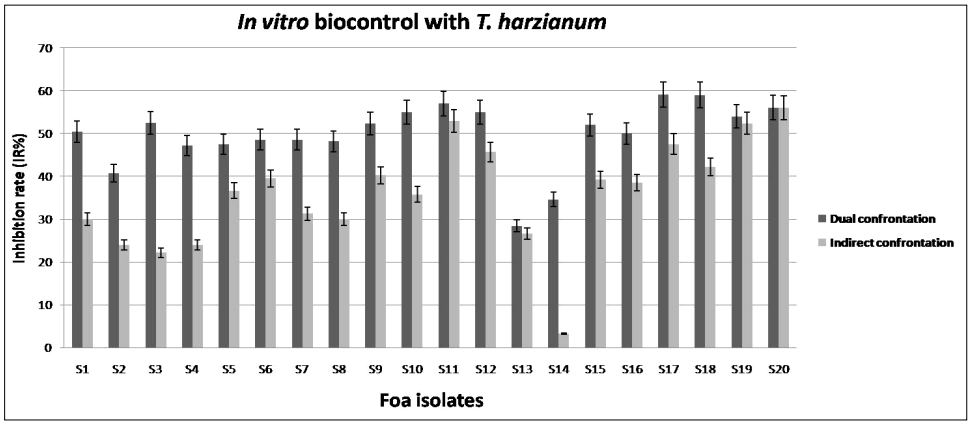


Fig 2: Inhibition rates (IR) of mycelial growth of Foa isolates by direct and indirect effects of *T. harzianum*.

Table 4: Averages of mycelial growth of foa isolates by indirect effect of *T. harianum* in indirect confrontation.

Foa isolates	Mycelial growth (mm/day) ($x \pm \sigma$)	
	Control (mm/day)	Foa + TH (mm/day)
S1	$3.47^{a}\pm0.44$	$2.44^{b}\pm0.11$
S2	$3.29^{a}\pm0.47$	$2.50^{b}\pm0.00$
S3	$2.88^{a}\pm0.53$	$2.24^{b}\pm0.13$
S4	$3.33^{a}\pm0.56$	$2.53^{b}\pm0.23$
S5	$3.85^{a}\pm0.32$	$2.44^{b}\pm0.11$
S6	$4.15^{a}\pm0.16$	$2.51^{b}\pm0.03$
S7	$3.58^{a}\pm0.52$	$2.46^{b}\pm0.04$
S8	$3.49^{a}\pm0.45$	$2.44^{b}\pm0.11$
S9	$3.90^{a}\pm0.17$	$2.33^{b}\pm0.11$
S10	$3.80^{a}\pm0.36$	$2.44^{b}\pm0.11$
S11	$4.88^{a}\pm0.09$	$2.30^{b}\pm0.10$
S12	$4.33^{a}\pm0.61$	$2.35^{b}\pm0.10$
S13	$2.78^{a}\pm1.30$	$2.04^{b}\pm0.19$
S14	$2.13^{a}\pm0.82$	$2.06^{b}\pm0.17$
S15	$3.95^{a}\pm0.12$	$2.40^{b}\pm0.11$
S16	$3.53^{a}\pm0.37$	$2.17^{b}\pm0.30$
S17	$4.10^{a}\pm0.36$	$2.15^{b}\pm0.27$
S18	$3.53^{a}\pm0.37$	$2.04^{b}\pm0.19$
S19	$4.33^{a}\pm0.61$	$2.06^{b}\pm0.17$
S20	$4.88^{a}\pm0.09$	$2.15^{b}\pm0.27$
LSD 5%	110.2*	
C.V.	15.2%	

*Significant effect at P≤0.05; σ: Standard deviation; *x*: Average of mycelial growth; a and b: Homogenate groups; Foa: *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*; TH: *Trichoderma harzianum*; LSD: Least significative difference; C.V.: Coefficient of variation.

graminearum, when applied by treatment wheat seed (Roberti *et al*. 2000). Recently, the biological control capabilities of this species have been shown against *Cryphonectria parasitica* (Murril) Barr., the agent of chestnut cankerin USA (Dodd *et al.* 2003).

According to Hervas *et al.* (1997), the contribution of *T. harzianum* (marketed biofungicide) to soil significantly reduces the incidence of Fusarium wilt of chickpea, caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*. Dubey *et al.* (2007) reported a significant reduction in glasshouses by seed application of *T. harzianum* isolates against Pythium root rot.

Wang *et al.* (2003) reported that the other species of the antagonistic fungus, *Trichoderma viride*, influences the development and survival of *A. rabiei*, agent of ascochyta blight on chickpea. Some authors have noted that the absence of Bayoud disease in the palm groves of some Moroccan regions such as Marrakesh, seems linked to the phenomenon of the presence of antagonistic microorganisms in the soil (Sedra, 1993; Sedra and Rouxel, 1989). This remark was observed also in Algeria in the oases of Mizab region (Benzohra *et al*. 2017).

All these results confirmed the importance of application of this fungal species as a means of biological control and are promising for the future in the program of integrated control of the Bayoud date palm.

CONCLUSION

This study investigated the antagonistic capacity of *Trichoderma harzianum* on mycelial growthof twenty isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa), agent responsible for Bayoud disease on date palm. This *in vitro* test, affected by two antagonism methods was carried out by direct (or dual) and indirect confrontation using 20 Foa isolates.

The results of *in vitro* test indicate that there is an antagonistic effect made by *T. harzianum* on the development of *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*. Significant differences (P<0.05) were observed in both tests performed, direct and indirect confrontation.

These results in the two tests carried out, showed appreciable results of antagonistic capacities in *Trichoderma harzianum* on isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, which can inhibit the development of Bayoud in the soil when these antagonists enter Foa, compete in space and nutrients, in antibiosis by the secretion of antibiotics and in mycoparasitism by invasion of filamentous mycelia of Foa by the secretion of lytic enzymes.

In perspectives, this biological control approach study showed the important effect of the antagonistic fungi on Foa. These results obtained *in vitro,* must be confirmed by *in situ* soil tests, in palm groves contaminated with Bayoud with currently no resistant cultivars exist yet (Djerbi, 2003; Sedra, 2003; Sedra, 2005b).

ACKNOWLEDGEMENT

We would like to thanks the DGRSDT (Direction Générale de la Recherche Scientifique et du Développement Technologique, Algiers, Algeria), affiliated with the Ministryof High Education and Scientific Research of Algeria, for itsfunding support which facilitated us to realize this work in the Social-Economical project (DGRSDT-003-UDL-SBA-2019).

Conflict of interest: None.

REFERENCES

Aydi, B.R., Chikh-Rouhou, H., Jabnoun-Khiareddine, H., Sta-Baba, R., Daami-Remadi, M. (2018). Fungal and bacterial rhizosphere microbiome associated with selected melon and snake melon genptypes. Journal of Microbiobiology, Biotechnology and Food Sciences. xx: 01-08. https://office2.jmbfs.org/index.php/JMBFS/article/view/4004.

Aydi, R., Hassine, M., Jabnoun-Khiareddine, H., Benjannet, H. and Daami-Remadi, M. (2013). Valorisation des *Aspergillu* ssp. comme agents de lutte biologique contre *Pythium* et optimisation de leur pouvoir antagoniste *in vitro* et *in vivo*. Tunisian Journal of Medicinal Plants and Natural Products. 09(01): 70-83.

Aydi, R., Hassine, M., Jabnoun-Khiareddine, H. and Daami-Remadi, M. (2014). Etude du pouvoir antifongique des *Aspergillus* spp. et de leurs filtrats de culture et extraits organiques contre *Fusariumsam bucinum*. Tunisian Journal of Medicinal Plants and Natural Products. 11: 15-29.

Belaidi, H., Toumi-Benali, F. and Benzohra, I.E. (2021). Biocontrol of Bayoud Disease (*Fusarium oxysporum f.* sp. *albedinis*) on Deglet-nour Variety of Date Palm *(Phoenix dactylifera* L.*)* in South Western Oases of Algeria. Agricultural Science Digest. 41(3): 450-454. doi: 10.18805/ag.D-304.

Benzohra, I.E., Megateli, M., Elayachi, B.A., Zekraoui, M., Djillali, K., Bouafia, A., Benouis, S., Benaziza, A. and Rekis, A. (2017). Integrated management of Bayoud disease on date palm (*Phoenix dactylifera* L.) caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* in Algeria. Journal Algérien des Régions Arides. 14: 93-100.

Benzohra, I.E., Bendahmane, B.S., Youcef Benkada, M., Megateli, M. and Belaidi, H. (2020). Use of three synthetic fungicides to reduce the incidence of Ascochyta blight (*Ascochyta rabiei*) in chickpea (*Cicer arietinum* L.): A susceptible cultivars case. Indian Journal of Agricultural Research. 54(4): 459-464. doi10.18805/IJARe.A-459.

Benzohra, I.E. and Belaidi, H. (2021a). Screening of faba bean (*Vicia faba* L.) germplasm accessions against grey mould disease caused by *Botrytis fabae* Sard. Agricultural Science Digest. 41(2): 390-393. DOI: 10.18805/ag.D-265.

Benzohra, I.E., Belaidi, H., Boumaaza, B. and Mégateli, M. (2021b). Integrated disease management of grain legumes in Algeria and strategies of agricultural development: A review. Agricultural Reviews. 42(1): 93-98. DOI: 10.18805/ag. R-158.

Boughedid, K. and Filali, M. (2015). Isolement et identification des champignons antagonistes des champignons phytopathogènes de l'orge. M.Sc. Thesis, Constantine Universit Frères Mentouri. 67p.

Bouguedoura, N., Bennaceur, M., Babahani, S. and Benziouche, S.E. (2015). Date Palm Status and Perspective in Algeria. Chapter 4 in Book : J.M. Al-Khayri *et al.* (eds.), Date Palm Genetic Resources and Utilization: Volume 1: Africa and the Americas. doi 10.1007/978-94-017-9694-1-4.

Brunner, K., Zeilinger, S., Ciliento, R., Woo, S.L., Lorito, M., Kubicek, C.P. and Mach, R.L. (2005). Improvement of the fungal biocontrol agent *Trichoderma atroviride* to enhance both antagonism and induction of plant systemic disease resistance. Applied and Environmental Microbiology. 71: 3957-3965.

Dawidziuk, A., Popiel, D., Kaczmarek, J., Strakowska, J. and Jedryczka, M. (2016). Optimal *Trichoderma* strains for control of stem canker of brassicas: Molecular basis of biocontrol properties and azole resistance. Biocontrol. 61: 755-768.

Dihazi, A., Jaiti, F., Taktak, W., Olfakilani, F., Jaoua, S., Driouich, A., Baaziz, M., Daayf, F. and Serghini, M. (2012). Use of two bacteria for biological control of bayoud disease caused by *Fusarium oxysporum* in date palm (*Phoenix dactylifera* L) seedlings. Plant Physiology and Biochemistry. 55: 07-15. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.03.003.

Djerbi, M. (2003). *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedini*. OEPP/EPPO Bulletin. 33: 245-247.

Dodd, S.L., Lieckfeldt, E., Samuels, G.J. (2003). *Hypocreaatro viridis*sp. nov., the teleomorph of *Trichoderm aatroviride*. Mycologia. 95: 27-40.

Dubost, D. (1992). Aridité, développement et agriculture : cas des oasis algériennes. Sécheresse. 03: 85-96.

Dubey, S.C., Suresh, M. and Birendra, S. (2007). Evaluation of *Trichoderma* species against *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceris* for integrated management of chickpea wilt. Biological Control. 40: 118-127.

Elad, Y. and Kapat, A. (1999). The role of *Trichoderma harzianum* protease in the biocontrol of *Botrytis cinerea*. European Journal of Plant Pathology. 105: 177-189.

El-Hassni, M., El-Hadrami, A., Daayf, F., Cherif, M., Ait-Barka, E. and El-Hadrami, I. (2007). Biological control of bayoud disease in date palm: Selection of microorganisms inhibiting the causal agent and inducing defense reactions. Environmental and Experimental Botany. 59: 224-234.

Essarioui, A. and Sedra, My.H. (2017). Lutte contre la maladie du bayoud par solarisation et fumigation du sol. Une expérimentation dans les palmeraies du Maroc. Cahiers Agricultures. 26: 45010.

Fitrianingsih, A., Martanto, E.A. and Barahima, A. (2019). The effectiveness of fungi *Gliocladium fim briatum* and *Trichoderma viride* to control fusarium wilt disease of tomatoes (*Lycopersicum esculentum*). Indian Journal of Agricultural Research. 53(1): 57-61. doi 0.18805/IJARe. A-363.

Harman, G.E. (2000). Myths and dogmas of biocontrol: Changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T-22. Plant Disease. 84: 377-393.

Hervás, A., Landa, B., Datnoff, L., Trapéro-Casas, J.L. and Jiménez-Díaz, R.M. (1997). Use of Commercial and Indigenous Microorganisms to Control Fusarium wilt of Chickpea. In: 10th Congress of Mediterranean Phytopathological Union. Montpellier, pp. 709-711.

Hibar, K., Daami-Remadi, M., Khiareddine, H. and El-Mahjoub, M. (2005). Effetinhibiteur*in vitro* et *in vivo* du *Trichoderma harzianum*sur *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. BASE Gembloux. 09(03): 163-171.

Hibar, K., Daami-Remadi, M. and El-Mahjoub, M. (2007). Effets de certains fongicides de synthèse et biologiques sur la croissance mycélienne et l'agressivité de *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici*. Tropicultura. 25(3): 146-152.

Howell, C.R. (2003). Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: The history and evolution of current concepts. Plant Disease. 87: 04-10.

Jaiti, F., Meddich, A. and El-Hadrami, I. (2006). Effect of Arbuscularmy Corrhization on the Accumulation of Hydroxycinnamic Acid Derivatives in Date Palm Seedlings Challenged with *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*. Polyphenols Communications, 22-25 August 2006, Winnipeg, MB, 2006, pp. 349-350.

Jaiti, F., Kassami, M., Meddich, A. and El-Hadrami, I. (2008). Effect of Arbuscular Mycorrhization on the Accumulation of hydroxy cinnamic acid derivatives in date palm seedlings challenged with *Fusarium oxysporum* f. sp. albedinis. Journal of Phytopathology. 156 (11-12): 641-646.

Kala, C., Gangopadhyay, S. and Godara, S.L. (2016). Eco-friendly management of wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *Ciceri* in chickpea. Legume Research. 39 (1): 129-134. Doi 10.18805/lr.v0iOF.6789.

Keszler, A., Forgacas, E., Kotai, L., Vizcaino, J.A., Monte, E. and Garcia-Acha, I. (2000). Separation and identification of volatile components in the fermentation broth of *Trichoderma atroviride*by solid-phase extraction and gas chromatography-mass spectrometry. Journal of Chromatography Sciences. 38: 421-424.

Kuchlan, P., Kuchlan, M.K. and Ansari, M.M. (2017). Efficient application of *Trichoderma viride* on soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] seed using thin layer polymer coating. Legume Research. 42(2): 260-264. DOI: 10.18805/LR-3834.

Kuçuk, C., Kivanç, M., Kinaci, E. and Kinaci, G. (2007). Efficacy of *Trichoderma harzianum* (Rifaii) on inhibition of ascochyta blight disease of chickpea. Annals of Microbiology. 57: 665-668.

Kullnig-Gradinger, C., March, R.L., Lorito, M. and Kubiecek, C.P. (2000). Enzyme diffusion from *Trichoderma atroviride* (=*T. harzianum* P1) to *Rhizoctonia solani* is a prerequisite for triggering of *Trichoder ma*ech 42 gene expression before mycoparasitic contact. Applied and Environmental Microbiology. 66: 2232-2234.

Mach, R.L., Peterbauer, C.K., Jaksists, S., Woo, S.L., Zeilinger, S., Kullning, C.M., Lorito, M and Kubicek, C.P. (1999). Expression of two major chitinase genes of *Trichoderma atroviride* (*T. harzianum* P1), is triggered by different regulatory signals. Applied and Environmental Microbiology. 65: 1858-1863.

Negi, S., Bharat, N.K. and Kumar, M. (2019). Effect of seed biopriming with indigenous PGPR, *Rhizobia* and *Trichoderma* sp. on growth, seed yield and incidence of diseases in French bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Legume Research. 44(5): 593-601. DOI: 10.18805/LR-4135.

Oh, S.U., Lee, S.J., Kim, J.H. and Yoo, I.D. (2000). Structural elucidation of new antibiotic peptides, atroviridins A, B and C from *Trichoderma atroviride*. Tetrahedron Letters. 41: 61-64.

Ozbay, N. and Newman, S.E. (2004). The effect of the *Trichoderma harzianum* strains on the growth of tomato seedlings. Acta Horticulture. 635: 131-135.

Roberti, R., Flori, P., Pisi, A., Brunelli, A. and Cesari, A. (2000). Evaluation of biological seed treartment of wheat for the control of seed-born *Fusarium culmorum*. Journal of Plant Disease and Protection. 107: 484-493.

Saaidi, M. (1990). Amélioration génétique du *palmier dattier*. Critères de sélection, techniques et résultats. In : Dollé V., Toutain G. Les systèmes agricoles *oasiens*. Montpellier (France): CIHEAM-IAMM. p. 133-154. (Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens, n. 11). Les Systèmes Agricoles Oasiens, 1988/11/19-21, Tozeur (Tunisie). http://ressources.ciheam.org/om/pdf/a11/CI901491.pdf.

Schirmbock, M., Lorito, M., Wang, Y.L., Hayes, C.K., Arisan-Atlac, I., Scala, F., Harman, G.E. and Kubicek, C.P. (1994). Parallel formation and synergism of hydrolytic enzymes and peptaibol antibiotics, molecular mechanisms involved in the antagonistic action of *Trichoderma harzianum* against phytopathogenic fungi. Applied Environmental Microbiology. 60: 4364-4370.

Sedra, My. H. and Rouxel, F. (1989). Résistance des sols aux maladies. Mise en évidence de la résistance d'un sol de la palmeraie de Marrakech aux fusarioses vasculaires. Al Awamia. 66: 35-54.

Sedra, My. H. (1993). Lutte contre le Bayoud, fusariose vasculaire du palmier dattier causée par *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis*: Sélection des cultivars et clones de qualité résistants et réceptivité des sols de palmeraies à la maladie. Ph.D. thesis, Sciences Faculty of Sémlalia, Marrakech, Morocco. 142 p.

Sedra, My.H. (1994) Evaluation de la résistance à la maladie du Bayoud causé par *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis*chez le palmier dattier: Recherche d'une méthode fiable d'inoculation expérimentale en pépinière et en plantation. Agronomie. 14: 445-452.

Sedra, My.H. and Besri, M. (1994). Evaluation de la résistance au Bayoud du palmier dattier causé par *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis*: Recherche d'une méthode de discrimination des *vitro* plants acclimatés en serre. Agronomie. 14: 467-472.

Sedra, My.H. (2003). Le palmier dattier base de la mise en valeur des oasis au Maroc : Techniques phoenicicoles et création d'oasis. INRA-Editions: Division de l'Information et de la Communication, BP. 6512 Rabat-Instituts Maroc, Imprimerie Al-Watania, 265p.

Sedra, My.H. (2005a). La maladie du Bayoud du palmier dattier en Afrique du Nord : Diagnostic et caractérisation. Actes of Proceeding of'Symposium International sur le Développement Durable des Systèmes Oasiens', Morocco, pp : 26-34.

Sedra, My. H. (2005b). Caractérisation des clones sélectionnés du palmier dattier et prometteurs pour combattre la maladie du Bayoud. Actes of Proceeding of 'Symposium International sur le Développement Durable des Systèmes Oasiens'. Morocco, pp: 72-79.

Sharon, E., Bar-Eyal, M., Chet, I., Herra-Estrella, A, Kleifeld, O. and Spiegel, Y. (2001). Biological control of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* by *Trichoderma harzianum*. Phytopathology. 91: 687-693.

Sidaoui, A., Noureddine, K., Anis, B., Younes, E., Sadika, H., Bouchra, O., Said, B., Mostafa, C. and Mebrouk, K. (2018). Pathogenicity and biological control of Bayoud disease by *Trichoderma longibrachiatum* and *Artemisia herba-alba* essential oil. Journal of Applied Pharmaceutical Sciences. 08(04): 161-67.

Wells, H.D., Bell, D.K. and Jaworski, C.A. (1972). Efficacy of *Trichoderma harzianum* as a biocontrol for *Sclerotiumr olfsii*. Phytopathology. 62: 442-447.

Yedidia, I., Benhamou, N. and Chet, I. (1999). Induction of defense reponses in cucumber (*Cucumis sativus* L.) by the biocontrol agent *Trichoderma harzianum*. Applied Environmental Microbiology. 65: 1061-1070.

Yedidia, I., Srivastva, A.K., Kapulnik, Y. and Chet, I. (2001). Effect of *Trichoderma harzianum*on microelement concentrations and increased growth of cucumber plants. Plant Soil. 235: 235-242.

Chapitre 05

Lutte biologique *in vitro* contre *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* par l'utilisation de trois espèces bactériennes endophytes (*Bacillus subtilus, B. amyloliquefasciens* et *Pseudomonas plecoglossicida*)

Chapitre 05

Lutte biologique *in vitro* contre *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* par l'utilisation de trois espèces bactériennes endophytes (*Bacillus subtilus, B. amyloliquefasciens* et *Pseudomonas plecoglossicida*)

Dans ce chapitre, nous comptons révéler la capacité antagoniste de trois espèces bactériennes endophytes (*Bacillus subtilus, Bacillus amyloliquefasciens* et *Pseudomonas plecoglossicida*), sur la croissance mycélienne de 20 isolats de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa). Cette capacité a été réalisée en utilisant le test de confrontation directe, dans l'objectif d'évaluer le contrôle biologique par le test *in vitro*.

L'effet bénéfique des micro-organismes du sol dans le contrôle des champignons pathogènes telluriques comme le Bayoud du palmier dattier (Benabbes *et al*., 2015a,b ; Caron *et al*., 2002). Parmi ces microorganismes on distingue « les bactéries endophytes », qui peuvent être considérées avec d'autres microorganismes comme des moyens complémentaires dans la lutte biologique contre ce pathogène (Lodewyckx *et al*., 2002).

Les bactéries endophytes se trouvent au niveau de la rhizosphère en tant que saprophytes ou antagonistes, mais non pathogènes pour la plante (Lodewyckx *et al*., 2002). Parmi les genres bactériens les plus rencontrés au niveau de la rhizosphère : *Bacillus, Pseudomonas, Serratia, Pentoea, Enterobacter* (Lodewyckx *et al*., 2002). Après la confirmation de leur capacité antagoniste, on peut intégrer ces bactéries dans le programme de lutte biologique avec d'autres microorganismes utiles comme les champignons endophytes antagonistes et mycorhizes.

5.1. Matériel et Méthodes appliquées

5.1.1. Souches de Foa:

Les 20 souches de Foa ont été utilisés dans ce travail, originaires du sud-ouest du Sahara algérien, et testés *in vitro* sur leurs croissance mycélienne (Tableau 09 ; Chapitre 02).

5.1.2. Souches des bactéries endophytes

Les souches d'espèces bactériennes *Bacillus subtilus, B. amyloliquefasciens* et *Pseudomonas plecoglossicida*. Ces souches ont été isolées, identifiées au préalable et fournies par le

Département d'Agronomie, Laboratoire de Recherche sur les Systèmes Biologiques et Géomantique (L.R.S.B.G.), Université de Mustapha Stambouli, Mascara, (Mokrani *et al*., 2018).

5.1.3. Milieu de culture et conservation des souches

Tous les isolats de Foa et les souches bactériennes ont été conservés et cultivés en milieu PDA (Potato Dextrose Agar), selon (Sidaoui *et al*. , 2018 ; Rouag *et al*., 2019).

5.1.4. Test de confrontation directe

Nous avons appliqué la méthode de Howell (2003) pour évaluer l'action antagoniste des bactéries *Bacillus subtilus, B. amyloliquefasciens et Pseudomonas plecoglossicida*, sur la croissance mycélienne des 20 souches de Foa. Pour faire ce test, on dispose dans des boîtes de Pétri contenant 15 ml de milieu PDA, au centre des boites l'explant (5 mm de diamètre) de Foa, entourés avec trois autres explants de la bactérie antagoniste. Le témoin consistait des colonies de Foa dans des boîtes de pétri sans antagoniste (Bactérie). Ces tests sont réalisés avec quatre (4) répétitions pour les traités et le témoin. La croissance mycélienne des souches de Foa a été évaluée en mesurant le diamètre radial de la croissance mycélienne de Foa pendant 6 jours d'incubation.

Pour estimer la croissance mycélienne, la technique utilisée est celle indiquée par Hibar *et al*. (2007), et Howell (2003). Cette méthode consiste à mesurer la croissance mycélienne linéaire journalière des colonies jusqu'au sixième jour, selon la formule suivante :

$$\mathbf{L(mm)} = \frac{\mathbf{D - d}}{\mathbf{2}}$$

L : Croissance mycélienne (mm).

D : Diamètre de la colonie (mm).

d : Diamètre de l'explant (5mm).

Les moyennes de croissance mycélienne sont calculées par la formule suivante :

$$\mathbf{V(mm/j)} = \frac{\sum(\mathbf{Ln - Ln - 1})}{\mathbf{N}}$$

V : Vitesse de croissance mycélienne (mm/j),

Ln , Ln-1 … Croissances mycéliennes pendant le jour n.

Le taux d'inhibition (%), est calculé comme suit :

$$\mathbf{TI}(\%) = \frac{(\mathbf{Lt} - \mathbf{L})}{\mathbf{Lt}} \times \mathbf{100}$$

TI : Taux d'inhibition (%).

Lt : Croissance mycélienne journalière du témoin.

L : Croissance mycélienne journalière des isolats de *Foa* sous l'effet de l'antagoniste.

5.1.5. Analyse statistique

Le dispositif utilisé est une randomisation totale unifactorielle globale et le test choisi est non paramétrique de K échantillons. L'étude de signification a été réalisée par le test de Kruskal-Wallis à 5 % ($P<0,05$). Et l'analyse a été effectuée à l'aide du logiciel de Stat appelé XLStat 2021.4, (AddinSoft, USA). Le facteur étudié est le taux d'inhibition de la croissance mycélienne, l'observation *Xi* est la croissance mycélienne des colonies d'isolats de Foa.

5.2. Résultats

L'analyse statistique a montré un effet significatif des moyennes de croissance mycélienne par rapport au témoin (Tableaux 15, 16 et 17). Une différence remarquable de croissance mycélienne a été observée par rapport au témoin sous l'effet de ces trois bactéries testées (*Bacillus subtilus, B. amyloliquefasciens* et *Pseudomonas plecoglossicida*), cette inhibition est suivie par la création d'une zone d'inhibition dans les colonies de l'ensemble des 20 souches de Foa confrontées (Figures 53, 54 et 55).

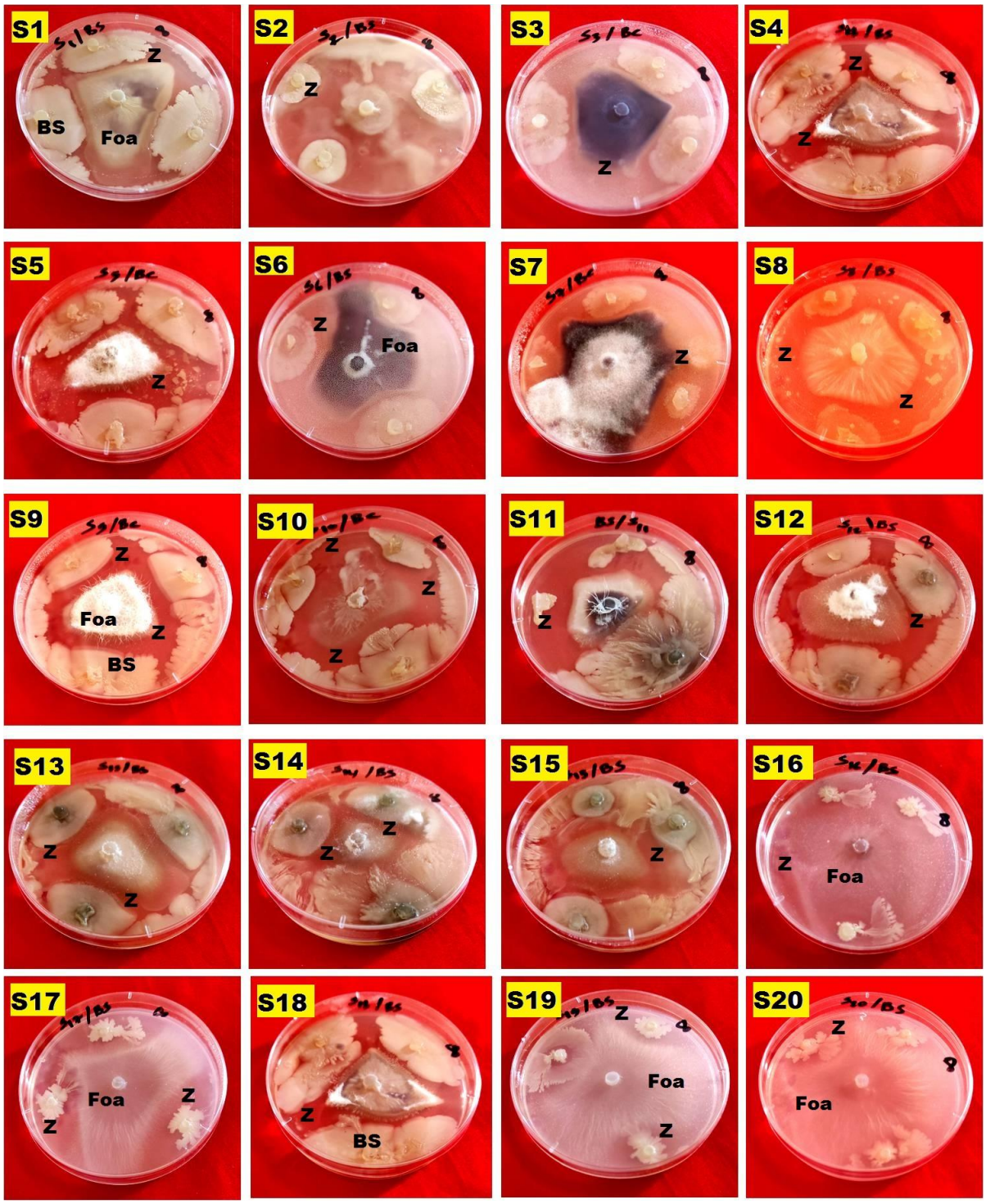


Figure 53: Confrontation des souches de Foa avec la bactérie antagoniste *Bacillus subtilus* avec création d'une zone d'inhibition. Z: Zone d'inhibition; BS: Colonie de *B. subtilus* ; Foa: Colonie de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* ; S1, …, S20: Souches de Foa. (Source : BELAIDI, 2021).

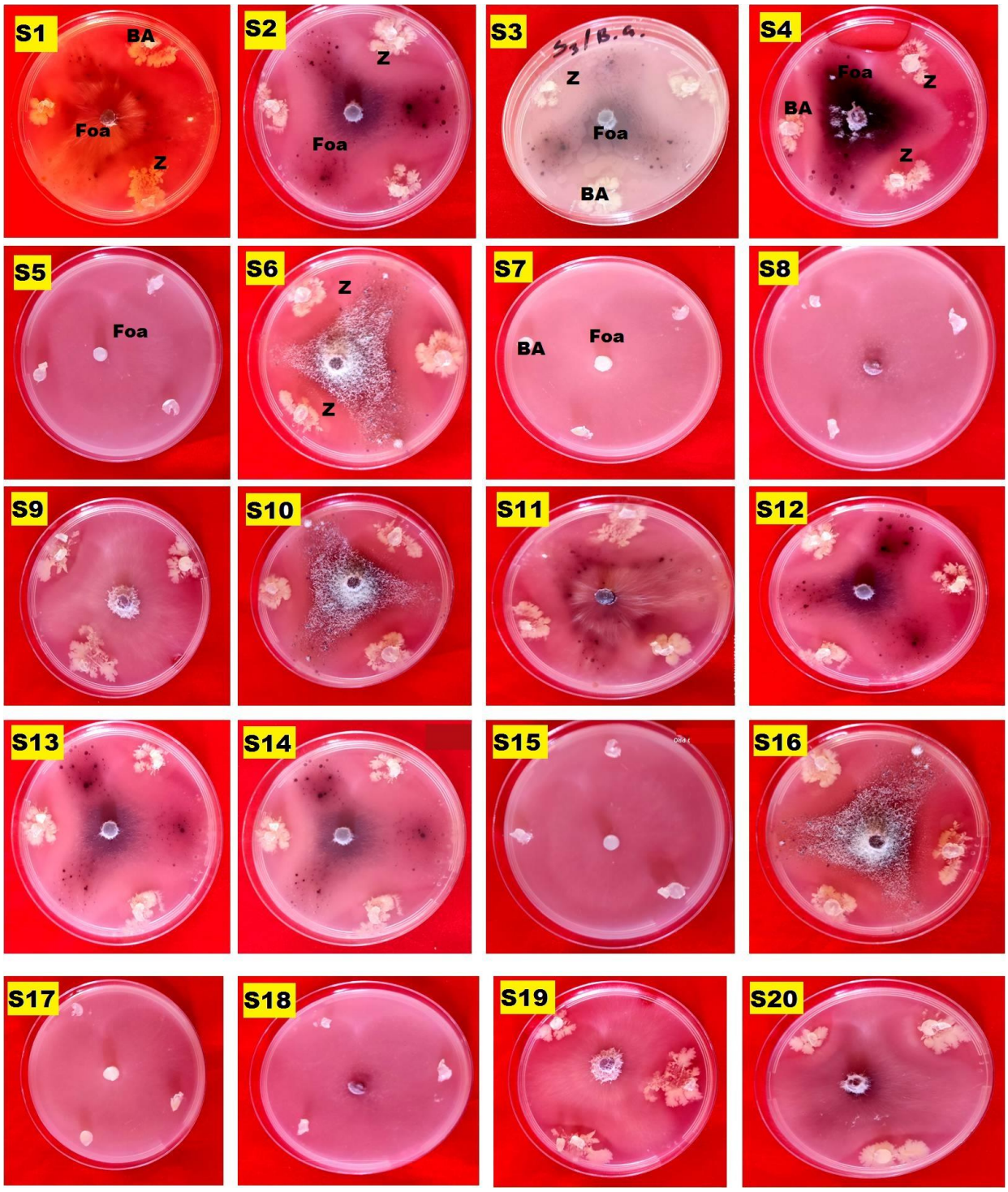


Figure 54: Confrontation des souches de Foa avec la bactérie antagoniste *Bacillus amyloliquefasciens* avec création d'une zone d'inhibition. Z: Zone d'inhibition; BA: Colonie de *B. amyloliquefasciens*; Foa: Colonies de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* ; S1, …, S20: Souches de Foa. (Source : BELAIDI, 2021).

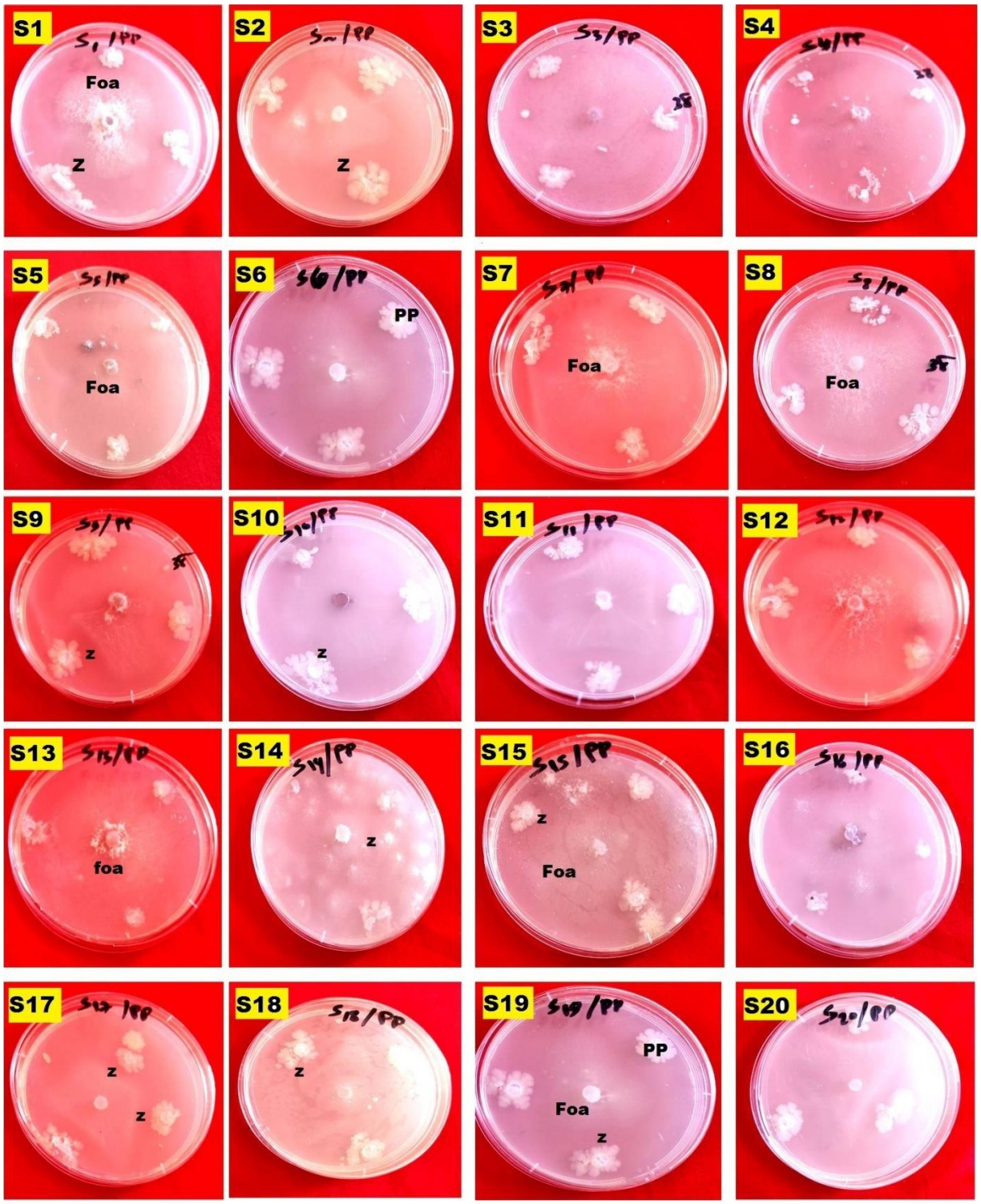


Figure 55: Confrontation des souches de Foa avec la bactérie antagoniste *Pseudomonas plecoglossicida* avec création d'une zone d'inhibition. Z: Zone d'inhibition; PP: Colonie de *P. plecoglossicida*; Foa: Colonies de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* ; S1, …, S20: Souches de Foa. (Source : BELAIDI, 2021).

Aussi, les valeurs de croissance mycélienne des isolats de Foa confrontés avec la Bactérie *Bacillus subtilus* varient entre 1,76 et 2,86 mm/j, et restent toujours inférieures par rapport aux valeurs du témoin (entre 3,87 et 4,17 mm/j), (Tableau 15), avec un spectre du taux d'inhibition (TI%) important varient entre 30,2 et 56,1 %, selon la souche de Foa confrontée (Figure 54).

La même constatation a été fait pour la deuxième espèce bactérienne *Bacillus amyloliquefasciens* qui a montré elle aussi son effet inhibiteur sur la croissance mycélienne de Foa avec des valeurs qui varient entre 1,7 et 2,86 mm/j, qui sont aussi inférieures à celles enregistrées chez le témoin (entre 3,97 et 4,27 mm/j), (Tableau 16), et avec un spectre du taux d'inhibition (TI%) important varient entre 28,05 et 59,7 % (Figure 56). La troisième espèce antagoniste *Pseudomonas plecoglossicida* a montré aussi des croissances mycéliennes plus au moins inférieures qui varient entre 1,51 et 2,57 mm/j, mais aussi inférieures par rapport au témoin (entre 3,97 et 4,3 mm/j), (Tableau 17), avec un taux d'inhibition (TI%) entre 36,2 et 64,2 % (Figure 56).

En comparaison entre les effets antagonistes de ces trois espèces bactériennes utilisées (*Bacillus subtilus, B. amyloliquefasciens* et *Pseudomonas plecoglossicida*), sur la croissance mycélienne de 20 souches de Foa testées, le taux d'inhibition de la croissance mycélienne est plus important et dépassant 50% (Tableaux 15, 16, 17) sur les souches de Foa suivantes :

- ✓ *Bacillus subtilus* : S2, S5, S12, S13 et S14 ;
- ✓ *B. amyloliquefasciens* : S14, S15, S16, S18, S19 et S20 ;
- ✓ *Pseudomonas plecoglossicida* : S11, S14, S16, S18, S19 et S20.

Tableau 15: Effet antagoniste de l'espèce bactérienne *Bacillus subtilus* sur la croissance mycélienne de 20 souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa).

Souches de Foa	Croissances mycéliennes (mm/j) (Moyenne + Ecart-type (δ))				
	Confrontation Foa+BS	Témoin	F calculé	ddl	P
S1	$2,86^{c}$±0,55	$4,1^{d}$±0,11	138,07*	39	0,0001
S2	$1,81^{a}$±0,42	4^{d} ±0,08			
S3	$2,65^{c}$ ±0,3	$4,1^{d}$ ±0,14			
S4	$2,02^{ab}$±0,17	$3,97^{cd}$±0,05			
S5	$1,88^{a}$ ±0,08	$4,15^{d}$ ±0,19			
S6	$2,36^{c}$ ±0,34	$4,15^{d}$ ±0,19			
S7	$2,26^{c}$ ±0,22	$4,05^{d}$ ±0,1			
S8	$2,05^{ab}$ ±0,34	$4,07^{d}$ ±0,09			
S9	$1,76^{a}$ ±0,13	$3,95^{cd}$±0,1			
S10	$2,11^{ab}$ ±0,11	$3,87^{cd}$±0,12			
S11	$2,33^{c}$ ±0,38	$4,05^{d}$ ±0,1			
S12	$1,88^{a}$ ±0,25	$4,07^{d}$ ±0,15			
S13	$1,8^{a}$ ±0,18	$4,1^{d}$ ±0,11			
S14	$1,9^{a}$±0,64	$4,17^{d}$ ±0,09			
S15	$2,41^{c}$ ±0,64	$4,05^{d}$ ±0,1			
S16	$2,33^{c}$ ±0,49	$4,15^{d}$ ±0,12			
S17	$2,41^{c}$ ±0,1	$4,02^{d}$ ±0,05			
S18	$2,33^{c}$ ±0,3	$4,07^{d}$ ±0,15			
S19	$2,47^{c}$ ±0,3	$4,1^{d}$ ±0,11			
S20	$2,76^{c}$ ±0,04	$4,02^{d}$ ±0,05			

- ✓ Foa : *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis ;*
- ✓ BS: *Bacillus subtilus* ;
- ✓ S1, S2, .. S20 : Souches de Foa ;
- ✓ ddl: Degré de liberté
- ✓ P: Probabilité à 5%.
- ✓ A, b, c, d: Groupes homogènes.

Tableau 16: Effet antagoniste de l'espèce bactérienne *Bacillus amyloliquefasciens* sur la croissance mycélienne de 20 souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa).

Souches de Foa	**Croissances mycéliennes (mm/j) (Moyenne + Ecart-type (δ))**				
	Confrontation Foa+BA	**Témoin**	**F calculé**	**ddl**	**P**
S1	2,46^{c}±0,02	4,3^{d}±0,14	144,19*	39	0,0001
S2	2,17^{ab}±0,32	4,02^{d} ±0,05			
S3	2,65^{c} ±0,07	4,22^{d} ±0,15			
S4	2,51^{c}±0,06	4^{d}±00			
S5	2,62^{c} ±0,12	4,22^{d} ±0,2			
S6	2,76^{c} ±0,33	4,27^{d} ±0,09			
S7	3^{cd} ±00	4,17^{d} ±0,12			
S8	2,53^{cd} ±0,02	4,1^{d} ±0,08			
S9	2,86^{c} ±0,29	4,1^{d}±0,11			
S10	2,75^{c} ±0,2	3,97^{cd}±0,05			
S11	2,76^{c} ±0,2	4,2^{d} ±0,08			
S12	2,22^{ab} ±0,26	4,1^{d} ±0,14			
S13	2,4^{c} ±0,14	4,17^{d} ±0,12			
S14	1,7^{a}±0,24	4,22^{d} ±0,09			
S15	2,07^{ab} ±0,09	4,1^{d} ±0,11			
S16	2,02^{ab} ±0,09	4,22^{d} ±0,09			
S17	2,32^{c} ±0,2	4,12^{d} ±0,18			
S18	1,8^{a} ±0,14	4,17^{d} ±0,12			
S19	2,07^{ab} ±0,09	4,12^{d} ±0,09			
S20	1,82^{a} ±0,2	4,15^{d} ±0,12			

- ✓ Foa : *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis ;*
- ✓ BA: *Bacillus amyloliquefasciens* ;
- ✓ S1, S2, .. S20 : Souches de Foa ;
- ✓ ddl: Degré de liberté
- ✓ P: Probabilité à 5%.
- ✓ A, b, c, d: Groupes homogènes.

Tableau 17: L'effet antagoniste de l'espèce bactérienne *Pseudomonas plecoglossicida* sur la croissance mycélienne de 20 souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa).

Souches de Foa	**Croissances mycéliennes (mm/j) (Moyenne + Ecart-type (δ))**				
	Confrontation Foa+PP	**Témoin**	**F calculé**	**ddl**	**P**
S1	$2,5^{b}$±0,05	$4,3^{d}$±0,14	143,22*	39	0,0001
S2	$2,12^{ab}$±0,13	$4,02^{d}$ ±0,05			
S3	$2,47^{b}$ ±0,38	$4,22^{d}$ ±0,15			
S4	$2,55^{b}$±0,17	4^{d}±00			
S5	$2,43^{b}$ ±0,07	$4,22^{d}$ ±0,2			
S6	$2,45^{b}$ ±0,1	$4,27^{d}$ ±0,09			
S7	$2,57^{bc}$ ±0,14	$4,17^{d}$ ±0,12			
S8	$2,55^{bc}$ ±0,16	$4,1^{d}$ ±0,08			
S9	$2,3^{b}$ ±0,05	$4,1^{d}$±0,11			
S10	$2,31^{b}$ ±0,14	$3,97^{cd}$±0,05			
S11	$2,07^{ab}$ ±0,22	$4,2^{d}$ ±0,08			
S12	$2,38^{b}$ ±0,18	$4,1^{d}$ ±0,14			
S13	$2,46^{c}$ ±0,1	$4,17^{d}$ ±0,12			
S14	$1,51^{a}$±0,11	$4,22^{d}$ ±0,09			
S15	$2,16^{ab}$ ±0,04	$4,1^{d}$ ±0,11			
S16	$1,96^{a}$ ±0,11	$4,22^{d}$ ±0,09			
S17	$2,1^{ab}$ ±0,08	$4,12^{d}$ ±0,18			
S18	$2,03^{ab}$ ±0,04	$4,17^{d}$ ±0,12			
S19	$1,81^{a}$ ±0,13	$4,12^{d}$ ±0,09			
S20	$1,88^{a}$ ±0,18	$4,15^{d}$ ±0,12			

- ✓ Foa : *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis ;*
- ✓ PP : *Pseudomonas plecoglossicida ;*
- ✓ S1, S2, .. S20 : Souches de Foa ;
- ✓ ddl: Degré de liberté
- ✓ P: Probabilité à 5%.
- ✓ A, b, c, d: Groupes homogènes.

