

Effet de la solarisation et du *metam sodium* sur les champignons telluriques et possibilité de lutte contre *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, agent causal du Bayoud du palmier dattier

Essarioui A.¹ et Sedra My H.²

¹ Unité de l'agriculture oasienne, Centre Régional d'Errachidia-INRA Errachidia, Maroc.

² Laboratoire de Phytopathologie, Génétique et de Lutte Intégrée, Centre Régional de Marrakech-INRA, Marrakech, Maroc.

Résumé

L'effet de la solarisation, du metam sodium et de la combinaison des deux, sur les champignons telluriques en général et les Fusarium spp. en particulier a été étudié en milieu réel. A 40 cm de profondeur, tous les traitements ont éliminé plus de 80% de la flore fongique totale et 90% des germes de Fusarium spp. Dans la couche 40-60 cm, la combinaison de la solarisation et du Metam sodium à doses réduites s'est montrée la plus efficace.

Mots clés : *Solarisation, metam sodium, Fusarium spp. Bayoud, palmier dattier*

أثر عملية التشميس و مادة الميتام صوديوم على فطريات التربة وإمكانية مكافحة الفطر

Fusarium oxysporum f. sp. *albedinis*

المسبب لمرض البيوض على نخيل التمر

عادل الصريوي ومولاي الحسن السدرة

ملخص

تم تقييم أثر عملية تشميس التربة أو معالجتها بمادة الميتام صوديوم (metam sodium) أو هما معا على الفطريات بصفة عامة والفوزاريومات بصفة خاصة. أظهرت النتائج أن كل المعالجات أبادت أكثر من 80% من الفطريات و 90% من الفوزاريومات في عمق 40 سم. بينما في عمق 60-40 سم كانت المعالجة المزدوجة بالتشميس ومقادير مختصرة من الميتام صوديوم (metam sodium) أكثر فعالية.

لكلمات المفتاح: تشميس التربة، الميتام صوديوم، الفوزاريومات، مرض البيوض، نخيل التمر.

The effect of soil solarization and *metam sodium* on survival of fungi and possibility of control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, Inciting of Bayoud disease on date palm

Summary

The effect of soil solarization and Metham sodium, alone or in combination, on survival of total fungi and Fusarium spp. were investigated in open field. At 40 cm depth, all of the treatments can eliminate more than 80% of total fungi and 90% of Fusarium spp. At 40-60 cm depth, combination of reduced doses of Metham sodium and soil solarization was more effective.

Keys words: *Soil solarization, metam sodium, Fusarium spp. Bayoud disease, date palm*

Introduction

Depuis plus d'un siècle, la fusariose vasculaire du palmier dattier (Bayoud), causée par *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, sévit dans les oasis marocaines y causant des pertes économiquement considérables et une érosion génétique qui menace l'équilibre fragile de l'écosystème oasien. Les efforts de lutte contre cette épidémie se sont axés sur la lutte génétique. Les résultats étaient concluants et plusieurs variétés et clones résistants ont vu le jour (Sedra, 2003b, 2005). Or, la demande sur les variété à haute valeur ajoutée, mais sensibles à la maladie, à l'instar de la Mejhoul, est de plus en plus pressante. La lutte directe est une voie à ne pas écarter et l'urgence du problème dicte la recherche de moyens de lutte en mesure de combattre le fléau dans le court terme.

La solarisation du sol est une technique efficace dans la réduction de la densité des agents pathogènes telluriques et l'abaissement de l'incidence des maladies qu'ils causent (Blanco-Lopez et al., 1992 ; Melero-Vara et