Il est à noter que, les trois souches S1, S3 et S20, ont montré un taux d'inhibition très faible sous l'effet de *Bacillus subtilus* et S7, S9 et S10, sous l'effet *B. amyloliquefasciens,* et à l'exception de la troisième espèce bactérienne *Pseudomonas plecoglossicida* qui n'a pas montré de valeurs faibles de TI%, en comparaison avec les deux espèces bactériennes (Figure 56).

Après le calcul des moyennes des taux d'inhibition de chaque espèce bactérienne, on a obtenu des valeurs du taux d'inhibition global (TIG%), par l'effet antagoniste de ces trois espèces bactériennes : à raison de 45% pour *Bacillus subtilus,* 42,7 pour *Bacillus amyloliquefasciens,* et 46,2 par l'effet de *Pseudomonas plecoglossicida*.

En comparaison entre ces valeurs, une efficacité très proche ou similaire de ces trois espèces bactériennes sur les 20 souches de Foa testées.

Nous déduisons donc que, ces bactéries antagonistes ont un effet significatif sur la majorité des 20 isolats de Foa testés, par la double confrontation *in vitro*. Les résultats de cette présente étude montrent que les 20 isolats de Foa ont été inhibés dans leur croissance mycélienne par l'action d'antibiose appelée : antagonisme.

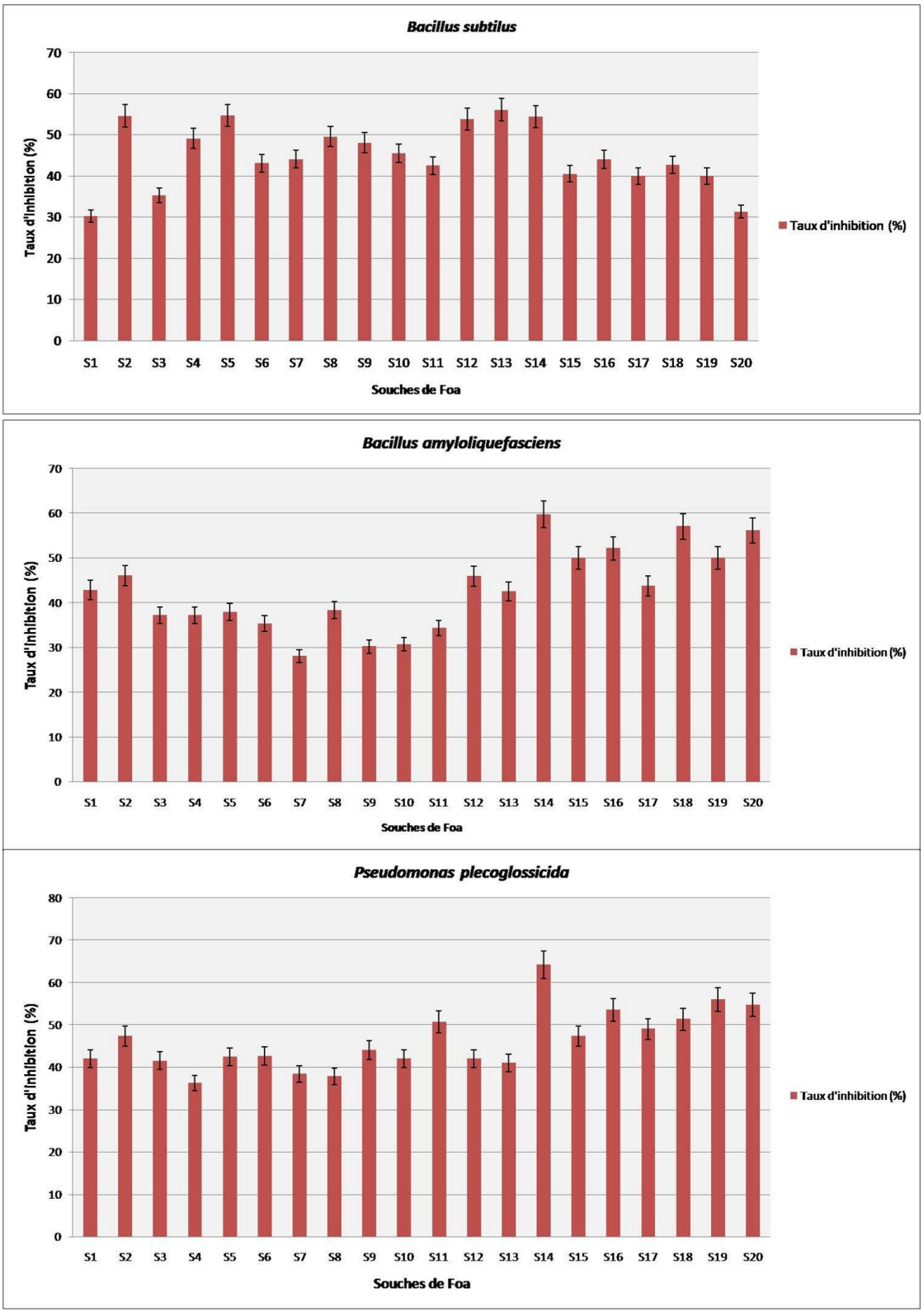


Figure 56: Taux d'inhibition (RI%) de croissance mycélienne (mm/j) de 20 souches de Foa sous l'effet de trois (3) espèces bactériennes antagonistes (*Bacillus subtilus*, *B. amyloliquefasciens*, et *Pseudomonas plecoglossicida*).

5.3. Discussion

Dans cette étude, nous avons calculé le taux d'inhibition (TI%) de la croissance mycélienne de 20 souches de Foa sous l'effet des trois espèces de bactéries antagonistes (*Bacillus subtilus, B. amyloliquefasciens et Pseudomonas plecoglossicida*), où les valeurs de ce taux varient entre 28,05 et 64,2%, avec un taux global de 45 % sous l'effet *Bacillus subtilus*, 42,7 % par l'action de *B. amyloliquefasciens* et 46,2 % sous l'effet de *Pseudomonas plecoglossicida*. Ces valeurs sont très proches avec celles rapportées par Lahlali et Hijri (2010) sur *Rhizoctonia solani* de la pomme de terre, par ElHassni *et al.* (2007) sur des souches marocaines de Foa, et par Hazarika *et al.* (2019) sur *Helminthosporium oryzae* de Riz.

Le genre *Bacillus* englobe plusieurs espèces bactériennes qui ont la même capacité antagoniste antifongique, et qui peuvent être valorisé comme des biofongicides contre les parasites fongiques des cultures (Lodewyckx *et al*., 2002 ; Pal et McSpadden, 2006).

Liu *et al*. (2019) ont rapporté que les espèces bactériennes, *Bacillus subtilus* et *B. amyloliquefasciens*, ont la capacité antagoniste contre l'incidence du Mildiou du Soja (*Glycine max* L.) causé par *Phytophthora sojae*.

Le deuxième genre bactérien *Pseudomonas* a aussi la capacité antifongique sur plusieurs maladies cryptogamiques comme *Verticillium dahliae* et *V. atro-album*, agents de verticilliose de l'olivier (*Olea europea* L.), *Fusarium oxysporum* f. sp. *radici-lycoperscici*, agent de flétrissement vasculaire de la tomate (*Lycopersicum esculentum* L.), et plusieurs maladies bactériennes des cultures comme : tuberculose bactérienne de l'olivier causée par *Pseudomonas savastanoi* pv. *savastanoi* sur l'olivier et chancre bactérien causé par *Xanthomonas compestris* sur tomate (Bernal *et al*., 2017).

D'après tout ce qui est mentionné comme littérature sur l'importance des bactéries endophytes, comme un autre moyen de lutte biologique, ces microorganismes ont le potentiel d'inhiber les micro-organismes pathogènes des plantes par différents mécanismes de manière écologique (Asaka et Shoda, 1996; Stein, 2005). L'utilisation des bactéries antagonistes est signalée comme une stratégie puissante pour supprimer les agents pathogènes du sol, comme la maladie de Bayoud en raison de leur capacité à coloniser la rhizosphère et de leur capacité à entrer en antibiose avec l'agent pathogène par de multiples modes d'action comme l'antibiose, le mycoparasitisme et la compétition (Howell, 2003). Certains auteurs ont rapporté que les microorganismes du genre *Bacillus* sont reconnus comme des agents de lutte biologique sûrs, en particulier comme agents de

protection des semences et antifongiques (Asaka et Shoda, 1996 ; Stein, 2005), capables d'être dans une alternative appropriée notamment pour le contrôle des phytopathogènes telluriques comme *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Tlemsani *et al*., 2019).

En conclusion, nous signalons que, cette étude consistait à évaluer l'effet antagoniste de trois espèces bactériennes endophytes (*Bacillus subtilus, B. amyloliquefasciens et Pseudomonas plecoglossicida*), sur la croissance mycélienne de 20 souches de Foa, originaires du sud ouest algérien. Des différences significatives ont été observées dans des valeurs de croissance mycélienne par apport au témoin, avec un taux d'inhibiton de la croissance mycélienne varie entre entre 28,05 et 64,2%, et un taux global de 45 % sous l'effet *Bacillus subtilus*, 42,7 % par l'action de *B. amyloliquefasciens* et 46,2 % sous l'effet de *Pseudomonas plecoglossicida*.

Ces résultats sont encourageants en démontrant la capacité d'inhiber la croissance des mycéliums du champignon *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*. Cette inhibition confirme l'importance des ces bactéries pour les utiliser avec d'autres microorganismes dans le programme de lutte biologique du palmier dattier contre le Bayoud.

Ce chapitre a fait l'objet d'une publication internationale dans une revue reconnue voir ci-contre.

South Asian J Exp Biol; 12 (1): 108-116; 2022 [DOI: 10.38150/sajeb.12(1).p108-116]

South Asian Journal of Experimental Biology

ISSN: 2230-9799 Vol. 12, Issue 1 Page 108-116 http://www.sajeb.org

REGULAR ARTICLE

Antagonistic activity of three species of bacteria against *Fusarium oxysporum f. sp. albedinis*, the causal agent of Bayoud disease on date palm (*Phoenix dactylifera* L.)

Hakima Belaidi[a*], Fawzia Toumi-Benali[a], Ibrahim Elkhalil Benzohra[b], Mohamed Megateli[b], Boualem Boumaaza[c], Aicha Megherbi[a], Mohamed Ali Bouzidi[b]

[a]*Laboratoire Ecodéveloppement des Espaces, Department of Environmental Sciences, Djilali Liabes University of Sidi Bel Abbes, 22000 Sidi Bel Abbes, Algeria*
[b]*Station of Biophysical Environment, Naama – Centre for Scientific and Technical Research on Arid Regions (CRSTRA), Campus Universitaire BP 1682 RP, 07000 Biskra, Algeria*
[c]*Department of Agronomy, SNV Faculty, Ibn Khaldoun University of Tiaret, 14000 Tiaret, Algeria*

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 19 Nov 2021
Revised: 4 Feb 2022
Accepted: 13 Feb 2022

**Corresponding Author:*
Email: hakimabelaidi8@gmail.com
Telephone: +213 542 01 35 29

Keywords: Bayoud, date palm, *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, bacterial antagonistic species, biocontrol, antagonism

ABSTRACT

This work has the objective to study the antagonistic capacity of three bacterial species (*Bacillus subtilus*, *B. amyloliquefasciens*, and *Pseudomonas plecoglossicida*), on mycelia growth of 20 isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *Albedinis* (Foa), the causal agent of bayoud disease on date palm. We tested the inhibition of mycelial growth by dual confrontation method using these three bacteria species. A significant effect (P<0,05) of these microorganisms was observed on mycelial growth of 20 isolates of Foa, with the inhibition rates varied between 28,05 and 64,2%. The confirmation of this inhibition was observed by creation of inhibition zones in the Foa colonies confronted by these bacteria. The obtained results lead us to think about the possibility to apply these bacterial species as biofungicide in the control of Bayoud disease in our contaminated groves and can be considerate as another alternative fungicide in the efficient integrated disease management strategy.

1. Introduction

The date palm (*Phoenix dactylifera* L.) is considered as the important and the principal cultivated plant in the Algerian desert (Benabbes et al., 2015a).

However, in the last decade, the date production has experienced a significant decline arrived at 50% (sedra, 2005).This decline due to fungal disease, fusarium wilt, known locally by the name 'Bayoud' caused by a soil fungus called *Fusarium oxysporum* f. sp. *Albedinis* (Foa), (Djerbi, 1982). This is a major disease on date palm which causes huge economic losses from decreased crop yield and quality.This disease damaged during the last 50 years, more than ten million palms in Morocco and three million in Algeria (Abdullah et al., 2010; Benabbes et al., 2015b).

In the bibliography, a many authors published their works while explaining various methods to manage this disease (Sedra, 2005; Belaidi et al., 2020).

The chemical control method is difficult to apply it and has a negative effect on the environment and human health (Benzohra et al., 2017; Tlemsani et al., 2019). The beneficial effect of soil-borne microorganisms in controlling pathogenic fungi and mini-

mizing the use of pesticides has paved the way for several promising research (Caron et al., 2002). These microorganisms named 'endophytes', although the term "endophyte" is most commonly associated with fungi, there is a significant amount of literature pertaining to bacteria as endophytes as well, some of which are believed to impart a beneficial effect, whereas others are regarded to have a neutral or detrimental effect on plants (Lodewyckx et al., 2002).

The literature showed that there is no research on the importance of these antagonistic bacteria against Fusarium wilt of the date palm, this study has the objective to evaluate the *in vitro* Biocontrol with antagonism action in three bacteria species (*Bacillus subtilus, B. amyloliquefasciens* and *Pseudomonas plecoglossicida*), using 20 strains of *Fusarium oxysporum* f. *sp. albedinis* (Foa), originated from South-Western regions of Algerian Sahara.

2. Material and Methods

2.1. Foa isolates

Foa strains: 20 isolates of Foa were used in this work, originated from southwest Sahara of Algeria, and tested *in vitro* on mycelial growth (Table 01).

Foa isolates	Origins	
	Oasis	Provinces
S1	Ouakda	Béchar
S2	Béchar	
S3	Béni Abbes	
S4	Tabelbala	
S5	Igli	
S6	Charouine	Gourrara (Timmimoune)
S7	OuledSaid	
S8	Tinerkouk	
S9	Telmine	
S10	Charouine	
S11	Tililane	Touat (Adrar)
S12	Ouled Ahmed Timi	
S13	Reggane	
S14	Azeghemir	
S15	Adrar	
S16	Adrar	
S17	Atteuf	Mizab (Ghardaia)
S18	Atteuf	
S19	Ghardaia	
S20	Metlili	

Table 1: Isolates list of *F. oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa) with its origin.
S1- S20 : Isolates of Foa ; Foa: *F. oxysporum* f. sp. *albedinis*

2.2. Antagonistic Bacterial species

The bacterial species strains are three: *B. subtilus, B. amyloliquefasciens and P. plecoglossicida*. These strains were isolated, identified previously and provided by Department of Agronomy, Laboratory of Research on Biological Systems and Geomantic (L.R.S.B.G.), University of Mustapha Stambouli, P.O. Box 305, Mascara 29000, Algeria (Mokrani et al., 2018).

2.3. Cultural medium

All Foa isolates and the bacterial strains were conserved and cultivated onPDA medium (Potato Dextrose Agar), its composition For 1l is: 200g Potato juice, 20g Glucose, 15g Agar Agar, and pH= 5,5), (Sigma, co., France), (Sidaoui et al., 2018; Rouag et al., 2019).

2.4. Dual confrontation test

We performed the method of Howell (2003) to evaluate the antagonistic action of *B.subtilus*, *B. amyloliquefasciens* and *P. plecoglossicida*, on mycelial growth of Foa. We have in Petri dishes containing 15 ml of diametrically opposed PDA medium; on explant (5 mm in diameter) from the Foa and three from the antagonist (Bacteria), with four repetitions were performed. The control consisted by colonies of Foa in petri dishes without the antagonist. The mycelial growth of Foa isolates was assessed by measuring the radial diameter of mycelial growth of Foa for 6 days of incubation.

$$L = (D - d) / 2$$

With : L : Mycelial growth (mm) ; D : Colony diameter (mm) ; and d : Explant diameter (5mm).

The mycelial growth averages are calculated by the following formula:

$$V(mm/j) = \sum (Ln - Ln\text{-}1) / n$$

With : V : Mycelial growth per day (mm/j) ; and Ln , Ln-1 … Mycelial growth during the day n.

The inhibition rate (%), is calculated as follows:

$$IR (\%) = (Lt - L) \times 100 / Lt$$

With : IR : pourcentage of inhibition rate (%) ; Lt : Daily mycelial growth of control; and L: Daily mycelial growth by bacteria strains effect.

2.5. Statistical analysis

The device used is a global unifactorial randomiza-

tion and no parametric comparison of K samples. The significance study was performed using the Kruskal-Wallis test at 5% ($P<0.05$). The analysis was done using the XLStat 2021.4 software, (AddinSoft, USA). The studied factor is the inhibition rate of mycelial growth, the observation *Xi* is the mycelial growth of the colonies of Foa isolates.

3. Results and Discussion

Statistical analysis of the distant mycelial growth means showed a significant effect (Tables 02, 03 and 04). A remarkable difference in mycelial growth was observed compared to the control under the effect of these three bacteria (*B. subtilus*, *B. amyloliquefasciens* and *P. plecoglossicida*), which ends in the creation of a zone of inhibition in the colonies of all 20 Foa confronted (Figures 01, 02 and 03).

The mycelial growth values of the Foa isolates con-

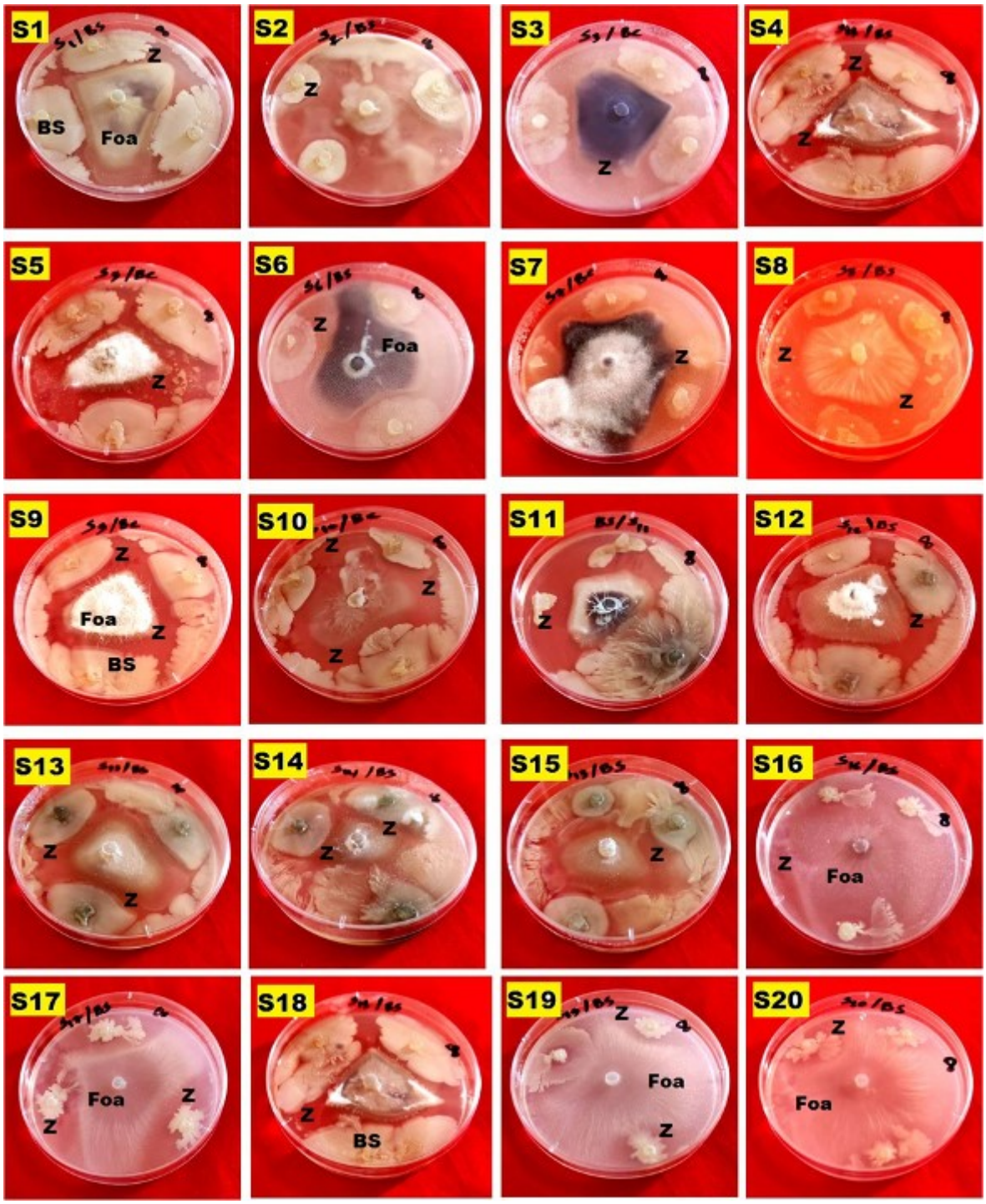


Figure 1: Dual confrontation of Foa colonies with the antagonistic bacterium *B. subtilus* with creation of inhibition zones. Z: Zone of inhibition; BS: *B. subtilus* colonies; Foa: *F. oxysporum* f. sp. *albedinis* colony; S1- S20: Strains of Foa.

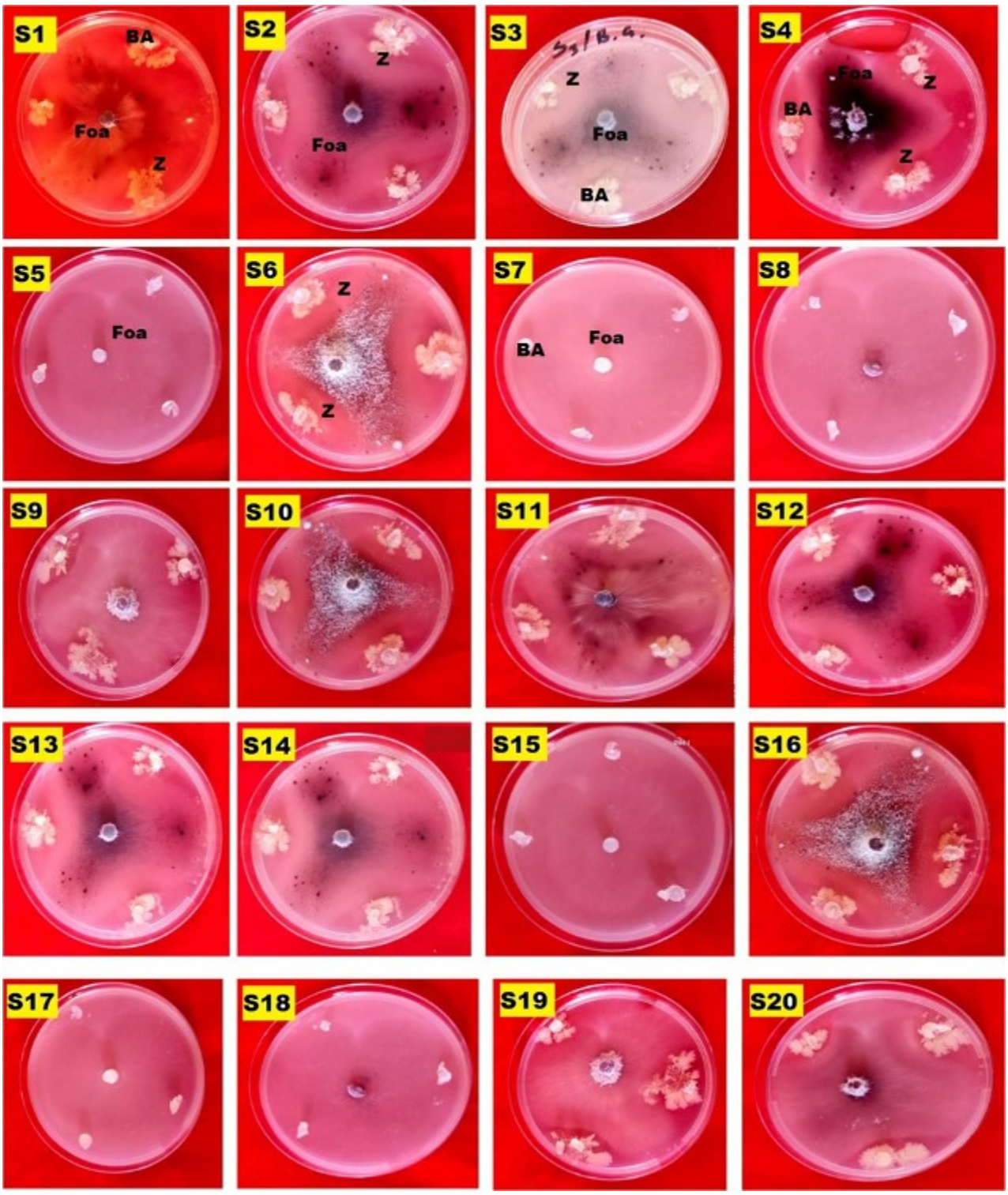


Figure 2: Dual confrontation of Foa colonies with the antagonistic bacterium *B. amyloliquefasciens* with creation of inhibition zones. Z: Zone of inhibition; BA: *B. amyloliquefasciens* colonies; Foa: *F. oxysporum* f. sp. *albedinis* colony; S1-S20: Strains of Foa.

fronted with the bacterium Bacillus subtilus, which vary between 1.76 and 2.86 mm/d, are always lower compared to the control values (between 3.87 and 4.17 mm/d) , (Table 02), with a significant inhibition rate (IR%) spectrum varying between 30.2 and 56.1%, depending on the Foa strain confronted (Figure 04). The second *B. amyloliquefasciens* showed its effect on the mycelial growth of Foa with values that vary between 1.7 and 2.86 mm/d, which are also always lower compared to the control (between 3.97 and 4.27 mm/d), (Table 03), with a significant inhibition rate (IR%) spectrum varying between 28.05 and 59.7% (Figure 04). The third antagonist *P. plecoglossicida* also showed lower mycelial growth values varying between 1.51 and 2.57 mm/d, which are also always lower com-

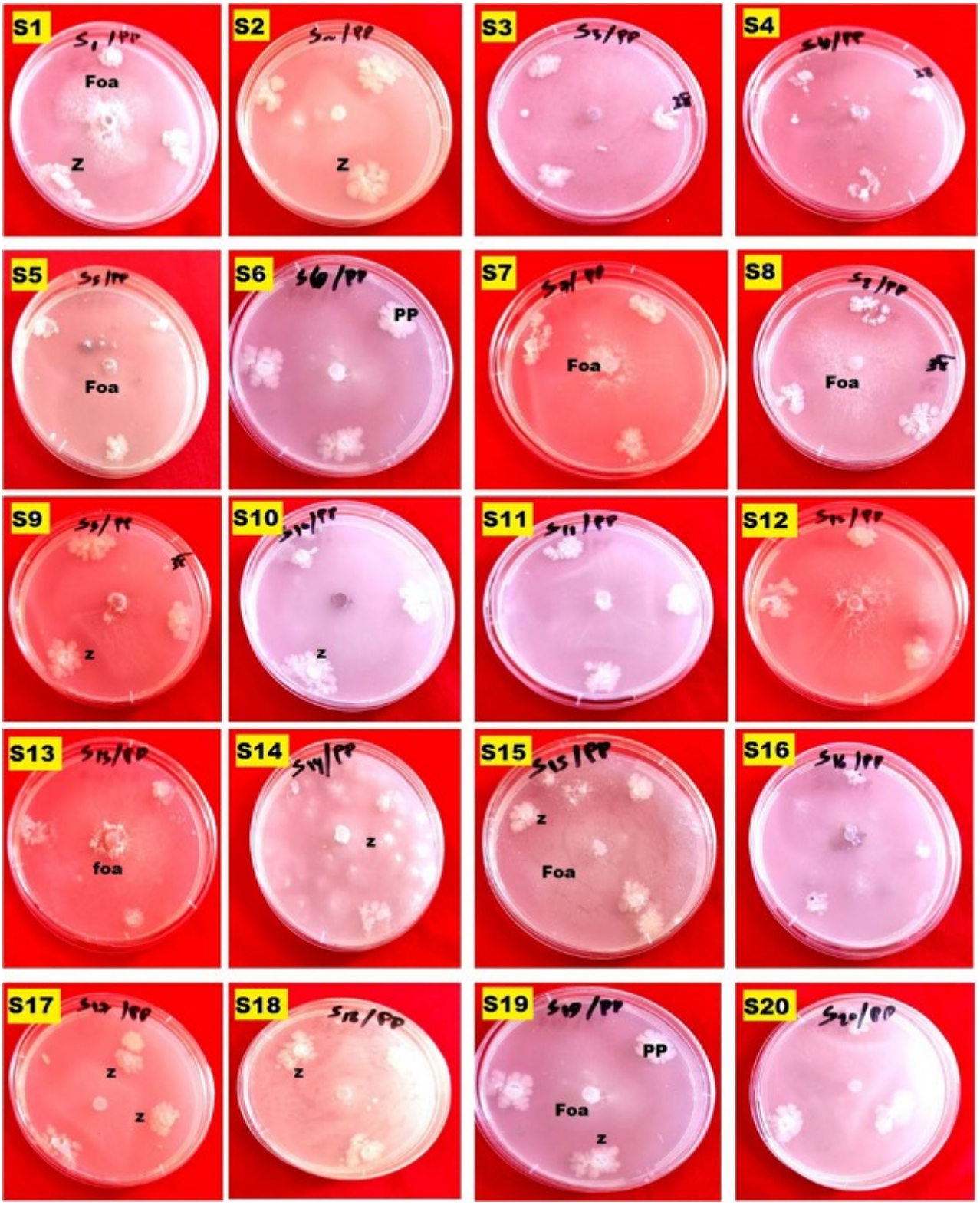


Figure 3: Dual confrontation of Foa colonies with the antagonistic bacterium *P. plecoglossicida* with creation of inhibition zones. Z: Zone of inhibition; PP: *P. plecoglossicida* colonies; Foa: *F. oxysporum* f. sp. *albedinis* colony; S1-S20: Strains of Foa.

pared to the control (between 3.97 and 4.3 mm/d), (Table 02), with an inhibition rate (IR%) varying between 36.2 and 64.2% (Figure 02).

In comparison between the antagonistic effects of these three bacterial species (*B. subtilus, B. amyloliquefasciens* and *P. plecoglossicida*), on the 20 isolates of Foa tested, the rate of mycelial growth inhibition wasgreater and exceeds 50% on the isolates:

B. subtilus: S2, S5, S12, S13 and S14;

B. amyloliquefasciens: S14, S15, S16, S18, S19, and S20;

Foa isolates	Mycelial growth (mm/day)			
	Confrontation Foa+BS	Confrontation Foa+BA	Confrontation Foa+PP	Control
S1	2.86^{c}±0.55	2.46^{c}±0.02	2.5^{b}±0,05	4.1^{d}±0.11
S2	1.81^{a}±0.42	2.17^{ab}±0.32	2.12^{ab}±0.13	4^{d} ±0.08
S3	2.65^{c} ±0.3	2.65^{c} ±0,07	2.47^{b} ±0.38	4.1^{d} ±0.14
S4	2.02^{ab}±0.17	2.51^{c}±0.06	2.55^{b}±0.17	3.97^{cd}±0.05
S5	1.88^{a} ±0.08	2.62^{c} ±0.12	2.43^{b} ±0.07	4.15^{d} ±0.19
S6	2.36^{c} ±0.34	2.76^{c} ±0.33	2.45^{b} ±0.1	4.15^{d} ±0.19
S7	2.26^{c} ±0.22	3^{cd} ±00	2.57^{bc} ±0.14	4.05^{d} ±0.1
S8	2.05^{ab} ±0.34	2.53^{cd} ±0.02	2.55^{bc} ±0.16	4.07^{d} ±0.09
S9	1.76^{a} ±0.13	2.86^{c} ±0.29	2.3^{b} ±0.05	3.95^{cd}±0.1
S10	2.11^{ab} ±0.11	2.75^{c} ±0.2	2.31^{b} ±0.14	3.87^{cd}±0.12
S11	2.33^{c} ±0.38	2.76^{c} ±0.2	2.07^{ab} ±0.22	4.05^{d} ±0.1
S12	1.88^{a} ±0.25	2.22^{ab} ±0.26	2.38^{b} ±0.18	4.07^{d} ±0.15
S13	1.8^{a} ±0.18	2.4^{c} ±0.14	2.46^{c} ±0.1	4.1^{d} ±0.11
S14	1.9^{a}±0.64	1.7^{a}±0.24	1.51^{a}±0.11	4.17^{d} ±0.09
S15	2.41^{c} ±0.64	2.07^{ab} ±0.09	2.16^{ab} ±0.04	4.05^{d} ±0.1
S16	2.33^{c} ±0.49	2.02^{ab} ±0.09	1.96^{a} ±0.11	4.15^{d} ±0.12
S17	2.41^{c} ±0.1	2.32^{c} ±0.2	2.1^{ab} ±0.08	4.02^{d} ±0.05
S18	2.33^{c} ±0.3	1.8^{a} ±0.14	2.03^{ab} ±0.04	4.07^{d} ±0.15
S19	2.47^{c} ±0.3	2.07^{ab} ±0.09	1.81^{a} ±0.13	4.1^{d} ±0.11
S20	2.76^{c} ±0.04	1.82^{a} ±0.2	1.88^{a} ±0.18	4.02^{d} ±0.05
LSD (5%)	138.07*	144.19*	143.22*	C.V.=18,6%
ddl	39			
$P_{0,05}$	0,0001			

Table 2: The *in vitro* antagonist effect of *B. subtilus* on mycelial growth of 20 isolates of *F. oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa). Foa : *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis ;* LSD : Least significant difference at 5% ; Antagonistic bacteria species: BS, *Bacillus subtilus* ; BA, *B. amyloquefasciens*; PP, *P. plecoglossicida*; S1, S2, .. S20 : Foa isolates ; ddl: Degree of liberty; P: Probability at 5%; a, b, c, d: Homogenate groups of observations *Xi*.

P. plecoglossicida: S11, S14, S16, S18, S19 and S20.

While the isolates S1, S3 and S20, showed a very low inhibition rate by effect of *B. subtilus*, S7, S9 and S10, by *B. amyloliquefasciens,* and except the third antagonist bacterium *Pseudomonas plecoglossicida*, while didn't show any low values if we compared with two others bacterial species (Figure 02).

If we make a comparison between the averages values of the inhibition rates (IR%), by the antagonist effect of these three bacterial species: 45% by *B. subtilus* effect, 42.7 by *B. amyloliquefasciens*, and 46.2 by the effect of *P. plecoglossicida*.

Our findings showed that these antagonistic bacteria have a significant effect on the majority of 20 Foa isolates tested by the *in vitro* dual confrontation. The results of this present study show that all 20 Foa isolates were inhibited their mycelial growth by the antagonistic action.

In this study, the inhibition rate (IR%) ofthree antagonistic bacteria species (*B. subtilus, B. amyloliquefasciens* and *P. plecoglossicida*), against 20 Foaisolates when showed IR values varied between 28,05 and 64,2%, with Global IR values were 45% by *Bacillus subtilus* effect, 42,7% by *B. amyloliquefasciens*, and 46,2% by *P. plecoglossicida* effect. These values were reported also by Lahlali and Hijri (2010) on *Rhizoctonia solani* of potato, by El Hassni et al. (2007) on Moroccan Foa isolates, and by Hazarika et al. (2019) on *Helminthosporium oryzae*.

The genus *Bacillus* contains several bacterial species with antifungal antagonist capacity that can be upgraded for use as biofungicides against fungal diseases of plants (Lodewyckxet al., 2002; Pal and McSpadden, 2006).

Liu et al. (2019) reported that the two bacterial

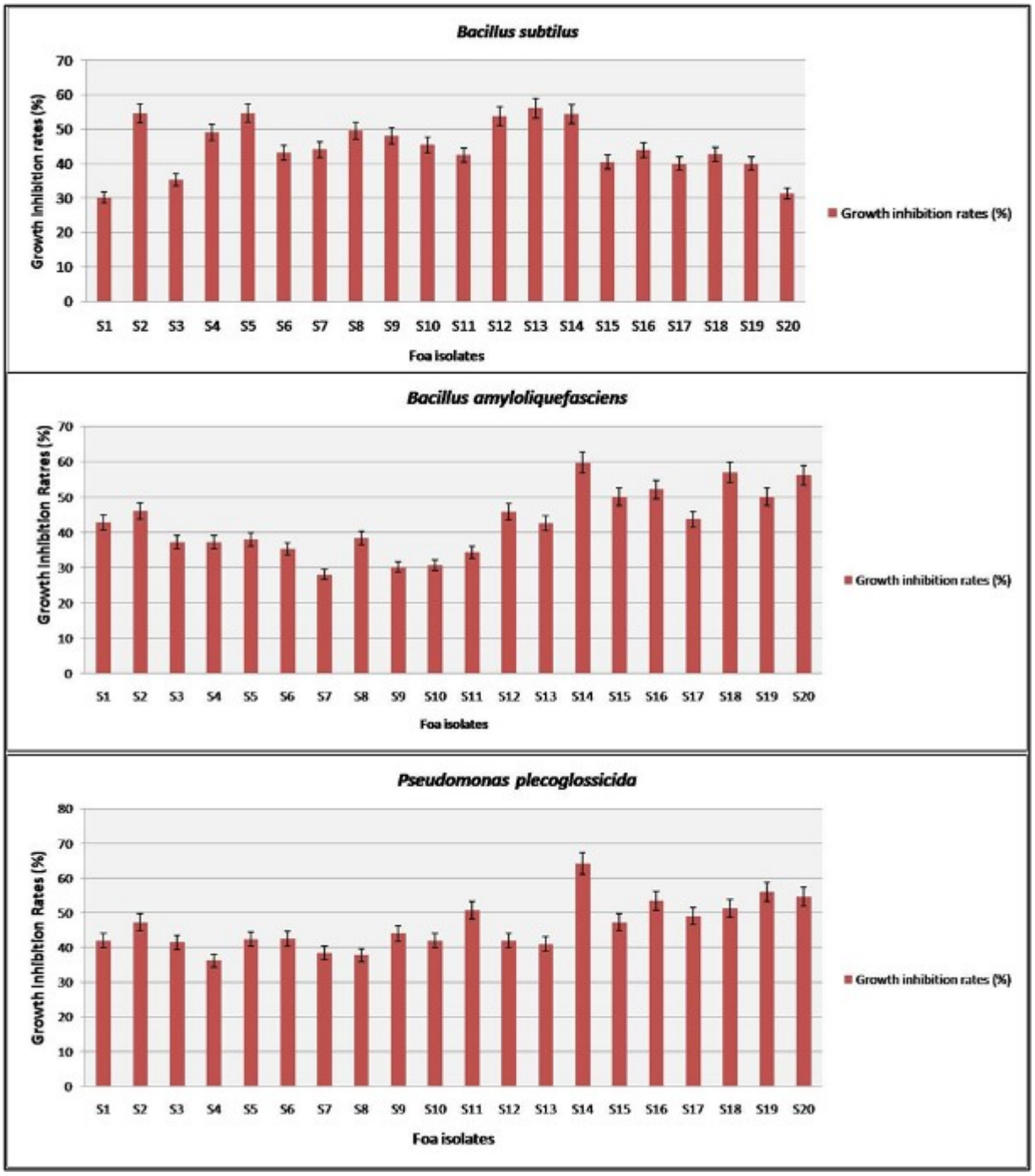


Figure 4: The inhibition rate (%) of mycelial growth (mm/j), of 20 isolates of Foa by effect of three species of antagonistic bacteria.

species, *B. subtilus* and *B. amyloliquefasciens*, have the very important antagonistic capacity against the incidence of soybean mildew (*Glycine max* L.) caused by *Phytophthora sojae*.

Certain bacterial species of the genus *Pseudomonas* also have the antifungal capacity on several fungal diseases such as *Verticillium dahliae* and *V. atro-album*, agents of verticillium wilt of the olive (*Olea europea* L.), *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicilycoperscici*, agent of Fusarium wilt of tomato (*Lycopersicum esculentum* L.), and several bacterial diseases of crops such as: bacterial tuberculosis of olive trees caused by *Pseudomonas savastanoi*pv. *Savastanoi* and bacterial canker caused by *Xanthomonas compestris* on tomato (Bernal et al., 2017).

Antagonistic microbes have the potential to inhibit plant pathogenic microorganisms by different mechanisms in eco-friendly manner. The use of antagonistic bacteria is reported as a powerful strategy to suppress soil-borne pathogens like Bayoud disease due to their ability to colonize the rhi-

zosphere and ability to antagonize the pathogen by multiple modes of action. *Bacillus* spp. is recognized as safe biocontrol agents specifically as seed protecting and antifungal agents (Asaka and Shoda, 1996; Stein, 2005). The biological control is an appropriate alternative especially for the control of soil-borne phytopathogens such as *F. oxysporum* f. sp. *albedinis* (Tlemsani et al., 2019).

4. Conclusion

This study showed that the antagonistic bacterium *B. subtilus* has the ability of inhibiting of mycelia growth of the fungus *F. oxysporum* f. sp. *albedinis*. These results demonstrated the importance to use this kind of microorganisms in the program of biocontrol the date palm against bayoud disease. This new mode of control can reduce the damage caused by this disease with the protection of Environment and human health.

These results are very encouraging to apply it in our palm groves contaminated by Bayoud disease as alternative biofungicides with other means of control.

Acknowledgements

We would like to thank the DGRSDT (Direction Générale de la Recherche Scientifique et du Développement Technologique, Algiers, Algeria), affiliated with the Ministry of High Education and Scientific Research of Algeria, for itsfunding support which facilitated us to realize this work in the Social – Economical project (DGRSDT-003-UDL-SBA-2019).

References

Abdullah SK, Lopez Lorca LV, Jansson HB (2010) Diseases of date palms *(Phoenix dactylifera L.)*. Basrah Journal for Date Palm Researches 09.

Asaka O, Shoda M (1996) Biocontrol of Rhizoctonia solani damping off of tomato with *Bacillus subtilis RB14*. Applied and Environmental Microbiology 62: 4081-4085.

Belaidi H, Toumi-Benali F, Benzohra IE,Boumaaza B (2020) Antifungal activity of plant extract of *Ephedra alata*sub.sp. *alenda*(Stapf) Trab., on mycelial growth of *Fusarium oxysporum*f. sp. *albedi-nis*, the causal agent of Bayoud disease on date palm (*Phoenix dactylifera* L.). South Asian Journal of Experimental Biology 10 (4): 192 -197.

Benabbes R, lahmass I, Souna F, El Youbi M, Saalaoui E, Hakkou A, Bouakka M (2015a) *In vitro* inhibitory effect of the extract powder of Rosemary *(Rosmarinus Officinalis),* Oleander *(Nerium Oleander),* Grenadier *(Punica Granatum)* on the growth of *Fusarium Oxysporumfspalbedinis*and *in vivo* test antagonist fungi on the incidence and the control of vascular wilt disease of date palm in palm grove in Figuig South of Morocco. Advances in Environmental Biology 08:126–132.

Benabbes R, lahmass I, Souna F, Chafi A, El-Youbi M, Saalaoui E, Hakkou A, Bouakka M (2015b) *Confrontation of antagonistic fungi selected from the soil of the Figuig oasis to date palm Fusarium f.sp. albedinis*. Moroccan Journal of Biology 12: 01–8.

Benzohra IE, Megateli M, Elayachi BA, Zekraoui M, Djillali K, Bouafia A, Benouis S, Benaziza A, Rekis A (2017) Integrated management of Bayoud disease on date palm(*Phoenix dactylifera* L.) caused by *Fusarium oxysporum f. sp. albedinis*in Algeria. Journal Algérien des Régions Arides 14: 93-100.

Bernal P, Allsopp LP, Filloux A, Llamas MA (2017) The *Pseudomonas putida* T6SS is a plant warden against phytopathogens. The ISME Journal 11: 972–987.

Gómez-Lama Cabanás C, Legarda G, Ruano-Rosa D, Pizarro-Tobías P, Valverde-Corredor A, Niqui JL, Triviño JC, Roca A and Mercado-Blanco J (2018) Indigenous *Pseudomonas* spp. Strains from the Olive (*Olea europaea* L.) Rhizosphere as Effective Biocontrol Agents against *Verticillium dahliae*: From the Host Roots to the Bacterial Genomes. Frontiers in Microbiolology 9:277. doi: 10.3389/fmicb.2018.00277

Caron J, Laverdière L, Thibodeau and PO, Bélanger RR (2002) Utilisation d'une souche indigène de*Trichodermaharzianum*contre cinq agents pathogènes chez le concombre et la tomate de serre au Québec. Phytopotection83 (2): 73-87.

Djerbi M (1982) Bayoud disease in North Africa: history, distribution, diagnosis and control. Date Palm Journal 01(2): 153-197.

El-Hassni M, El-Hadrami A, Daayf F, Cherif M, Ait Barka E, El-Hadrami I (2007) Biological control of bayoud disease in date palm: Selection of microorganisms inhibiting the causal agent and inducing defense reactions. Environmental and Experimental Botany 59: 224-234.

Hazarika DJ, Goswami G, Gautom T, Parveen A, Das P, Barooah M, Boro RC (2019) Lipopeptide mediated biocontrol activity of endophytic *Bacillus subtilis* against fungal phytopathogens. BMC Microbiology 19(71): 01-13. https://doi.org/10.1186/s12866-019-1440-8

Hibar K,Daami-Remadi M, ElMahdjoub M (2007) Effets de certains fongicides de synthèse et biologiques sur la croissance mycélienne et l'agressivité de *Fusarium oxysporum* f. sp.*radicis-lycopersici.* Tropicultura 25(3): 146-152.

Howell CR (2003) Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: the history and evolution of current concepts. Plant Disease 87: 04–10.

Lahlali R., Hijri M (2010) Screening, identification and evaluation of potential biocontrol fungal endophytes against *Rhizoctonia solani* AG3 on potato plants. FEMS Bicrobiology Letters 311: 152-159. Liu D, Li K, Hu J, Wang W, Liu X, Gao Z (2019). Biocontrol and Action Mechanism of *Bacillus amyloliquefaciens* and *Bacillus subtilis* in Soybean Phytophthora Blight. International Journal of Molecular Sciences 20(12):2908.

Lodewyckx C, Vangronsveld J, Porteous F, Moore ERB, Taghavi S, Mesgeay M, Van Der Lelie D (2002) Endophytic bacteria and their potential applications. Critical Reviews in Plant Sciences 21(6): 583 -606.

Mokrani S, Belabid L, Nabti E (2018) Antifungal activities of *Pseudomonas* strains against indiginous phytopathogenic fungi of *Phaseolus vulgaris* L. isolated from a greenhouse in Western Algeria. Research Journal of Plant Pathology 02(1): 01-06.

Pal KK, McSpadden Gardener B (2006) Biological Control of Plant Pathogens. *The Plant Health Instructor* DOI: 10.1094/PHI-A-2006-1117-02.

Rouag N, Abed H, Moutassim D, Mehmah S, Benabid S (2019) Antifungal activity of isolated *Bacillus* species against chickpea Fusarium wilt. Journal of Crop Protection 08(4): 449-464.

SedraMyH (2005) La maladie du Bayoud du palmier dattier en Afrique du Nord : Diagnostic et caractérisation. Actes du Symposium International sur le Développement Durable des Systèmes Oasiens. Maroc. pp : 26-34.

Sidaoui A, Noureddine K, Anis B, Younes E, Sadika H, Bouchra O, Said B, Mostafa C, Mebrouk K. (2018) Pathogenicity and biological control of Bayoud disease by *Trichoderma longibrachiatum*and *Artemisia herba-alba* essential oil. Journal of Applied Pharmceutical Science 08(04): 161-167.

Stein T (2005). *Bacillus subtilis* antibiotics: Structures, synthesis and specific functions. Molecular Microbiology 56: 845-857.

Tlemsani M, Fortas Z, Dib S, Bellahcen M (2019) Inoculation with*Strptomyces*decreases vascular wilt of chickpea infected by *Fusarium oxysporum*f. sp.*ciceri*. South Asian Journal of Experimental Biology 09(6): 249-254.

South Asian Journal of Experimental Biology

ABOUT THE JOURNAL: SAJEB (eISSN: 2230-9799) is a peer-reviewed, open-access and online journal aimed at advancement and rapid dissemination of scientific knowledge generated by the highly motivated researchers in the field of biological sciences through publication of high-quality original research and critical up-to-date review articles covering all the aspects of biological sciences. Every year, it publishes six issues. SAJEB has received Global Impact Factor (GIF)-2015, 0.765; Index Copernicus Value-2015, 93.0 and NAAS (ICAR)-India 2017 rating, 4.79. SAJEB has been included in the ISI master list of journals of Thomson Reuters under Zoological Record. The SAJEB is also covered by CABI (UK), AGRICOLA, NLM catalogue, CAS (ACS, USA), DOAJ, Journal TOCs (ICBL, Edinburgh), Directory of research Journals Indexing (DRJI) and Indian Science Abstracts (ISA, NISCAIR). SAJEB is a member of CrossRef.

Chapitre 06

Rôle des champignons mycorhiziens dans la résistance du palmier dattier contre le Bayoud

Chapitre 06

Rôle des champignons mycorhiziens dans la résistance du palmier dattier contre le Bayoud

Cette étude met en évidence l'importance et le rôle des champignons mycorhiziens contre *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa), agent de Bayoud. Dans ce test, on a utilisé 20 souches de Foa contre 14 variétés locales du palmier dattier. La mycorhization s'effectue par l'utilisation de l'espèce végétale des Alliacées (anciennement Liliacées), le poirreau (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*), qui joue un rôle d'accumulateur des champignons mycorhiziens au niveau de la rhizosphère des plantules des variétés testées, cette accumulation est capable de les protéger contre les inoculations artificielles par Foa.

Cette mycorhization a été confirmée par l'isolement et l'identification de trois espèces mycorhiziennes '*Glomus constritum, G. intraradices*, et *G. microcarpum*' à partir des sols de la rhizosphère des plantules testées.

Le mycorhize est une association à bénéfice mutuel, entre la plante et les champignons mycorhiziens. Cette association symbiotique favorise la nutrition de ces microorganismes aux dépens de plantes, et ces plantes sont protégées contre les attaques parasitaires et par la diminution de l'evaporation de l'eau (stress hydrique), et le lessivage des éléments nutritifs (Hirissou, 2020). Ces chmpignons sont regroupés dans le groupe des Glomeromycota, qui sont des champignons filamenteux coenocytiques qui colonisent à la fois le sol et les racines en établissant un pont entre la rhizosphère et la plante (Wipf, 2014). Le complexe « plante - mycorhize - environnement » constitue la norme dans la nature. Lors d'une exploitation intensive des sols cultivés via une fertilisation abondante et des traitements pesticides, production et protection végétales deviennent tributaires d'intrants chimiques et davantage susceptibles aux différents stress (Fortin, 2022).

Les potentialités des Mycorhizes comme des agents de lutte biologique ont été répertoriées chez des dizaines d'éspèces cultivées en association avec plusieurs Glomeromycètes pour des affections d'origine principalement fongique et bactérienne (Dalpé, 2005). Plusieurs mécanismes d'action émergent de ces investigations, au niveau de la plante, du parasite et de la microflore du sol (Dalpé, 2005).

Dans ce contexte, l'objectif de cette partie du travail, consiste à isoler et identufier des mycorhizes à partir du sol, où les plantules sont instalées (poireau), et à évaluer leur potentiel protecteur contre le Bayoud, en vue d'une valorisation éventuelle de leurs ressources microbiennes comme un autre moyen de lutte biologique.

6.1. Matériels et Méthodes

6.1.1. Variétés du palmier dattier

Les 14 variétés du palmier dattier issues du semis direct dans des pots, représente notre sujet d'étude. Les plantules prêtes à inoculer du stade 2-4 feuilles, ont besoin d'un temps de 02-03 mois pour arriver à ce stade (Tableau 08 ; Chapitre 02).

6.1.2. Les plantules de poireau *(Allium porrum L.)*

Cette variété de poireau utilisée pour la mycorhisation, est une variété standard commercialisée par la firme 'OASIS', Algérie.

6.1.3. Souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*

Les 20 souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa), ont été utilisées dans cette étude originaires des régions différentes dans le sud ouest algérien, fournies par CRSTRA, Ces souches sont mentionnées dans le Tableau 09 (Chapitre 02).

6.1.4. Conservation et multiplication des souches

La multiplication de l'inoculum est effectuée dans des boites de petri contenant le milieu PDA (Potato Dextrose Agar), autoclavé pendant 25 min sous pression de 1 bar et une temperature de 121°C., le coulage du milieu liquide à raison de 15 ml pour chaque boite. La conservation des souches de Foa se fait à une température de 22 ± 2 °C, et l'incubation du champignon se déroule jusqu'à 14 jours (Hibar et *al*. 2007).

6.1.5. Test d'inoculation des plantules par le Foa

Il est à signaler que le meme protocole expérimental, relatif à la germination des 14 variétés et leur inoculation par le Foa, porté dans les chapitres précédents a été adopté aussi dans ce chapitre de mycorhisation.

En parallèle, on fait le semis des graines de poirreau dans des pots contenant la tourbe.

Au bout de 15 jours, on a obtenu des plantules de poireau.

- On enlève les graines germées du palmier dattier de différentes variétés pour les semer dans des pots contenant la tourbe stérile, suivis par l'addition des racines des jeunes plantules de poirreau au voisinage de la plantule du palmier dattier pour accumuler les mycorhizes au niveau de la rhizosphère.
- On irrigue chaque 48 heures jusqu'à où les plantules arrivent au stade 2-4 feuilles (Figure 57).

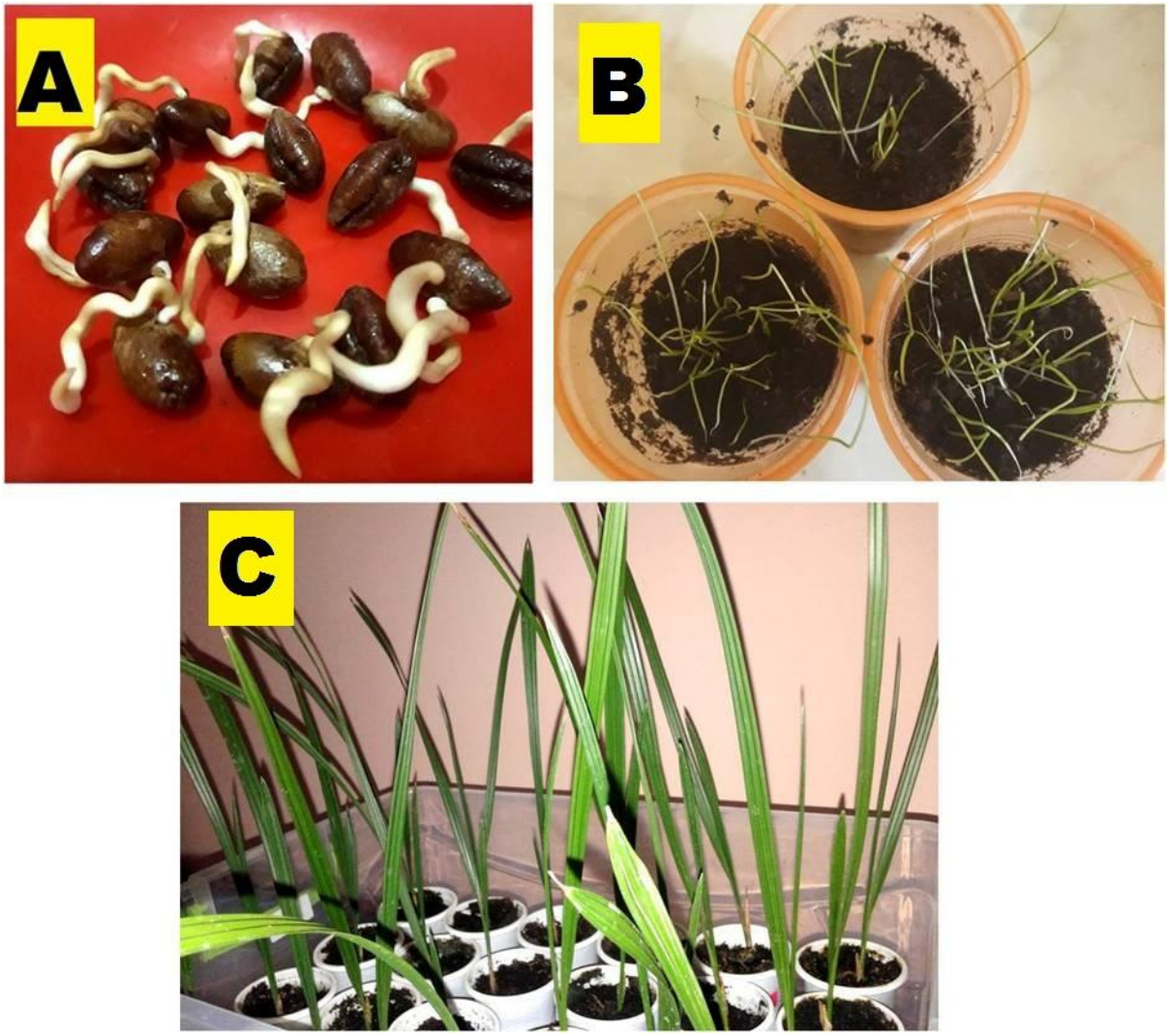


Figure 57: Plantules du palmier dattier après leur prégermination. **A** : Germination des graines ; **B** : Plantules du poireau **C** : Plantules pretes pour les inoculer après 2-3 mois de plantation (stade 2-4 feuilles), et entourrées par les racines du poirreau. (Source : BELAIDI, 2022).

Préparation de l'inoculum :

La culture des souches de Foa sont inondées avec de l'eau distillée stérile puis grattées avec une spatule de verre stérile. La suspension de spores obtenue est ajustée à 5×10^3 spores/ml à l'aide d'une cellule de Malassez (Sedra, 2005a). Tous les isolats utilisés dans cette étude proviennent d'une culture monospore.

Test d'inoculation:

Ce test consiste à arroser les plantules du palmier dattier au stade 2-4 feuilles, cultivées dans des petits pots de 07 cm × 10 cm, avec une suspension de 5×10^3 conidies/ml (Sedra, 2005a). Le dispositif expérimental choisi est en blocs, avec 4 répétitions pour chaque plante des variétés du palmier dattiet mycorhisée, à inoculer par le Foa, pour les traités, et plante sans mycorhisation inoculée avec le Foa, pour le témoin (Sedra, 2005a,b).

Pour évaluer la réaction des plantules des variétés du palmier dattier à tester, on calcule du taux de mortalité (TM%), (Silva *et al.*, 2013). Ce taux est calculé par la formule suivante :

$$\mathrm{TM}(\%) = \frac{\text{Nombre de plantes mortes}}{\text{Nombre total de plantes testées}} \times 100$$

Par cette formule, on peut déterminer les variétés sensibles et résistantes selon Silva *et al.*, (2013), comme suivant :

- ✓ **R** : Variété Résistante (0%) ;
- ✓ **T** : Variété Tolérante (1-15%) ;
- ✓ **S** : Variété Sensible (16-50) ;
- ✓ **TS** : Variété Très Sensible (51-100%).

6.1.6. Isolement des champignons mycorhiziens à partir des sols de rhizosphère des palantules inoculées

Des échantillons des sols, ont été prélevés à partir des trois zones (répétitions) au voisinage des racines des plantules des variétés du palmier dattier mycorhizées inoculées par les souches de Foa (Figure 58), dans l'ojectif d'isoler les champignons mycorhizes à partir de ces dite échantillons (Figure 59).

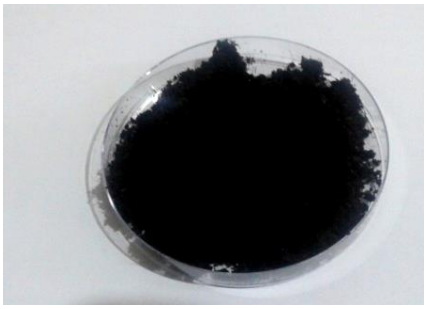


Figure 58: Sol prélevé de la rhizosphère du palmier dattier. (Source : BELAIDI, 2022).

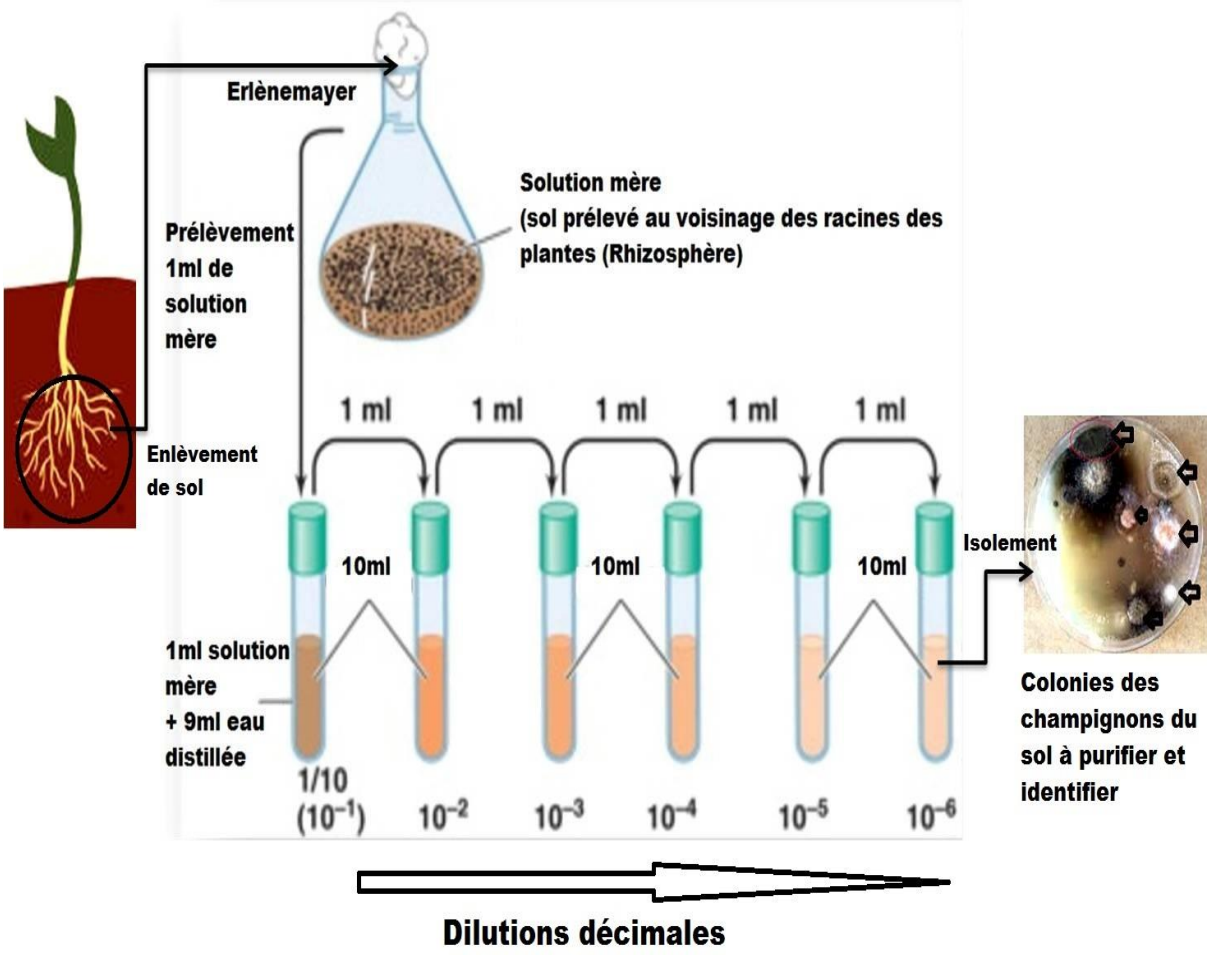


Figure 59: Protocole expérimental pour isoler les champignons mycorhiziens à partir des sols de rhizosphère des plantules du palmier dattier testées (Aziz et Zainol, 2018).

6.1.6.1. Purification et identifications des souches fongiques

Après 6-7 jours d'incubation, on purifie des cultures de souches fongiques. Après la purification, on passe directement à l'identification morphologique des champignons mycorhiziens qui appartiennent à la classe des Zygomycètes et la famille des Glomerellaceae. Cette identification s'effectue à l'aide de microscope optique avec les grossissements (x10, x40, et x100), (Aziz et Zainol, 2018).

Plusieurs critères morphologiques sont cités dans la clé d'identifcation de ces champignons et qu'il faut les utiliser pour déterminer les espèces mycorhiziennes comme la forme, la couleur, et la taille des spores (Figure 60 ; Tableau 18).

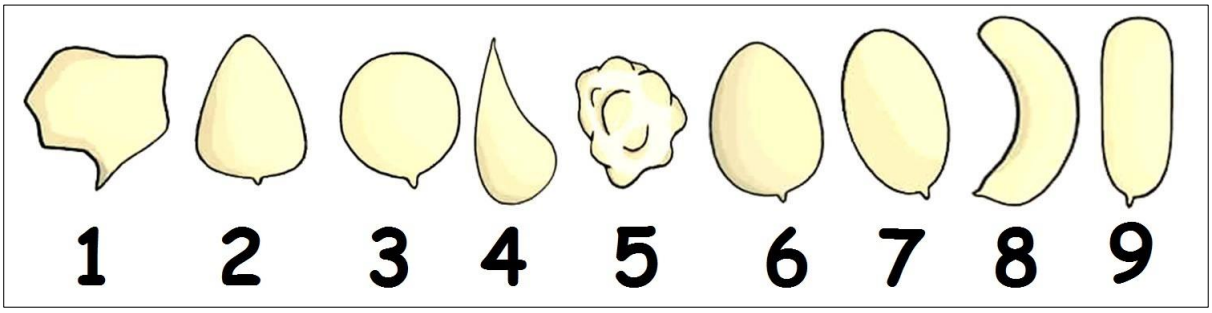


Figure 60 : Critère de morphologie pour identifier les espèces mycorhiziennes en se basant sur la forme des spores. 1 : Anguleuse ; 2 : Amygdalyforme ; 3 : Globuleuse ; 4 : Larmiforme ; 5 : Noduleuse ; 6 : Ovoide ; 7 : Ellipsoide ; 8 : Arquée ; 9 : Cylindrique. (Champyves, 2022).

Tableau 18: Clés d'identification des espèces de champignons mycorhiziens en sebasant sur les critères morphologique (Chandrima et Vipin, 2018 ; Champyves, 2022).

Isolat fongique à identifier		**Espèce fongique (Mycorhize)**	**Tailles de spores (µm)**	**Forme de spores**	**Couleur de spores**	**Nbre de couches lames qui couvrent la spore**	**Hyphes**
		Glomus aggregatum	(70-100) x (100-160)	Subglobleuses irrégulières	Jaune à brun	3 lames	Absents
		Glomus arenarium	(65-80) x (95-140)	Ovoides	Brun	3 lames	Présents
		Glomus aureum	(55-60) x (45-52)	Globuleuses	Orange	2 lames	Présents
		Glomus clarum	(90-100) x (140-180)	Globuleuses	Jaune pâle transparent	3 lames	Présents
Isolat 01	>>>>>>>>>>	*Glomus constrictum*	(110-130) x (150-160)	Globuleuses	Brun foncé à noir	2 lames	Présents
		Glomus corymbiform	(110-125) x (180-200)	Globuleuses sur branches	Jaune grisâtre	3 lames	Présents
		Glomus deserticola	(70-80) x (85-100)	Ovoides en fome de poire	Jaune pâle	2 lames	Présents
		Glomus etunicatum	(110-160) x (140-180)	Globuleuses	Jaune	2 lames	Présents
Isolat 02	>>>>>>>>>>	*Glomus intraradices*	(46-90) x (62-120)	Globuleuses à Ovoides	Jaune grisâtre	3 lames	Présents
		Glomus lamellosum	(80-110) x (120-160)	Ovoides	Jaune pâle	3 lames	Présents
		Glomus macrocarpum	(100-110) x (115-130)	Globuleuses	Jaune à Orange	2 lames	Présents
Isolat 03	>>>>>>>>>>	*Glomus microcarpum*	(22-27) x (35-55)	Globuleuses à Ovoides	Jaune dorée	2 lames	Absents
		Glomus rubiforme	(35-45) x (50-70)	Ovoides	Jaune transparent	2 lames	Présents

L'observation microscopique, nous permet d'avoir la taille des spores, qui se fait grâce à un micrométre, sous forme d'une lame milimétrique (Figure 61)

L'étalonnage de tailles de spores s'effectue avec les trois grossissements selon la taille des spores (Figure 61).

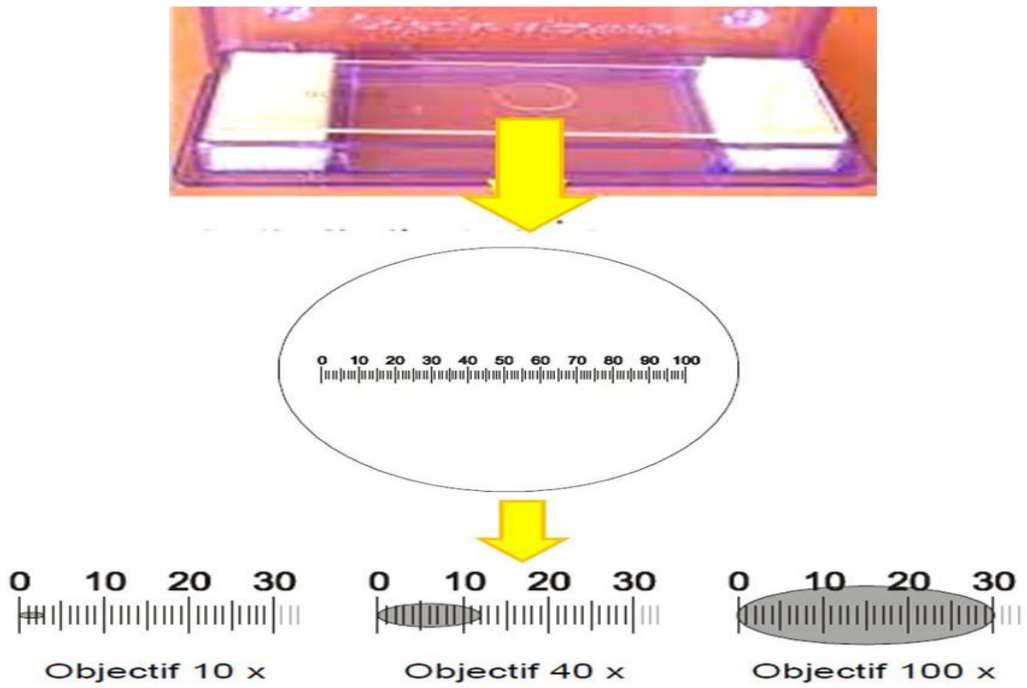


Figure 61: Lame millimétrique pour mesuer la taille des spores champignons mycorhiziens (Aziz et Zainol, 2018).

6.1.7. Analyse statistique

L'analyse a été faite à l'aide du logiciel XLStat 2021.04, (AddinSoft, Etats-Unis). L'étude de la signification est effectuée avec le test de Kruskal-Wallis à 5% ($P<0.05$). Le facteur étudié est la mycorhization, l'observation est la réaction des plantules vis-à-vis des souches de Foa et l'unité expérimentale est la moyenne du taux de mortalité des plantes inoculées par le Bayoud.

6.2. Résultats

L'analyse statistique des résultats a montré un effet significatif ($P<0.05$), (Tableau 18).Une différence importante a été observée sur la réaction des plantules de 14 variétés inoculées par les 20 souches de Foa en présence ou absence (Témoin) des mycorhizes (Figure 60).

Cette différence a été traduite par les valeurs du taux de mortalité des plantules du palmier dattier (TM%). Ce taux varie entre 0 et 100% pour le témoin (absence des mycorhizes), et seulement entre 0 et 25% sous l'effet des mycorhizes (Tableau 19). Ces valeurs ont confirmé la réduction de la sensibilité et l'agressivité de la maladie de Bayoud sur les variétés sensibles

et tolérantes (Tableau 19). Cette réduction se manifeste par l'absence ou limitation des symptômes de Bayoud sur les plantules inoculées (Figures 62 et 63).

Tableau 19: Effet des champignons mycorhiziens sur l'incidence et l'agressivité de Bayoud sur les plantules de 14 variétés de palmier dattier.

Cultivars du palmier dattier	**Mycorhization**			
	Taux de mortalité (%)		**Réaction**	
	Témoin	**Mycorhizé**	**Témoin**	**Mycorhizé**
Feggous	12,5	0	T	R
Figuig	68,7	25	TS	S
Toudent	43,75	0	S	R
Azarza	43,75	0	S	R
Tamdjouhert	0	0	R	R
Adem Bulla	0	0	R	R
Degla Beida	0	0	R	R
Deglet Nour	68,75	0	TS	R
H'mira	25	0	S	R
Mech Degla	0	0	R	R
Hartan	25	0	S	R
Taquerboucht	0	0	R	R
Sbaa Soltan	100	25	TS	S
Tanboucht	43,75	0	S	R
TM% global	**Moyenne de TM% Témoin : 27,67 %**	**Moyenne de TM% Traité : 4,64 %**	**ddl : 111 ; Probablité (5%) : 0,0001 ; C.V. (%) = 18,5%**	
F claculé: 142,2*				

Foa : *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis ;* **F :** F calculé ou critique ; **S1, S2, .. S20 :** Isolats de Foa ; **ddl:** Degré de liberté; P: Probabilité à 5%; **C.V. :** Coefficient de variation ; **A, b, c, d:** Groupes homogènes. R : Variété Résistante (0%) ; T : Variété Tolérante (1-15%) ; S : Variété Sensible (16-50) ; TS : Variété Très Sensible (51-100%), (Silva *et al*., 2013).

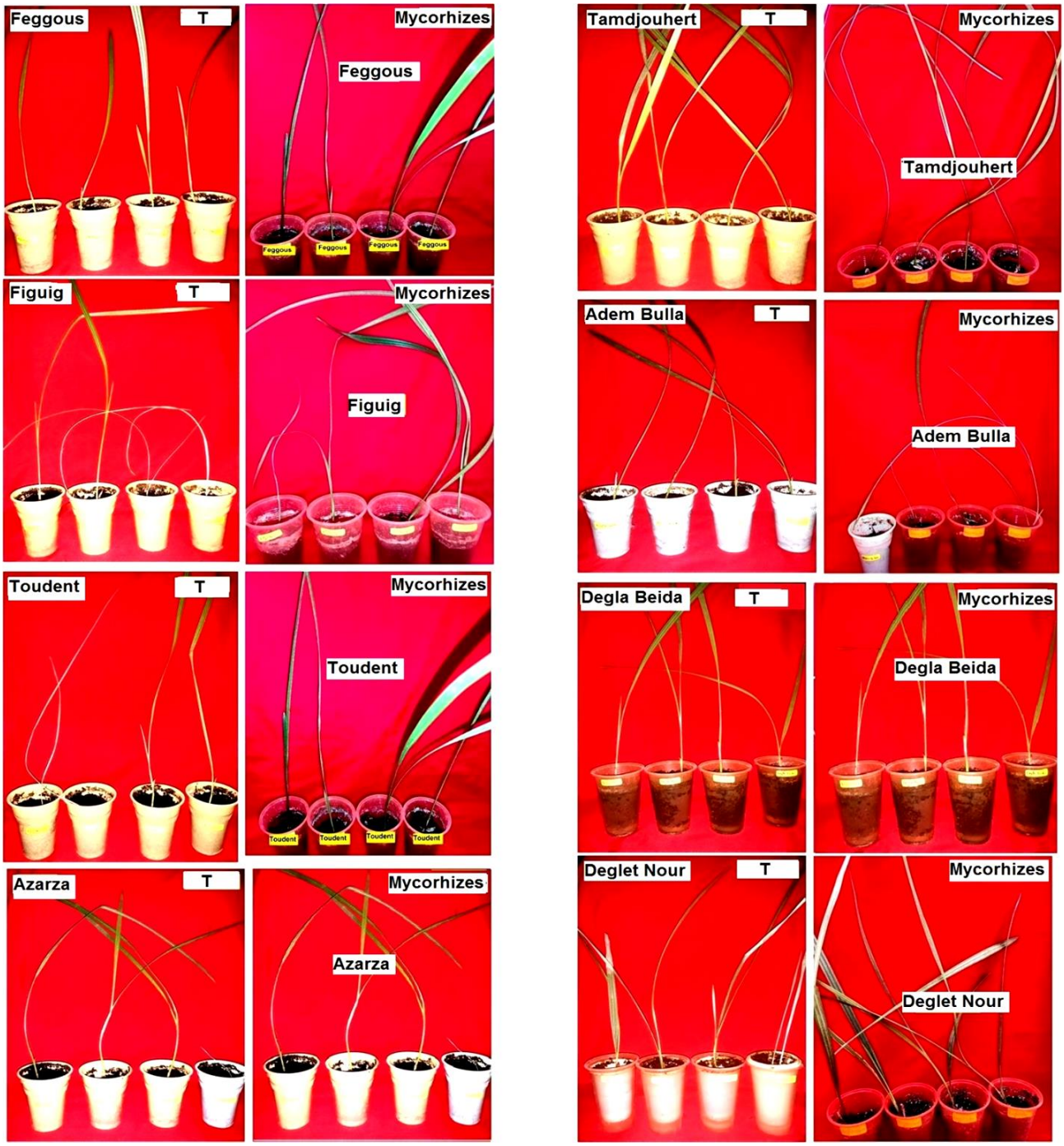


Figure 62: Effet de mycorhization sur l'incidence et l'agressivité de Bayoud sur les plantules inoculées (huit (8) variétés) du palmier dattier. (Source : BELAIDI, 2022).

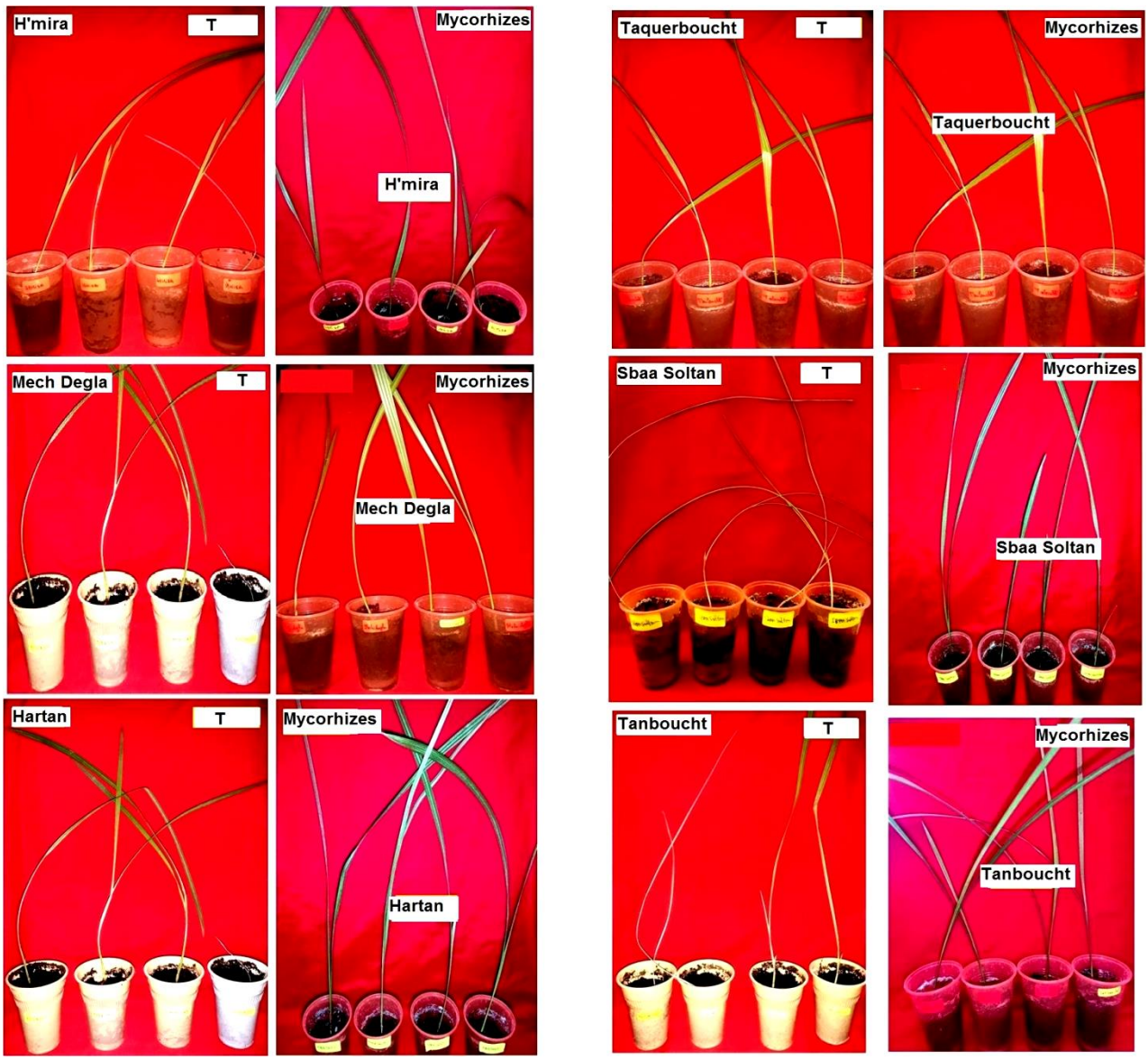


Figure 63: Effet de mycorhization sur l'incidence et l'agressivité de Bayoud sur les plantules inoculées (six (6) variétés) du palmier dattier. (Source : BELAIDI, 2022).

La mycorhization a présenté un effet très remarquables sur les variétés testées soit sur le développement racinaire (Figure 64), où le taux de mortalité a été réduit jusqu'à 0% chez sept (7) variétés connues par leur sensibilité (Feggous, Toudent, Azarza, Deglet Nour, Hmira, Hartan, et Tanboucht).

Généralement cette mycorhization a pu réduire l'incidence et l'agressivité de Bayoud chez neuf (9) variétés testées (Feggous, Figuig, Toudent, Azarza, Deglet Nour, Hmira, Hartan, Sbaa Soltan, et Tanboucht), où globalement il y a eu douz (12) variétés qui montrent l'absence totale des symptômes (Feggous, Figuig, Toudent, Azarza, Tamdjouhert, Adem Bulla, Degla Beida, Deglet Nour, Hmira, Hartan, Sbaa Soltan, et Tanboucht).

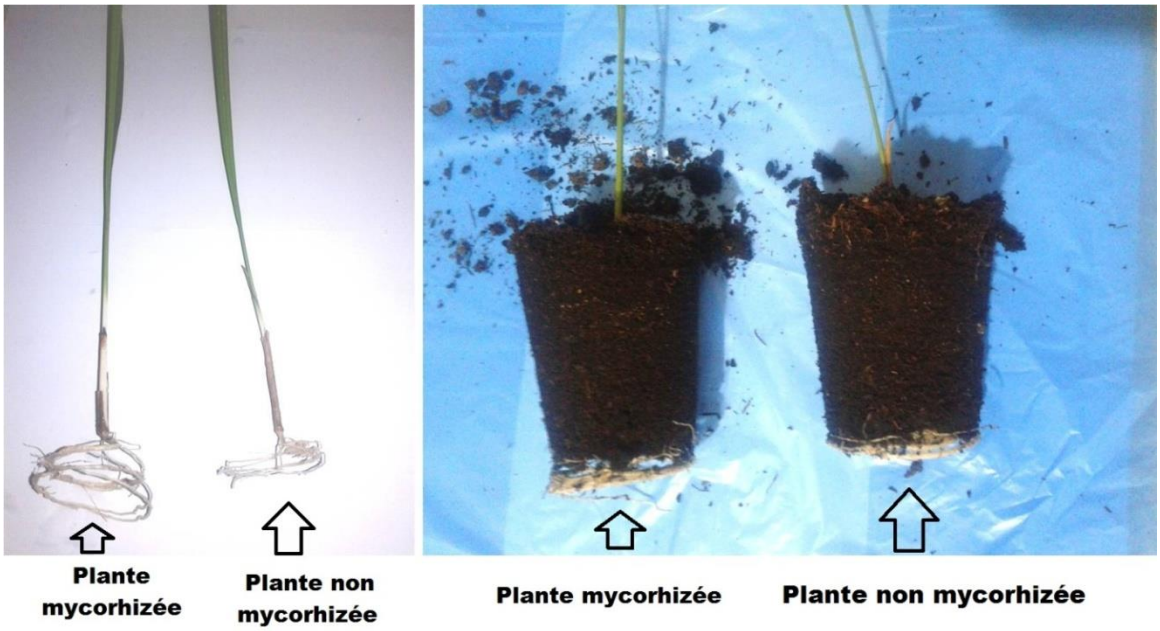


Figure 64: Effet de mycorhization sur le développment racinaire des plantules du palmier dattier testées. (Source : BELAIDI, 2022).

Cette mycorhization a été confirmé par l'isolement et l'identification des souches fongiques responsables. D'après les résultats obtenus, on a pu identifier trois espèces mycorhiziennes distinctes : '*Glomus constritum*, *G. intraradices*, et *G. microcarpum*' à partir des sols de la rhizosphère des plantules testées (Tableau 18 ; Figure 65).

La taxonomie de ces trois espèces fongiques est comme suit :

Classe des Zygomycètes ;

Ordre : Glomerellales ;

Famille : Glomerellaceae ;

Genre : Glomus ;

Espèces : '*Glomus constritum*, *Glomus intraradices*, et *Glomus microcarpum*' (Ibg, 2021).

L'isolement et l'identification des ces espèces mycorhiziennes a confirmé l'efficacité du poirreau comme un capteur ou accumulateur des mycorhizes au niveau de la rhizosphère (Oihabi et Meddich, 1996)

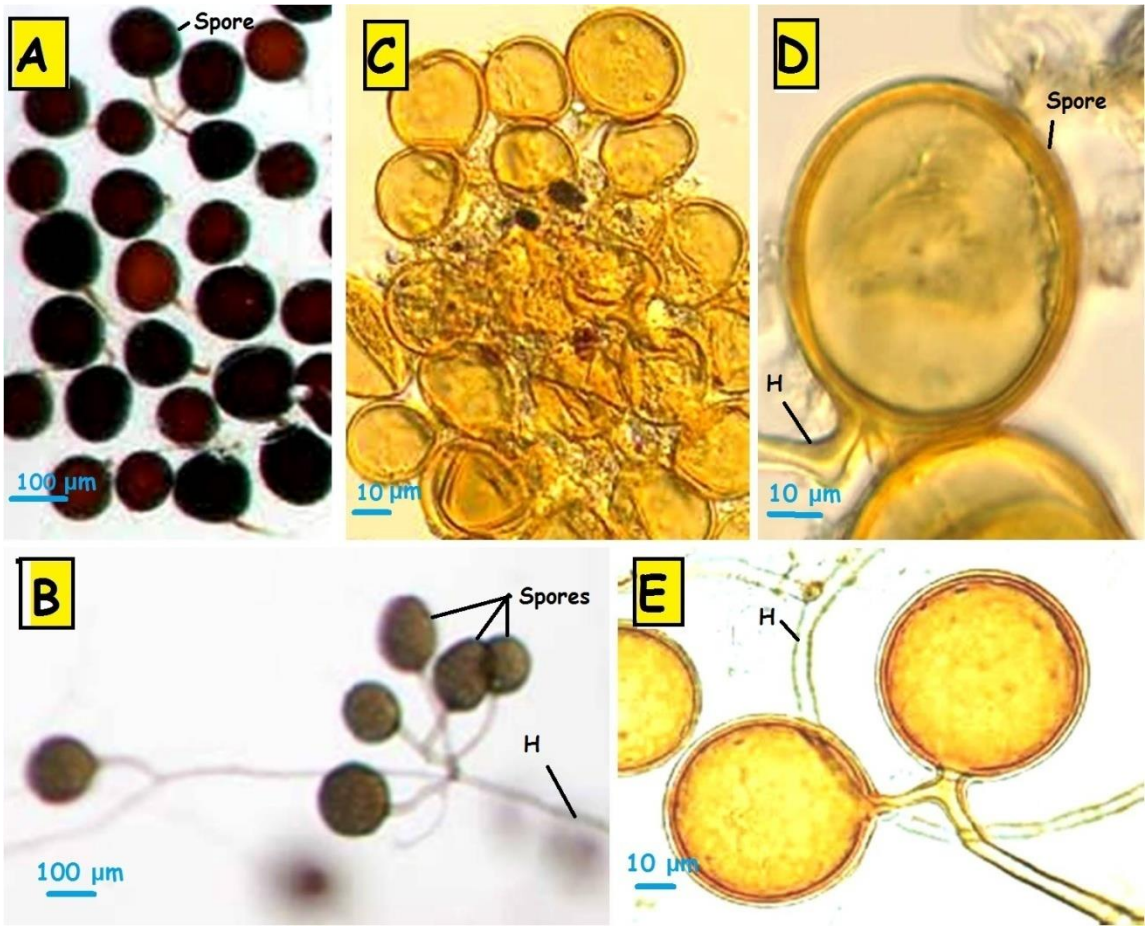


Figure 65: Observation microscopique des espèces mycorhiziennes isolées à partier de la rhizosphère du palmier dattier. **A, B** : *Glomus constrictum* ; **C**: *G. microcarpum* ; **D, E**: *G. intraradices* ; **H** : Hyphe. (Source : BELAIDI, 2022).

6.3. Discussion

De nombreux travaux de recherches ont révélé l'importance des mycorhizes comme un autre moyen de lutte biologique contre les maladies parasitaires des végétaux (Demir et Akkupro, 2007 ; Al-Karaki, 2013 ; Singh *et al*., 2013 ; Karaaslan *et al*., 2015 ; Rivaton, 2016 ; Bouabdelli *et al*., 2018). Généralement les maladies telluriques qui ont présenté la capacité de contrôle biologique des mycorhizes sont: fusarioses des céréales (*Fusarium moniliforme*), rhizoctone noire de pomme de terre (*Rhizoctonia solani*), fonte de semis (*Phytophthora* sp., et *Pythium ultimum*), chancre bactérien de tomate (*Pseudomonas syringae* pv. *syringae*), et pourriture bactérienne de pomme de terre (*Pectobcaterium carotovorum* subsp. *carotovorum*), (Souna *et al*., 2010).

Dans notre essai nous avons étudié le contrôle biologique contre le Bayoud du palmier dattier en utilisant la méthode de mycorhization par l'installation de poirreau au tour des plantules des variétés du palmier dattier inoculées par les 20 souches de Foa.

Nos résultats obtenus ont montré une réduction remarquable de l'incidence et de l'agressivité de Bayoud sur 09 variétés testées (Feggous, Figuig, Toudent, Azarza, Deglet Nour, Hmira, Hartan, Sbaa Soltan, et Tanboucht), avec un taux de mortalité très faible et varie entre 0 et 25% seulement.

La capacité d'accumulation des mycorhizes par l'installation du poirreau (*Allium porrum* L.), a été signalée par plusieurs auteurs comme Destinoble (2017a,b), et Le Lan (2015). D'autres auteurs ont élargi cette importance sur d'autres espèces végétales par lesquelles on peut créer la mycorhization par l'intermédiaire des plantes appartiennent à deux familles botaniques, Alliaceae (Oignon, Ail, Poireau …) et Poaceae (Sorgho, Millet, …), (Shultz, 2001 ; Sedra, 2013). La mycorhization a été prouvée dans notre essai en utilisant le poirreau (*Allium porrum* L. ; Famille : des Alliaceae).

L'efficacité de ces mycorhizes pour réduire ou protéger les cultures contre les bioagresseurs a été rapportée par Akhtar et Siddiqui (2007) contre la pourriture racinaire du pois chiche (*Cicer arietinum* L.), causée par *Macrophomina phaseolina*, avec une réduction de taux de mortalité jusqu'à 50% par rapport au témoin. Ce taux de mortalité n'a pas depassé 17% sous l'effet des mycorhizes contre la pourriture racinaire du pois (*Pisum sativum* L.), causée par *Aphanomyces euteiches* (Bodker *et al*., 1998), le flétrissement vasculaire de tomate (*Lycopersicum esculentum* L.), causée par *Fusarium oxysporum* f. sp. *radici-lycopersici* (Akkopru et Demir, 2005).

D'après les résultats obtenus, cette mycorhization a été confirmé par l'isolement et l'identification des souches, où on a pu identifier trois espèces mycorhiziennes distinctes qui appartiennent à la famille des Glomerellaceae: '*Glomus constritum*, *G. intraradices*, et *G. microcarpum*' à partir des sols de la rhizosphère des plantules testées (Tableau 03 ; Figure 08). L'importance de cette famille qui regroupe la majorité des espèces mycorhiziennes du genre '*Glomus*' a été signaléé aussi par Douds Jr. et Millner (1999), Al-Karaki (2013) ; Walker *et al.* (2018), et Błaszkowski *et al*. (2021).

Pour le Bayoud du palmier dattier, on a remarqué une rareté des travaux publiés sur le sujet des mycorhizes. Parmi ces études, il y a les travaux de Souna *et al.* (2010), où ils signalent que l'espèce mycorhizienne isolée *Glomus intraradices* a pu réduire le taux de mortalité de 100 à 55,5% sur les variétés sensibles du palmier dattier inoculées par le Foa. En Jordanie, Al-Karaki (2013) a conclu pour dire que la présence des mycorhizes au niveau de la rhizosphère des pieds du palmier dattier peut réduire l'evapotranspiration pendant les périodes estivales, inhiber les attaques parasitaires et améliorer le système racinaire.

En conclusion cette étude a porté le sujet de la valorisation des mycorhizes comme un autre moyen de lutte biologique contre le Bayoud du palmier dattier (*Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa)). Cette valorisation a été confirmée par les résultats obtenus qui montrent la réduction de l'incidence et d'agressivité de Bayoud sur les 14 variétés locales, où on a enrégisté un taux de mortalité très faible variant entre 0 et 25%.

Cette réduction a pu protéger 9 variétés inoculées par le Foa. Ces variétés sont : Feggous, Figuig, Toudent, Azarza, Deglet Nour, Hmira, Hartan, Sbaa Soltan, et Tanboucht.

Ces résultats suggèrent que ces champignons mycorhiziens peuvent servir et fournir aux agriculteurs comme un outil alternatif ou suplémentaire pour protéger ses palmiers au Bayoud, surtout où la maladie a été déjà installée.

Chapitre 07

Activité antifongique de l'extrait éthanolique de Alanda (*Ephedra alata* subsp. *alenda* Stapf. (Trab.)), et de l'Ortie brûlante (*Urtica urens* L.) sur la croissance mycélienne de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*

Chapitre 07

Activité antifongique de l'extrait éthanolique de Alanda (*Ephedra alata* subsp. *alenda* Stapf. (Trab.)), et de l'Ortie brûlante (*Urtica urens* L.) sur la croissance mycélienne de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*

Dans cette partie, la recherche d'autres moyens de lutte contre cette maladie, comme plante pesticide. Dans ce travail, on a le but pour évaluer la capacité antifongique de deux espèces végétales 'Alanda' (*Ephedra alata* subsp. *alenda*), et 'Ortie brulante' (*Urtica urens* L.), sur la croissance mycélienne de 20 souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, originaires du sud ouest algérien.

7.1. Matériels et Méthodes

7.1.1. Matériel Végétal

Deux espèces végétales différentes ont été utilisées dans ce test. La première espèce est *Ephedra alata* subsp. *alenda* (Stapf.) Trab., qui a été collectée dans son habitat naturel, dont les zones de récolte ont été choisies du fait de leur richesse en espèces étudiées. Nous avons choisi la commune de Taghit (95 km au sud-est de la wilaya de Béchar ; (coordonnées terrestres : 30°54′22.4 ″N, 2°01′ 13.7 ″W). Le matériel végétal utilisé correspond à la partie aérienne composée des rameaux et des feuilles de l'espèce *Ephedra alata* subsp. *alenda* (Figure 66). La deuxième est l'Ortie brûlante (*Urtica urens* L.) collectée à partir des bordures des routes au niveau de la commune de Sidi Lahcene w. Sidi Bel Abbès ; (coordonnées terrestres : 35°10′05.13 ″N, 0°41′ 55.84 ″W), durant le mois de Juin 2021 (Figure 67).

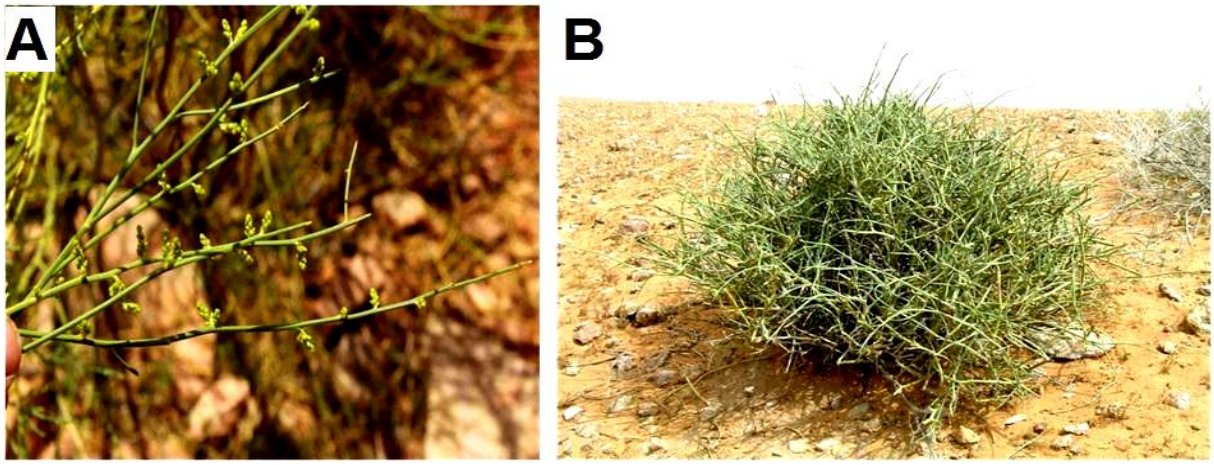


Figure 66: Plante d'Alanda *'Ephedra alata* subsp. *alenda* (Stapf.) Trab.*'* (Région : Taghit, w. Béchar). **A** : Fruits ; **B** : Vue générale. (Source : BELAIDI, 2021).



Figure 67: Plante d'Ortie *'Urtica urens* L.*'* (Région : Sidi Lahcene, w. Sidi Bel Abbès). (Source : BELAIDI, 2021).

7.1.2. Matériel fongique

Les 20 souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa), ont été utilisées dans cette étude originaires des régions différentes dans le sud ouest algérien, fournées par CRSTRA (Station Expérimentale du Milieu Biophysique de Naama du Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides, Biskra), (Tableau 09 ; Chapitre 02).

7.1.3. Milieu de culture

Le milieu de culture PDA (Potato Dextrose Agar), est le milieu usuel de culture pour la plupart des champignons (Oei, 2005). Sa composition pour un litre est la suivante: 200 g de pomme de terre, 20 g de Glucose, 20 g de Agar Agar et pH= 5,0 à 5,7.

Stériliser toutes ces compositions à l'autoclave à 121 °C pendant 15 mn à une pression de 1,2 bar, puis laisser refroidi jusqu'à 55 °C pour éviter la condensation de vapeur; Distribuer dans des boîtes de pétri stériles, de 9 cm de diamètre, à raison de 15 ml par boîte (Oei, 2005).

7.1.4. Purification et conservation des souches

Les isolats sont conservé dans des boites de Pétri contenant le milieu de culture PDA (Potato Dextrose Agar), (Hibar et *al.*, 2007). Ces isolats sont maintenus dans le milieu dans une étuve à une température de 20±2 °C (Hibar et *al.*, 2007).

7.1.5. Préparation des extraits bruts

Nous avons choisi la préparation des extraits bruts éthanoliques pour les deux espèces végétales utilisées, pour évaluer l'activité antifongique des souches de Foa.

A. ***L'espèce Alanda :*** Pour cette espèce nous avons utilisé la méthode d'extraction de Soxhlet, qui est une méthode simple et convenable permettant de répéter infiniment le cycle d'extraction avec du solvant organique jusqu'à l'épuisement complet du soluté dans la matière première (Figure 68), et cela pendant 3 heures, en utilisant 50g de matériel végétal dans 500mL de l'Ethanol 95% (dilué à 80%), qui est considéré comme solvant d'extraction (Redfern *et al.*, 2014).

Dans le montage, l'extracteur est placé sur un ballon contenant le solvant d'extraction (500 ml). Le ballon est chauffé afin de pouvoir faire bouillir son contenu. La cartouche contenant le matériel végétal à extraire (50g) est insérée dans l'extracteur, au dessus duquel est placé un réfrigérant servant à liquéfier les vapeurs du solvant (Figure 68, C). Le ballon étant chauffé, le liquide est amené à l'ébullition, les vapeurs du solvant passent par le tube de distillation et rentrent dans le réfrigérant pour être liquéfier. Ensuite, le condensat retombe dans le corps de l'extracteur sur la cartouche, faisant ainsi macérer le solide dans le solvant.

Le solvant condensé s'accumule dans l'extracteur jusqu'au niveau du sommet du tube-siphon, suivi par le retour dans le ballon du liquide de l'extracteur accompagné

de substances extraites. Ainsi le solvant dans le ballon s'enrichit progressivement en composants solubles. L'extraction continue jusqu'à épuisement de la matière solide chargée dans la cartouche. La séparation du solvant de l'extrait est faite à l'aide d'un appareil appelé Rotavapor (Figure 68, D), (Mahmoudi *et al*., 2012).

Dans cet appareil on réalise une évaporation sous vide en utilisant une pompe à vide avec une vanne de contrôle. Pendant l'évaporation, le ballon est mis en rotation et plongé dans un bain liquide chauffé. L'appareil est muni d'un réfrigérant avec un ballon de récupération de condensat (Figure 68, D). La rotation du ballon crée une surface d'échange plus grande et renouvelée permettant donc d'effectuer une évaporation rapide. L'abaissement de la pression permet d'évaporer le solvant à température réduite, évitant ainsi la dégradation thermique éventuelle des composés extraits.

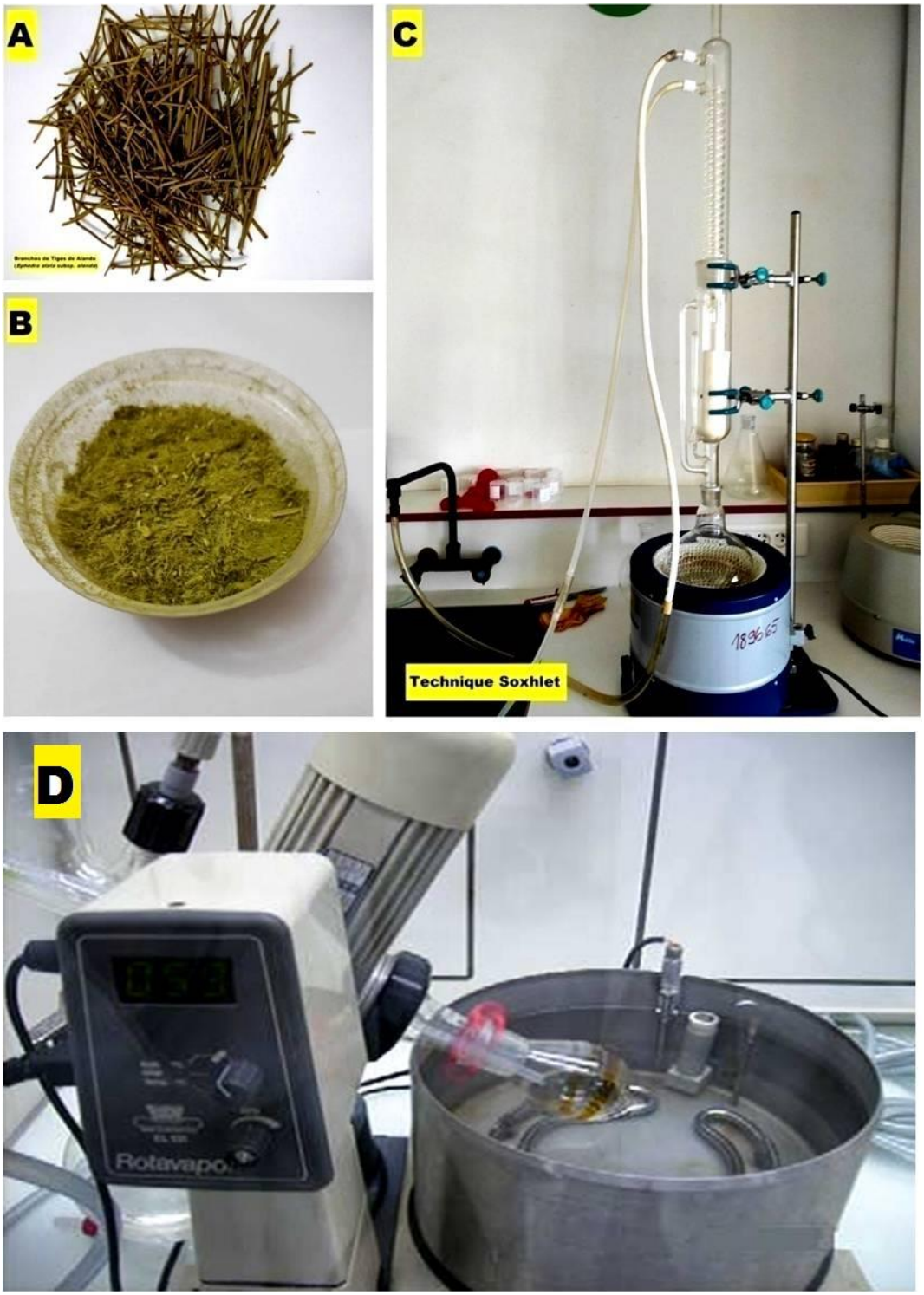


Figure 68: Technique d'extraction de l'Alanda par le Soxhlet à base de l'éthanol 95%. A : Materiel végétal ; B : Poudre de l'Alanda après leur broyage ; C : Extraction par technique de Soxhlet ; D : Technique d'élimination du solvant organique. (Source : BELAIDI, 2021).

B. ***L'espèce Ortie :*** Pour cette espèce, on a choisi la méthode de macération dans l'éthanol 95% (dilué à 80%).

Pour faire l'extraction par macération, nous avons opté le protocole qui a été décrit par Romani *et al*. (2006), en y apportant quelques modifications par Mahmoudi *et al*. (2012): Après le dessèchement des feuilles et tiges de l'ortie qui a duré 15 jours, on fait le broyage afin d'obtenir 50 g de poudre d'Ortie (Figure 69). Cette poudre est macérée, à une température ambiante pendant 48 heures dans 100 ml de l'éthanol 95 % dilué à raison de 80% (80% éthanol mère et 20% eau distillée). Après filtration sur papier de Josef, les filtrats sont centrifugés pendant 20 min à 4000 t/min par l'utilisation d'un Rotavapor à température ambiante. Cette opération va séparer le solvant de l'extrait à obtenir (Figure 67). L'extrait mère obtenu est conservé à 4 °C jusqu'à l'utilisation ultérieurement.



Figure 69: Extraction de l'Ortie brûlante par la technique de macération. (Source : BELAIDI, 2021).

7.1.6. Conservation des extraits

Avant l'utilisation de l'extrait dans les tests, il faut le garder à l'abri de l'air, de la lumière et de la chaleur, et contenues dans des flacons en verre hermétiquement clos, entreposés debout (Figure 70). Aussi, il faut bien veiller à ne pas laisser les flacons trop longtemps ouverts.



Figure 70: Flacons contiennent l'extrait brut d'Alanda et d'Ortie. (Source : BELAIDI, 2021).

7.1.7. Rendement des extraits bruts

Le rendement de l'extrait brut est défini comme étant le rapport entre la masse de l'extrait sec obtenu et la masse du matériel végétal traité (Dellavalle *et al*., 2011 ; Béné *et al*., 2016). Ce rendement est calculé selon la formule suivante :

$$\mathbf{Rdt\ (\%) = (P1 - P2 / P3) \times 100}$$

Où :

P_1 : poids du ballon après évaporation ;

P_2 : poids du ballon avant évaporation ;

P_3 : poids de la matière végétale de départ.

Pour obtenir les trois concentrations des extraits 10^{-1}, 10^{-2} et 10^{-3} (g/ml), on fait une dilution classique par l'ajout de l'eau distillée stérile pour ajuster la concentration (Figure 71), (Favel *et al*., 1994 ; Falleh *et al*., 2008) :

- ✓ Concentration1 (C1):10% de solution mère et 90% de l'eau distillée stérile.
- ✓ Concentration2 (C2):10% de solution C1 et 90% de l'eau distillée stérile.
- ✓ Concentration3 (C3):10% de solution C2 et 90% de l'eau distillée stérile.



Figure 71: Trois concentrations des extraits éthanoliques de l'Alanda et de l'Ortie après la dilution décimale de l'extrait brut. (Source : BELAIDI, 2021).

Après la préparation des extraits dilués, on fait la distribution du milieu de culture dans des boîtes de pétri stériles, de 9 cm de diamètre, à raison de 15 ml par boîte pour le milieu, suivi par l'ajoute de 5ml de l'extrait (Oei, 2005).

7.1.8. Evaluation de la croissance mycélienne

Pour l'estimation de la croissance mycélienne, la technique utilisée est celle indiquée par Howell (2003). Cette méthode consiste à mesurer la croissance mycélienne linéaire journalière des colonies jusqu'au septième jour, selon la formule suivante:

$$L = (D - d) / 2$$

L : Croissance mycélienne (mm).

D : Diamètre de la colonie (mm).

d : Diamètre de l'explant (5mm).

Les moyennes de croissance mycélienne sont calculées par la formule suivante :

$$V(mm/j) = \sum (Ln - Ln\text{-}1) / n$$

V : Vitesse de croissance mycélienne (mm/j),

Ln , Ln-1 … Croissances mycéliennes pendant le jour n.

Le taux d'inhibition (%), est calculé comme suit :

$$\mathbf{TI\ (\%) = (Lt - L) \times 100 / Lt}$$

TI : Taux d'inhibition (%).

Lt : Croissance mycélienne journalière du témoin.

L : Croissance mycélienne journalière des isolats de *Foa* sous l'effet de l'extrait du végétal.

7.1.9. Analyse statistique

Le dispositif utilisé est une randomisation totale unifactorielle et comparaison non paramétrique de K échantillons. L'étude de la signification est effectuée avec le test de Kruskal-Wallis à 5% ($P<0.05$). L'analyse a été faite à l'aide du logiciel XLStat 2021.04, (AddinSoft, Etats-Unis). Le facteur étudié est l'inhibition antifongique, l'observation *Xi* est la croissance mycélienne et la sporulation en présence et en absence des extraits de la plante Alanda, et les variables sont les concentrations de l'extrait de la plante.

7.2. Résultats

7.2.1. Rendement des extraits

Les résultats obtenus pour les deux extraits d'*Ephedra alata* subsp. *alenda* (Stapf.) Trab., montrent que l'extrait éthanolique a un rendement de (37,5%) ; qui correspond à une masse de 19g. Tandis que le deuxième extrait éthanolique de l'ortie (*Urtica urens* L.), a donné un rendement de 45% qui correspond à une masse de 22,5g. D'après ces résultats le rendement de l'ortie est important par rapport à l'Alanda.

7.3.2. Effet antifongique de l'extrait sur la croissance mycélienne de Foa

Les résultats sont portés dans les tableaux 20, 21et ont montrés un effet significatif ($P<0,05$) de l'extrait éthanolique de l'Alanda et de l'Ortie. Les colonies des souches de Foa ont montré des diamètres inférieurs par rapport au témoin (Figures 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78 et 79). Les valeurs de croissance mycélienne de 20 souches de Foa sous l'effet de l Alanda, sont toujours inférieures (entre 1,08 et 3,8 mm/j, selon la souche, l'extrait et la concentration), par rapport aux valeurs du témoin (entre 4,05 et 4,22 mm/j), (Tableau 20). La même observation pour la deuxième espèce végétale 'l'ortie', où les valeurs de croissance mycélienne des souches traitées sont également faibles (entre 1,02 et 3,7 mm/j, selon la souche et la concentration de l'extrait), si on les compare au témoin (4,05 et 4,22 mm/j), (Tableau 21).

Tableau 20: Capacité antifongique de trois concentrations différentes (10^{-1}, 10^{-2}, et 10^{-3}) de l'extrait éthanolique de 'Alanda' sur la croissance mycélienne de 20 isolats of *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa).

Isolats de Foa	**Croissances mycéliennes (mm/j) sous l'effet de l'extrait éthanolique de 'Alanda'**						
	A1 (10^{-1})	**A2 (10^{-2})**	**A3 (10^{-3})**	**Témoin**	**F**	**ddl**	**P**
S1	$1,7^{a}\pm0,2$	$1,95^{ab}\pm0,1$	$3,27^{c}\pm0,45$	$4,12^{d}\pm0,09$	306,94*	79	0,0001
S2	$1,55^{a}\pm0,12$	$1,77^{a}\pm0,17$	$3,25^{c}\pm0,28$	$4,05^{d}\pm0,05$			
S3	$1,72^{a}\pm0,29$	$1,95^{ab}\pm0,3$	$3,4^{c}\pm0,08$	$4,17^{d}\pm0,09$			
S4	$1,87^{ab}\pm0,17$	$1,95^{ab}\pm0,1$	$3,5^{c}\pm0,29$	$4,05^{d}\pm0,05$			
S5	$1,1^{a}\pm0,11$	$1,92^{ab}\pm0,15$	$3,15^{c}\pm0,3$	$4,07^{d}\pm0,05$			
S6	$1,08^{a}\pm0,09$	$1,95^{ab}\pm0,34$	$3,42^{c}\pm0,12$	$4,1^{d}\pm0,19$			
S7	$1,12^{a}\pm0,22$	$1,57^{a}\pm0,09$	$3,8^{cd}\pm0,08$	$4,07^{d}\pm0,09$			
S8	$1,2^{a}\pm0,08$	$1,77^{a}\pm0,05$	$3,1^{c}\pm0,2$	$4,12^{d}\pm0,05$			
S9	$1,68^{a}\pm0,06$	$1,92^{ab}\pm0,15$	$3,35^{c}\pm0,23$	$4,07^{d}\pm0,09$			
S10	$1,92^{ab}\pm0,1$	$1,95^{ab}\pm0,1$	$3,85^{cd}\pm0,19$	$4,02^{d}\pm0,12$			
S11	$1,53^{a}\pm0,21$	$1,97^{ab}\pm0,05$	$3,07^{c}\pm0,09$	$4,15^{d}\pm0,1$			
S12	$1,17^{a}\pm0,2$	$1,97^{ab}\pm0,05$	$3,02^{c}\pm0,05$	$4,12^{d}\pm0,12$			
S13	$1,45^{a}\pm0,12$	$1,92^{ab}\pm0,15$	$3,05^{c}\pm0,1$	$4,12^{d}\pm0,09$			
S14	$1,55^{a}\pm0,12$	$1,92^{ab}\pm0,15$	$3,12^{c}\pm0,64$	$4,15^{d}\pm0,05$			
S15	$1,2^{a}\pm0,08$	$1,95^{ab}\pm0,64$	$3,05^{c}\pm0,1$	$4,1^{d}\pm0,08$			
S16	$1,45^{a}\pm0,12$	$2,02^{b}\pm0,05$	$3,22^{c}\pm0,17$	$4,22^{d}\pm0,12$			
S17	$1,25^{a}\pm0,05$	$1,95^{ab}\pm0,1$	$3,05^{c}\pm0,1$	$4,22^{d}\pm0,2$			
S18	$1,43^{a}\pm0,09$	$1,87^{ab}\pm0,09$	$3,57^{c}\pm0,22$	$4,27^{d}\pm0,05$			
S19	$1,15^{a}\pm0,19$	$1,92^{ab}\pm0,09$	$3,05^{c}\pm0,1$	$4,17^{d}\pm0,05$			
S20	$1,3^{a}\pm0,08$	$1,87^{ab}\pm0,15$	$3,07^{c}\pm0,15$	$4,12^{d}\pm0,09$			
Moyennes des taux d'inhibition des trois concentrations (%)	**66**	**54**	**23,8**	Taux global d'inhibition (%)	**48**		

Foa : *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis ;* **F :** F calculé ou critique ; **S1, S2, .. S20 :** Isolats de Foa ; **A1, A2, A3:** Trois concentrations de l'extrait; **ddl:** Degré de liberté; P: Probabilité à 5%; **A, b, c, d:** Groupes homogènes.

Tableau 21: Capacité antifongique de trois concentrations différentes (10^{-1}, 10^{-2}, et 10^{-3}) de l'extrait éthanolique de l'Ortie (*Urtica urens*) sur la croissance mycélienne de 20 isolats of *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa).

Isolats de Foa	**Croissances mycéliennes (mm/j) sous l'effet de l'extrait éthanolique de l'Ortie**						
	U1 (10^{-1})	**U2 (10^{-2})**	**U3 (10^{-3})**	**Témoin**	**F**	**ddl**	**P**
S1	$1,3^{a}\pm0,1$	$2,85^{ab}\pm0,1$	$2,9^{ab}\pm0,11$	$4,12^{d}\pm0,09$	106,57*	79	0,0001
S2	$1,42^{a}\pm0,1$	$1,65^{a}\pm0,12$	$3,12^{b}\pm0,2$	$4,05^{d}\pm0,05$			
S3	$1,52^{c}\pm0,2$	$1,85^{ab}\pm0,1$	$3,1^{b}\pm0,2$	$4,17^{d}\pm0,09$			
S4	$1,82^{ab}\pm0,15$	$1,75^{ab}\pm0,2$	$3,22^{b}\pm0,2$	$4,05^{d}\pm0,06$			
S5	$1,05^{a}\pm0,1$	$1,8^{ab}\pm0,08$	$3,07^{b}\pm0,15$	$4,07^{d}\pm0,05$			
S6	$1,05^{a}\pm0,05$	$1,82^{ab}\pm0,09$	$3,07^{b}\pm0,15$	$4,1^{d}\pm0,11$			
S7	$1,02^{a}\pm0,05$	$1,82^{ab}\pm0,09$	$3,07^{b}\pm0,15$	$4,07^{d}\pm0,09$			
S8	$1,1^{a}\pm0,11$	$1,75^{ab}\pm0,05$	$3,1^{b}\pm0,14$	$4,12^{d}\pm0,05$			
S9	$1,17^{a}\pm0,12$	$1,8^{ab}\pm0,14$	$3,1^{b}\pm0,2$	$4,07^{d}\pm0,09$			
S10	$1,8^{a}\pm0,16$	$1,8^{ab}\pm0,12$	$3,7^{c}\pm0,21$	$4,02^{d}\pm0,12$			
S11	$1,4^{a}\pm0,14$	$1,77^{ab}\pm0,17$	$3,02^{b}\pm0,05$	$4,15^{d}\pm0,1$			
S12	$1,02^{a}\pm0,05$	$1,82^{ab}\pm0,09$	$3,02^{b}\pm0,05$	$4,12^{d}\pm0,12$			
S13	$1,35^{a}\pm0,17$	$1,82^{ab}\pm0,09$	$3,05^{b}\pm0,1$	$4,12^{d}\pm0,09$			
S14	$1,35^{a}\pm0,17$	$1,85^{a}\pm0,12$	$3,02^{b}\pm0,05$	$4,15^{d}\pm0,05$			
S15	$1,05^{a}\pm0,1$	$1,85^{ab}\pm0,1$	$3,02^{b}\pm0,64$	$4,05^{d}\pm0,08$			
S16	$1,32^{a}\pm0,09$	$1,9^{ab}\pm0,11$	$3,12^{b}\pm0,15$	$4,22^{d}\pm0,12$			
S17	$1,1^{a}\pm0,14$	$1,9^{ab}\pm0,11$	$3,05^{b}\pm0,05$	$4,22^{d}\pm0,2$			
S18	$1,35^{a}\pm0,1$	$1,67^{ab}\pm0,09$	$3,4^{c}\pm0,14$	$4,27^{d}\pm0,05$			
S19	$1,05^{a}\pm0,1$	$1,72^{ab}\pm0,22$	$3,05^{b}\pm0,3$	$4,17^{d}\pm0,05$			
S20	$1,15^{a}\pm0,17$	$1,65^{ab}\pm0,17$	$3,02^{b}\pm0,05$	$4,12^{d}\pm0,09$			
Moyennes des taux d'inhibition des trois concentrations (%)	**69,21**	**56,5**	**24,5**	Taux global d'inhibition (%)	**50,1**		

Foa : *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis ;* **F :** F calculé ou critique ; **S1, S2, .. S20 :** Isolats de Foa ; **U1, U2, U3:** Trois concentrations de l'extrait; **ddl:** Degré de liberté; P: Probabilité à 5%; **A, b, c, d:** Groupes homogènes.

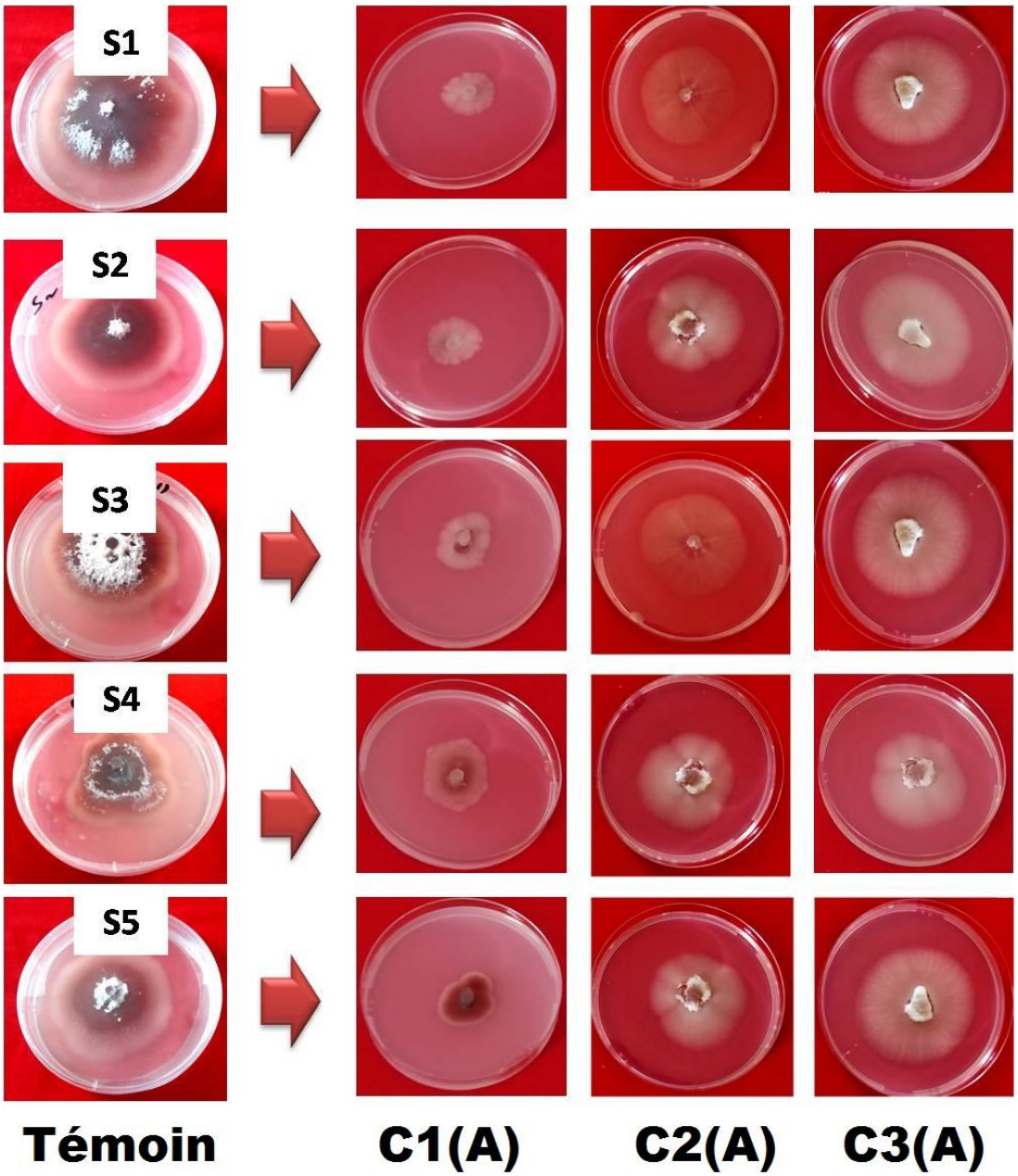


Figure 72: Colonies de Foa (S1 – S5) sous l'effet de l'extrait éthanolique de l'Alanda avec trois concentrations décimales différentes par rapport au témoin. (Source : BELAIDI, 2021).

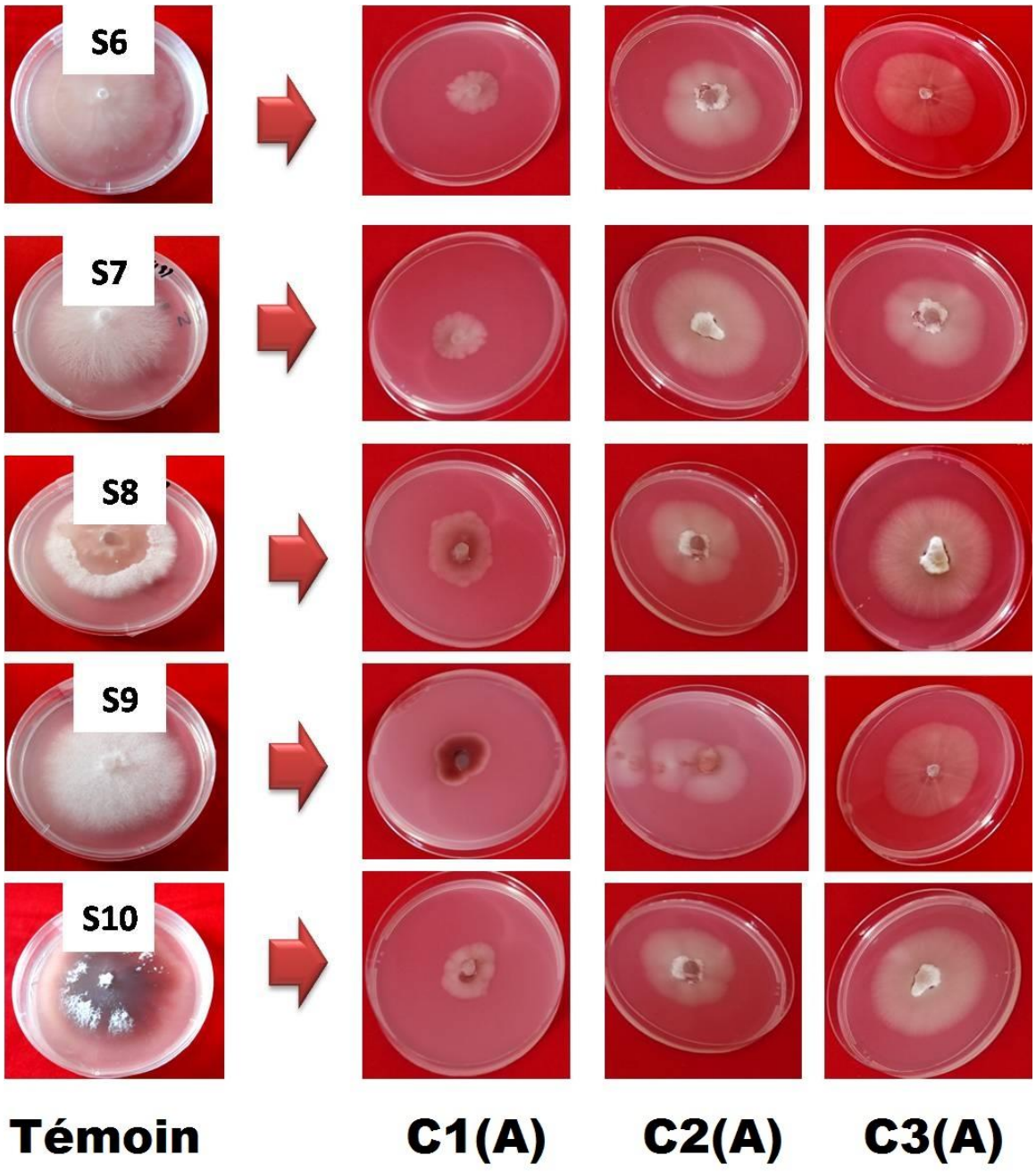


Figure 73: Colonies de Foa (S6 – S10) sous l'effet de l'extrait éthanolique de l'Alanda avec trois concentrations décimales différentes par rapport au témoin. (Source : BELAIDI, 2021).

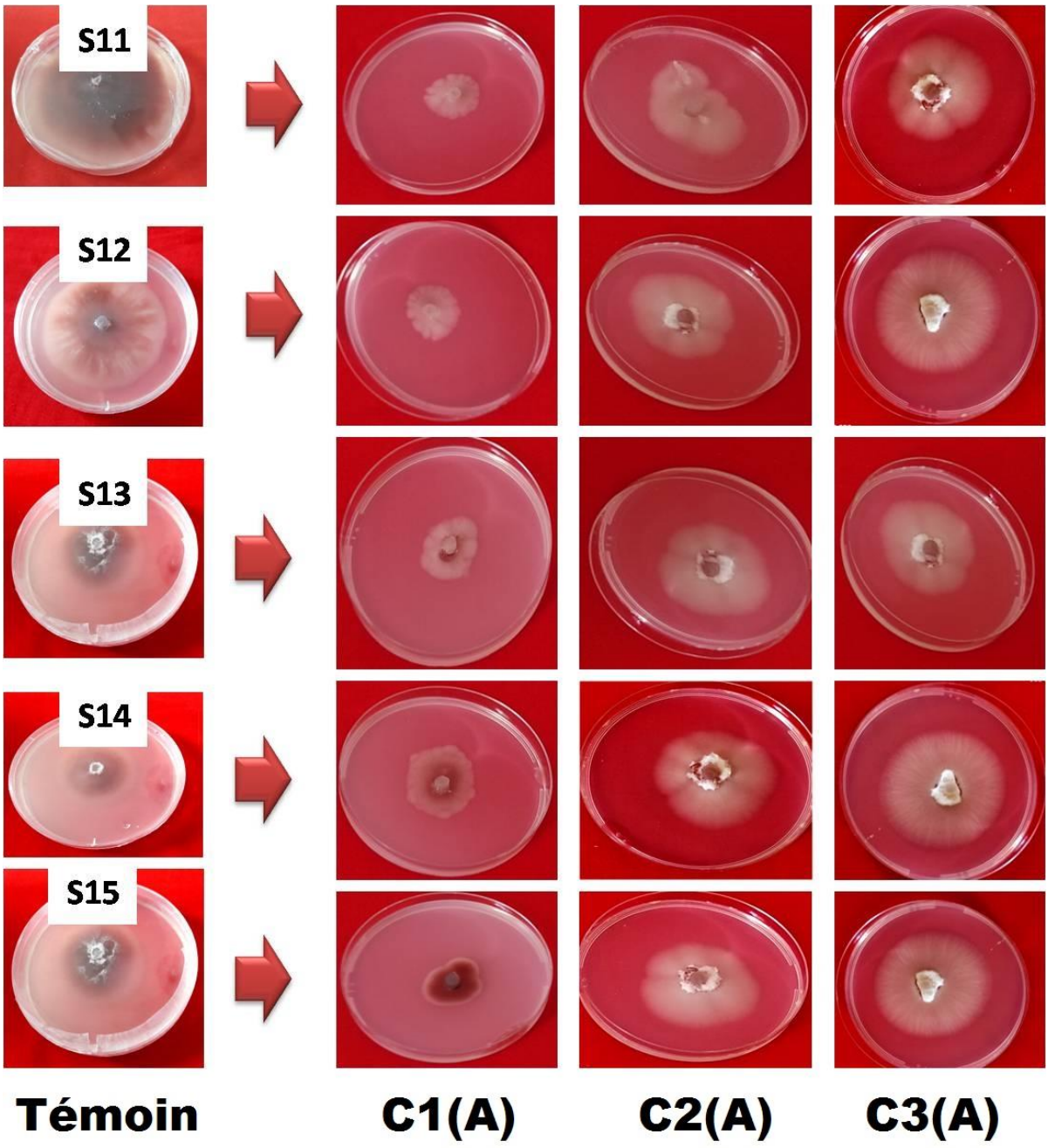


Figure 74: Colonies de Foa (S11 – S15) sous l'effet de l'extrait éthanolique de l'Alanda avec trois concentrations décimales différentes par rapport au témoin. (Source : BELAIDI, 2021).

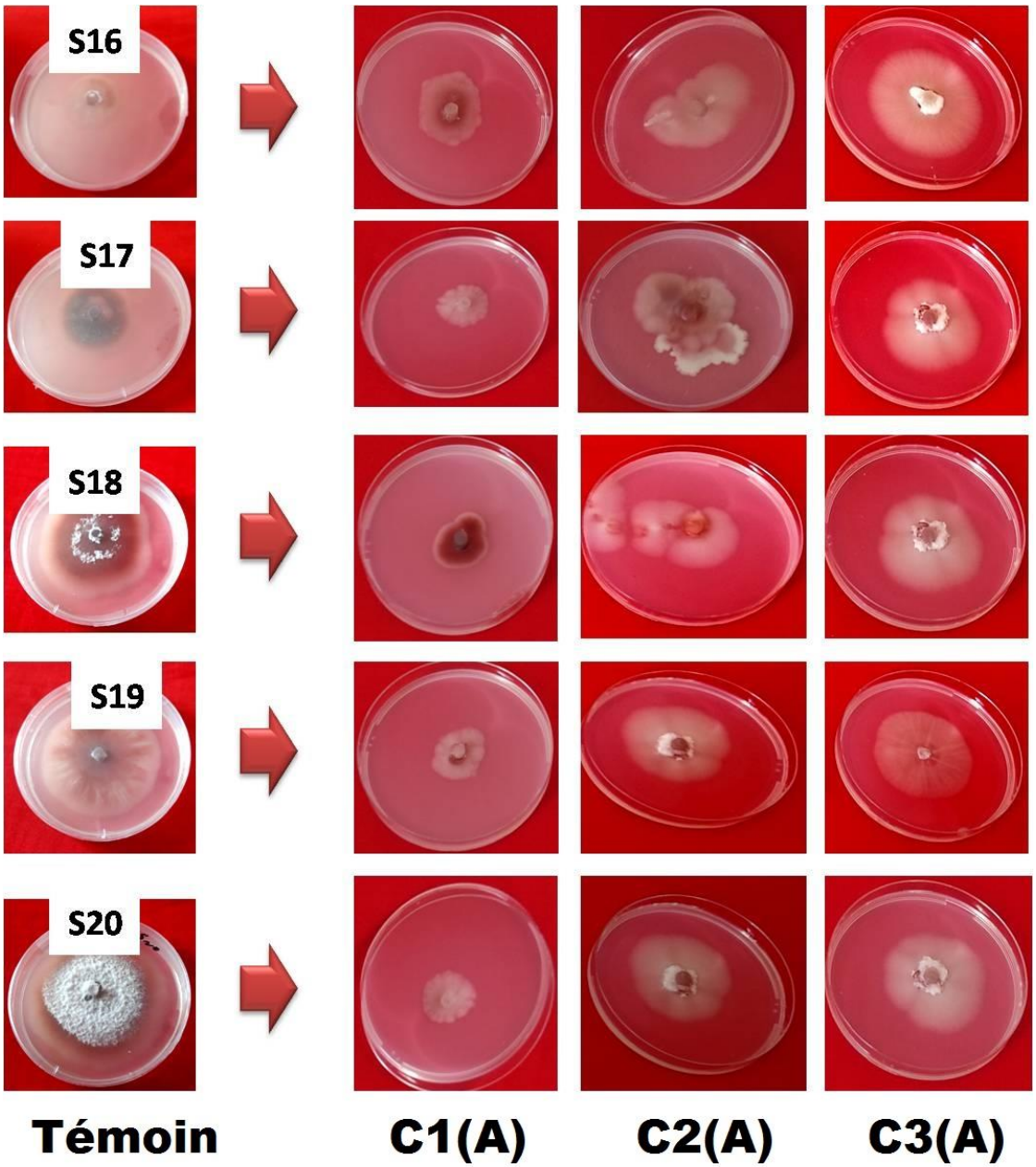


Figure 75: Colonies de Foa (S16 – S20) sous l'effet de l'extrait éthanolique de l'Alanda avec trois concentrations décimales différentes par rapport au témoin. (Source : BELAIDI, 2021).

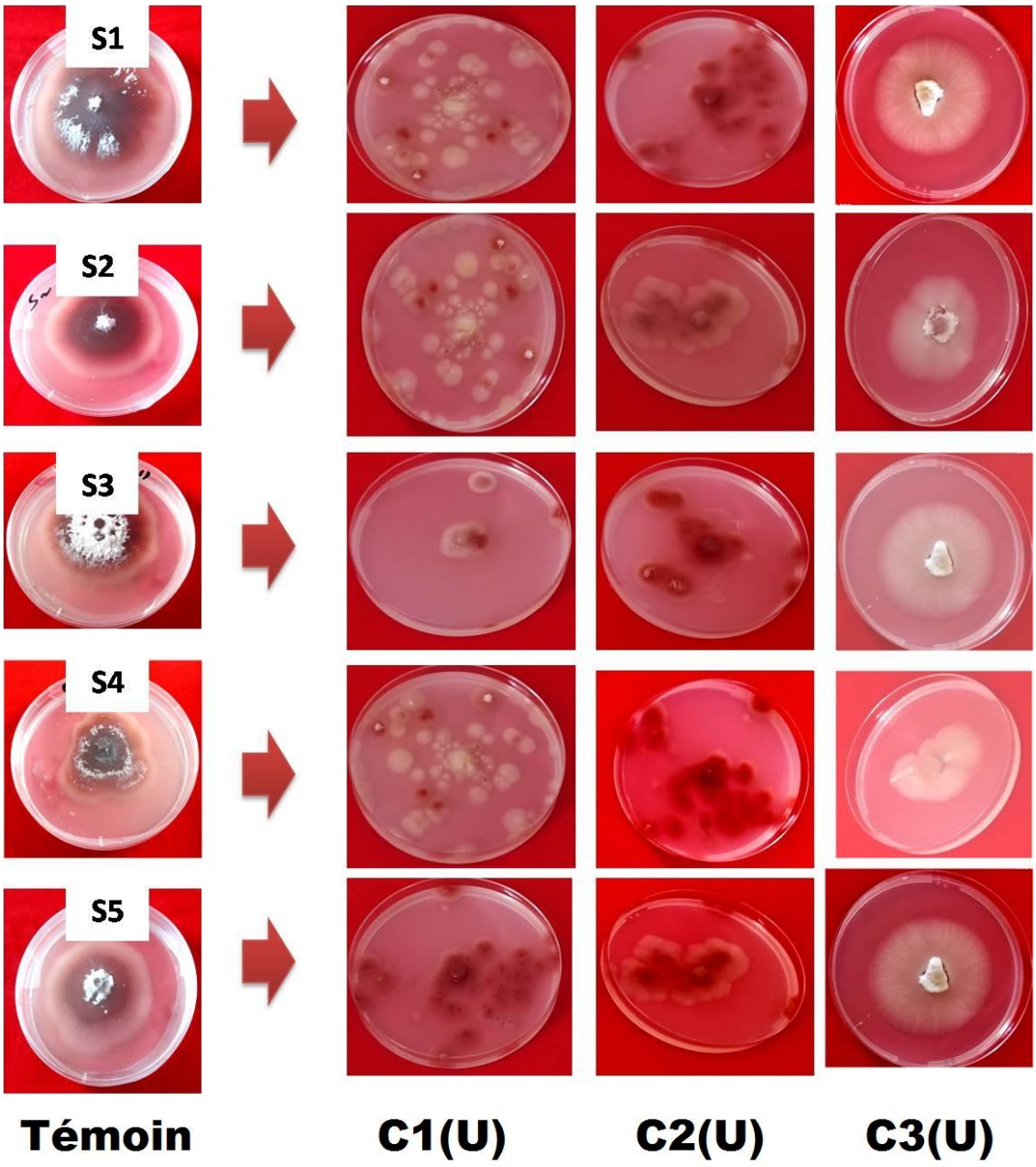


Figure 76: Colonies de Foa (S1 – S5) sous l'effet de l'extrait éthanolique de l'Ortie avec trois concentrations décimales différentes par rapport au témoin. (Source : BELAIDI, 2021).

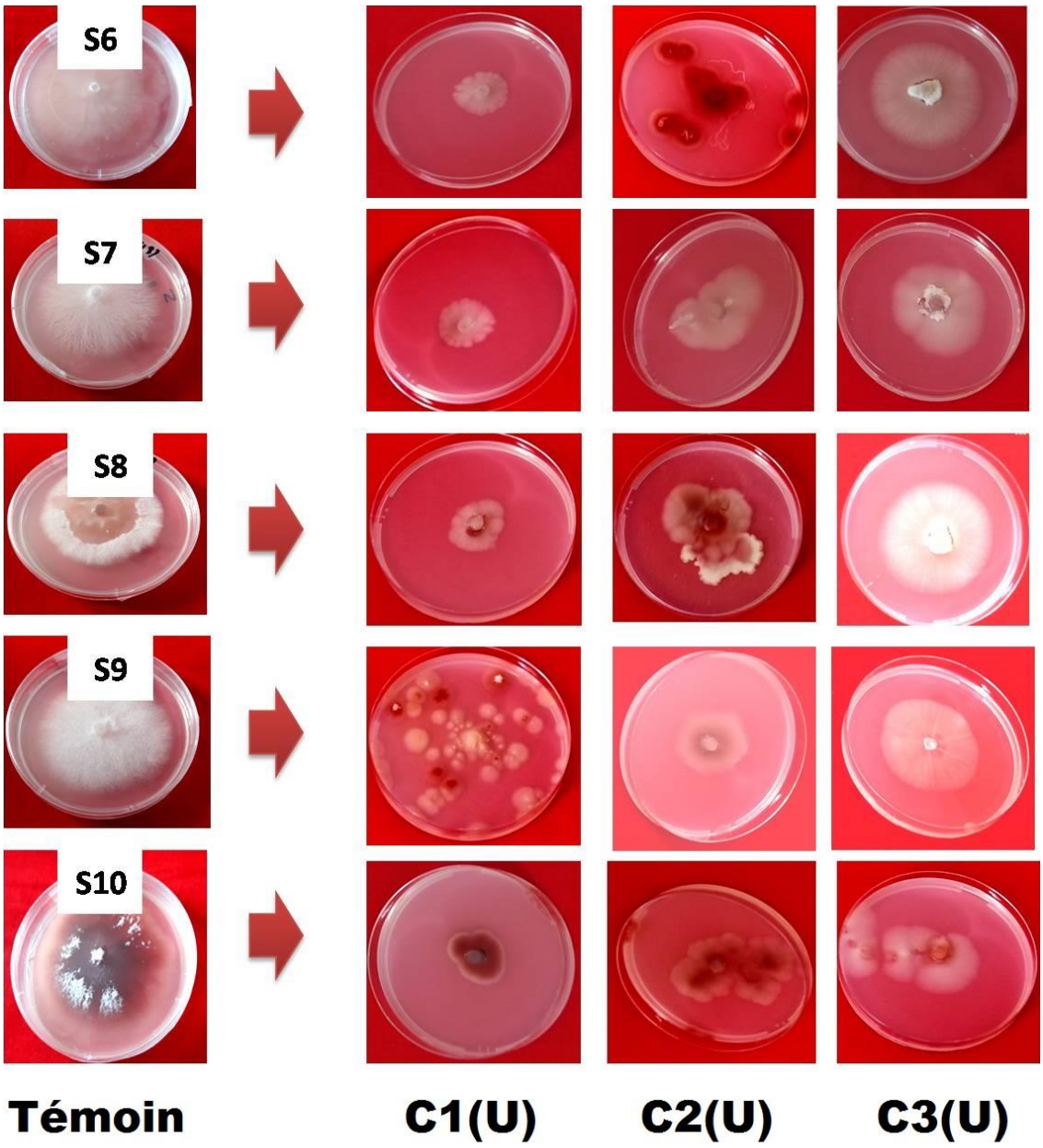


Figure 77: Colonies de Foa (S6 – S10) sous l'effet de l'extrait éthanolique de l'Ortie avec trois concentrations décimales différentes par rapport au témoin. (Source : BELAIDI, 2021).

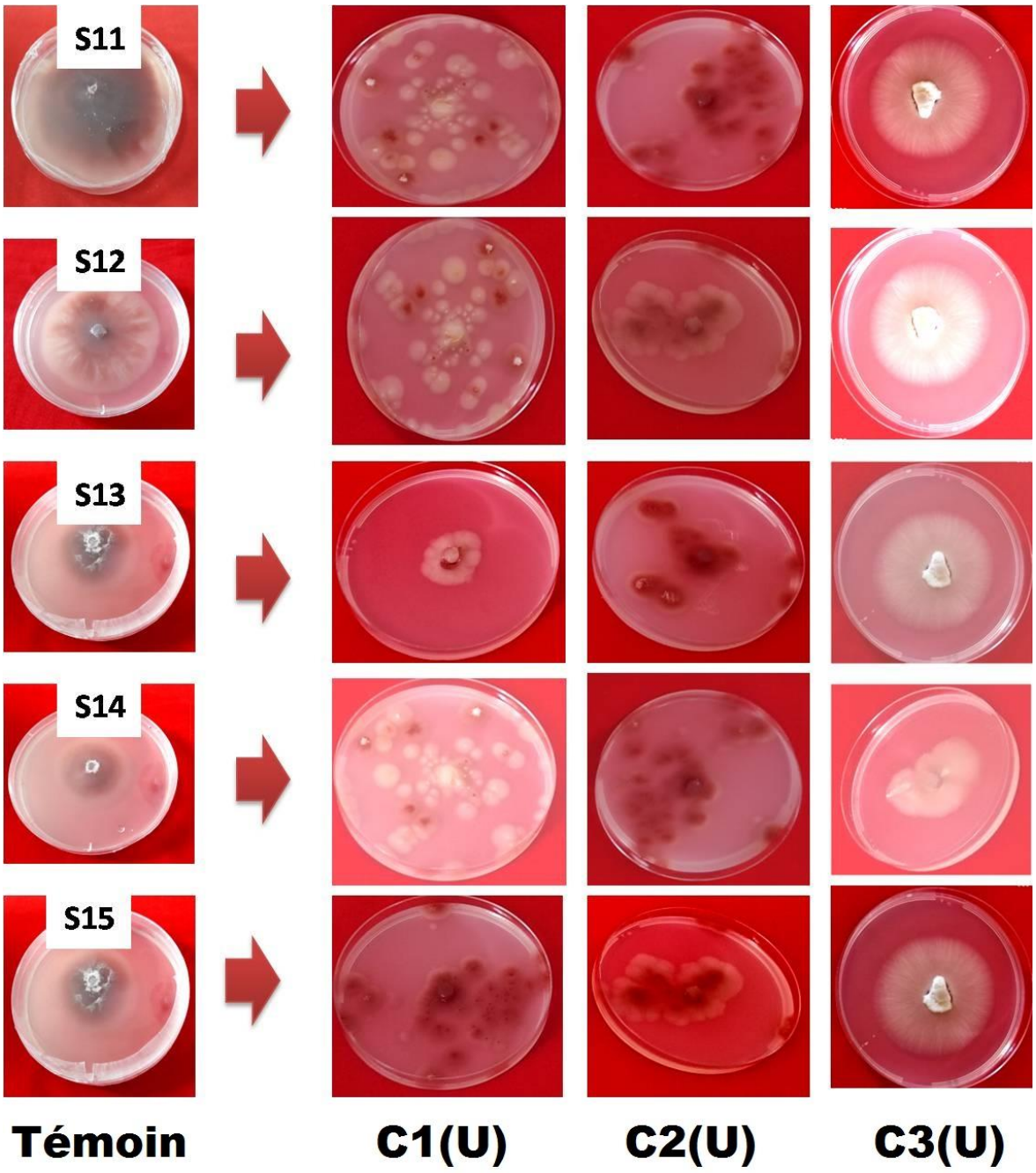


Figure 78: Colonies de Foa (S11 – S15) sous l'effet de l'extrait éthanolique de l'Ortie avec trois concentrations décimales différentes par rapport au témoin. (Source : BELAIDI, 2021).

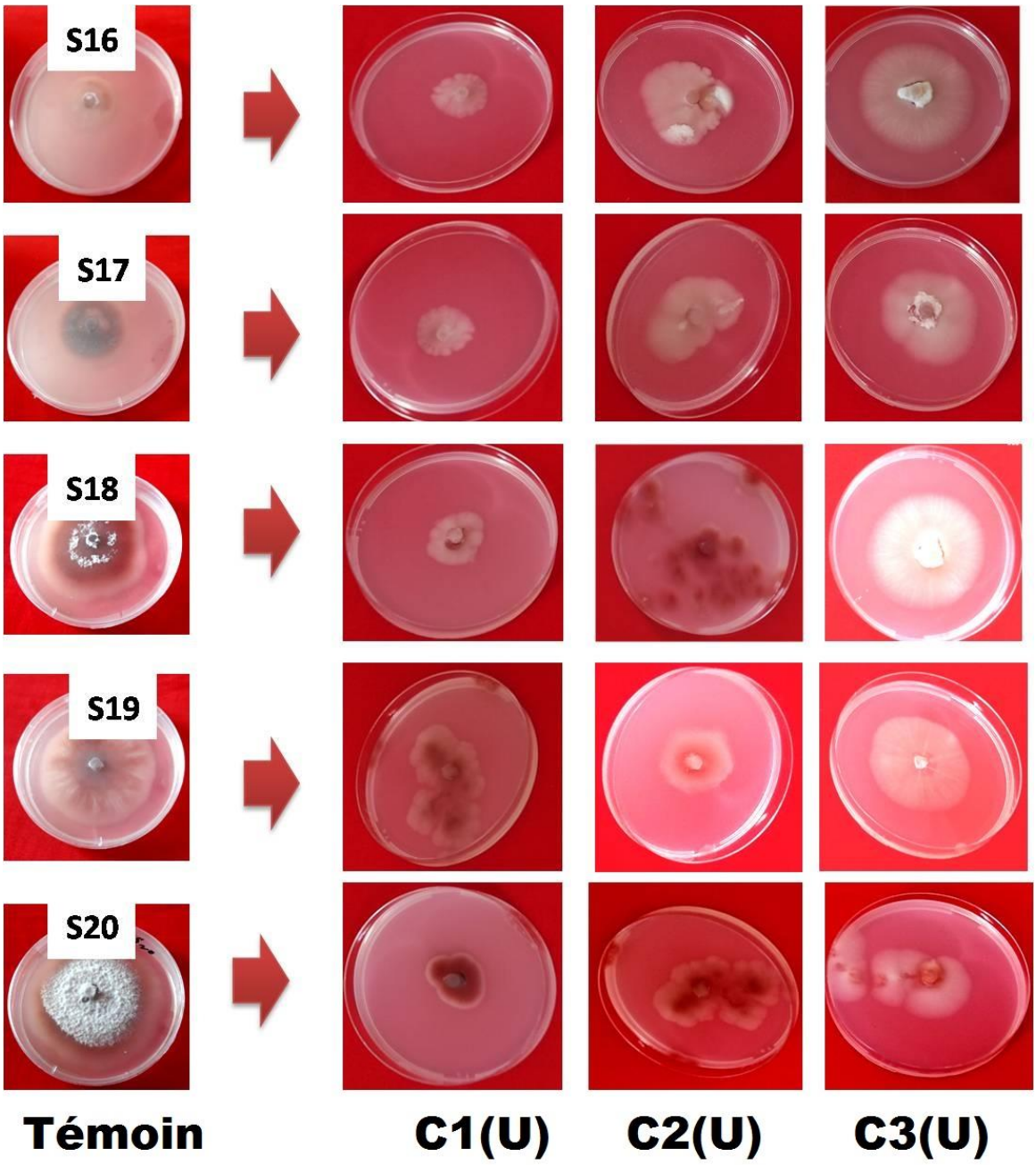


Figure 79: Colonies de Foa (S16 – S20) sous l'effet de l'extrait éthanolique de l'Ortie avec trois concentrations décimales différentes par rapport au témoin. (Source : BELAIDI, 2021).

Le taux d'inhibition de la croissance mycélienne varie entre 6,7% et 73,6 % sous l'effet de l'extrait brut de l'Alanda (Figure 80), et entre 8 % et 75,2 % par l'effet de l'extrait brut de l'Ortie (Figure 81). Cette variation est liée à la concentration et à la souche testée.

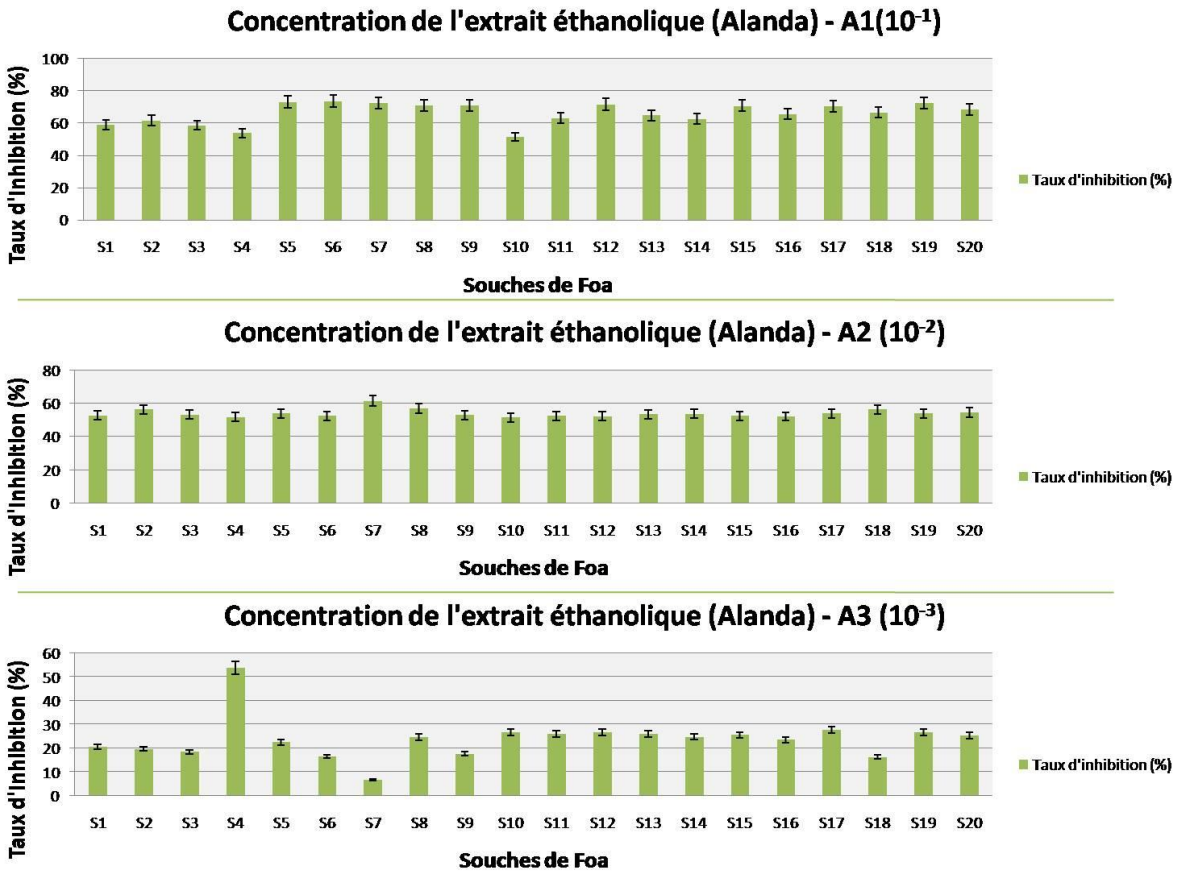


Figure 80: Taux d'inhibition de croissance mycélienne de 20 souches de Foa sous l'effet de l'extrait éthanolique de l'Alanda.

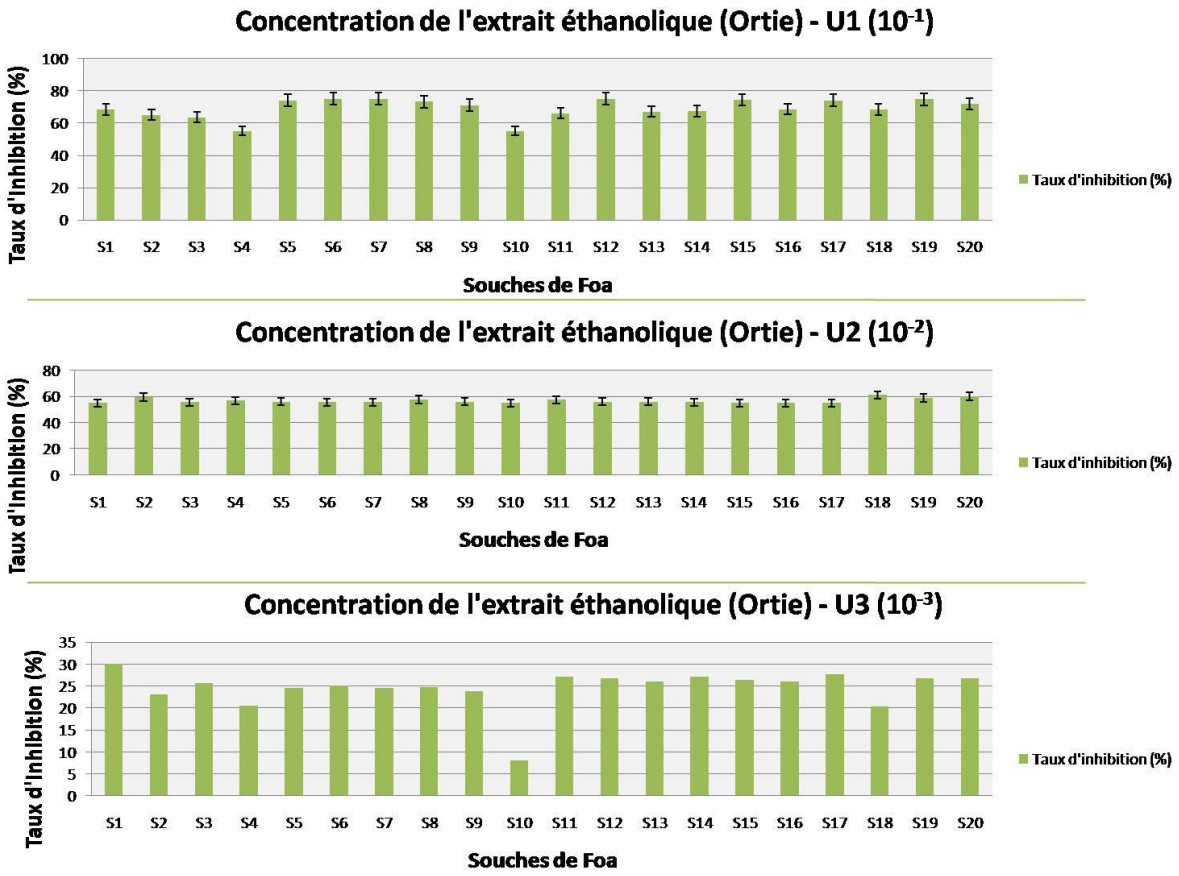


Figure 81: Taux d'inhibition de croissance mycélienne de 20 souches de Foa sous l'effet de l'extrait éthanolique de l'Ortie.

En comparaison entre les trois concentrations des extraits des deux espèces, le taux d'inhibition de croissance mycélienne est de ou plus de 70% par la première concentration (10^{-1}), plus de 50% pour la deuxième concentration (10^{-2}), et moins de 30% pour la troisième concentration (10^{-3}). De ce fait, le taux global d'inhibition de croissance mycélienne est de 47,95% grâce à l'extrait brut de l'Alanda, et de 50,08% pour l'extrait brut de l'Ortie (Tableaux 20 et 21). Ces valeurs nous indiquent la similarité de la capacité antifongique des deux espèces végétales choisies contre les souches de Foa testées, avec une efficacité plus remarquable des deux premières concentrations (10^{-1} et 10^{-2}), que celle de la troisième (10^{-3}).

7.3. Discussion

Il est à signaler que plusieurs travaux de recherche ont consacré le sujet de l'importance des extraits des végétaux comme moyen de lutte contre certains agents phytopathogènes (Haddouchi *et al*., 2016 ; Al-Rahmah *et al*., 2013 ; Béné *et al*., 2016). Dans notre travail, on a testé la capacité antifongique de trois concentrations de l'extrait éthanolique de la plante d'alanda (*Ephedra alata* subsp. *alenda* (Stapf.) Trab.), et de l'Ortie (*Urtica urens* L.), sur la croissance mycélienne de 20 souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa), par l'utilisation de trois concentrations différentes (10^{-1}, 10^{-2} et 10^{-3}), des extraits des deux plantes utilisées.

Au regard de ces résultats obtenus, l'extrait de l'Alanda et de l'Ortie ont influencé significativement la croissance mycélienne de 20 souches de Foa étudiées. Cette efficacité varie selon la souche de Foa testée et la concentration de l'extrait. D'après nos résultats obtenus, les deux premières concentrations (10^{-1} et 10^{-2}), sont plus efficace par rapport à la troisième (10^{-3}), dans les deux espèces végétales utilisées.

L'importance des extraits des végétaux comme un biofongicide végétal a été rapportée par Nashwa et Abo-Elyousr (2012), sur *Alternaria solani*, agent responsable de l'alternariose de tomate, par Bajpai et Kang (2012) sur *Fusarium oxyporum*, *Peronospora capsici*, *Sclerotinia sclerotiorum* et *Botrytis cinerea*, parasites des cultures sous-serres.

Dans notre essai, les trois concentrations de l'extrait éthanolique de ces deux plantes ont montré des valeurs du taux d'inhibition différentes. Les deux premières concentrations 10^{-1} et 10^{-2} ml/ml ont montré des valeurs de TI% importantes que celle la troisième concentration 10^{-3} ml/ml.

Cette différence au niveau des concentrations a été signalée également sur *Aspergillus flavus* en utilisant de l'extrait de la plante *Sturja calamintha* où le taux d'inhibition variant entre 01 et 25% (Bougandoura et Bendimerad, 2012). Mais, le contraire a été observé dans les travaux de Nashwa et Abo-Elyousr (2012), où les valeurs de TI% étaient très proches entre les concentrations des extraits des végétaux testés sur les souches d'*Alternaria solani*, agent de l'alternariose de la tomate, où l'extrait d'*Ocimum basilicum* a montré un taux d'inhibition varie entre 22 et 23%, d'*Eucalyptus chamadulonsis*, varie entre 27 et 30%, et d'*Allium sativum*, entre 32 et 42%. Aussi, si on fait une comparaison entre ces valeurs du taux

d'inhibition, il est remarquable que sont toujours inférieures avec les taux d'inhibitions obtenues dans notre essai.

Le taux d'inhibition est arrivé jusqu'à 100% contre les agents de fonte de semis (*Pythium ultimum, Fusarium oxysporum, Rhizoctonia solani* … etc.), par l'utilisation de l'extrait de *Salvadora persica* (Al-Rahmah *et al*., 2013).

L'importance des extraits de la plante d'Alanda (*Ephedra alata* subsp. *alenda*), contre les agents phytopathogènes a été rapportée par Caveney *et al.* (2001), sur quelques champignons phytopathogènes, par Bagheri *et al.* (2013) sur *Aspergillus parasiticus*, et par Rosato *et al.* (2007) sur les bactéries phytopathogènes. Al-Qarawi *et al.* (2011), ont rapporté l'efficacité antifongique de la poudre de la plante d'Alanda contre les moisissures au niveau des silos de conservation du maïs et de soja, et aussi contre les maladies transmises par la semence comme l'ergot de blé (*Claviceps purpurea*), et le charbon du blé (*Ustilago tritici*).

La deuxième espèce étudiée, Ortie, a été rapportée également dans les travaux de Kanda *et al*., 2014 ; Delahaye, 2015 ; et Deravel *et al*., 2014. Le taux d'inhibition de croissance mycélienne est arrivé à 67% contre *Alternaria alternata*, agent de l'alternariose de tomate d'après Saydi et Nematollahi (2017) et Tomazoni *et al.* (2017). Hadizadeh *et al*. (2009) ont rapporté que l'extrait éthanolique de cette espèce a donné un taux d'inhibition de 57% contre *Alternaria alternata* (agent de l'alternariose de tomate), de 42% contre *Rhizoctonia solani* (agent de Rhizoctone noire de pomme de terre), et de 47% contre *Fusarium solani* (agent de fusariose des Solanaceae (tomate, aubergine, pomme de terre …).

D'après ces résultats, Les deux plantes testées ont montré donc une capacité antifongique prometteuse, qui doit être valorisé par un test *in situ* dans les palmeraies contaminées par le Bayoud.

En conclusion ce travail consistait à évaluer la capacité antifongique de l'extrait éthanolique de deux plantes, la premère est appelée l'Alanda (*Ephedra alata* subsp. *alenda* (Stapf.) Trab.), collectée de la région de Taghit, w. Béchar, et la deuxième est l'Ortie (*Urtica urens* L.), collectée dans les bordures dans la région de Sidi Lahcene, w. Sidi Bel Abbès, sur la croissance mycélienne de trois souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa), agent de Bayoud du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L. Un effet significatif a été observé pour l'effet antifongique des concentrations de l'extrait éthanolique par rapport au témoin.

Ces résultats sont importants pour éviter ou réduire les risques d'utilisation des pesticides chimiques qui sont toxiques pour l'homme et l'environnement (pollution de l'air, le sol et les nappes, et la faune/flore utile comme les abeilles).

Malgré que cette étude est préliminaire, mais elle ouvre la porte sur à la technologie de fabrication de ces intrants bio afin d'intégrer ce type de remède comme une nouvelle stratégie de lutte après la confirmation de sa capacité antifongique *in situ* et l'absence de toxicité de ces métabolites sur la production du fruit (qualité agroalimentaire des fruits de dattes).

Ce chapitre a fait l'objet d'une autre publication internationale dans une revue reconnue, voir ci-contre.

South Asian J Exp Biol; 10 (4): 192-197; 2020 [DOI: 10.38150/sajeb.10(4).p192-197]

South Asian Journal of Experimental Biology

ISSN: 2230-9799 Vol. 10, Issue 4, Page 192-197 http://www.sajeb.org

REGULAR ARTICLE

Antifungal activity of plant extract of *Ephedra alata* sub.sp. *alenda* (Stapf) Trab., on mycelial growth of *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, the causal agent of Bayoud disease on date palm (*Phoenix dactylifera* L.)

Hakima Belaidi[a], Fawzia Toumi-Benali[a], Ibrahim Elkhalil Benzohra[b*], Boualem Boumaaza[c]

[a]*Laboratoire Ecodéveloppement des Espaces, Department of Environmental Sciences, Djilali Liabes University of Sidi Bel Abbes, 22000 Sidi Bel Abbes, Algeria.*
[b]*Station of Biophysical Environment – Centre for Scientific and Technical Research on Arid Regions (CRSTRA), Campus Universitaire BP 1682 RP, 07000 Biskra, Algeria.*
[c]*Department of Agronomy, SNV Faculty, Ibn Khaldoun University of Tiaret, 14000 Tiaret, Algeria*

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 2 Apr 2020
Revised: 4 May 2020
Accepted: 9 May 2020

**Corresponding Author:*
Email: ibrahimelkhalil@live.fr
Telephone: +213 542 58 02 99
FAX: +213 48 75 56 32

Keywords: Ephedra alata subsp. *alenda*, Bayoud, *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, date palm, *Phoenix dactylifera*, ethanolic, methanolic, inhibition

ABSTRACT

This study deals with the importance and enhancement of plant extracts on the development of phytopathogenic fungi. It was carried out to evaluate the antifungal activity of the methanolic and ethanolic extract of alanda (*Ephedra alata* subsp. *alenda* (Stapf) Trab. [1905]), originating from the arid regions collected from the saoura region on May month of 2018's year. The test was tested on mycelial growth of three *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa), strains of the causal agent of Bayoud disease on date palm (*Phoenix dactylifera* L.), with three different concentrations of methanolic and ethanolic extracts. The results revealed a significant ($P<0.05$) on mycelial growth of Foa strains. The values of the inhibition rate vary between 25,4 and 70,6% by methanolic extract effect and between 28,3 and 70,9% by ethanolic extract. In comparison between these two plant extracts, the similarity of inhibition was observed, while, between concentrations, the two concentrations 10^{-1} and 10^{-2} g / ml have important antifungal activity than the third concentration 10^{-3} g / ml, in all two extracts. Findings in this study confirmed that the extract of this plant can be used as natural fungicide against bayoud disease in Algerian palm groves.

1. Introduction

Bayoud, vascular wilting caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa), is considered as the most destructive fungal infection in the Algerian palm groves cultivated in the southwest region (Bechar, Timmimoun and Adrar), with susceptible varieties, for example Feggous, H'mira, Charka, Figuig and tinnaceur, cultivars much appreciated for its productive and organoleptic characteristics (Djerbi, 2003). This risk happened to the palm groves of M'zab when this disease affected the palm groves of west and central Ghardaïa (Sedra, 2005a,b ; Benzohra et al., 2017a). Since its first appearance, which dates back over a century, in Moroccan palm groves where the disappearance of more than 12 million palm trees has been recorded (Djerbi, 2003). Any attempt at chemical control re-

mains ineffective for old palm groves where their deeper rooting with its drawback for the environment and public health (groundwater, useful fauna), (Saaidi, 1990). Biological control is a good way to protect our groves with avoids the environment and minimizes the intensive use of chemical fungicides (Benzohra et al., 2017b). In this context, alternative methods of combating phytopathogenic agents have been studied with an emphasis on new compounds derived from plant sources as an effective means of biological control (Garibaldi et al., 1990; Alabouvette, 1999). Indeed, plants and their extracts have also been reported as effective antimicrobial agents against food and cereal storage fungi, against leaf pathogens, soil pathogens and in the control of Fusarium wilt of several crops (Bowers & Locke, 2000; Doumbouya et al., 2012). Among these important plants, *Ephedra alata* (the Arabic name is Alanda, family *Ephedraceae*), is a perennial genus of non flowering seed herb belonging to the Gnetales plant, the closest living relative of the angiosperm (Friedman, 1996). The native land for this species is Algeria, Iran, Iraq, Chad, Egypt, Palestine, Lebanon, Jordan, Saudi Arabia, Morocco, Syria, Libya, Mauritania, Mali, Somalia and Tunisia (Al-Qarawi et al., 2014). This plant is light green densely branched dioecious small and perennial stiff shrub, about 50-100cm tall, the twigs appear leafless and the leaves reduced to small scales, cones sessile shaped, clustered in the axils or at branch tips (Shaltout et al., 1996). *E. alata* grows wildly on the gravely rocky, sandy and clay soil in arid environments often near shifting sand dunes (Shaltout et al., 1996). Many reports in the world showed the antifungal capacity against a lot of fusarium species (Al-Qarawi et al., 2014).

2. Material and Methods

2.1. Plant material

The plant species *E. alata* subsp. *alenda* (Stapf.) Trab., was collected from its natural habitat, we chose the Taghit region in Saoura province. The plant material used corresponds to the aerial part composed of twigs and leaves of the species (Figure 01).

2.2. *Fungal material*

Three strains of *F. oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa), were used in this study of different origins provided by CRSTRA (Experimental Station of Biophysical Environment, Bechar from the Centre for Scientific and Technical Research on Arid Regions, Biskra):

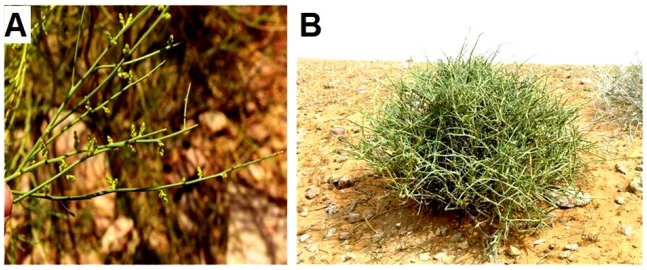


Figure 1 : *Ephedra alata alenda* (Stapf.) Trab.' (Region: Taghit, Bechar province).
A : Fruits ; B : General observation. (Benzohra et al., 2019).

These strains are native to the regions of Saoura province in south western of Algeria. The citation of the isolates with their codification and origins was presented in Table 01.

Foa strains	Province	Groves localities	Isolation dates
S1	Saoura	Ouakda, Bechar	March 2018
S2		Bechar	March 2018
S3		Bechar	March 2018

Table 1: *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa) strains with their origin. S: Strain ; Foa : *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*

2.3. Strains conservation

The causal pathogen of date palm wilt disease (Bayoud, *F. oxysporum* f. sp. *albedinis* 'Foa'), was isolated from infected palms. The three strains of Foa were maintained on Potato Dextrose Agar (PDA), at 22+3 °C for 10 days, these fungi cultures were used in this study (Oei, 2005).

2.4. Plant extract Preparation

Stems and leaves samples of *Ephedra alata* subsp. *alenda* were troughly washed and ground to fine powderbin liquid using a mortar and pestle (Dellavalle et al., 2011). Powdred plant materials were extracted with methanol (99%, Fischer Lab., France), and ethanol (95%, Fischer Lab., France), at 120rpm for 72 h (30°C), with dilution to obtain three different concentrations 10^{-1} mg/ml, 10^{-2} mg/ml, and 10-3 mg/ml (Onaran and Saglam, 2016).

2.5. Plant extract yield (%)

The yield (%, w/w) from all two extract plants was calculated as:

Yield (%) = (W_1 × 100) / W_2

Where :

W1 : Weight of plant extract after lyophylization of solvant ;

W2 : Weight of plant extract powder.

2.6. Growth inhibition evaluation

To evaluate the growth inhibition of Foa strains, we calculated the growth inhibition rate (I%) by the formula mentioned by Pandey el al. (1982):

I(%) = [(Dc – Dt)/Dc]× 100

Where:

I(%): Rate of mycelial growth inhibition by methanolic and ethanol extract effects;

Dc: Mycelial growth in control;

Dt: Mycelial growth in treatment.

2.7. Statistical analysis

The date were analysed using ANOVA (Analysis of variance) test. Differences between the means were determinate by test of Kruskal-Wallis at 5% of probability (P<0.05). The software used was XLStat 2009.1.02, (AddinSoft, USA).

3. Results

3.1. Extract yield (%)

The results in the table 2, showed the extraction yields for the methanolic and ethanolic extract of the species plant *E. alata* subsp. *alenda*. The yield of methanolic extract was more important (37,5%), than the ethanolic extract (32%).

Plant species name	Extract type	Extract yield (%)
Ephedra alata subsp. *alenda*	Methanolic extract	37,5
	Ethanolic extract	32

Table 2: Yield Percentages of methanolic and ethanolic plant extract of *Ephedra alata* subsp. *alenda*.

3.2. Methanolic and ethanolic extract effect

The mycelial growth on petri dishes of three Foa strains treated with two plant extracts showed small diameters than control (Figure 02). A significant effect was observed at 5% (P<0,05), for methanolic and ethanolic extract on antifungal activity of three Foa strains (Table 03). The value of Inhibition rate (I%) of mycelia growth of Foa strains vary between 25,4 and 70,6% by methanolic extract, and between 28,3 and 70,9% by ethanolic extract (Figure 03).

In comparison between the two plant extracts, the value of I% were very close with no difference also between the Foa strains. These results confirmed that two plant extracts, methanolic and ethanolic, have the same antifungal action on Foa strains.

Thus, the concentrations (10^{-1} mg/ml, 10^{-2} mg/ml and 10^{-3} mg/ml), showed a differences in both extracts on mycelia growth. We observed that the concentration 10^{-1} mg/ml has important values of inhibition (I%), that other two concentrations (Figure 03). While the third concentration 10^{-3} mg/ml presented a small values of I% vary between 24,5 and 30,9%.

These results, showed the similar antifungal action on Foa strains of methanolic and ethanolic extracts, and the difference just between the concentrations was observed.

4. Discussion

The present study tested the antifungal activity of methanolic and ethanolic plant extracts of *Ephedra alata* subsp. *alenda* on mycelial growth of (Foa) strains, the causal agent of bayoud disease on date palm (*Phoenix dactylifera* L.). These extracts were used with three different concentrations (10^{-1} mg/ml, 10^{-2} mg/ml and 10^{-3} mg/ml).

Many studies in differents countries reported the importance of extract plants on development of phytopathogenic fungi (Haddouchi et al., 2016; Al-Rahmah et al., 2013 ; Béné et al., 2016). The importance of the species studied in our work, *Ephed-*

Foa strains	Control (x ±δ)	Methanolic extract (x ±δ)			Ethanolic extract (x ±δ)		
		10^{-1} mg/ml	10^{-2} mg/ml	10^{-3} mg/ml	10^{-1} mg/ml	10^{-2} mg/ml	10^{-3} mg/ml
S1	$33,5^{b}$ ±1,3	10^{a} ±1	18.75^{ab} ±1.2	25^{ab} ±1.8	9.25^{a} ±0.95	18.25^{ab} ±1.2	24^{ab} ±0.8
S2	34^{b} ±0.95	10^{a} ±1	18.75^{ab} ±1	24.75^{ab} ±2.5	10^{a} ±0.8	18.25^{ab} ±0.5	23.5^{ab} ±0.5
S3	$33,5^{c}$ ±1,3	10^{a} ±1	18.75^{ab} ±1	25^{bc} ±0.8	9.75^{a} ±0.95	18.25^{ab} ±0.95	23.5^{bc} ±1.3
LSD	$P_{0.05}$ (05%)	S1 : 24,38*			ddl : 6		
		S2 : 24,51*			C.V. : 22,6%		
		S3 : 24,55					

Table 3: Effect of methanolic (M) and ethanolic (E) plant extract of *Ephedra alata* subsp. *alenda,* by use of three different concentrations (C1, C2 and C3), on mycelia growth of three Foa strains (S1, S2 and S3).
LSD: Least significant difference; *: Significant effect at 05% (P<0.05) ; x : Mycelial growth mean's (mm/day) ; δ : Standard-deviation; a, b, c : Homogenate groups; P : Probability; ddl: Liberty degree's

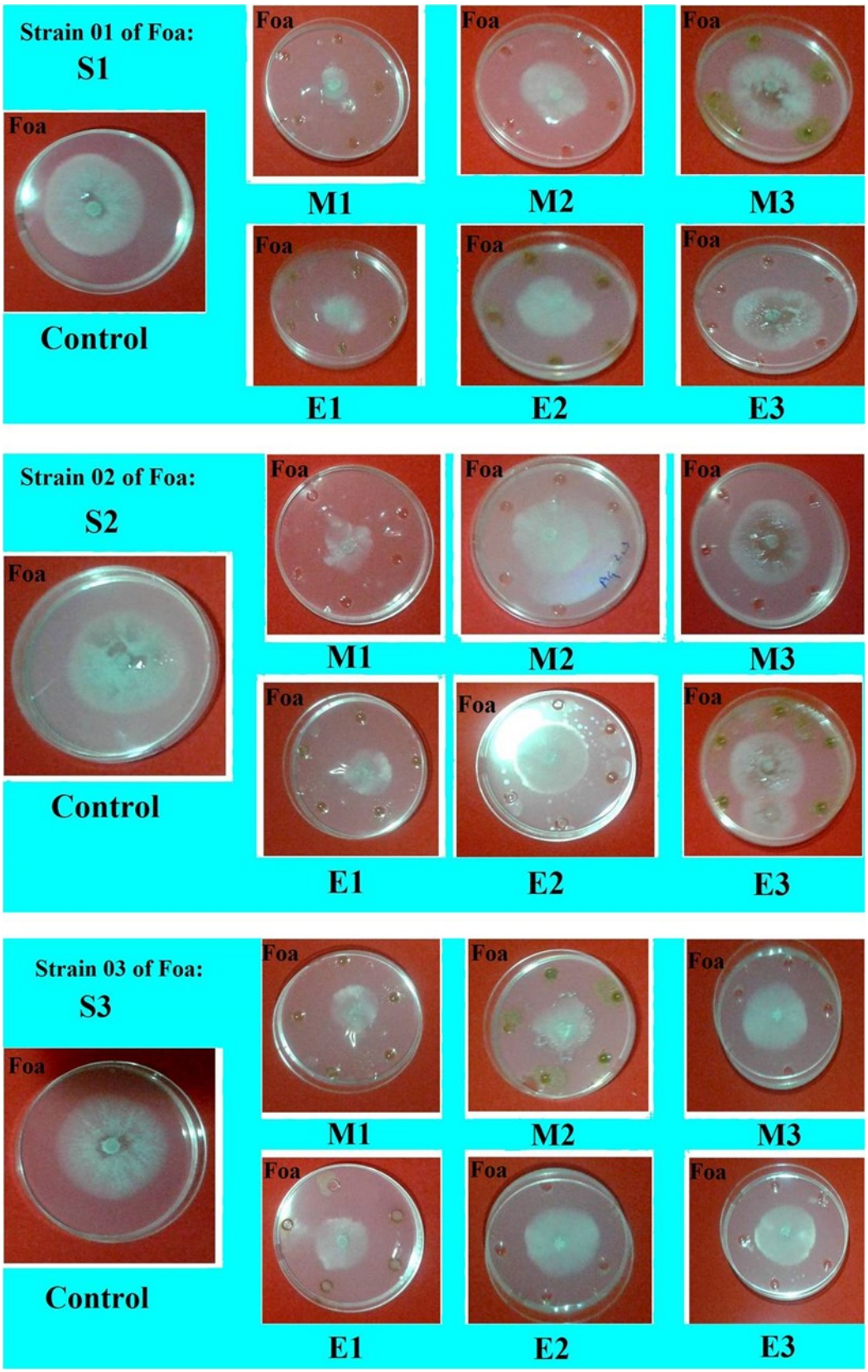


Figure 2: Colonies of three Foa strains (S1, S2 and S3), by effect of three different concentrations (M1 and E1; M2 and E2; M3 and C3) of methanolic (M) and ethanolic (E) plant extract of *Ephedra alata* subsp. *alenda*. Foa: *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*.

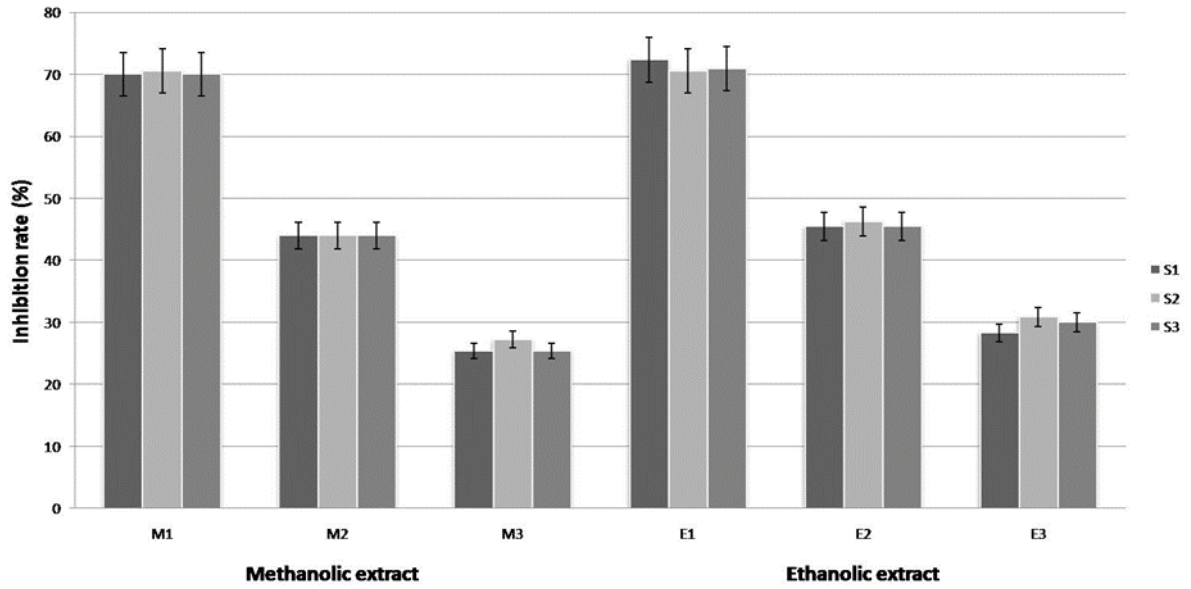


Figure 3: Inhibition rates (I%) of mycelial growth of Foa strains by methanolic and ethanolic extract effect of *Ephedra alata* subsp. *alenda*. (S1, S2 and S3: Foa strains).

ra alata subsp. *alenda*, was reported its antifungal activity also by Caveney *et al.* (2001), on some phytopathogenic fungi like *Fusarium oxysporum* f. sp. *radici-lypersisci*, by Bagheri *et al.* (2013) on *Aspergillus parasiticus*, and by Rosato *et al.* (2007) on phytopathogenic bacteria. Other work reported by Al-Qarawi *et al.* (2014), showed antifungal capacity of *Ephedra alata* plant powder against fungi storage of mays (*Zea mays* L.) and Soybean (*Glycine max* L.).

This study the methanolic and ethanolic extracts of *Ephedra alata* subsp. *alenda* showed very important yields percentages (37,5 and 32%, respectively). These yield values are very close in works of Dellavalle et al. (2011) by the extract of the plant species *Boccharis trimera, Zea mays, Cynara scolymus* and *Schinus molle*, where showed yield varies between 18,6 and 34,5%.

The antifungal capacity of two plant extracts test in our study showed important value of I% varied between 25,4 and 70,9%. This antifungal capacity was reported by Nashwa and Abo-Elyousr (2012), on mycelia growth of *Alternaria solani*, agent of earlier blight of tomato (*Lycoperscum esculentum* L.), and by Bajpai and Kang (2012) on mycelia growth of *Fusarium oxyporum*, *Peronospora capsici*, *Sclerotinia sclerotiorum* and *Botrytis cinerea*, parasites of *Solanacaea* and *Cucurbits* plant species groups in greenhouses.

In our essay, the three concentrations showed a diiference in both extracts (methanolic and ethanolic extract): Two concentrations 10^{-1} et 10^{-2} g/ml showed very important I% values, vary between 44 and 70,9%, than the third concentration 10^{-3} g/ml, where showed a fairy antifungal actions, with I% values vary between 25,4 and 30,9%.

This difference was observed also on *Aspergillus flavus* by plant extrat of the species *Sturja calamintha* with I% value varied between 01 and 25% (Bougandoura and Bendimerad, 2012).

In some cases, the inhibition rate (%) of mycelial growth arrived until 100% against *Pythium ultimum, Fusarium oxysporum, Rhizoctonia solani* … etc., by using of plant extracts of *Salvadora persica* (Al-Rahmah *et al*., 2013), *Allium sativum* (Aba-Alkhail, 2005), and *Lippia alba* (Dellavalle et al., 2011).

5. Conclusion

This work was studied the antifungal capacity of the plant species *E. alata* subsp. *alenda* (Stapf.) Trab., on mycelial growth of *F. oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa) strains, the causal agent of bayoud disease on date palm (*P. dactylifera* L.).

The results showed the extraction yields showed that the methanolic extract was more important (37,5%), than the ethanolic extract (32%). A significant effect was observed at 5% ($P<0,05$), for methanolic and ethanolic extract on antifungal activity of three Foa strains was observed. The value of Inhibition rate (I%) of mycelial growth of Foa strains vary between 25,4 and 70,6% by methanolic extract, and between 28,3 and 70,9% by ethanolic extract. The three concentrations of two plant ex-

tracts, presented in two concentrations 10^{-1} et 10^{-2} g/ml I% values vary between 44 and 70,9%, but the third concentration 10^{-3} g/ml, showed a fairy levels of I% values, vary between 25,4 and 30,9%.

Further studies are needed to determine the chemical identity of bioactive compounds of this species plant, which responsible of this antifungal action. It can be concluded that to consider and take these natural fungicides in the control program against bayoud disease of date palm in contaminated groves in Algeria.

References

Aba-Alkhail AA (2005) Antifungal activity of some extracts against some plant pathogenic fungi. Pakistan Journal of Biological Sciences 08(3): 413-417.

Alabouvette C (1999) Fusarium wilt suppressive soils: an example of disease suppressive soils. Australasian Plant Pathololgy 28:47–64.

Al-Rahmah AN, Mostafa AA, Abdel-Majeed A, Yakout SM, Hussein SA (2013) Fungicidal activities of certain methanolic plant extracts against tomato phytopathogenic fungi. African Journal of Microbiology Research 07(06): 517-524.

Alqarawi AA, Abd Allah EF, Hashem A (2014) Alleviation of salt-induced adverse impact via mycorrhizal fungi in *Ephedra aphylla* Forssk. Journal of Plant Interactions 09(1): 802-810, DOI: 10.1080/17429145.2014.949886

Bagheri G, Bigdeli M, Shams GM, Razzaghi AM (2009) Inhibitory Effects of *Ephedra* major Host on *Aspergillus parasiticus* Growth and Aflatoxin Production. Mycopathologia 168: 249-255.

Bajpai VK, Kang SC (2012). *In vitro* and *in vivo* inhibition of plant pathogenic fungi by essential oil and extracts of *Magnolia liliflora* Desr.. Journal of Agricultural science and Technology 14 : 845-856.

Béné K, Fofié NGBY, Gnahoué G, Camara D, Zirihi GN (2016) Etude botanique et activité antifongique *in vitro* sur *Trichophyton mentagrophytes de Bersama abyssinica* Fresen. (Melianthaceae).

Benzohra IE, Megateli M, Elayachi BA, Zekraoui M, Djillali K, Bouafia A, Benouis S, Benaziza A, Rekis A (2017a) Integrated management of Bayoud disease on date palm (*Phoenix dactylifera* L.) caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* in Algeria. Journal Algérien des Regions Arides 14: 93-100.

Benzohra IE, Megateli M (2017b) Biological Control Against Bayoud Disease of Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) using Antagonistic Fungi Species: Antibios and Mycoparasitism Studies", International Journal of Science and Research 06 (12): 557 - 563, https://www.ijsr.net/archive/v6i12/v6i12.php, #ijsrnet.

Benzohra IE, Megateli M, Belaidi H, Toumi-Benali F (2019) Activité antifongique de l'extrait méthanolique de R'tem (*Retama raetam*) sur la croissance mycélienne et la sporulation de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, agent de Bayoud du Palmier dattier. Journal Algérien des régions Arides 13 (2): 01-11.

Bougandoura N, Bendimerad N (2012) Effet antifongique des extraits aqueux et méthanoliques de *Strureja calamintha* ssp. (Nepeta) Briq.. Revue Bioressources 02 (01) : 01-07.

Bowers JH, Locke JC (2000) Effect of botanical extracts on the population density of *Fusarium oxysporum* in soil and control of *Fusarium* wilt in the greenhouse. Plant Disease 84:300–305.

Caveney S, Charlet DA, Freitag H, Maier-Stolte M and Starratt A (2001) New observations on the secondary chemistry of world *Ephedra* (Ephedraceae). Am. J. Bot., 88: 1199-1208.

Dellavalle PD, Cabrera A, Alem D, Larranaga P, Ferreira F, Rizza MD (2011) Antifungal activity of medicinal plant extracts against phytopathogenic fungus *Alternaria* spp. Chilean Journal of Agricultural Research 07(2): 213-239.

Djerbi M (2003) *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedini*. OEPP/EPPO Bulletin 33 : 245–247.

Doumbouya M, Kouabenan A, Lepengue AN, Camara B, Kanko K, Aidara D, Kone D (2012) Activités comparées in vitro de deux fongicides de synthèse et de deux huiles essentielles, sur des champignons telluriques des cultures maraichères en Côte d'Ivoire. *J.* Appl. Bioscience 50 : 3520-3532.

Friedman WE., ed. (1996) Biology and evolution of Gnetales. International Journal of Plant Sciences 157 (6, Supplement), S1-S 125.

Garibaldi A, Guglielmone L, Gullino ML (1990) Rhizosphere competence of antagonistic Fusaria isolated from suppressive soils. Symbiosis 09:401–404.

Haddouchi F, Zerhouni K, Sidi-Yekhelef A, Chaouche TM (2016) Evaluation de l'activité antimicrobienne de différents extraits d'*Helichrysum stoechas* subsp. *rupestre*. Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liege 85 : 152-159.

Nashwa SMA, Abo-Elyousr KAM (2012) Evaluation of various plant extract against the early blight disease of tomato plants under greenhouse and field conditions. Plant Protection Science 48(02) : 74-79.

Oei P (2005) La culture des champignons à petite échelle : pleurotes, shiitakes et auriculaires. Wageningen, Pays-Bas : Fondation Agromisa, CTA.

Onaran A, Saglam HD (2016) Antifungal activity of some plant extracts against different plant pathogenic fungi. International Journal of Advances in Agricultural & Environmental Engineering (IJAAEE) 03(2): 284-287.

Pandey DK, Tripathi NN, Tripathi RD, Dixit SN (1982) Fungitoxic and phytotoxic properties of essential oil of *Hyptis suaveolens*. Z. Pflanzenk 89: 344–349.

Saaidi M (1990) Amélioration génétique du *palmier dattier*. Critères de sélection, techniques et résultats. In : Dollé V., Toutain G. Les systèmes agricoles *oasiens.* Montpellier (France) : CIHEAM-IAMM. p. 133-154. (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens, n. 11). Les Systèmes Agricoles Oasiens, 1988/11/19-21, Tozeur (Tunisie).

Sedra MyH (2005a) La maladie du Bayoud du palmier dattier en Afrique du Nord : Diagnostic et caractérisation. Actes du Symposium International sur le Développement Durable des Systèmes Oasiens. Maroc. pp : 26-34.

Sedra MyH (2005b) Caractérisation des clones sélectionnés du palmier dattier et prometteurs pour combattre la maladie du Bayoud. Actes du Symposium International sur le Développement Durable des Systèmes Oasiens. Maroc. pp : 72-79.

Shaltout KH, El-halwany EF, El-kady HF (1996) Consequences of protection from grazing on diversity and abundance of the coastal lowland vegetation in Eastern Saudi Arabia. – Biodiversity and Conservation 05: 27–36.

Chapitre 08

Utilisation de l'eau ozonée comme un désinfectant antifongique contre le Bayoud du palmier dattier

Chapitre 08

Capacité de l'eau ozonée comme un désinfectant antifongique contre le Bayoud du palmier dattier

Dans le même contexte de lutte biologique contre le *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa. Cette fois ci, nous avons testé l'effet désinfectant des sols et de la rhisosphére contaminés par le bayoud, en utilisant l'eau ozonée pour protéger les plantules du palmier dattier. Pour cela, on a testé *in vivo* deux variétés commerciales importantes du palmier dattier (H'mira et Deglet Nour) en utilisant 20 souches de Foa comme un inoculum pour réduire le taux de mortalité des plantules inoculées par le bayoud en présence et en absence de l'eau ozonée.

L'agriculture moderne cherche toujours des nouvelles techniques pour guérir des plantes cultivées aux défférentes contraintes qui les affectent avec la réduction d'épandage des intrants chamiques (engrais et pesticides), et comment les introduire dans les programmes de lutte contre les ennemis des cultures (Pages *et al*., 2015).

L'ozone est un agent oxydatif qui possède en effet un pouvoir puissant que l'eau oxygénée, et trouve des applications en environnement, agriculture et agroalimentaire, pour détruire certains microorganismes. Pour l'environnement, cette molécule depuis sa découverte dans les années 1980s est meilleur désinfectant par son pouvoir germicide des microorganismes dans les eaux usées (Pages *et al*., 2015). L'utilisation de l'eau ozonée pourrait remplacer facilement les pesticides chez les pépiniéristes, avec un intérêt dans la lutte contre les champignons phytopathogènes du bois pour les arbres fruitiers et la vigne (Nicoué *et al*., 2004). Mais sur champ, l'application de cette molécule comme un autre moyen de lutte antifongique reste limitée. Piérron (2015) a permis de valider l'intérêt de traitements à l'eau ozonée contre plusieurs agents pathogènes de la vigne comme *Botrytis cinerea, Phytopthora infestans,* et *Phaeoacremonium aleophilum.*

Par ailleurs, et comme l'application de l'eau ozonée contre le Bayoud du palmier dattier, n'a jamais fait l'objet d'étude, nous avons évalué les potentialités antifongiques et désinfectantes de cette eau sur l'incidence de la maladie de Bayoud en testant deux variétés commerciales importantes, Deglet Nour et H'mira.

8.1. Matériels et Méthodes

8.1.1. Variétés du palmier dattier

Comme il a été déjà signalé, 02 variétés du palmier dattier (H'mira et Deglet Nour), ont été utilisées issues du semis direct dans des pots. Les plantules prêtes à inoculer du stade 2-4 feuilles, ont besoin d'un temps de 02-03 mois pour arriver à ce stade.

8.1.2. Souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*

Les 20 souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa), ont été utilisées dans cette étude originaires des régions différentes dans le sud ouest algérien, fournées par CRSTRA (Station Expérimentale du Milieu Biophysique de Naama du Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides, Biskra), sont mentionnées dans le Tableau 09 (Chapitre 02).

8.1.3. Technique de l'obtention de l'eau ozonée

L'ozone (O_3) est une molécule très importante dans le domaine de la désinfection microbienne. Cette molécule est capable facilement ajoutée dans l'eau d'irrigation des plantes d'être un désinfecteur de toutes sources d'inoculum (microorganismes phytopathogènes) au niveau de la rhizosphère (Campayo *et al.*, 2020). Pour ajouter ou diffuser l'ozone dans l'eau, il faut utiliser un générateur de l'ozone (Ozoneur ou injecteur), (BEYOK Ozone FM-C600 ®, Jiaxing, Zhejiang, Chine), (Figure 82). A l'aide de cet appareil, l'ozone va être diffusé dans l'eau d'irrigation juste après une seconde, puis elle sera dissoute dans l'eau (Figure 82).

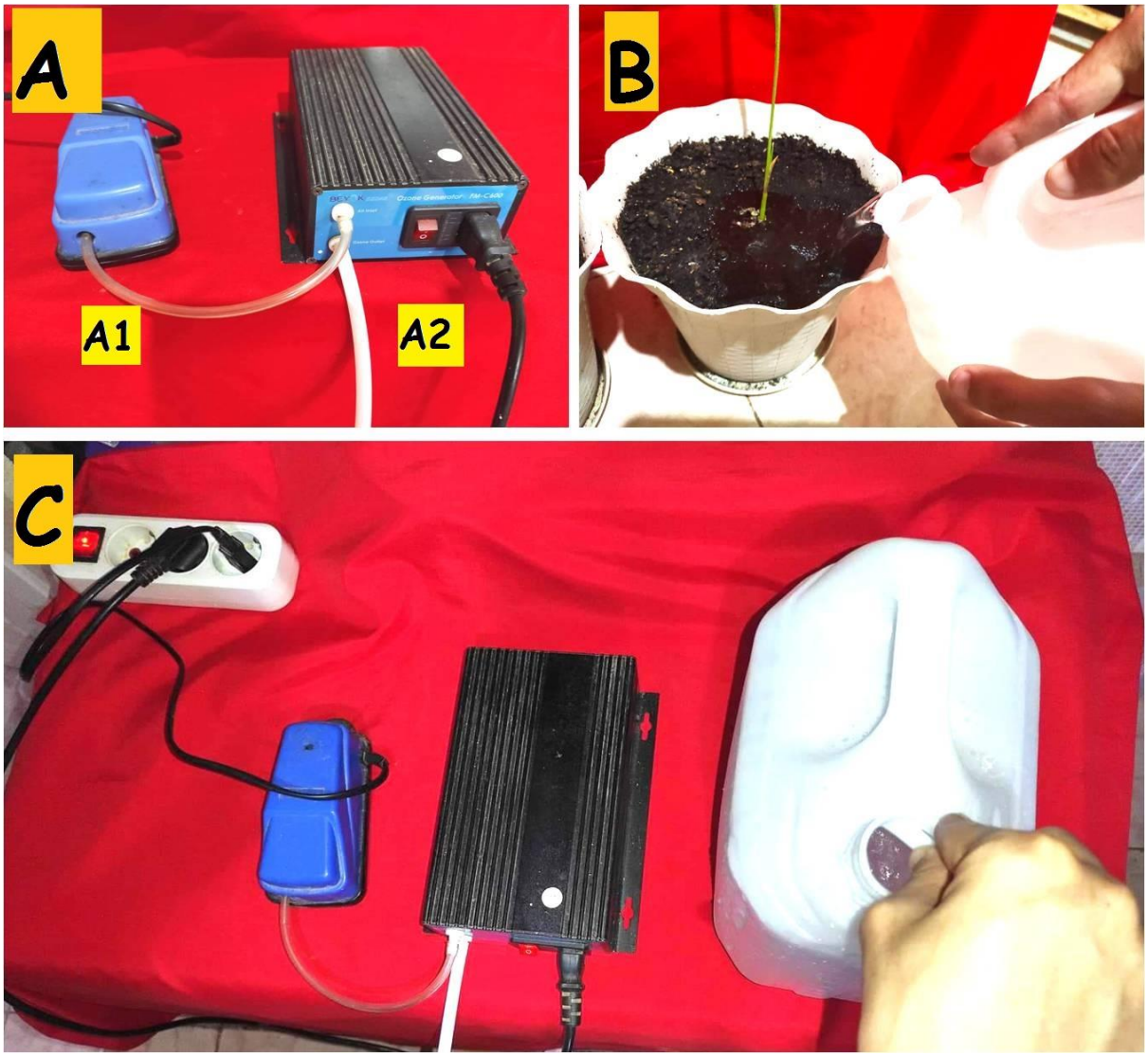


Figure 82 : Technique d'obtention de l'eau ozonée par un générateur Venturi. **A** : Générateur de l'ozone; **B** : Irrigation des plantules par l'eau ozonée ; **C** : Méthode de l'injection et de la diffusion de l'ozone par un générateur dans l'eau d'irrigation des plantules à tester. (Source : BELAIDI, 2022).

8.1.4. Test d'inoculation des plantules par le Foa

Les plantules du palmier dattier sont obtenues en effectuant les étapes et la méthode de (Oihabi et Meddich, 1996), déjà citée dans les chapitres précidents.

Au bout de 20 jours, quand les graines germent, on les deplace dans des pots contenant la tourbe stérile et on irrigue chaque 48 heures jusqu'à où les plantules arrivent au stade 2-4 feuilles. (Figure 83).



Figure 83 : Plantules de palmier dattier utilisées dans le test d'inoculation par le Foa. (Source : BELAIDI, 2022).

8.1.5. Préparation de l'inoculum et inoculation artificielle

Les cultures des souches de Foa sont inondées avec de l'eau distillée stérile puis grattées avec une spatule de verre stérile. La suspension de spores obtenue est ajustée à 5×10^3 spores/ml à l'aide d'une cellule de Malassez (Sedra, 2005a). Tous les isolats utilisés dans cette étude proviennent d'une culture monospore.

Ce test consiste à arroser les plantules au stade 2-4 feuilles, cultivées dans des pots, avec une suspension de l'inoculum (Foa) de 5×10^3 conidies/ml (Sedra, 2005a). Le dispositif expérimental choisi est en blocs, avec 3 répétitions (plantules) pour chaque variété. Dans ce test, on distingue des plantules inoculées par Foa avec trois plantules irriguées avec l'eau de robinet (témoin), et trois autres plantules sont irriguées avec l'eau ozonée (traitement), (Fujiwara *et al*., 2006).

- ✓ La réaction des plantules vis-à-vis de Bayoud, a été évalué en caculant le taux de mortalité (TM%), selon Silva *et al*., (2013) comme suivant:

$$\mathrm{TM}(\%) = \frac{\text{Nombre de plantes mortes}}{\text{Nombre total de plantes testées}} \times 100$$

Par cette formule, on peut déterminer les variétés sensibles et résistantes selon Silva *et al*., (2013) comme suivant :

- ✓ **R** : Variété Résistante (0%) ;
- ✓ **T** : Variété Tolérante (1-15%) ;
- ✓ **S** : Variété Sensible (16-50) ;
- ✓ **TS** : Variété Très Sensible (51-100%).

8.1.6. Analyse statistique

L'analyse a été faite à l'aide du logiciel XLStat 2021.04, (AddinSoft, Etats-Unis). L'étude de la signification est effectuée avec le test de Kruskal-Wallis à 5% ($P<0.05$). Le facteur étudié est la désinfection antifongique, l'observation est la réaction des plantules vis-à-vis des souches de Foa et l'unité expérimentale est la moyenne du taux de mortalité des plantes inoculées par le Bayoud.

8.2. Résultats

L'analyse statistique des résultats a montré un effet significatif ($P<0.05$), (Tableau 22). Une différence importante a été observée sur la réaction des plantules des deux variétées testées en présence ou absence de l'eau ozonée pendant l'irrigation. (Figure 84).

Cette différence a été traduite par les valeurs du taux de mortalité des plantules du palmier dattier (TM%). Ce taux est de 0% chez les plantules irriguées par l'eau ozonées qui se traduit par l'absence des symptomes de Bayoud sur les plantules inoculées par Foa. Le contraire a été observé pour les plantules inoculées par Foa et irriguées par l'eau de robinet où ce taux a arrivé jusqu'à 100% (Figure 84).

Ces résultats ont confirmé la réduction de l'agressivité de la maladie de Bayoud sur les variétés sensibles comme Deglet Nour et H'mira (Tableau 22). Cette réduction nous indique la protection des plantules contre le Bayoud et confirme le rôle important de l'eau ozonée pendant l'irrigation comme un désinfectant antifongique respectuant de l'environnement.

Tableau 22: Effet de l'eau ozonée sur l'incidence et l'agressivité de Bayoud sur les plantules de deux variétés testées du palmier dattier.

Variétés	**Taux de mortalité (%)**		**Réaction**	
	Témoin	**Traitement**	**Témoin**	**Traitement**
H'mira	100%	0%	TS	R
Deglet Nour	100%	0%	TS	R
Moyenne de TM% Témoin 100 %		**Moyenne de TM% Témoin :0 %**		
F claculé: 142,2*				
ddl : 11				
Probablité (5%) : 0,0001				
C.V. (%) = 18,5%				

Foa : *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis ;* **F :** F calculé ou critique ; **ddl:** Degré de liberté; P: Probabilité à 5%; **C.V. :** Coefficient de variation ; **A, b, c, d:** Groupes homogènes. R : Variété Résistante (0%) ; T : Variété Tolérante (1-15%) ; S : Variété Sensible (16-50) ; TS : Variété Très Sensible (51-100%), (Silva *et al*., 2013).

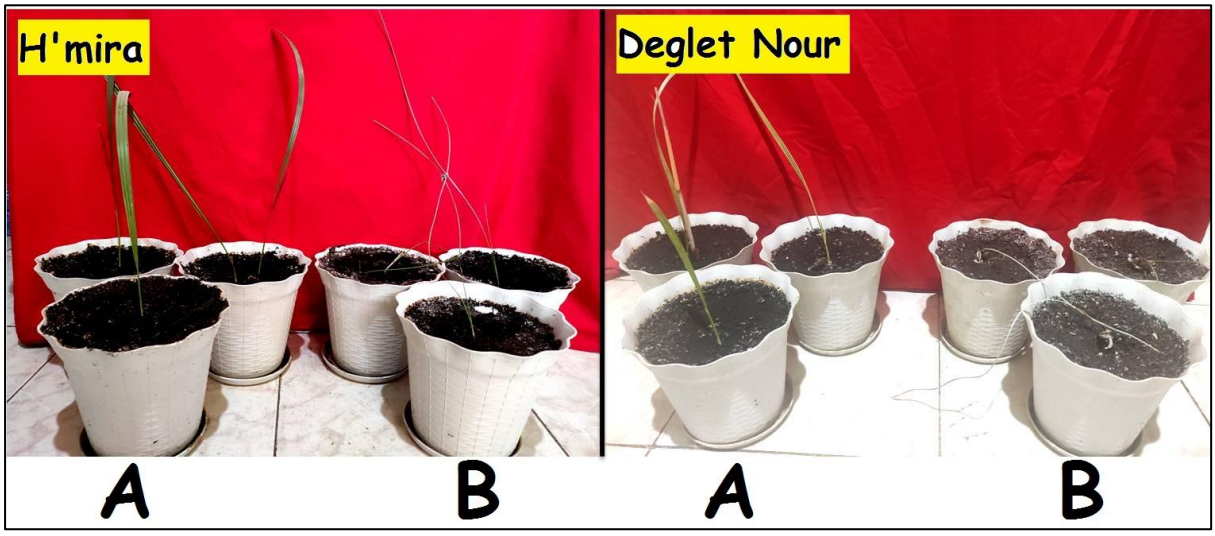


Figure 84: Effet de l'eau ozonée sur l'incidence et l'agressivité de Bayoud sur les plantules des variétés, H'mira et Deglet Nour. **A** : Traitement (Présence de l'eau ozonée). **B** : Témoin (Absence de l'eau ozonée). (Source : BELAIDI, 2022).

8.3. Discussion

Cette étude a pu mettre en évidence, le role de cette eau ozonée, dans la lutte contre la prolifération du champinons *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, ce moyen désinfectant des sols et de la rhisosphère, se rajoute dans la liste des moyens biologiques, contre la pls parts des champignons agressifs des différentes cultures et danc ses potentialités antifongiques permettent la préservation et la protection de l'écosystème oasien (variétés des cultures locales, faune-flore utiles, sols, nappes, …).

Dans notre essai, les plantules inoculées par le Foa sont protégées significativement par l'utilisation de l'eau ozonée pendant l'irrigation. Cette protection s'est traduite par la réduction remarquable du taux de mortalité des plantules inoculées jusqu'à 100%, pour les deux variétés testées (H'mira et deglet Nour), (Tableau 22).

Dans la bibliographie, beaucoup des travaux de recherche dans le monde qui traitent le sujet de l'importance de la molécule d'ozone (O_3), contre différents types de microorganismes, soit dans les procédés agroalimeentaires (charcuterie, viandes et fromagerie), (Smilanick *et al*., 1999), soit pendant l'entreposage et transport des produits alimentaires (fruits, legumes et semences), (Nicoué *et al*., 2004), ou pendant la saison de culture sur champ (Fujiwara *et al*., 2006 ; Campayo *et al*., 2020).

Le taux de mortalité des plantes, est le critère le plus utilisé par les auteurs pour étudier le pouvoir désinfectant de l'eau ozonée contre les germes infectieux des plantes cultivées, bactéries et champignons. Ce taux a été réduit jusqu'à 90% contre *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersisci*, agent du flétrissement vasculaire de la tomate (*Lycopersicum esculentum* L.), (Fujiwara *et al*., 2006), *Phytophthora capsici*, agent du mildiou du piment (*Capisicum annuum* L.), (McDonald, 2007), et *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*, agent de la pourriture molle bactérienne de Colza (*Brassica campestris*), (Guo et Wang, 2016).

Ces résultats sont proches avec ceux obtenus dans nos essais avec une réduction du taux de mortalité des plantules du palmier dattier contre le Bayoud jusqu'à 100%.

D'autres travaux ont rapporté que l'eau ozonée est efficace non seulment sur les contraintes biotiques, mais aussi sur quelques contraintes abiotiques.

C'est le cas des travaux de Peykanpour *et al.* (2016) qui ont montré des résultats encourageants sur le rendement et la qualité de produit agricole récolté lorsqu'on utlise l'eau ozonée pendant l'irrigation dans les sols de forte salinité.

D'après ces travaux de recherche, avec ceux obtenus dans notre propre travail, on peut dire que cette molécule (O_3), pourrait réduire et diminuer les dégats causées sur les cultures dus aux agents phytopathogènes.

Enfin, nous disons que l'utilisation de l'eau ozonée reste un autre moyen de lutte efficace et respectant de l'environnement contre le Bayoud. On peut dire que la valorisation de l'eau ozonée comme un autre moyen de lutte reste préliminaire, qui nécessite de renforcer d'autres études sur cette molécules (O_3), dans les années prochaines.

Conclusion Générale

Conclusion Générale et Perspectives

Cette thèse a traité les possibilités de lutte contre le Bayoud du palmier dattier, causé par *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* (Foa), la maladie fongique la plus menaçante de la phoeniciculture en Algérie. Dans cette étude, nous avons choisi comme moyen de résistance, la lutte génétique et la lutte biologique, en utilisant 20 souches de Foa collectée de la région du sud ouest algérien, testées sur 14 variétés locales du palmier dattier.

La lutte génétique consistait à chercher des sources de résistance au sein de la gamme de 14 variétés locales du palmier dattier, par l'utilisation de deux tests de screening différents : un test en pots (green-house screening), et un autre en tubes à essai (cut-twig screening).

La lutte biologique a été assurée, en utilisant les microorganismes utiles : champignons et bactéries endophytes antagonistes, champignons mycorhiziens, extraits bruts des végétaux et l'eau ozonée désinfectant.

Les résultats nous ont indiqué qu'il y a eu un effet significatif ($P<0.01$), et qui a été observé dans les tests expérimentaux réalisés. Le test de screening a révélé des résultats très importants en matière de recherche des cultivars résistants, où le test screening en pots, ont montré qu'il y a 5 variétés résistantes (Tamdjouhert, Adem Bulla, Degla Beida, Mech Degla, Taquerboucht), 1 tolérante (Feggous) et 8 sensibles (Figuig, Toudent, Azarza, Deglet Nour, H'mira, Hartan, Sbaa Soltan, Tanboucht), tandis que le deuxième test (en tubes), a montré seulement deux cultivars résistants (Taquerboucht et Hartan). La comparaison entre les deux tests nous indique qu'il y a quelques différences dans les résultats, mais le spectre de résistance/sensibilité reste similaire ou proche si on fait une comparaison entre les deux tests de screening effectués. Mais malgré cette similarité de résultats, le test de screening en tubes (Cut-twig) reste le plus gagnant du temps si on aura besoin d'obtenir des résultats rapides dans certains cas (test de quarantaine).

Les tests de lutte biologique ont montré aussi des résultats impressionnants, dans les quels, le test de lutte par les microorganismes endophytes (champignons et bactéries antagonistes) a présenté, *in vitro,* des valeurs de croissance mycélienne variant entre 2,04 et 2,6 mm/j, sous l'effet de *T. harzianum*, entre 1,77 et 2,5 mm/j sous l'effet de *A. flavus*, et entre 1,76 et 2,86 mm/j sous l'effet des trois espèces bactériennes (*Bacillus subtilus, B. amyloliquefasciens* et *Pseudomonas plecoglossicida*), qui sont toujours inférieures, au témoin qui enregistre des

valeurs variant entre 2,85 et 5,4 mm/j ;en signalant que les valeurs du taux d'inhibition de croissance mycélienne varient entre 28,05 et 68,8 %, selon la souche testée et l'espèce antagoniste utilisée.

Dans le test *in situ*, on a remarqué que les 14 variétés inoculées, étaient protégées en présence de l'antagoniste *T. harzianum*, en marquant une résistance à la maladie de Bayoud et en réduisant le taux de mortalité (TM%), avec une protection de 8 variétés du palmier dattier étudiées, il s'agit de : (Feggous, Toudent, Azraza, Deglet Nour, Hmira, Hartan, Sbaa Soltan et Tanboucht). Cette réduction est arrivée même à atteindre un taux de mortalité de 0% comme chez le cas des variétés : Feggous, Toudent, Azarza, Hmira, Hartan, et Sbaa Soltan ; par contre, la variété 'Figuig', même en présence du champignon endophyte *T. harzianum,* elle a montré une sensibilité très visible vis-à-vis des souches de Foa.

Les résultats du test de mycorhization, sont significatifs, avec des valeurs différentes du taux de mortalité (TM%), des plantules mycorhizées (présence de poireau) par rapport aux non mycorhizées. La réduction du taux de mortalité est arrivée jusqu'à 0% des plantules inoculées pour 12 variétés, qui sont: Feggous, Figuig, Toudent, Azarza, Tamdjouhert, Adem Bulla, Degla Beida, Deglet Nour, Hmira, Hartan, Sbaa Soltan, et Tanboucht.

En revanche, la mycorhization a permis à 7 variétés sensibles de résister beaucoup mieux au Bayoud, il s'agit là de : (Feggous, Toudent, Azarza, Deglet Nour, Hmira, Hartan, et Tanboucht). Cette mycorhization a été confirmée par l'isolement et l'identification de trois espèce mycorhiziennes '*Glomus constritum*, *G. intraradices*, et *G. microcarpum*' à partir des sols de la rhizosphère des plantules testées.

En parallèle, les résultats obtenus par l'utilisation des extraits bruts des deux espèces végétales, Alanda et Ortie, contre le Bayoud étaient appréciables, avec des valeurs de croissance mycélienne ne dépassant pas 3,8 mm/j, selon la souche de Foa testée, la concentration, et l'extrait végétal, qui sont toujours inférieures au témoin et variant entre 4,01 et 4,27mm/j. Et les valeurs du taux d'inhibition de croissance mycélienne varient entre 6,7 et 75,1 %, selon l'extrait et la concentration.

L'eau ozonée a montré des résultats encourageants où a pu protéger les plantules de deux variétés (Deglet Nour et H'mira), aux attaques parasitaires de Bayoud avec un taux de mortalité de 0%. Ces résultats nous indiquent la capacité désinfectante de l'eau ozonée contre les germes infectieux.

En comparaison entre les moyens biologiques testés contre le Bayoud du palmier dattier, nous pouvons dire que tous ces moyens, sans exception, sont efficaces et peuvent être intégrer, en alternance, dans le programme de lutte intégrée contre cette contrainte majeure dans notre agrosystème oasien. Surtout que, actuellement beaucoup de recherches se penchent vers la recherche de moyens de lutte biologique, dans la perspective de diminuer l'utilisation abusive de fongicides généralement nocifs à l'environnement, à la santé humaine et à la faune-flore utile (abeilles, insectes pollinisateurs, microfaune et microflore utile des sols).

Nous signalons que, cette étude est une approche de lutte biologique et génétique qui doit être appliquée et confirmée par les phoeniciculteurs de ces palmeraies contaminées par le Bayoud où les conditions extrêmes de développement du palmier dattier sont présentes (comme la sécheresse, la salinité, la pauvreté des sols en matière organique et en intrants, ravageurs, et autres maladies parasitaires et physiologiques), et sont défavorable au développement du végétal.

En perspective, nous pouvons considérer que ce travail est un support scientifique mais aussi technique pour les phoeniciculteurs, qui leurs permet de mieux comprendre l'utilisation de ces moyens biologiques, et de contribuer à la connaissance de la protection intégrée et biologique des palmeraies algériennes contre le Bayoud du palmier dattier en Algérie, afin de protéger nos oasis qui jouent un rôle agroécologique important, par la production de ce fruit noble 'la datte' et la lutte contre la désertification et l'érosion des sols, et qui assure aussi un rôle socio-économique primordial se manifestant dans la stabilité des populations oasiennes dans le sud et la réduction des migrations des jeunes agriculteurs de la région sud vers le nord.

Il est clair qu'on ne peut pas s'arrêter dans à ce stade de recherche, car tous les moyens de lutte étudiés ne permettent pas de juguler la maladie de façon définitive, mais il est nécessaire donc, de poursuivre avec les agriculteurs des oasis, la permanence de l'efficacité de ces moyens de contrôle et élargir la recherche vers la technologie par la transformation de ces microorganismes biologiques en biofongicides synthétisées et les extraits bruts des végétaux en produits stimulateurs de résistance des plantes. Et pour arriver à cette étape on doit aller vers la démarche d'homologuer ces moyens par les autorités. Toute cette performance nécessite la contribution du secteur agricole sur terrain, pour donner le savoir-faire aux agriculteurs afin de conférer une protection maximale du palmier dattier contre le Bayoud du palmier dattier.

Références bibliographiques

Références Bibliographiques

Agrios, G.N. (2004). Plant pathology, 5th ed. ELSEVIER, Academic Press Pub. San Diego, California, USA. 948p.

Akhtar, M.S., Siddiqui, Z.A. (2007). *Glomus intraradices, Pseudomonas alcaligenes*, and *Bacillus pumilus*: effective agents for the control of root-rot disease complex of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Journal of General Plant Pathology 74: 53-60. doi: 10.1007/s10327-007-0062-4

Al-Karaki, G.N. (2013). Application of mycorhizae in sustainable date palm cultivation. Emirates Journal of Food and Agriculture 25(11): 854-862.

Al-kalifah, N.S., Shanavaskhan, A.E. (2012). Micropropagation of Date Palms. Asia-Pacific Consortium on Agricultural Biotechnology (APCoAB) and Association of Agricultural Research Institutions in the Near East and North Africa (AARINENA). Book. Pusa Compus, Saudi Arabia, 54 p.

Akkopru, A., Demir, S. (2005). Biological control of Fusarium wilt in tomato caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* by AMF *Glomus intraradices* and some rhizobacteria. Journal of Phytopathology 153: 544–550.

Al-Qarawi, A.A., Abdallah, E.F., Hashem, A. (2011). *Ephedra alata* as biologically-based strategy inhibit aflatoxigenic seedborne mold. African Journal of Microbiology Research 05(16): 2297-2303.

Al-Rahmah A.N., Mostafa A.A., Abdel-Majeed A., Yakout S.M., Hussein S.A., 2013 - Fungicidal activities of certain methanolic plant extracts against tomato phytopathogenic fungi. *African Journal of Microbiology Research* 07(06) : 517-524.

Al-Shahib, W., Marshall, R.J. (2003) The Fruit of the Date Palm: Its Possible Use as the Best Food for the Future. International Journal of Food Science and Nutrition 54: 247-259. http://dx.doi.org/10.1080/09637480120091982

Amoatey, C.A., Acquah, E. (2010). Basil (*Ocimum basilicum*) intercrop as a pest mangement tool in okra cultivation in the Accra plains. Ghana Journal of Horticulture 08: 65-70.

Amrani, K. (2019). La diversité variétale des dattiers : un patrimoine à valoriser. Revue Sésame cnrs Fr. https://revue-sesame-inrae.fr/oasis-diversite-varietale-dattiers/

Andrabi, S.A., Kang, H.C., Haince, J.F., Lee, YI., Zhang, J, Chi, Z., West, A.B., Koehler, R.C., Poirier, G.G., Dawson, T.M., Dawson, V.L. (2011). Iduna protects the brain from glutamate excitotoxicity and stroke by interfering with poly(ADP-ribose) polymer induced cell death. Nature Mediterranean 17: 692– 699.

Asaka, O., Shoda, M. (1996). Biocontrol of Rhizoctonia solani damping off of tomato with *Bacillus subtilis RB14*. Applied and Environmental Microbiology 62: 4081-4085.

Aydi, R., Hassine, M., Jabnoun-Khiareddine, H., Benjannet, H., Daami-Remadi, M. (2013).Valorisation des *Aspergillus* spp. comme agents de lutte biologique contre *Pythium* et optimisation de leur pouvoir antagoniste *in vitro* et *in vivo*. Tunis. J. Med. Plants Nat. Prod. 09(1): 70-82.

Aydi, B.A.R., Jabnoun-Khiareddine, H., Mejdoub-Trabelsi, B., Daami-Remadi, M. (2015). Soil-borne and Compost-borne *Aspergillus* Species for Biologically Controlling Post-harvest Diseases of Potatoes Incited by *Fusarium sambucinum* and *Phytophthora erythroseptica*. Journal of Plant Patholology and Microbiology. 06: 313. doi:10.4172/2157-7471.1000313

Anjarne, M., Bougerfaoui, M., Abahmane, L. (2005). La multiplication in vitro du palmier dattier : Un outil de développement des palmeraies marocaines dévastées par la maladie du Bayoud ; Actes du symposium international sur: Le développement durable des systèmes oasiens. Ed. INRA. Maroc. pp: 80-84.

Anke, H., Sterner, O. (2002). Insecticidal and nematicidal metabolites from fungi. In: *The Mycota*, Vol. X, *Industrial Applications* (H.D. Osiewacz, K. Esser & J.W. Bennett, eds):109- 128. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

Arar, A. (1975). Soils, irrigation and drainage of the date palm. 3rd.FAO Tech. Conf. of Imp. Date Product. Poc. And Marktg. Paper A3.

Armstrong, G.M., Armstrong, J.K. (1975). Reflections on the wilt Fusarium. Ann Rev. Phytopathology, 13:95-103.

Armstrong, G.M., Armstrong, J.K. (1981). Formae speciales and races of Fusarium oxysporum causing wilt diseases in Fusarium: diseases, biology and taxonomy, Edited by Nelson PE, Tousson TA and Cook RJ, The Pennsylvania State University Press: 391-399.

Aydi, R., Hassine, M., Jabnoun-Khiareddine, H., Benjannet, H. and Daami-Remadi, M. (2013). Valorisation des *Aspergillus* spp. comme agents de lutte biologique contre *Pythium* et optimisation de leur pouvoir antagoniste *in vitro* et *in vivo*. Tunisian Journal of Medicinal Plants and Natural Products. 09 (01): 70-83.

Aydi, R., Hassine, M., Jabnoun-Khiareddine, H. and Daami-Remadi, M. (2014). Etude du pouvoir antifongique des *Aspergillus* spp. et de leurs filtrats de culture et extraits organiques contre *Fusarium sambucinum*. Tunisian Journal of Medicinal Plants and Natural Products. 11: 15-29.

Azevadeo, J. L., Maccheroni, W., Pereira, J. O., de Araujo, W. L. (2000). Endophytic microorganisms: a review on insect control and recent advances on tropical plants. EJB Electronic Journal of Biotechnology 03: 01-36.

Aziz, N.H., Zainol, N. (2018). Isolation and identification of soil fungi isolates from forest soil for flooded soil recovery. 2018 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 342 012028. 10p. doi:10.1088/1757-899X/342/1/012028

Baaziz, M. (2003). Contraintes biotiques et abiotiques de la culture du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L). Univ. Cadi Ayad. Maroc. 06 p.

Badji, B., Riba, A., Mathieu, F., Lebrihi, A., Sabaou, N. (2005). Activité antifongique d'une souche d'*Actinomadura* d'origine sa harienne sur divers champignons pathogènes et toxinogènes. Journal de Mycologie Médicale 15 : 211-219.

Bagheri, L., Madadlou, A., Yarmand, M., Mousavi, M.E. (2013). Nanoencapsulation of date palm pit extract in whey protein particles generated via desolvation method. *Food Res. Int.*, 51, pp. 866-871.

Baite, M.S., Dubey, S.C. (2018). Pathogenic variability of *Ascochyta rabiei* causing blight of chickpea in India. Physiological and Molecular Plant Pathology 102: 122-127.

Bajpai, V.K., Kang S.C. (2012). *In vitro* and *in vivo* inhibition of plant pathogenic fungi by essential oil and extracts of *Magnolia liliflora* Desr.. Journal *of Agricultural Science and Technology* 14 : 845-856.

Barrow, S. (1998). A monograph of *Phoenix* L. (Palmae *: Coryphoideae*). *Kew bulletin* 53: 513-575.

Bayman, P., Otero, J.T. (2006). Microbial endophytes of Orchid roots. In: Schulz B., Boyle C., Sieber T. N. (eds.), Microbial root endophytes, Soil microbiology, Vol. 9., Springer Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 107-153.

Beckman, C.H. (1987). The Nature of Wilt Diseases of Plants. Ed, Society, T. A. P. St. Paul, Minnesota, USA: 124-12.

Bédjaoui, H., Benbouza, H. (2020). Assessment of phenotypic diversity of local Algerian date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 19: 65–75.

Beech, M. (2003). *Archaeobotanical evidence for early date consumption in the Arabian Gulf. The Date palm: from traditional resource to green wealth*. The Emirates Center for Strategic Studies and Research, Abu Dhabi: 11-31.

Beech, M., Shepherd, E. (2001). Archaeobotanical evidence for early date consumption on Dalma Island, United Arab Emirates. Antiquity 75: 83-89.

Belgacemi, M., Dou, A. (2019). Etude des effets secondaires au cours d'un traitement ethnobotanique par *Ephedra alata* DC. Mémoire Master, Université Echahid Hamma Lakhdar-El OUED (Algérie), 75 p.

Belguedj, M. (1995). Caractéristiques des cultivars de dattiers dans les palmeraies du Sud-Est algérien. Rev. Agr. saharienne (ITAS), Ouargla, 1995. 14.

Belguedj, M. (1996). Caractéristiques des cultivars de dattiers du Sud-est du Sahara Algérien, Filière culture pérenne de l'ITDAS. Biskra. 67 p.

Belguedj, M. **(**2002). Les ressources génétiques du palmier dattier: caractéristiques des cultivars de dattier dans les palmeraies du Sud-est Algérien. Rev Ann INRAA N°01, p 130.

Ben Abdallah, A. (1990). La phoeniciculture. Options Méditerranéennes, Sér. A.N° 11. Èd. CIHEAM. pp: 19-21.

Benabbes, R., lahmass, I., Souna, F., El Youbi, M., Saalaoui, E., Hakkou, A., Bouakka, M. (2015a). *In vitro* inhibitory effect of the extract powder of Rosemary *(Rosmarinus Officinalis)*, Oleander *(Nerium Oleander)*, Grenadier *(Punica Granatum)* on the growth of *Fusarium Oxysporum fsp albedinis* and *in vivo* test antagonist fungi on the incidence and the control of vascular wilt disease of date palm in palm grove in Figuig South of Morocco. Advances in Environmental Biology 08:126–132.

Benabbes, R., lahmass, I., Souna, F., Chafi, A., El-Youbi, M., Saalaoui, E., Hakkou, A., Bouakka, M. (2015b). *Confrontation of antagonistic fungi selected from the soil of the Figuig oasis to date palm Fusarium f.sp. albedinis*. Moroccan Journal of Biology 12: 01–8.

Béné, K., Fofié, N.G.B.Y., Gnahoué G., Camara, D., Zirihi, G.N. (2016). Etude botanique et activité antifongique *in vitro* sur *Trichophyton mentagrophytes de Bersama abyssinica* Fresen. (Melianthaceae).

Benhammou, N., Garand, C., Goulet, A. (2002). Ability of no pathogenic *Fusarium oxysporum* strain Fo47 to induce resistance against *Pythium ultimum* infection in cucumber. Applied and Environmental Microbiology 68(8): 4044-4060.

Benizri, E., Boudoin, E., Guckert, A. (2001). Root colonisation by Plant Growth Promoting *Rhizobacteria* . Biocontrol Science and Technology 05 (11): 557-574.

Bennaceur, M., Benkhalifa, A., Bouguedoura, N. (2007). Ressources génétiques du palmier dattier en Algérie. Sémin. Intern. biodiversité, environnement et santé, 12-14 nov., El Tarf.

Bennett, R.S., Spurgeon, D.W., DeTar, W.R., Gerik, J.S., Hutmacher, R.B., Hanson, B.D. 2011. Efficacy of four soil treatments against *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* race 4 on cotton. Plant Disease 95: 967-976.

Benziouche, S.E. (2008). Les Impacts Socioéconomiques du PNDA dans la vallée de Oued Righ. Revue des régions arides de l'IRA N°21. Tunisie, pp: 1321-1330.

Benziouche, S.E., Chehat, F. (2010). La conduite du palmier dattier dans les palmeraies des Zibans (Algérie) Quelques éléments d'analyse. European Journal of Scientific Research 42:644–660

Benziouche, S.E. (2012). Analyse de la filière dattes en Algérie: constats et perspectives de développement. Etude de cas da la daïra de Tolga. Thèse Doc. ENSA. El Harrach. Alger. 470p.

Benziouche, S.E., Cheriet, F. (2012). Structure et contraintes de la filière dattes en Algérie. Revus NEW MEDIT N° 4., pp : 49-57.

Benziouche, S.E. (2014). Challenges of Algeria exports dates; in light of the current competition". Fifth International. Date Palm Conference (FIDPC), Abu Dhabi during 16 – 18 March, 2014.

Benziouche, S.E. (2016). La biodiversité du palmier dattier en Algérie: état des lieux, contraints et perspectives. 1er Séminaire international : biodiversité et gestion des ressources naturelles « Passé, Présent et Futur ». Univ Souk-Ahras, Algérie.

Benziouche, S.E. (2017). L'agriculture biologique, un outil de développement de la filière dattes dans la région des Ziban en Algérie. Cahiers Agriculture 26: 35008.

Benzohra, I.E., Megateli, M., Berdja, R. (2015). Bayoud disease of date palm: History, epidemiology and integrated disease management. African Journal of Biotechnology 14(7): 542-550. doi 10.5897/AJBX2014.14292.

Benzohra, I.E., Megateli, M., Elayachi, B.A., Zekraoui, M., Djillali, K., Bouafia, A., Benouis, S., Benaziza, A., Rekis, A. (2017). Integrated management of Bayoud disease on date palm

(*Phoenix dactylifera* L.) caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* in Algeria. Journal Algérien des Régions Arides 14: 93-100.

Benzohra, I.E., Bendahmane, B.S., Youcef Benkada, M., Megateli, M. and Belaidi, H. (2020). Use of three synthetic fungicides to reduce the incidence of Ascochyta blight (*Ascochyta rabiei*) in chickpea (*Cicer arietinum* L.): A Susceptible cultivars case. Indian Journal of Agricultural Research. 54(4): 459-464. doi 10.18805/IJARe.A-459

Benzohra, I.E., Mégateli, M., Djillali, K., Benouis, S., Makhloufi, S. (2022). Epidémiologie de Bayoud du palmier dattier en Algérie : Facteurs de progression et mesures de protection de palmeraies des oasis contaminés. Journal Algérien des Régions Arides 15(1): 01 – 09. (Article accepté).

Bernal, P., Allsopp, L.P., Filloux, A., Llamas, M.A. (2017). The *Pseudomonas putida* T6SS is a plant warden against phytopathogens. The ISME Journal 11: 972–987.

Besse, S., Crabos, L., Panchaud, K. (2011). Un champignon contre le charançon rouge du palmier. Phytoma La défense des végétaux 648: 28-31.

Beuchat, L.R. (1987). Food and beverage mycology. 2nd ed., AVI Publishing Co., Inc. Westport, Connecticut, 527 p.

Bisby GR (1939). *Trichoderma viride* Pers. ex Fries, and notes on Hypocrea. Trans. Br Mycol Soc 23:149–168.

Bissett, J. (1991). A revision of the genus *Trichoderma*. III. Section Pachybasium. Canadian Journal of Botany 69: 2373–2417. https://doi.org/10.1139/b91-298

Blaszczyk, L., Siwulski, M., Sobieralski, K., Lisiecka, J., Jedryczka, M. (2014). *Trichoderma* spp. application and prospects for use in organic farming and industry. Journal of Plant Protection Research 54:309–317.

Blaszkowski, J., Jobim, K., Niezgoda, P., Meller, E., Malinowski, R., Milczarski, P., Zubek, S., Magurno, F., Casieri, L., Bierza, W., Blaszkowski, Crossay, T., Goto, B.T. (2021). New Glomeromycotan Taxa, *Dominikia glomerocarpica* sp. nov. and *Epigeocarpum crypticum* gen. nov. et sp. nov. From Brazil, and Silvaspora gen. nov. From New Caledonia. Frontiers in Microbiology 21 : 22p. Article n° : 655910. doi : 10.3389/fmicb.2021.655910

Bodker, L., Kjoller, R., Rosendahl, S. (1998) Effect of phosphate and arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* on disease severity of root rot of peas (*Pisum sativum*) caused by *Aphanomyces euteiches*. Mycorrhiza 08:169–174.

Bouabdelli, Z., Belhadj, S., Smail-Saadoun, N., Mévy, J.P., Notonnier, R., Tonetto, A., Ortas, I., Gauquelin, R. (2018). Influence de l'aridité sur la variation de la colonisation mycorhizienne arbusculaire chez cinq populations naturelles algériennes du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* desf.). Revue d'Ecologie (Terre et Vie) 73(3) : 330-344.

Bougandoura, N., Bendimerad, N. (2012). Effet antifongique des extraits aqueux et méthanoliques de Strureja calamintha ssp. (Nepeta) Briq.. Revue Bioressources 02 (01) : 01-07.

Boughedid, K., Filali, M. (2015). Isolement et identification des champignons antagonistes des champignons phytopathogènes de l'orge. Mémoire de Master, Université des Frères Mentouri de Constantine, 67p.

Bouguedoura, N. (1991). Connaissance de la morphogenèse du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). Etude in *situ* et *in vitro* du développement morphogénétique des appareils végétatif et Reproducteur. Thèse Doctorat d'Etat, USTHB, Alger.

Bouguedoura, N., Ibrahim, A., Ould Mohamed, A., Saker, M., Trifi, M. (2008). A paper presented at NEPAD Biotechnology Workshop "Challenges for North Africa and Promises for a Regional Integrated Program", Ezzahra, Tunisia, in collaboration with the Tunisian Society of Microbiology, pp: 22-25.

Bouguedoura, N. (2012). Le palmier dattier: développement morphogénétique des appareils végétatif et reproducteur. Book Editions Universitaires et Internationales.

Bouguedoura, N., Bennaceur, M., Babahani, S., Benziouche, S.E. (2015). Date palm status and perspective in Algeria. Chapter 4 in Book : J.M. Al-Khayri *et al.* (eds.), *Date Palm Genetic Resources and Utilization: Volume 1: Africa and the Americas*, DOI 10.1007/978-94-017-9694-1_4

Bounaga, N., Djerbi, M. (1990). Pathologie du palmier dattier. CIHEAM Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens. pp. 127-132.

Brac de la perriere, R.A., Benkhalifa, A. (1989). Identification des cultivars de dattiers (*Phoenix dactylifera* L.) du sud-ouest algérien. Plant Genetic Resources Newsletter. Èd. FAO, Rome. pp : 13-19.

Brac de la Perriere, R.A., Benkhalifa, A. (1991). Progression de la fusariose du palmier dattier en Algérie. Sécheresse 02 : 119-128.

Brefeld, O. (1891). Untersuchungen aus dem Gesammtgebiete der Mykologie. Heft 10: Ascomyceten II. Münster Cannon PF, Hawksworth DL (1983) (701) Proposal to conserve Nectria over Ephedrosphaera and Hydropisphaera (Fungi). Taxon , 32: 476-477.

Brunner, K., Zeilinger, S., Ciliento, R., Woo, S.L., Lorito, M., Kubicek, C.P. and Mach, R.L. (2005). Improvement of the fungal biocontrol agent *Trichoderma atroviride* to enhance both antagonism and induction of plant systemic disease resistance. Applied and Environmental Microbiology. 71: 3957-3965.

CACI-CCI Ziban, (2015). 1er salon international de la datte de Biskra. Le monde des dattes. Rev. N° 15. Alger. pp : 14-15.

Caron, J., Laverdière, L., Thibodeauand, P.O., Bélanger, R.R. (2002). Utilisation d'une souche indigène de *Trichoderma harzianum* contre cinq agents pathogènes chez le concombre et la tomate de serre au Québec. Phytopotection 83 (2): 73-87.

Castellana, R. (1998). Introduction et diffusion de plantes à usages rituels en Méditerranée occidentale. *Actes des quatrièmes journées universitaires corses de Nice (7-9 novembre 1998), Centre d'études corses de Nice (CECN), UNSA, 2000* : 115-127.

Caveny, S., Charlet, D.A., Freitqg, H., Maier-Stolete, M., Starratt, A. N. (2001). New observations on the secondary chemistry of world *Ephedra* (Ephedraceae). American Journal of Botany 88 (7) : 1199–1208.

Champyves, (2022). Clés d'identification des champignons mycorhiziens – Aspect forme des spores. https://champyves.pagesperso-orange.fr/champignons/determination/spore.html Site consulté: le 11/04/2022 21:37 . 6p.

Chandrima, D., Vipin, P. (2018). Soil nutrient content alters arbuscular mycorrhizal association in *Oroxylum indicum* L. benth ex Kurz growing under different natural habitat in North-east India. International Journal of Botany and Research (IJBR) 08(5): 01-20.

Chaverri, P., Samuels, G.J. (2004). Hypocrea/Trichoderma (Ascomycota, Hypocreales, Hypocreaceae): species with green ascospores. Studies in Mycology 48:1–116.

Chaverri, P., Branco-Rocha, F., Jaklitsch, W.M., Gazis, R., Degenkolb, T., Samuels, G.J. (2015). Systematics of the *Trichoderma harzianum* species complex and the reidentification of commercial biocontrol strains. Mycologia 107: 558–590.https://doi.org/10.3852/14-147

Chehma, A., Reda-Djebar M. (2008). Les espèces médicinales spontanées du Sahara septentrional algérien: distribution spatio-temporelle et étude ethnobotanique. Revue Synthèse 17: 36-45.

Cheng, C., Li, C., Qi, Q., Sun, X., Anue, M.R., Mahoudjro David, B., Zhang, Y., Hao, X., Zhang, Z., Lai, Z. (2019). The root endophytic fungus *Serendipita indica* improves resistance of Banana to *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4. European Journal of Plant Pathology. 156: 87-100. doi 10.1007/s10658-019-01863-3

Chet, I. (1987). Innovative Approaches to Plant Disease Control. New York: Wiley and Sons;. *Trichoderma* - Application, mode of action, and potential as a biocontrol agent of soilborne pathogenic fungi. pp, 137-160.

Cleuziou, S. (1992). Hili and the beginning of oasis life in Eastern Arabia ». Proceedings of the Seminar of Arabian Studies 12: 15-22.

Corse-Fredon, (2015). Bilan de surveillance du charançon rouge en Corse. Eds. Catherine Gigleux, 14p.

Costantini, L., Audisio, L. (2000). Plant and insect remains from the Bronze age site of Ra's al-Jinz (RJ-2), Sultanate of Oman. Paleorient 26 (01): 143-156.

Creelman, R.A., Mullet, J.E. (1995). Jasmonic acid distribution and action in plants: regulation during development and response to biotic and abiotic stress. Proc. Natl. Acad. Sci. USA., 92:4114–4119.

Daami-Remadi, M., Dkhili, I., Jabnoun-Khiareddine, H., El Mahjoub, M. (2012). Biological control of potato leak with antagonistic fungi isolated from compost teas and solarized and non-solarized soils. In Daami-Remadi M. (Ed) Potato Pests and Pathology. Pest Technology 06 (Special Issue 1) : 32-40.

Dakhia N, Bensalah KM, Romani M, Djoudi AM, Belhamra M (2013). État phytosanitaire et diversité variétale du palmier dattier au Bas Sahara – Algérie Journal Algérien des Régions Arides. Numéro spécial N° 12. Ed. CRSTRA. pp : 5-17.

Dalpé, Y. (2005). Les mycorhizes : un outil de protection des plantes mais non une panacée. Phytoprotection 86(1), 53–59. https://doi.org/10.7202/011715ar

Danelli, A.L.D., Reis, E.M. (2016). Quantification of incubation, latent and infection periods of *Phakopsora pachyrhizi* in soybean, according to chronological time and degree days. Summa Phytopathologica 42: 11-17.

Dawidziuk, A., Popiel, D., Kaczmarek, J., Strakowska, J. and Jedryczka, M. (2016). Optimal *Trichoderma* strains for control of stem canker of brassicas: molecular basis of biocontrol properties and azole resistance. Biocontrol. 61: 755-768.

De Castro, A.M., Ferreira, M.C., Da Cruz, J.C., Pedro, K.C.N.R., Carvalho, D.F., Leite, S.G.F., Pereira, Jr. N. (2010). High yield endoglucanase production by *Trichoderma harzianum* IOC-3844 cultivated in pretreated sugarcane mill byproduct. Enzyme Research 01 (1): 1-8.

Delahaye, J. (2015) Thèse de doctorat, Utilisations de l'ortie *Urtica dioica*, Université de Rouen, 227p.

Dellavalle, P.D., Cabrera, A., Alem, D., Larranaga, P., Ferreira, F., Rizza, M.D. (2011). Antifungal activity of medicinal plant extracts against phytopathogenic fungus *Alternaria* spp. Chelean Journal of Agricultural Research 71 (2): 231-239.

Demir, S., Akkopru, A. (2007). Use of arbuscular mycorrhizal fungi for biocontrol of soilborne fungal plant pathogens. In: Chincholkar SB, Mukerji KG (eds), Biological control of plant diseases. Howarth, New York, pp.: 17–37.

Deravel J., Krier F., & Jacques P. (2014) Les biopesticides, compléments et alternatives aux produits phytosanitaires chimiques. Biotechnol. Agron. Soc. Environ, 18(2) : 220-232.

Destinoble, A. (2017a). Effet de la symbiose mycorhizienne arbusculaire sur la composition minérale du poireau cultivé en présence de carbonate de calcium. Thèse de Master, Québec, Canada. 90p.

Destinoble, A. (2017b). Effet de la symbiose mycorhizienne arbusculaire sur la composition minérale du poireau cultivé en présence de carbonate de calcium. Présentation projet de recherche, AKOSAA 2014, Université de Laval, Québec, Canada. 28p.

Deravel, J., Krier, F., Jacques, P. (2014) Les biopesticides, compléments et alternatives aux produits phytosanitaires chimiques. Biotechnol. Agron. Soc. Environ, 18(2): 220-232.

Derbel, S. Touzard, B. Triki, M.A., Chaieb, M. (2010). Seed germination responses of the Saharan plant species Ephedra alata ssp. alenda to fungicide seed treatments in the laboratory and the field. Flora, Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants. 205 (7): 471-474.

Dihazi, A., Jaiti, F., Taktak, W., Olfakilani, F., Jaoua, S., Driouich, A., Baaziz, M., Daayf, F., Serghini, M. (2012). Use of two bacteria for biological control of bayoud disease caused by *Fusarium oxysporum* in date palm (*Phoenix dactylifera* L) seedlings. Plant Physiology and Biochemistry 55 : 07-15. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.03.003

Di Pietro, A., García-Maceira, F.I., Meglecz, E.Y., Roncero, M.I. (2001). A MAP kinase of the vascular wilt fungus *Fusarium oxysporum* is essential for root penetration and pathogenesis. Molecular Microbiology 39: 1140-1152.

Djerbi, M. (1982). Bayoud disease in North Africa: history, distribution, diagnosis and control. Date palm Journal 01 (2): 153-97.

Djerbi, M., El Ghorfi, A., El Idrissi Ammari, M.A. (1985). Etude du comportement du henné (Lawsonia inermis L) et la luzerne (Medicago Sativa) et des quelques espèces de palmacées à l'égard du Foa, agent causal du bayoud. Annals inst. Natu. Rech. Agro. Tunisie, 58 :1-11.

Djerbi, M., Aouad, L., El Filali, H., Saaidi, M., Chtioui, A., Sedra, M.H., Allaoui, M., Hamdaoui, T., Oubrich, M. (1986). Preliminary results of selection of hight quality Bayoud resistant clones among natural date palm population in Maroc, in Proceedings of the Second Symposium on the Date Palm, Saudi Arabia: pp. 383-399.

Djerbi, M. (1988). Les maladies du palmier dattier. Projet régional de lutte contre le Bayoud. FAO (Rab/84/018), Alger, 127 p.

Djerbi, M. (1990). Méthodes de diagnostic du bayoud. OEPP/EPPO Bulletin 20: 607-613.

Djerbi, M. (2003). *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedini*. OEPP/EPPO Bulletin 33: 245–247.

Dong, H., Cohen, Y. (2002). Induced resistance in cotton seedlings against Fusarium wilt by dried biomass of *Penicillium chrysogenum* and its water extract. Phytoparasitica. 30: 77-87.

Douds, Jr., D.D., Millner, P.D. (1999). Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agrosystems. Agriculture, Ecosystems and Environment 74: 77-93.

Dransfield, J., Uhl, N.W., Amussen, C.B., Baker, W.J., Harley, M., Lewis, C.L. (2008). Genera Palmarum. The evolution and classification of palm. Royal Botanic Gardens, Kew publishing, Kew, UK.

Drummond, B. (1919). Propagation and culture of the date palm. USDA Farmer's Bull. N° 106. Washington. 23 p.

Druzhinina, I., Kopchinskiy, A., Kubicek, C. (2006). The first 100 *Trichoderma* species characterized by molecular data. Mycoscience Vol.47 No. 2, pp. 55-64.

Dubost, D. (1990). Mutation du système de production oasien en Algérie. Éd. CRSTRA, Algérie.

Dubost, D. (1992). Aridité, développement et agriculture : cas des oasis algériennes. Sécheresse 03 : 85-96.

Dubey, S.C., Suresh, M., Birendra, S. (2007). Evaluation of *Trichoderma* species against *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceris* for integrated management of chickpea wilt Biological Control. 40: 118-127.

Duponnois, R., Hafidi, M., Ndoye, I., Ramanankierana, H., Ba, A.M. (2013). Des champignons symbiotiques contre la désertification – Ecosystèmes méditerranéens, tropicaux, et insulaires. IRD Editions, IRD, 2013 – Institut de Recherche pour le Développement, Marseille, France. 512p. ISBN : 978-2-7099-1827-5

Elad, Y., Kapat, A. (1999). The role of *Trichoderma harzianum* protease in the biocontrol of *Botrytis cinerea*. European Journal of Plant pathology. 105: 177-189.

El-Bouhssini, M., Faleiro, J.R. (2018). *Date Palm Pests and Diseases Integrated Management Guide*. Beirut, Lebanon: Eds. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), 2018. 233p. ISBN13: 978-92-9127-505-2

El-Hassni, M., El-Hadrami, A., Daayf, F., Cherif, M., Ait Barka, E., El-Hadrami, I. (2007). Biological control of bayoud disease in date palm: Selection of microorganisms inhibiting the causal agent and inducing defense reactions. Envir. Exp. Bot. 59: 224-234.

El-Houmaizi, M.A., Saaidi, M., Oihabi, A., Christian Cilas, C. (2002). Phenotypic diversity of date-palm cultivars (*Phoenix dactylifera* L.) from Morocco. Jou. Genetic Resources and Crop Evolution 49: 483-490.

El-Modafar, C., El Boustani, E. (2000). Relationship between cell wall susceptibility to cellulases and pectinases of *Fusarium oxysporum* and susceptibility of date palm cultivars to the pathogen. Biologia Plantarum, 43: 571-576.

El-Modafar, C., Tantaoui, A., El Boustani, E. (2000). Changes in cell wall-bound phenolic compounds and lignin in roots of date palm cultivars differing in susceptibility to *Fusarium oxysporum f. sp. albedinis*. Journal of Phytopathology 148: 405-411.

El Modafar, C., El Boustani, E. (2002). Contribution des polyphénols aux mécanismes de défense biologique des plantes, in Biopesticides d'origine végétale. Regnault- Roger C., Philogène B., Vincent C. (eds), Lavoisier Tech & Doc: 169-185.

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.

Esitken, A., Karlidag, H., Ercisli, S., Sahin, F. (2002). Effects of foliar application of *Bacillus subtilus* Osu-142 on the yield, growth, control of shot-hole disease (Coryneum blight) of apricot. Garttenbauwissenschaft 67: 139-142.

Essarioui, A., Sedra, My. H. (2017). Lutte contre la maladie du bayoud par solarisation et fumigation du sol. Une expérimentation dans les palmeraies du Maroc. Cahiers Agriculture 26: 45010.

Eziashi, E.I., Uma, N.U., Adekunle, A.A., Airede, C.E. (2006). Effect of metabolites produced by *Trichoderma* species against *Ceratocystis paradoxa* in culture medium. African Journal of Biotechnology 05:703-706.

Faleiro, J.R. (2006). A review of the issues and management of the red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera : Rhynchophoridae) in coconut and date palm during the last one hundred years. International Journal of Tropical Insect Science 26 : 135-154.

Falleh, H., Ksouri, R. Chaieb, K., Karray-Bouraoui, N., Trabelsi, N., Boulaaba M., Abdelly, C. (2008). Phenolic composition of *Cynara cardunculus* L. organs, and their biological activities. Comptes Rendus Biologies 331: 372-379.

FAO, (2021). FaoStat: Productions, Yields and Harvest of dates in Algeria. 23/01/2022 13:07. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL

Favel, A., Steinmetz, M., Regli, P., Vidal-Ollivier, E., Elias, R., Balansard, G. (1994). *In vitro* antifungal activity of triterpenoid saponins. Planta Medica 60: 50-53.

Fernandez, B. (2005). Lutte biologique. *PHM*- Revue horticole 465 : 31-34.

Fernandez, D., Lourd, M., Ouinten, M., Tantaoui, A., Geiger, J.P. (1995). Le Bayoud du palmier dattier, une maladie qui menace la phoeniciculture. Phytoma 469: 36-39.

Fernandez, D., Quinten, M., Tantaoui, A., Geiger, J.P., Daboussi, M.J., Langin, T. (1998). FOT1-specific insertion in Fusarium oxysporum f.sp. Albedinis genome provide useful PCR target for detection of the date palm pathogen. Applied Environnemental Microbiology 64(2) : 633-636.

Ferry, M. (2003). Date palm auxiliary productions: morphogenesis and in vitro propagation. Book, The date palm: from tradition resource to green wealth, published by Emirate center for strategic study and research.

Fitrianingsih, A., Martanto, E.A., Barahima, A. (2019). The effectiveness of fungi *Gliocladium fimbriatum* and *Trichoderma viride* to control fusarium wilt disease of tomatoes (*Lycopersicum esculentum*). Indian Journal of Agricultural Research. 53(1): 57-61. doi 0.18805/IJARe.A-363

Fki, L., Bouaziz, N., Panis, B., Drira, N. (2008). La technique de congélation en gouttes des masses proembryogènes : un moyen efficace pour la conservation des ressources génétiques phoenicicoles. Acte de proceeding : Biotechnologies végétales et gestion durable des résistances face à des stress biotiques et abiotiques. XIes Journées Scientifiques. Rennes. France. p 16.

Fortin, J.A. (2022). Agri-réseau, rapport scientifique sur les mycorhizes. https://www.agrireseau.net/blogue/94095/mycorhizes-vs-champignons-pathogenes

Consulté, le 22 Avril 2022 à 01 :45

Frisvad, J.C., Samson, R.A. (1990). Chemotaxonomy and morphology of *Aspergillus fumigatus* and related taxa, p. 201-208. In R.A. Samson & J.I. Pitt (eds.), Modern concepts in *Penicillium* and *Aspergillus* classification. Plenum Press, New York, N.Y.

Fukui, R., Fukui, H., Alvarez, A. M. (1999). Effect of temperature on the incubation period and leaf colonization in bacterial blight of anthurium. Phytopathology 89:1007-1014.

Gammoudi, S., Salah, M. B., Ferchichi, A., et al.(2016). Phenological and architectural study of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.) female inflorescence. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 16(5), 998-1003.

Gams, W., Christensen, M., Onions, A.H.S., Pitt, J.I., Samson, R.A. (1986). Infrageneric taxa of *Aspergillus*. In R.A. Samson et J.I. Pitt (eds.), Advances of *Penicillium* and *Aspergillus* systematics. Plenum Publ., London & New-York, pp. 55-62.

Gams, W. Bissett, J. (1998). Morphology and Identification of *Trichoderma* . In: Kubicek CP, Harman GE, editors. *Trichoderma* and *Gliocladium*. Vol. 1. Basic Biology, Taxonomy and Genetics. London: Taylor and Francis Ltd. pp. 03-34.

GBIF, (2021). Taxonomy of *Ephedra alata* subsp. *alenda*. Global Biodiversity Information Facility, Danemark. *Ephedra alata* subsp. *alenda* Stapf in GBIF Secretariat (2021). GBIF Backbone Taxonomy. Checklist dataset https://doi.org/10.15468/39omei accessed via GBIF.org on 2022-01-22.

Ghisalberti, E.L., Sivasithamparam, K. (1991). Antifungal antibiotics produced by *Trichoderma* spp. Soil Biol Biochem 23: 1011-1020.

Gordon, T.R., Martyn, (1997). The evolutionary biology of *Fusarium oxysporum*. Annual Review of Phytopathology 35:111-128.

Govaerts, R., Dransfield, J. (2005). *World checklist of palms*. Kew, Royal Botanic Gardens, 240 p.

Greuter, W. (1967). Beiträge zur Flora der Südägäis 8-9. Bauhinia 03 (2): 243-250.

Gros-Balthazard, M., Newton, C., Ivorra, S., Terral, J.F., Pintaud, J.C. (2012). En préparation – Combined morphometric and genetic analyses challenge the existence of wild date palms (*Phoenix dactylifera* L.) in Oman.

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* [En ligne], 4 | 2013, mis en ligne le 31 décembre 2013, consulté le 30 septembre 2016. URL : http://ethnoecologie.revues.org/1524 ; DOI : 10.4000/ethnoecologie.1524

Haddouchi, F., Zerhouni, K., Sidi-Yekhelef, A., Chaouche, T.M. (2016). Evaluation de l'activité antimicrobienne de différents extraits d'*Helichrysum stoechas* subsp. *rupestre*. Bulletin de la Société Royale des Sciences de liège 85: 152-159.

Hadizadeh, I., Peivastegan, B., Kolahi, M. (2009). Antifungal Activity of Nettle (*Urtica dioica* L.), Colocynth (*Citrullus colocynthis* L. Schrad), Oleander (*Nerium oleander* L.) and Konar (*Ziziphus spina-christi* L.) Extracts on Plants Pathogenic Fungi. Pakistan Journal of Biological Sciences 12(1): 58-63. doi: 10.3923/pjbs.2009.58.63

Hakkou, A., Chakroune, K., Souna, F., Bouakka, M. (2012). La fusariose vasculaire du palmier dattier (Bayoud) : Méthodes de lutte. URL : https://core.ac.uk/download/16375881.pdf

Hannachi, S., Benkhalifa, A., Khitri, D., Brac de La Perrière, R.A. (1998). Inventaire variétal de la palmeraie Algérienne. Sélection et impression, Anep Rouiba Algérie.

Hannachi, S., Acourene, S., Abdenbi, Z., Bennaceur, M., Abdelguerfi, A., Sedra, My. H., Elhoumaizi, M.A., Bensaleh, M.A. (2005). Descripteurs du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.), eds. IPGRI, 81p.

Harman, G.E. (2000). Myths and dogmas of biocontrol : changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T-22. Plant Disease 84: 377-393.

Harman, G.E., Howell, C.R., Viterbo, A., Chet, I., Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species – opportunistic, avirulent plant symbionts. Nature reviews – Microbiology 02: 43-66.

Hazarika, D.J., Goswami, G., Gautom, T., Parveen, A., Das, P., Barooah, M., Boro, R.C. (2019). Lipopeptide mediated biocontrol activity of endophytic *Bacillus subtilis* against fungal phytopathogens. BMC Microbiology 19(71): 01-13. https://doi.org/10.1186/s12866-019-1440-8

Henderson, A. (2009). *Palms of Southern Asia*. Princeton, Princeton University Press.

Hervás, A., Landa, B., Datnoff, L., Trapéro-Casas, J.L. and Jiménez-Díaz, R.M. (1997). Use of commercial and indigenous microorganisms to control Fusarium wilt of chickpea. In: 10th congress of Mediterranean Phytopathological Union. Montpellier, pp. 709-711.

Hibar, K., Daami-Remadi, M., El Mahjoub, M. (2007). Effets de certains fongicides de synthèse et biologiques sur la croissance mycélienne et l'agressivité de *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici*. Tropicultura 25 (3): 146-152.

Hirissou, F. (2020). Les mycorhizes, Des alliés dans l'alimentation et la protection des plantes. Chambre d'Agriculture Dordogne 09/2020. 11p.

Hodel, D.R., Pittenger, D.R. (2003). Studies on the establishment of Date Palm (*Phoenix dactylifera* 'Deglet Noor') of fshoots; Part I: Observations on root development and leaf growth. Revue Palms 47(4): 191-200.

Howell, C.R., Stipanovic, R.D., lumsden, R.D. (1993). Antibiotic production by strains of *Gliocladium virens* and its relation to the biocontrol of cotton seedling diseases. Biocontrol Sci. Technol. 03: 435–441.

Howell, C.R. (2003). Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: the history and evolution of current concepts. Plant Disease 87: 04-10.

Hopkine, W. (2003). Physiologie végétale. 1ère Ed. Deboeck. Larcier. S.A. Bruxelles.

Idder, M.A. (2011). Lutte biologique en palmeraies algériennes : cas de la cochenille blanche (*Parlatoria blanchardi*), de la pyrale des dattes (*Ectomyelois ceratoniae*) et du boufaroua (*Oligonychus afrasiaticus*). Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques. Spécialité : Zoologie Agricole, option : Entomologie. ENSA EL-HARRACH. 195p.

INPN, (2021). L'ortie "*Urtica urens* L.). Inventaire national du patrimoine naturel : 27/10/2021 22:52 https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/128298/tab/taxo .

IPGRI, (2005). Descripteur du Palmier Dattier. International Plant Genetic Resources Institute. Rome. Italie.79 p.

IPGRI, INRAA, INRAM *et al*. (2005) Descripteurs du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). Institut international des ressources phytogénétiques, Rome, Italie; Fonds pour l'Environnement Mondial, Washington, Etats-Unis, Programme des Nations Unies pour le Développement, New York, Etats Unis; Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie, du Maroc et de Tunisie.

ITDAS, (2007). Orientations générales sur la conduite de votre palmeraie. DFRV. Biskra. pp: 02-25.

INPV, (2017). Avertissements agricoles : La pourriture des inflorescences du palmier dattier, Fiche technique de l'Institut Technique de la Protection des Végétaux, le 20 Mars 2017. 02p.

INPV, (2018). Surveillance et lute contre le Boufaroua et le Myeloïs du palmier dattier. Rapport technique : campagne 18 Aout 2018. http://www.inpv.edu.dz/situation-compagnes/surveillance-et-lutte-contre-le-boufaroua-et-le-myelois-campagne-2018-2/

Isman, M.B. (2006). Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world, Annual Review of Entomology 51: 45–66.

Isman, M.B. (2008). Botanical insecticides: for richer, for poorer. Pest Management Science 64: 08–11.

Jaklitsch, W.M., Samuels, G.J., Dodd, S.L., Lu, B.S., Druzhinina, I.S. (2006). *Hypocrea rufa/Trichoderma viride*: a reassessment, and description of five closely related species with and without warted conidia. Studies in Mycology 55: 135-177.

Jaklitsch, W.M. (2009). European species of *Hypocrea* Part I. The green spored species.Studies in Mycology 63: 191.

Jeleñ, H., Blaszczyk, L., Chelkowski, J., Rogowicz, K., Strakowska, J. (2013). Formation of 6-n-pentyl-2H-pyran-2-one (6-PAP) and other volatiles by different *Trichoderma* species. Mycol. Prog, 13: 589-600. doi 10.1007/s11557-013-0942-2

Jourdan, C. (1995). Modélisation de l'architecture et du développement du système racinaire du Palmier à Huile (Elaeis guineensis Jacq.).Thè Doc, Univ Montpellier. 250 p.

Jrad, A. (2012). Développement du système racinaire chez le Palmier Dattier issu de semis. Mémoire de Master Université de Gabès, Tunisie, 56 p.

Kaci-Aïssa Benchaba, G. (1988). Distribution et écologie du complexe d'espèces du genre Phoenix, D.E.S. U.S.T.H.B, Alger, 106 p.

Kada, A., Dubost, D. (1975). Le bayoud à Ghardaïa. Bull. Agron. Saharienne, Algérie, 1(13): 29-61.

Kala, C., Gangopadhyay, S., Godara, S.L. (2016). Eco-friendly management of wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *Ciceri* in chickpea. Legume Research. 39 (1): 129-134. Doi 10.18805/lr.v0iOF.6789

Kanda, M., Akpavi, S., Wala, K. (2014). Diversité des espèces cultivées et contraintes à la production en agriculture maraichère au Togo. International Journal of Biological and Chemical Sciences 08 (1): 115- 127.

Karaarslan, E., Uyanos, R., Dogu, S. (2015). Morphological identification of vesicular-arbuscular mycorrhiza on Rulbous plants (Taurus Mountain in Turkey). Archives of Biological Sciences of Belgrade 67 (2): 411-526. doi: :10.2298/ABS140417007K

Kaur, L., Sirari, A., Kumar, D., Sigh Sandhu, J., Singh, S., Kapoor, K., Singh, I., Gowda, C.L.L., Pande, S., Gaur, P., Sharma, P., Imtiaz, M., Siddique, K.H.M. (2013). Combining ascochyta blight and Botrytis grey mould resistance in chickpea through interspecific hybridization. Phytpathologia Mediterreanea 52(1): 157-165.

Keszler, A., Forgacas, E., Kotai, L., Vizcaino, J.A., Monte, E. and Garcia-Acha, I. (2000).Separation and identification of volatile components in the fermentation broth of *Trichoderma atroviride* by solid-phase extraction and gas chromatography-mass spectrometry. Journal of Chromatography Sciences. 38: 421-424.

Kuçuk, C., Kivanç, M., Kinaci, E. and Kinaci, G. (2007). Efficacy of *Trichoderma harzianum* (Rifaii) on inhibition of ascochyta blight disease of chickpea. Annals of Microbiology. 57: 665-668.

Kullnig-Gradinger, C., March, R.L., Lorito, M. and Kubiecek, C.P. (2000). Enzyme diffusion from *Trichoderma atroviride* (=*T. harzianum* P1) to *Rhizoctonia solani* is a prerequisite for triggering of *Trichoderma* ech 42 gene expression before mycoparasitic contact. Applied and Environmental Microbiology. 66: 2232-2234.

Lahlali, R., Hijri, M. (2010). Screening, identification and evaluation of potential biocontrol fungal endophytes against *Rhizoctonia solani* AG3 on potato plants. FEMS Bicrobiology Letters 311: 152-159.

Latch, G.C.M. (1993). Physiological interactions of endophytic fungi and their hosts – Biotic stress tolerance imparted to grass by endophytes. Agriculturte, Ecosystems and Environment 44 (1-4): 143-156. doi: 10.1016/0167-8809(93)90043-O

Le Lan, M. (2015). Poirreaux: *Intérêt de la mycorhization pour différentes cultures d'hiver et d'été sur les critères agronomiques et sanitaires.* Compte Rendu d'Essai, Chambre d'Agriculture de Morbihan, France. 04p.

Leslie John, F., Summerll, A. (2006). The Fusarium laboratory Manuel. Blackwell Publishing, USA, 387 p.

Liu, C.H., Zou, W.X., Lu, H., Tan R.X. (2001). Antifungal activity of *Artemisia annua* endophyte against phytopathogenic fungi. *Journal of Biotechnology*, 88: 277-282.

Lodewyckx, C., Vangronsveld, J., Porteous, F., Moore, E.R.B., Taghavi, S., Mesgeay, M., Van Der Lelie, D. (2002). Endophytic bacteria and their potential applications. Critical Reviews in Plant Sciences 21(6): 583-606.

Louvet, J., Toutain, G. (1973). Recherches sur les fusarioses. VII. Nouvelles observations sur la fusariose du palmier dattier et précisions concernant la lutte. Annal de Phytopathologie 05 : 35-52.

Mach, R.L., Peterbauer, C.K., Jaksists, S., Woo, S.L., Zeilinger, S., Kullning, C.M., Lorito, M and Kubicek, C.P. (1999). Expression of two major chitinase genes of *Trichoderma atroviride* (*T. harzianum* P1), is triggered by different regulatory signals. Applied and Environmental Microbiology. 65: 1858-1863.

Mahmoudi, S., Khali, M., Mahmoudi, N. (2012). Etude de l'extraction des composés phénoliques de différentes parties de la fleur d'artichaut (Cynara scolymus L.). Revue « Nature & Technologie ». B- Sciences Agronomiques et Biologiques, n° 09/Juin 2013. Pages 35-40.

McSpadden Gardener, B.B., Fravel, D.R. (2002). Biological control of plant pathogens: Research, commercialization, and application in the USA. Online: Plant Health Progress doi:10.1094/PHP-2002-0510-01-RV: *http://www.apsnet.org /online/ feature/ biocontrol/top.html.*

Mendgen, K., Hahn, M., Deising, H. (1996). Morphogenesis and mechanisms of penetration by plant pathogenic fungi. Annu. Rev. Phytopathol., 34:367-386.

Mejdoub-Trabelsi, B., Aydi, R.B.A., Nawaim, A., Daami-Remadi, M. (2017). Antifungal Potential of Extracellular Metabolites from *Penicillium* spp. and *Aspergillus* spp. Naturally Associated to

Potato against *Fusarium* species. Causing Tuber Dry Rot. Journal of Microbial and Biochemical Technology. 09: 181-190. doi: 10.4172/1948-5948.1000364

Mejia, L., Rojas, E., Maynard, Z., Van Bael, S., Arnold, A., Hebbar, P., Samuels, G., Robbins, N., Herre, E. (2008). Endophytic fungi as biocontrol agents of *Theobroma cacao* pathogens. Biological Control 46: 04-14.

Meraneh, A.D. (2010). Détermination du sexe chez le palmier dattier : Approches histo-cytologiques et moléculaires. Thèse de Doctorat, Ecole Doctorale : Biologie Intégrative, Université de Montpellier 2, France. 160p.

Méry, S. (2013). The first oases in Eastern Arabia: society and craft technology, in the 3rd millennium BC at Hili, United Arab Emirates. Revue d'Ethnoécologie (04) –Palmier dattier-: 01-18. doi 10.4000/ethnoecologie.1631

Miara, M.D., Teixidor-Toneu, I., Sahnoun, T., Bendif, H., Ait Hammou, M. (2018). Ethnobotanical survey of medicinal plants used by nomadic peoples in the Algerian steppe. Journal of Ethnopharmacology 219: 248-256.

Miller, A., Gross, B. (2011). From forest to field : Perennial fruit crop domestication. American Journal of Botany 98 (9) : 1389-1414.

Mkenda, P., Mwanauta, R., Stevenson, P.C., Ndakidemi, P., Mtei, K., Belmain, S.R. (2015). Extracts from field margin weeds provide economically viable and environmentally benign pest control compared to synthetic pesticides. PLoS One 10 (11): e0143530

Mokrani, S., Belabid, L., Nabti, E. (2018). Antifungal activities of *Pseudomonas* strains against indiginous phytopathogenic fungi of *Phaseolus vulgaris* L. isolated from a greenhouse in Western Algeria. Research Journal of Plant Pathology 02(1): 01-06.

Mondédji, A.D., Nyamador, W.S., Amévoin, K., Adéoti, R., Abbévi-Abbey, G., Koffivi-Ketoh, G., Glitho, I.A. (2015). Analyse de quelques aspects du système de production légumière et perception des producteurs de l'utilisation d'extraits botaniques dans la gestion des insectes ravageurs des cultures maraichères au Sud du Togo. International Journal of Biological and Chemical Sciences 09(1): 98- 107.

Mukherjee, P.K., Mukherjee, A.K., Kranthi, S. (2013). Reclassification of *Trichoderma viride* (TNAU), the most widely used commercial biofungicide in India, as *Trichoderma asperelloides*. Open Biotechnol J 7:7–9. doi:10.2174/1874070701307010007

Munier, P. (1973). Le palmier dattier. Paris : Maison neuve et La rose, 211p.

Munier, P. (1974). Sur l'origine de la datte Deglet-Nour. Fruits. 29 (12) : 823-824.

Mylona, K., Kogkaki, E., Sulyok, M. (2014). Efficacy of gaseous Magan ozone treatment on spore germination, growth and fumonisin production by *Fusarium verticillioides in vitro* and *in situ* in maize. Journal of Stored Products Research 59: 178–184.

Nashwa, S.M.A., Abo-Elyousr, K.A.M. (2012). Evaluation of various plant extract against the early blight disease of tomato plants under greenhouse and field conditions. Plant Protection Science 48(02): 74-79.

Navas-Cortés, J.A. (1992). El teleomorfo de *Ascochyta rabiei* en Espana ; Detection desarrollo y papel en la epidemiologia de la rabia del garbonzo (*Cicer arietinum* L.). Thèse de Ph. D., Université de Cordoba, Cordoba, Espagne.

Neef, R. (1991). Plant remains from archaeological sites in lowland Iraq : Tell el'Oueil. In Huot J.L. (éd.), Oueili. Travaux de 1985. Éditions Recherches sur les civilisations, Paris : 322-329.

Newton, C., Gros-Balthazard, M., Ivorra, S., Paradis, L., Pintaud, J.C., Terral, J.F. (2013). *Phoenix dactylifera* and *P. sylvestris* in Northwestern India : A glimpse into their complex relationships. Palms 57: 37–50.

O'Donnel, C., Tiwari, B. K., Cullen, P. J., Rice, R. (2012). Status and trends of Ozone in Food Processing. In Ozone in food processing/ Ed. par C. O'Donnel, B.K.Tiwari, P.J. Cullen et R.G. Rice. Oxford: Wiley-Blackwell Editions. 312p.

Oei, P. (2005). La culture des champignons à petite échelle : pleurotes, shiitakes et auriculaires. Wageningen, Pays-Bas : Fondation Agromisa, CTA.

OEPP/EPPO, (1990). Fiche informative sur *Fusarium oxysporum f. sp. albedinis*, agent du Bayoud du palmier dattier. UE Sous contrat 90/399003. 06 p. https://gd.eppo.int/download/doc/617_ds_FUSAAL_fr.pdf

Oh, S.U., Lee, S.J., Kim, J.H., Yoo, I.D. (2000). Structural elucidation of new antibiotic peptides, atroviridins A, B, and C from *Trichoderma atroviride*. Tetrahedron Letters 41: 61- 64.

Oihabi, A. (1991). Etude de l'influence des mycorhizes à V.A. sur le Bayoud et la nutrition du palmier dattier. Thèse de Doctorat, Université Cady Ayad de Marrakech, Maroc.

Oihabi, A., Meddich, A. (1996). Effet des mycorhizes à arbuscules (MA) sur la croissance et la composition minérale du trèfle. Cahiers Agricultures 05 : 382-386.

Ouamane, A.T., Bensalah, M.K., Djazouli, Z. (2017). Approche a monitoring de la pyrale des dattes *Ectomyelois ceratoniae* Zeller, par le recours aux moyens biologiques. Revue Agrobiologia 07(1): 312-320.

Ould El Hadj, M.D., Hadj Mahammed, M., Zabeirou, H. (2003). Place des plantes spontanées dans la médicine traditionnelle de la région d'Ouargla (Sahara septentrional est). Courrier du savoir 03: 47-51.

Ouennoughi, M., Dubost, D. (2005). Le voyage forcé des dattiers en Nouvelle-calédonie. Sécheresse 16 (4): 241-246.

Ou-Zine, M., Bouhlal, Y., El-Hilali, R., Achbani, E., Haggoud, A., Bouamri, R. (2020). Evaluation of compost quality and bioprotection potential against Fusarium wilt of date palm. Waste Management. 113: 12-19. doi 10.1016/j.wasman.2020.05.035

Ozbay, N., Newman, S.E. (2004). The effect of the *Trichoderma harzianum* strains on the growth of tomato seedlings. Acta Horticulture 635:131-135.

Ozenda, P. (1991). Flore et Végétation du Sahara. CNRS, Paris : 329–331.

Pages, M. (2015). Effets et mécanismes d'action de l'ozone utilisé comme moyen de lutte contre des champignons pathogènes du pommier : études *in vitro* et *in vivo*. Thèse de Doctorat, Institut Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse), France. 194p.

Pal, K.K., McSpadden Gardener, B. (2006). Biological Control of Plant Pathogens. *The Plant Health Instructor* DOI: 10.1094/PHI-A-2006-1117-02.

Peterson, S., Vega, E., Posada, F., Nagai, C. (2005). *Penicillium coffeae*, a new endophytic species isolated from a coffee plant and its phylogenetic relationship to *P. fellutanum, P. thiersii* and *P. brocae* based on parsimony analysis of multi locus DNA sequences. Mycologia 97: 659-666.

Peterson, R.L., Wagg, C., Pautler, M. (2008). Association between microfungal endophytes and roots: do structural features indicate function?. Canadian Journal of Botany 86: 445-456.

Petrini, O. (1986). Taxonomy of endophytic fungi of aerial plant tissues, pp. 175–187 in Fokkema, N.J. and van den Heuvel, J. (editors), *Microbiology of the Phyllosphere*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Peyron, G. (2000). Guide illustré de formation: Cultiver le Palmier Dattier. Edition Quae IRD, France. 110p. ISBN: 2876143992, 9782876143999

Popenoe, W. (1938). Manual of tropical and subtropical fruits. New-York, The Macmillan Company, 544 p.

Reddy, M.V., Kabbabeh, S. (1985). Pathogenic variability in *Ascochyta rabiei* (Pass.) Labr. in Syria and Lebanon. Phytopathologia Mediterranea 24: 265-266.

Redfern, J., Kinninmonth, M., Burdass, D., Verran, J. (2014). Using Soxhlet extraction to produce and test plant material (essential oils) for their antimicrobial properties. Journal of Microbiology and Biology Education 15 (1): 45-46.

Redman, R. S., Ranson J. C., Rodriguez R. J. (1999). Conversion of the pathogenic fungus Colletotrichum magna to a nonpathogenic, endophytic mutualist by gene disruption. *Molecular Plant Microbe Interactions* 12: 969-975.

Redman, R.S., Dunigan, D.D., Rodriguez, R. J. (2001). Fungal symbiosis rom mutualism to parasitism: who controls the outcome, host or invader ? *New Phytologist* 151: 705-716.

Rehner, S.A., Samuels, G.J. (1994). Taxonomy and phylogeny of *Gliocladium* analyzed by large subunit rDNA sequences. Mycological Research 98 : 625--634.

Reino, J.L., Guerrero, R.F., Hernandez-Galan, R., Collado, I.G. (2008). Secondary metabolites from species of the biocontrol agent *Trichoderma*. Phytochemistry 07:89-123.

Rifai, M.A., Webster, J. (1966). Culture studies of *Hypocrea* and *Trichoderma* II. *H. aureoviridis* and *H. rufa* f. *sterilis* f. nov. Trans Br Mycol Soc 49:289–296.

Rifai, M.A. (1969). A revision of the genus Trichoderma. Mycol Pap 116: 01–56.

Riou, C. (1990). Bioclimatologie des Oasis. *In* Dollé V. & Toutain G. (Ed.), *Les systèmes agricoles oasiens : actes du colloque de Tozeur (19-21 novembre 1988)*, Paris, CIHEAM : 207-220.

Rivaton, D. (2016). Etude des champignons mycorhiziens arbusculaires des sols en systèmes de grandes cultures biologiques sans élevage : application à la nutrition phosphatée. Sciences du Vivant [q-bio] <dumas-01472700>.

Rodríguez-Gálvez, E., Mendgen, K. (1995). Cell wall synthesis in cotton roots after infection with *Fusarium oxysporum*. The deposition of callose, arabinogalactans, xyloglucans, and pectic components into walls, wall appositions, cell plates and plasmodesmata. Planta, 197(3): 535-45.

Rodriguez, R.J., White, J. F., Arnold, A.E., Redman, R.S. (2009). Fungal endophytes: diversity and functional roles. New Phytologist 182 (2): 314-330.

Romani, A., Pinelli, P., Cantini, C., Cimato A., Heimler, D. (2006). Characterization of Violetto di Toscana, a typical Italian variety of artichoke (Cynara scolymus L.). Journal of Food and Chemistry 95: 221-225.

Rosato, A., Vitali C., De Lanrentis N., Domenico A. (2007). Antibacterial effect of some essential oils administered alone or in combination with Norfloxacin. Phytomedicine 14(11):727-732.

Rouag, N., Abed, H., Moutassim, D., Mehmah, S., Benabid, S. (2019). Antifungal activity of isolated *Bacillus* species against chickpea Fusarium wilt. Journal of Crop Protection 08(4): 449-464.

Saaidi, M. (1990). Amélioration génétique du palmier dattier. Critères de sélection, techniques et résultats. In : Dollé V., Toutain G. Les systèmes agricoles *oasiens*. Montpellier (France) : CIHEAM-IAMM. p. 133-154. (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens, n. 11). Les Systèmes Agricoles Oasiens, 1988/11/19-21, Tozeur (Tunisie). http://ressources.ciheam.org/om/pdf/a11/CI901491.pdf

Saaidi, M. (1992). Comportement au champ de 32 cultivars de palmier dattier vis-à-vis du Bayoud : 25 années d'observation. Agronomie, EDP Sciences, 12 : 359-370. doi : hal-00885482

Sahampoor, L., Zaker-Travallaie, F., Fani, S.R., Shahbazi, S. (2020). *In vitro* efficiency of *Trichoderma harzianum* mutants in biocontrol of *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum*. Journal of Crop Protection 09(2): 285-300.

Saikkonen, K., Faeth, S., Helander, M., Sullivan, T. (1998). Fungal endophytes: A continuum of interactions with host plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 29: 319-343.

Sajeena, A., Nair, D.S., Sreepavan, K. (2020). Non-pathogenic *Fusarium oxysporum* as a biocontrol agent. Indian Phytopathology. 73: 177-183. doi https://doi.org/10.1007/ s42360-020-00226-x

Samson, R.A. (1994). Current systematics of the genus *Aspergillus*. In K.A.Powell, A. Renwick & J.F.Peberdy (eds.), The genus *Aspergillus* : from taxonomy and genetics to industrial application. Plenum Press, London, United Kingdom, pp. 261-276.

Samson, R.A., Houbraken, J., Thrane, U. (2010). Food and Indoor Fungi. CBS Laboratory Manual.

Samuels, G.J. (2006). *Trichoderma*: Systematics, the sexual state, and ecology. Phytopathology 96:195-206.

Saydi, M., Nematollahi, S. (2017). Antifungal Activity of Nettle (*Urtica dioica* L.) and European Pennyroyal (*Mentha pulegium* L.) Extracts on *Alternaria alternate*. International Journal of Molecular and Clinical Microbiology 7(2): 869-874.

Schiettecatte, J. (2013). Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) dans l'Arabie méridionale préislamique », *Revue d'ethnoécologie* [En ligne], 4 | 2013, mis en ligne le 31 décembre 2013, consulté le 30 septembre 2016. URL : http://ethnoecologie.revues.org/1356 ; DOI : 10.4000/ethnoecologie.1356

Schirmbock, M., Lorito, M., Wang, Y.L., Hayes, C.K., Arisan-Atlac, I., Scala, F., Harman, G.E. and Kubicek, C.P. (1994). Parallel formation and synergism of hydrolytic enzymes and peptaibol antibiotics, molecular mechanisms involved in the antagonistic action of *Trichoderma harzianum* against phytopathogenic fungi. Appl. Environmental Microbiology. 60: 4364-4370.

Schulz, B., Boyle, C. (2005). The endophytic continuum. Mycological Research 109: 661-687.

Schultz, C. (2001). Effect of (vesicular-) arbuscular mycorrhiza on survival and post vitro development of micropropagated oil palms (*Elaeis guineensis* Jacq.). Ph.D. thesis. Universität Göttingen, Germany.

Sedra, My.H., Djerbi, M. (1985). Mise au point d'une méthode d'identification *in vitro* du *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, agent causal du Bayoud. Annal de l'INRAT Tunis, Tunisie N°02 : 01-12.

Sedra, My.H., Rouxel, F. (1989). Résistance des sols aux maladies. Mise en évidence de la résistance d'un sol de la palmeraie de Marrakech aux fusarioses vasculaires. Al Awamia 66 : 35-54.

Sedra, My.H. (1993) Lutte contre le Bayoud, fusariose vasculaire du palmier dattier causée par *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis :* sélection des cultivars et clones de qualité résistants et réceptivité des sols de palmeraies à la maladie. Thèse de Doctorat d'Etat es-Sciences, Fac.Sc., Sémlalia, Marrakech, Maroc, 142 p

Sedra, My.H. (1994) Evaluation de la résistance à la maladie du Bayoud causé par *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis* chez le palmier dattier: Recherche d'une méthode fiable d'inoculation expérimentale en pépinière et en plantation. Agronomie 14:445–452

Sedra, My.H., Besri, M. (1994) Evaluation de la résistance au Bayoud du palmier dattier causé par *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis*: Recherche d'une méthode de discrimination des vitroplants acclimatés en serre. Agronomie 14:467–472.

Sedra, My.H. (1995) Triage d'une collection de génotypes de palmier dattier pour la résistance au Bayoud causé par *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis.* INRA-Rabat Maroc. Al Awamia 90:9–18.

Sedra, My.H. (1996). Résultats de prospections effectuées dans la vallée Ait Mansour (Région de Tiznint-Tafraoute au sud du Maroc). Rapport de mission, INRA –Maroc.

Sedra, My.H. (1999a). Identification et caractérisation des cultivars du palmier dattier en Mauritanie. Rapport de mission de consultation d'expert, 30/6/99-23/7/99, OADA.

Sedra, My.H. (1999b). Prospection et importance du bayoud en Mauritanie et action urgentes à prendre pour lutter contre la maladie. Rapport de mission de consultation FAO effectuée du 19/10/99 au 18/11/99 en République Islamique de Mauritanie et proposition de projet de lutte contre le bayoud dans ce pays. Projet de Développement des oasis, phase II, FAO/UFT/MAU/020/MAU'.

Sedra, My.H. (2000). Biological and genetic characteristics of Bayoud resistant Moroccan date palm cultivars and strains. Agric Water 20:55–66.

Sedra, My.H. (2001) Descripteurs du palmier dattier (*Phoenix dactilyfera* L.). Edit. INRA Maroc, Imprimerie Al Watania-Marrakech Maroc), 135 p.

Sedra, My.H. (2003a). Le bayoud du palmier dattier en Afrique du Nord. FAO, RNE/SNEA-Tunis. Imprimerie Signes, Tunis, 125 pages.

Sedra, My.H. (2003b). Date palm cultivation, characterization and classification of main Mauritanian varieties. Edit AOAD, Al-Khartoum, 276 pages (in Arabic).

Sedra, My.H. (2003c). Le palmier dattier base de la mise en valeur des oasis au Maroc. Techniques phoénicicoles et création d'oasis. Edit. INRA Maroc, Imprimerie Al Watania-Marrakech, 276 pages.

Sedra, My.H. (2005a). La maladie du Bayoud du palmier dattier en Afrique du Nord : Diagnostic et caractérisation. Actes du Symposium International sur le Développement Durable des Systèmes Oasiens. Maroc. pp : 26-34.

Sedra, My.H. (2005b). Caractérisation des clones sélectionnés du palmier dattier et prometteurs pour combattre la maladie du Bayoud. Actes du Symposium International sur le Développement Durable des Systèmes Oasiens. Maroc. pp :72-79.

Sedra, My.H. (2012) Le guide du phéniciculteur: mise en place et conduite des vergers phoénicicoles. Edition INRA Maroc, Imprimerie Nadacomdh, Rabat. 311p.

Sedra, My.H. (2013). Guide du Phoeniciculteur. Mise en place et conduite des vergers phoenicicoles. Edition INRA Maroc. 313p. ISBN : 978-9954-8602-8-1

Sharon, E., Bar-Eyal, M., chet, I., Herra-Estrella, A., Kleifeld, O., Spiegel, Y. (2001). Biological control of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* by *Trichoderma harzianum*. Phytopathology 91: 687-693.

Shoresh, M., Yedidia, I., Chet, I. (2005). Involvement of jasmonicacid/ethylene signaling pathway in the systemic resistance induced incucumber by *Trichoderma asperellum* T203. Phytopathology 95: 76-84.

Siala, R., Ben Chobba, I., Vallaeys, T., Triki, M. A., Jrad, M., Cheffi, M., Ayedi, I., Elleuch, A., Nemsi, A., Cerqueira, F., Gdoura, R., Drira, N., Gharsallah, N. (2016). Analysis of the 156 cultivable endophytic bacterial diversity in the date palm (*Phoenix dactylifera* L.) and evaluation of its antagonistic potential against pathogenic *Fusarium* species that cause date palm bayound disease. *Journal of Applied & Environmental Microbiology* 04: 93-104.

Sidaoui, A., Noureddine, K., Anis, B., Younes, E., Sadika, H., Bouchra, O., Said, B., Mostafa, C., Mebrouk, K. (2018). Pathogenicity and biological control of Bayoud disease by *Trichoderma longibrachiatum* and *Artemisia herba-alba* essential oil. J. App. Pharm. Sci. 08(04): 161-167.

Silva, A.D.S., Oliveira, E.J., Haddad, F., Laranjeira, F.F., Jesus, O.N., Oliveira, A.S., Costa, M.A.P.C., Freitas, P.J.X. (2013). Identification of passion fruit genotypes resistant to *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*. Tropical Plant Pathology 38(3): 236-242.

Singh, M., Vyas, D., Singh, P.K. (2013). Interaction of soil microbes with mycorrhizal fungi in tomato. Archives of Phytopathology and Plant Protection 47(6): 737-743.

Sivan, A., Chet, I. (1989). Degradation of fungal cell walls by lytic enzymes of *Trichoderma harzianum*. J General Microbiol. 135:675-682.

Snyder, W.C., Hansen, H.N. (1940). The species concept in *Fusarium*. American Journal of Botany 27: 64–67.

Souna, F., Chafi, A., Chakroune, K., Himri, I., Bouakka, M., Hakkou, A. (2010). Effect of Mycorhization and compost on the growth and the protection of Date palm (*Phoenix Dactylifera L.*) against Bayoud disease. American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture 4(2): 260-267.

Stein, T. (2005). *Bacillus subtilis* antibiotics: structures, syntheses and specific functions. Molecular Microbiology 56 : 845-857. doi:10.1111/j.1365- 2958.2005.04587.x.

Stevenson, P.C., Arnold, S.E.J., Belmain, S.R. (2014). Pesticidal plants for stored product pest in smallholder farming in Africa. In “Advances in Plant Biopesticides” Ed. D. Singh. Springer Verlag.

Suty, L. (2010). La lutte biologique: Vers de nouveaux équilibres écologiques. Eds Quae, 323 pages.

Taiz, L., Zeiger, E. (2002). Plant physiology. 3rd Edition, Sinauer Associates, Inc., Sunderland, 30 Aout 2002. 690p. ISBN: 0878938230

Tomazoni, E. Z., Pauletti, G. F., da Silva Ribeiro, R. T., Moura, S., Schwambach, J. (2017). *In vitro* and *in vivo* activity of essential oils extracted from *Eucalyptus staigeriana, Eucalyptus globulus* and *Cinnamomum camphora* against *Alternaria solani* causing early blight in tomato. Scientia Horticulturae, 223, 72-77.

Tapp, C., Rice, R. (2012). Generation and Control of Ozone. In *Ozone in food processing/ Ed. par C. O’Donnel, B.K.Tiwari, P.J. Cullen et R.G. Rice.* Oxford: Wiley-Blackwell Editions. 312p.

TelaBotanica, (2021). Taxonomie du palmier dattier. 22/01/2022 21:27 https://www.tela-botanica.org/eflore/?referentiel=bdtfx&module=fiche&action=fiche&num_nom=77545&onglet=synthese

Tengberg, M. (2003a). Research into the origins of date palm domestication. The Date palm : from traditional resource to green wealth. The Emirates Center for Strategic Studies and Research, Abu Dhabi : 33-50.

Tengberg, M. (2012). Beginnings and early history of date palm garden cultivation in the Middle East. *Journal of arid environment* 86 : 139-147.

Tirichine, A. **(**1997). Étude des ressources génétiques du palmier dattier. Whyte, R.O., 1959 :Prospection, récolte et introduction des plantes. Èd FAO. Rome, 126 p.

Tlemsani, M., Fortas, Z., Dib, S., Bellahcen, M. (2019). Inoculation with *Strptomyces* decreases vascular wilt of chickpea infected by *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceri*. South Asian Journal of Experimental Biology 09(6): 249-254.

Toutain, G. (1979). Eléments d'agronomie saharienne, Cellule des zones arides, Gret, 276p.

Triki, M.A., Zouba, A., Khoualdia, O., Ben Mahamoud, O., Takrouni, M.L., Garnier, M., Bové, J.M., Montarone, M., Poupet, A., Flores, R., Darós, J.A.,. Fadda, Z.G.N., Moreno, P., Duran-Vila, N. (2003). 'Maladie Des Feuilles Cassantes' or Brittle Leaf Disease of Date Palms in Tunisia: Biotic or Abiotic Disease?". Journal of Plant Pathology 85(02): 71-79.

Tronsmo, A., Hjeljord, L.G. (1998). Biological control with *Trichoderma* species. In G.S. Boland and L.D. Kuykendall (Eds.),Plant microbe interactions and biological control, p. 111-124.

Türkkan, M., Dolar, F.S. (2009). Determination of pathogenic variability of *Didymella rabiei*, the agent of ascochyta blight of chickpea in Turkey. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 33: 585-591. doi: 10.3906/tar-0901-34

Umemura, K., Tanino, S., Nagatsuka, T., Koga, J., Iwata, M., Nagashima, K., Amemiya, Y. (2004). Cerebroside elicitor confers resistance to *Fusarium* disease in various plant species, Phytopathology 94: 813-818.

Valdes, I.D., Berg, J.V.D., Haagsman, A., Escobar, N., Meis, J.S., Hagen, F., Haas, P.J., Houbraken, J., Wösten, H.A.B., de Cock, H. (2018). Comparative genotyping and phenotyping of Aspergillus fumigatus isolates from humans, dogs and the environment. BMC Microbiology 18:118. https://doi.org/10.1186/s12866-018-1244-2

Vega, F.E., Simpkins, A., Aime, M.C., Posada, F., Peterson, S.W., Rehner, S.A., Arnold, A.E. (2010). Fungal endophyte diversity in coffee plants from Colombia, Hawai'i, Mexico and Puerto Rico. Fungal Ecology 03 (3) : 122-138.

Vibha, M. (2010). Effect of fungal metabolites and amendments on mycelium growth of *Rhizoctonia solani*. Journal of Plant Protection Research. 50: 93-97.

Vinale, F., Marra, R., Scale, F., Ghisalberti, E.L., Lorito, M., Sivasithamparam, K. (2006). Major secondary metabolites produced by two commercial *Trichoderma* strains active different phytopathogens. Letter in Applied Microbial 43:143-148.

Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, L.E., Marra, R., Woo, L.S., Lorito, M. (2008). *Trichoderma* plant-pathogen interactions. Soil. Biol. Biochem. 40: 110.

Walker, C., Harper, C.J., Brundrett, M.C., Krings, M. (2018). Looking for Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Fossil Record: An Illustrated Guide. Chapitre 20, in: Transformative Paleobotany (Livre). Copyright © 2018 Elsevier Inc. pp. 481-517.

Wang, H., Hwang, S.F., Chang, K.F., Turnbull, G.D., Howard, R.J. (2003). Suppression of important pea diseases by bacterial antagonists. Biocontrol Dordrecht 04: 447-460.

Webster, J., Rifai, M.A. (1968). Culture studies on *Hypocrea* and *Trichoderma* IV. *Hypocrea pilulifera* sp. nov. Trans. Br. Mycol. Soc, 51:511-514.

Wells, H.D., Bell, D.K. and Jaworski, C.A. (1972). Efficacy of *Trichoderma harzianum* as a biocontrol for *Sclerotium rolfsii*. Phytopathology. 62: 442-447.

Wertheimer, M. **(**1956). Recherches et observations sur la plantation des "rejets" de la Palmiers Dattiers (*Phoenix dactylifera* L.) dans les Zibans (Région de Biskra). Revus. Fruits-Vol 11. N° 11. pp : 481-487.

Wipf, D. (2014). Les mycorhizes, une alliance plante-champignon découverte en 1885 et encore mal connue ?. Revue Sciences de Bourgogne-Nature 20 : 143-148.

Yedidia, I., Benhamou, N. and Chet, I. (1999). Induction of defense reponses in cucumber (*Cucumis sativus* L.) by the biocontrol agent *Trichoderma harzianum*. Applied Environmental Microbiology. 65: 1061-1070.

Yedidia, I., Srivastva, A.K., Kapulnik, Y. and Chet, I. (2001). Effect of *Trichoderma harzianum* on microelement concentrations and increased growth of cucumber plants. Plant Soil. 235: 235-242.

Zehdi-Azouzi, S., Cherif, A., Moussouni, S., Gros-balthazard, M., Naqvi, S.N., Ludena, B., Castillo, K., Chabrillange, N., Bouguedoura, N., Bennaceur, M., Si-Dehbi, F., Abdoulkader, S., Daher, A., Terral, J.F., Santoni, S., Ballardini, M., Mercuri, A., Bensalah, M., Kadri, K., Othmani, A., Littardi, C., Salhi-Hannachi, A., Pintaud, J.C., Aberlenc-bertossi, F. **(**2015). Genetic structure of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.) in the Old World reveals a strong differentiation between eastern and western populations. Rev. Annals of Botany N° 116. Oxford., pp:101–112.

Zaid, A., de Wet, P.F., Djerbi, M., Oihabi, A. (2002). *Date palm cultivation*. Livre : Zaid A., (Ed.) Food and agricultural organization of the United Nations, Rome, (en ligne) URL : http://www.fao.org/docrep/006/y4360e/y4360e00.htm. 03/06/2018 à 00:32.

Zhang, H.W., Song, Y.C., Tan, R.X. (2006). Biology and chemistry of endophytes. *Natural Product Reports* 23: 753-771.

Zhu, Z.X., Zhuang, W.Y. (2015). *Trichoderma* (*Hypocrea*) species with green ascospores from China. Persoonia 34: 113–129. https://doi.org/10.3767/003158515x686732

Zikara-Zine, F., Bouznad, Z. (2007). Virulence et groupes de comptabilité dans les isolats d'*Ascochyta rabiei* en Algérie. Recherche Agronomique 19: 48-55.

Zohary, D., Spiegel-Roy, P. (1975). Beginnings of fruit growing in Old World. Science 187 (4174) :319-327. doi : 10.1126/science.187.4174.319

Zohary, D., Hopf, M., Weiss, E. (2012). Domestication of Plants in the Old World, Third Edition (Oxford University Press).

Zougari-Elwedi, B., Sanaa, M., Labidi, S., Lounès-Haj Sahraoui, A. (2012). Evaluation de l'impact de la mycorhization arbusculaire sur la nutrition minérale des plantules de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L. var. Deglet Nour). Etude et Gestion des Sols 19(3&4) : 193-202.

Webmasters

Date palm cultivation. Livre : Zaid A., (Ed.) Food and agricultural organization of the United Nations, Rome, (en ligne) URL : http://www.fao.org/docrep/006/y4360e/y4360e00.htm. 03/06/2018 à 00:32.

TelaBotanica (2021). Taxonomie du palmier dattier. 22/01/2022 21:27 https://www.tela-botanica.org/eflore/?referentiel=bdtfx&module=fiche&action=fiche&num_nom=77545&onglet=synthese

Rapport technique : campagne 18 Aout 2018. http://www.inpv.edu.dz/situation-compagnes/surveillance-et-lutte-contre-le-boufaroua-et-le-myelois-campagne-2018-2/

Clés d'identification des champignons mycorhiziens – Aspect forme des spores. https://champyves.pagesperso-orange.fr/champignons/determination/spore.html Site consulté: le 11/04/2022 21:37 . 6p.

La pyrale de datte (*Ectomyelois ceratoniae* Zeller). URL : http://www.ctd.tn/fr/pyrale-des-dattes-ectomyelois-ceratoniae-zell-185.html

Annexes

Annexe 01

Périodes d'incubation et taux de mortalité des plantules de 14 variétés de palmier dattier dans le test de screening (Lutte génétique)

Variétés	EN POT	CUT-TWIG	PI en pot	PI cut-twig
Feggous	25	50	59	27
Feggous	25	50	60	27
Feggous	0	100	60	26
Feggous	0	100	57	28
Moy	12,5	75	59	27
Ecart-type	16,87	25	17,67	17,61

Variétés	EN POT	CUT-TWIG	PI en pot	PI cut-twig
Figuig	100	100	32	25
Figuig	100	100	30	25
Figuig	25	100	30	20
Figuig	50	100	34	30
Moy	68,75	100	31,5	25
Ecart-type	41,37	0	0	39,25

Variétés	EN POT	CUT-TWIG	PI en pot	PI cut-twig
Toudent	100	100	37	22
Toudent	25	25	34	20
Toudent	100	25	37	24
Toudent	25	50	40	22
Moy	62,5	50	37	22
Ecart-type	43,3	35,35	2,45	1,63

Variétés	EN POT	CUT-TWIG	PI en pot	PI cut-twig
Azarza	100	100	38	21
Azarza	25	100	36	21
Azarza	25	50	37	22
Azarza	25	50	41	20
Moy	43,75	75	38	21
Ecart-type	37,5	28,86	2,16	0,81

Variétés	EN POT	CUT-TWIG	PI en pot	PI cut-twig
Tamdjouhert	0	25	70	23
Tamdjouhert	0	25	70	21
Tamdjouhert	0	50	70	24
Tamdjouhert	0	100	70	24
Moy	0	50	70	23
Ecart-type	0	35,35	0	1,41

(Suite Annexe 01)

Variétés	EN POT	CUT-TWIG	PI en pot	PI cut-twig
Adem bulla	0	50	70	30
Adem bulla	0	25	70	35
Adem bulla	0	50	70	30
Adem bulla	0	50	70	25
Moy	0	43,75	70	30
Ecart-type	0	12,5	0	4,08

Variétés	EN POT	CUT-TWIG	PI en pot	PI cut-twig
Degla beida	0	50	70	30
Degla beida	0	25	70	30
Degla beida	0	50	70	26
Degla beida	0	50	70	34
Moy	0	43,75	70	30
Ecart-type	0	12,5	0	3,26

Variétés	EN POT	CUT-TWIG	PI en pot	PI cut-twig
Deglet nour	100	100	35	30
Deglet nour	75	100	33	34
Deglet nour	50	100	34	26
Deglet nour	50	75	38	30
Moy	68,75	93,75	35	30
Ecart-type	23,9	12,5	19,6	3,26

Variétés	EN POT	CUT-TWIG	PI en pot	PI cut-twig
Hmira	100	75	40	27
Hmira	0	50	39	25
Hmira	0	50	41	25
Hmira	0	50	40	29
Moy	25	56,25	40	26,5
Ecart-type	50	12,5	26,5	1,9

Variétés	EN POT	CUT-TWIG	PI en pot	PI cut-twig
Mech degla	0	50	70	32
Mech degla	0	50	70	30
Mech degla	0	25	70	30
Mech degla	0	50	70	36
Moy	0	43,75	70	32
Ecart-type	0	12,5	0	2,8

(Suite Annexe 01)

Variétés	EN POT	CUT-TWIG	Pl en pot	Pl cut-twig
Hartan	0	25	50	50
Hartan	0	0	55	55
Hartan	100	0	45	50
Hartan	0	0	50	45
Moy	25	6,25	50	50
Ecart-type	50	12,5	4,08	4,08

Variétés	EN POT	CUT-TWIG	Pl en pot	Pl cut-twig
Taquerboucht	0	0	70	50
Taquerboucht	0	0	70	55
Taquerboucht	0	0	70	50
Taquerboucht	0	25	70	45
Moy	0	6,25	70	50
Ecart-type	0	12,5	0	4,08

Variétés	EN POT	CUT-TWIG	Pl en pot	Pl cut-twig
Sbaa soltan	100	100	29	18
Sbaa soltan	100	100	29	18
Sbaa soltan	100	100	28	17
Sbaa soltan	100	100	30	19
Moy	100	100	29	18
Ecart-type	0	0	0,8	0,8

Variétés	EN POT	CUT-TWIG	Pl en pot	Pl cut-twig
Tanboucht	100	100	70	29
Tanboucht	25	25	70	30
Tanboucht	25	25	70	30
Tanboucht	25	50	70	27
Moy	43,75	50	70	29
Ecart-type	37,5	35,3	0	1,4

Annexe 02

Lutte génétique – Test de screening

Statistique descriptive

Test de Kruskal-Wallis :

K (Valeur observée)	143,84
K (Valeur critique)	97,40
ddl	55
	<
p-value (bilatérale)	0,0001
alpha	0,05

Coefficient de variation= 18,5%

ddl : Degré de Liberté.

p : Probabilité.

Interprétation du test :

H0 : Les échantillons proviennent de la même population.

Ha : Les échantillons proviennent de populations différentes.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 0,05%.

Annexe 03

Composition du milieu nutritif Hoagland

La composition du milieu 'Hoagland' est la suivante (pour 01L):

✓ **Macroéléments (g/l) :**
Nitrate de Potassium [KNO_3]: 101,1
Nitrate de Calcium [Ca (NO_3) $4H_2O$]: 236,16
Monoammonium phosphate D'ammonium dihydrogénophosphate $NH_4H_2PO_4$: 115,08
Sulfate de Magnésium [MgSO4 $7H_2O$] : 246,49
✓ **Microéléments (g/l) :**
Chlorure de Potassium [KCl] : 1,864
Acide Borique [H_3BO_3] : 0,773
Sulfate de Manganèse [$MnSO_4$ H_2O] : 0,169
Sulfate de Zinc [$ZnSO_4$ $7H_2O$] : 0,288
Sulfate de Cuivre [$CuSO_4$ $5H_2O$] : 0,062
Acide Molybdique [H_2MoO_4 (85% MoO_3)] : 0,04
Fer de Sodium [NaFe EDTA (10% Fer)] : 30

D'après Taiz et Zeiger, 2002

Annexe 04

Lutte biologique *in situ* par l'utilisation des champignons endophytes sur l'incidence de Bayoud du palmier dattier : cas de variété 'Deglet Nour'

Statistique descriptive

Test de Kruskal-Wallis :

K (Valeur observée)	113,84
K (Valeur critique)	86,10
ddl	15
p-value (bilatérale)	< 0,0001
alpha	0,05

Coefficient de variation= 17,3%

ddl : Degré de Liberté.

p : Probabilité.

Interprétation du test :

H0 : Les échantillons proviennent de la même population.

Ha : Les échantillons proviennent de populations différentes.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 0,05%.

Annexe 05

Valeurs de croissance mycélienne (en mm), des isolats de Foa sous l'effet des champignons antagonistes *Trichoderma harzianum* et *Aspergillus flavus*.

Isolats de Foa	**Confrontation (Traitement)**				**Témoin**	
	T. harzianum		***A. flavus***			
S1	2	2,26	2	3	5	5,08
	3	2,5	2,5	2	5,3	4,5
S2	2,5	2,5	2,3	2	4,43	4,45
	2,6	2,4	2	2	4	4
S3	2	2	2	2	4,24	5
	2,56	2,4	1,9	2,1	4,5	5,2
S4	2,62	2,5	1,8	2	5,16	4
	3	2	2	2	5	5
S5	3	2,5	2	2	5	5
	2,2	2,06	2	2,1	4,3	4,3
S6	2,54	2,5	2	2	4,52	5
	2,5	2,5	1,9	1,8	5	5
S7	2	3	2	2	4,12	5
	2,5	2,34	1,7	1,8	5	5
S8	2	2,5	2	2	5	4
	3	2,26	2	2	5	5
S9	3	2,32	2	2	4,5	5
	2	2	1,9	1,8	5	5,06
S10	3	2,5	2	2	5,5	5,5
	2	2,26	1,8	1,8	5,18	5,4
S11	3	2,2	2	2	5,5	5,5
	2	2	2	2	5,2	5,2
S12	3	2,4	2	1,5	5	5
	2	2	1,8	2	5,34	5,5
S13	2	2,16	2	2	3	3
	2	2	1,8	2	3	2,4
S14	2,12	2,12	2	2	3,2	3
	2	2	1,8	1,8	3	3,2
S15	3	2,3	2	2	4,5	5,25
	2,3	2	2	2	5,25	5
S16	2,18	2,5	2	2	4,5	4,2
	2	2	1,7	1,6	4,5	4,12
S17	2,5	2,1	2	2	5,5	5,5
	2	2	1,9	1,9	5,2	5,2
S18	2,24	2	1,9	1,7	5	5
	2	2	1,7	1,8	5	5
S19	3	2,6	2	2	5,4	5,42
	2	2	2	2	5,02	5
S20	3	2,2	2	2,1	5,5	5,5
	2,2	2	1,7	1,6	5,2	5,2

Annexe 06

Lutte biologique par des champignons endophytes

Test *in vitro*

Statistique descriptive

Test de Kruskal-Wallis :

K (Valeur observée)	138,03
K (Valeur critique)	107,01
ddl	79
	<
p-value (bilatérale)	0,0001
alpha	0,05

Coefficient de variation= 12,8%

ddl : Degré de Liberté.

p : Probabilité.

Interprétation du test :

H0 : Les échantillons proviennent de la même population.

Ha : Les échantillons proviennent de populations différentes.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 0,05%.

Annexe 07

Lutte biologique par des champignons endophytes

Test *in vivo (in situ)*

Statistique descriptive

Test de Kruskal-Wallis :

K (Valeur observée)	143,84
K (Valeur critique)	97,40
ddl	55
	<
p-value (bilatérale)	0,0001
alpha	0,05

Coefficient de variation= 18,5%

ddl : Degré de Liberté.

p : Probabilité.

Interprétation du test :

H0 : Les échantillons proviennent de la même population.

Ha : Les échantillons proviennent de populations différentes.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 0,05%.

Annexe 08

Lutte biologique par l'utilisation des bactéries endophytes

Espèce 01 : *Bacillus subtilus*

Statistique descriptive

Test de Kruskal-Wallis :

K (Valeur observée)	138,07
K (Valeur critique)	77,42
ddl	39
p-value (bilatérale)	< 0,0001
alpha	0,05

ddl : Degré de Liberté.

p : Probabilité.

Interprétation du test :

H0 : Les échantillons proviennent de la même population.

Ha : Les échantillons proviennent de populations différentes.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 0,05%.

Annexe 09

Lutte biologique par l'utilisation des bactéries endophytes

Espèce 02 : *Bacillus amyliquefasciens*

Statistique descriptive

Test de Kruskal-Wallis :

K (Valeur observée)	144,19
K (Valeur critique)	76,12
ddl	39
	<
p-value (bilatérale)	0,0001
alpha	0,05

ddl : Degré de Liberté.

p : Probabilité.

Interprétation du test :

H0 : Les échantillons proviennent de la même population.

Ha : Les échantillons proviennent de populations différentes.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 0,05%.

Annexe 10

Lutte biologique par l'utilisation des bactéries endophytes

Espèce 03 : *Pseudomonas plecoglissicida*

Statistique descriptive

Test de Kruskal-Wallis :

K (Valeur observée)	143,22
K (Valeur critique)	70,02
ddl	39
p-value (bilatérale)	< 0,0001
alpha	0,05

ddl : Degré de Liberté.

p : Probabilité.

Interprétation du test :

H0 : Les échantillons proviennent de la même population.

Ha : Les échantillons proviennent de populations différentes.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 0,05%.

Annexe 11

Lutte biologique par l'utilisation des bactéries endophytes

Taux d'inhibition (%), de croissance mycélienne de 20 souches de Foa sous l'effet des trois espèces bactériennes endophytes

Souches	Bacillus subtilus	B. amyloquefasciens	Pseudomonas pleco.
S1	30,2	42,8	42
S2	54,6	46,01	47,3
S3	35,3	37,2	41,5
S4	49,1	37,2	36,2
S5	54,7	37,9	42,4
S6	43,1	35,3	42,6
S7	44,1	28,05	38,4
S8	49,6	38,3	37,8
S9	48,1	30,2	44
S10	45,5	30,7	42
S11	42,5	34,3	50,7
S12	53,8	45,9	42
S13	56,1	42,5	41
S14	54,4	59,7	64,2
S15	40,5	50	47,3
S16	44	52,1	53,5
S17	40	43,7	49
S18	42,7	57	51,3
S19	40	50	56
S20	31,3	56,1	54,7
Tx global %	**44,98**	**42,748**	**46,195**

Annexe 12

Lutte biologique par l'utilisation des Mycorhizes

Taux de mortalité (%), des plantules de 14 variétés locales du palmier dattier inoculées par le Bayoud en présence et absence des Mycorhizes

ddl	**111**
F	**142,2***
C.V. (%)	**18,5**

12 variétés résistantes

7 variétés sensibles sont devenues résistantes

Annexe 13

Lutte biologique par l'utilisation des Mycorhizes

Mesures de tailles des spores des isolats mycorhiziens en µm

Annexe 14

Lutte biologique par l'utilisation des Extraits des Végétaux

Taux d'inhibition (TI%)

Espèce 01 : Alanda (*Ephedra alata* subsp. *alenda* Stapf. (Trab.))

	A1	A2	A3
Souches	Taux d'inhibition (%)	Taux d'inhibition (%)	Taux d'inhibition (%)
S1	59	52,7	20,6
S2	61,7	56,3	19,8
S3	58,7	53,2	18,5
S4	53,8	51,8	53,8
S5	73	54	22,6
S6	73,6	52,4	16,6
S7	72,5	61,4	6,7
S8	70,9	57,03	24,7
S9	70,9	52,9	17,7
S10	51,5	51,5	26,8
S11	63,1	52,5	26
S12	71,6	52,2	26,7
S13	64,8	53,4	26
S14	62,7	53,7	24,9
S15	70,7	52,4	25,6
S16	65,6	52,1	23,7
S17	70,3	53,8	27,7
S18	66,5	56,2	16,4
S19	72,4	54	26,9
S20	68,5	54,6	25,5
Tx global %	**66,09**	**53,9065**	**23,86**

66,09
53,9
23,86
47,95

A1, A2 & A3: Concentrations décimales de l'extrait végétal de l'Alanda.

Annexe 15

Lutte biologique par l'utilisation des Extraits des Végétaux

Taux d'inhibition (TI%)

Espèce 02 : Ortie brûlante (*Urtica urens* L.)

	U1	U2	U3
Souches	Taux d'inhibition (%)	Taux d'inhibition (%)	Taux d'inhibition (%)
S1	68,4	55	30
S2	65	59,2	23
S3	63,5	55,6	25,6
S4	55	56,8	20,5
S5	74,2	55,7	24,6
S6	75,1	55,6	25,1
S7	74,9	55,3	24,6
S8	73,3	57,5	24,7
S9	71,2	55,7	23,8
S10	55,2	54,7	8
S11	66,2	57,3	27,2
S12	75,2	55,8	26,7
S13	67,2	55,8	26
S14	67,5	55,4	27,2
S15	74,4	54,9	26,3
S16	68,7	55	26
S17	74	55	27,7
S18	68,4	60,9	20,4
S19	74,8	58,7	26,8
S20	72	60	26,7
Tx global %	**69,21**	**56,495**	**24,545**

69,21
56,49
24,54
50,08

U1, U2 & U3: Concentrations décimales de l'extrait végétal de l'Ortie.

Annexe 16

Lutte biologique par l'utilisation des Extraits des Végétaux

Espèce 01 : Alanda (*Ephedra alata* subsp. *alenda* Stapf. (Trab.))

Statistique descriptive

Test de Kruskal-Wallis :

K (Valeur observée)	306,94*
K (Valeur critique)	94,3
DDL	79
p-value (bilatérale)	< 0,0001
alpha	0,05

ddl : Degré de Liberté.
p : Probabilité.

Interprétation du test :

H0 : Les échantillons proviennent de la même population.
Ha : Les échantillons proviennent de populations différentes.
Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.
Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 0,05%.

.

Annexe 17

Lutte biologique par l'utilisation des Extraits des Végétaux

Espèce 02 : Ortie (*Urtica urens* L.)

Statistique descriptive

Test de Kruskal-Wallis :

K (Valeur observée)	106,57
K (Valeur critique)	98,2
DDL	79
p-value (bilatérale)	< 0,0001
alpha	0,05

ddl : Degré de Liberté.
p : Probabilité.

Interprétation du test :

H0 : Les échantillons proviennent de la même population.
Ha : Les échantillons proviennent de populations différentes.
Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.
Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 0,05%.

.

Annexe 18

Evolution de la production et de la superficie du palmier dattier dans le monde durant la période 1987-2019, (Fao, 2021).

Superficies (ha)	Production (Tonnes)	Années
578803	3051401	1987
595342	3155783	1988
619846	3430585	1989
625085	3430883	1990
656162	3708069	1991
664088	3656270	1992
729334	4386293	1993
787764	4569532	1994
829841	4850461	1995
876885	5018416	1996
898309	5088710	1997
897099	5733024	1998
1003762	5948386	1999
1051482	6440583	2000
1058342	6659971	2001
1086165	6720722	2002
1095182	6748537	2003
1070818	6626357	2004
1081629	6552820	2005
1147494	6770193	2006
1184448	6963171	2007
1182885	7018737	2008
1200803	7183101	2009
1282856	7525890	2010
1126732	7262843	2011
1121587	7430261	2012
1160096	7517294	2013
1161048	7600312	2014
1251998	8139037	2015
1353159	8460443	2016
1247209	8401274	2017
1338304	8871351	2018
1381434	9075446	2019

Annexe 19

Evolution de la production et de la superficie du palmier dattier en Algérie durant la période 1987-2019, (Fao, 2021).

Superficies (ha)	Production (Tonnes)	Années
73000	224400	1987
76000	196060	1988
78000	210137	1989
78640	205907	1990
81890	209092	1991
83440	260515	1992
84410	261612	1993
85230	317184	1994
87020	285155	1995
96560	360637	1996
96520	302993	1997
97990	387313	1998
100120	427583	1999
101820	365616	2000
104390	437332	2001
120830	418427	2002
128800	492217	2003
136774	442600	2004
147906	516293	2005
154372	492188	2006
159871	526921	2007
162033	552765	2008
160867	600696	2009
161091	644741	2010
162134	724894	2011
163985	789357	2012
164695	848199	2013
165378	934377	2014
166893	990377	2015
167279	1029596	2016
167643	1058559	2017
168855	1094700	2018
170082	1136025	2019

Annexe 20

Séquences ITS4 d'ADN des souches de Foa : S17, S18, S19 & S20

>S17_P1 ITS4 (1)
CCCCTTTTAAAGGGGCGTAGGTCAACATTCAAGTAAGTTGGGGGTTTAACGGCTTGGCCGCGCCG
CGTACCAGTTGCGAGGGTTTTACTACTACGCAATGGAAGCTGCAGCGAGACCGCCACTAGATTTC
GGGGCCGGCTTGCCGCAAGGGCTCGCCGATCCCCAACACCAAACCCGGGGGCTTGAGGGTTGAAA
TGACGCTCGAACAGGCATGCCCGCCAGAATACTGGCGGGCGCAATGTGCGTTCAAAGATTCGATG
ATTCACTGAATTCTGCAATTCACATTACTTATCGCATTTTGCTGCGTTCTTCATCGATGCCAGAA
CCAAGAGATCCGTTGTTGAAAGTTTTGATTTATTTATGGTTTTACTCAGAAGTTACATATAGAAA
CAGAGTTTAGGGGTCCTCTGGCGGGCCGTCCCGTTTTACCGGGAGCGGGCTGATCCGCCGAGGCA
ACAATTGGTATGTTCACAGGGGTTTGGGAGTTGTAAACTCGGTAATGATCCCTCCGCAGGTTCAC
CCCTTACGGAAGGAT

>S18_P1 ITS4
CCCGCTTTCCTCCGTTTATCGGGCGTACAACATTTCGCAGTTGGGGGTTTAACGGCTTGGCCGCGCCGCGTACCAGT
TGCGAGGGTTTTACTACTACGCAATGGAAGCTGCAGCGAGACCGCCACTAGATTTCGGGGCCGGCTTGCCGCAAGGG
CTCGCCGATCCCCAACACCAAACCCGGGGGCTTGAGGGTTGAAATGACGCTCGAACAGGCATGCCCGCCAGAATACT
GGCGGGCGCAATGTGCGTTCAAAGATTCGATGATTCACTGAATTCTGCAATTCACATTACTTATCGCATTTTGCTGC
GTTCTTCATCGATGCCAGAACCAAGAGATCCGTTGTTGAAAGTTTTGATTTATTTATGGTTTTACTCAGAAGTTACA
TATAGAAACAGAGTTTAGGGGTCCTCTGGCGGGCCGTCCCGTTTTACCGGGAGCGGGCTGATCCGCCGAGGCAACAA
TTGGTATGTTCACAGGGGTTTGGGAGTTGTAAACTCGGTAATGATCCCTCCGCAGGTTCACCCTACGGAAGGGTCAT
TCCTGAGTT

>S19_P1 ITS4
CCCTGTTCCTACTGATCCGGAGGTCAACATTTCAGAAGTTGGGGGTTTAACGGCTTGGCCGCGC
CGCGTACCAGTTGCGAGGGTTTTACTACTACGCAATGGAAGCTGCAGCGAGACCGCCACTAGAT
TTCGGGGCCGGCTTGCCGCAAGGGCTCGCCGATCCCCAACACCAAACCCGGGGGCTTGAGGGTT
GAAATGACGCTCGAACAGGCATGCCCGCCAGAATACTGGCGGGCGCAATGTGCGTTCAAAGATT
CGATGATTCACTGAATTCTGCAATTCACATTACTTATCGCATTTTGCTGCGTTCTTCATCGATG
CCAGAACCAAGAGATCCGTTGTTGAAAGTTTTGATTTATTTATGGTTTTACTCAGAAGTTACAT
ATAGAAACAGAGTTTAGGGGTCCTCTGGCGGGCCGTCCCGTTTTACCGGGAGCGGGCTGATCCG
CCGAGGCAACAATTGGTATGTTCACAGGGGTTTGGGAGTTGTAAACTCGGTAATGATCCCTCCG
CAGGTTCACCCCTTACGGAAGGATCA

>S20_P1 ITS4 (2 .. 1074 = 1073 bp)
CTGAGCTACTGCACCGGAAGGTTCAACATTCAGAAGTTGGGGGTTTAACGGCTTGGCCGCGCCGCGTACCAGTTGCGAGGGTTTT
ACTACTACGCAATGGAAGCTGCAGCGAGACCGCCACTAGATTTCGGGGCCGGCTTGCCGCAAGGGCTCGCCGATCCCCAACACCA
AACCCGGGGGCTTGAGGGTTGAAATGACGCTCGAACAGGCATGCCCGCCAGAATACTGGCGGGCGCAATGTGCGTTCAAAGATTC
GATGATTCACTGAATTCTGCAATTCACATTACTTATCGCATTTTGCTGCGTTCTTCATCGATGCCAGAACCAAGAGATCCGTTGT
TGAAAGTTTTGATTTATTTATGGTTTTACTCAGAAGTTACATATAGAAACAGAGTTTAGGGGTCCTCTGGCGGGCCGTCCCGTTT
TACCGGGAGCGGGCTGATCCGCCGAGGCAACAATTGGTATGTTCACAGGGGTTTGGGAGTTGTAAACTCGGTAATGATCCCTCCG
CAGGTCCCCCCTACGGAAGGGTCACCTCACCGAACCAACCCATCCTGCAGGAGTGACAATGCTCCTCACAGCCACGAAGGCTCAG
CACGACCTGCGGTCGACCCAACAGGGCGAGGGGATCCAATTCTTTACCAACACTTATTCTGATTCTTTGACCGTGAAATTTCCCT
AAAAAGGCCTATGGTGTTTGGTTCTATAAAAAAAACAACACAAAGAGCTTAAAACTGCGGGATTGCCAAGAAATTGGAAACACCC
AATCTTTAAAACCCATATGGGCGCCCCCAGAAATCTTGGCGGACAAGCCTCTTCCAGCGTCAATAAACCCGCGCCCCCCCGCGTT
CCGTGTTTTGGCAAAGGCCAACACATTGCAGCGGACCGCCCCCAAAATCTCATGGGGGATTTTTTTTCCCCTTCAAATGGGGATA
AATAAAAACCCCTCCAACTGTTACCACAGGCGGCCCCACCCCTTTTAACCCCCCCACCCTTAGAATAGAAAACCCTCCAAAAAGG
GGGAAAAACCCCCCCATAAAATAAAACATCTTCTTTTCGGCGGAAAAAAAAAA

Annexe 21

Résultats de séquençage de la souche de Foa : S17

Job Title	S17_P1 ITS4 (1) (2 .. 535 = 534 bp) ...
RID	XTUTWU78013 Search expires on 02-04 18:08 pm
Program	BLASTN
Database	nt
Query ID	lcl|Query_23557
Description	S17_P1 ITS4 (1) (2 .. 535 = 534 bp) ...
Molecule type	dna
Query Length	534

03/02/2023 12:16 NCBI Blast:S17_P1 ITS4 (1) (2 .. 535 = 534 bp)

Description	Scientific Name	Max Score	Total Score	Query Cover	E value	Per. Ident	Acc. Len	A
and internal transcribed spacer 2, complete sequence; and large subunit ribosomal RNA gene, partial sequence								
Fusarium oxysporum isolate Rawa A small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcribed spacer 1, 5.8S ribosomal RNA gene, and internal transcribed spacer 2, complete sequence; and large subunit ribosomal RNA gene, partial sequence	Fusarium oxysporum	928	928	96%	0.0	99.42%	560	gi
Fusarium oxysporum strain MJ-23 18S ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcribed spacer 1, 5.8S ribosomal RNA gene, and internal transcribed spacer 2, complete sequence; and 28S ribosomal RNA gene, partial sequence	Fusarium oxysporum	928	928	96%	0.0	99.42%	563	gi

Annexe 22

Résultats de séquençage de la souche de Foa : S18

Job Title	S18_P1 ITS4 ...
RID	XTW6HCJ6013 Search expires on 02-04 18:32 pm
Program	BLASTN
Database	nt
Query ID	lcl|Query_37531
Description	S18_P1 ITS4 ...
Molecule type	dna
Query Length	548

03/02/2023 12:43 NCBI Blast:S18_P1 ITS4

Description	Scientific Name	Max Score	Total Score	Query Cover	E value	Per. Ident	Acc. Len	A
gene, complete sequence; and internal transcribed spacer 2, partial sequence								
Fusarium annulatum strain F-6 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcribed spacer 1, 5.8S ribosomal RNA gene, and internal transcribed spacer 2, complete sequence; and large subunit ribosomal RNA gene, partial sequence	Fusarium annulatum	917	917	92%	0.0	99.41%	561	gi
Fusarium oxysporum strain M15 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcribed spacer 1, 5.8S ribosomal RNA gene, and internal transcribed spacer 2, complete sequence; and large subunit ribosomal RNA gene, partial sequence	Fusarium oxysporum	917	917	92%	0.0	99.41%	561	gi

Annexe 23

Résultats de séquençage de la souche de Foa : S19

Job Title	S19_P1 ITS4 ...
RID	XTX6HND701R Search expires on 02-04 18:49 pm
Program	BLASTN
Database	nt
Query ID	lcl|Query_386645
Description	S19_P1 ITS4 ...
Molecule type	dna
Query Length	538

03/02/2023 12:50 NCBI Blast:S19_P1 ITS4

Description	Scientific Name	Max Score	Total Score	Query Cover	E value	Per. Ident	Acc. Len	A
and internal transcribed spacer 2, complete sequence; and large subunit ribosomal RNA gene, partial sequence								
Fusarium oxysporum isolate Rawa A small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcribed spacer 1, 5.8S ribosomal RNA gene, and internal transcribed spacer 2, complete sequence; and large subunit ribosomal RNA gene, partial sequence	Fusarium oxysporum	950	950	97%	0.0	99.24%	560	gi
Fusarium oxysporum strain MJ-23 18S ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcribed spacer 1, 5.8S ribosomal RNA gene, and internal transcribed spacer 2, complete sequence; and 28S ribosomal RNA gene, partial sequence	Fusarium oxysporum	950	950	97%	0.0	99.24%	563	gi

Annexe 24

Résultats de séquençage de la souche de Foa : S20

Job Title	S20_P1 ITS4 (2 .. 1074 = 1073 bp) ...
RID	XTXF2ZDZ016 Search expires on 02-04 18:54 pm
Program	BLASTN
Database	nt
Query ID	lcl|Query_425099
Description	S20_P1 ITS4 (2 .. 1074 = 1073 bp) ...
Molecule type	dna
Query Length	1073

03/02/2023 12:55 NCBI Blast:S20_P1 ITS4 (2 .. 1074 = 1073 bp)

Description	Scientific Name	Max Score	Total Score	Query Cover	E value	Per. Ident	Acc. Len	A
gene, and internal transcribed spacer 2, complete sequence; and large subunit ribosomal RNA gene, partial sequence								
Fusarium fujikuroi strain ZG-4-1-3 18S ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcribed spacer 1, 5.8S ribosomal RNA gene, and internal transcribed spacer 2, complete sequence; and 28S ribosomal RNA gene, partial sequence	Fusarium fujikuroi	933	933	47%	0.0	99.80%	561	gi
Fusarium proliferatum strain CD-3 internal transcribed spacer 1, partial sequence; 5.8S ribosomal RNA gene, complete sequence; and internal transcribed spacer 2, partial sequence	Fusarium proliferatum	931	931	47%	0.0	99.61%	564	gi
Fusarium proliferatum isolate DWBM-2-2-1 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcribed spacer 1, 5.8S ribosomal RNA gene, and internal transcribed spacer 2, complete sequence; and large subunit ribosomal RNA gene, partial sequence	Fusarium proliferatum	931	931	47%	0.0	99.61%	563	gi
Fusarium proliferatum isolate SYS-qfx4 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcribed spacer 1, 5.8S ribosomal RNA gene, and internal transcribed spacer 2, complete sequence; and large subunit ribosomal RNA gene, partial sequence	Fusarium proliferatum	929	929	48%	0.0	99.22%	579	gi
Fusarium sp. isolate JK-F-04 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcribed spacer 1, 5.8S ribosomal RNA gene, and internal transcribed spacer 2, complete sequence; and large subunit ribosomal RNA gene, partial sequence	Fusarium sp.	929	929	47%	0.0	99.61%	562	gi
Fusarium sp. isolate YZ7-3 internal transcribed spacer 1, partial sequence; 5.8S ribosomal RNA gene and internal transcribed spacer 2, complete sequence; and large subunit ribosomal RNA gene, partial sequence	Fusarium sp.	929	929	47%	0.0	99.61%	562	gi
Fusarium sp. isolate LZ-4 internal transcribed spacer 1, partial sequence; 5.8S ribosomal RNA gene and internal transcribed spacer 2, complete sequence; and large subunit ribosomal RNA gene, partial sequence	Fusarium sp.	929	929	47%	0.0	99.61%	559	gi

Annexe 25

Taux de germination des variétés du palmier dattier utilisées dans les tests expérimentaux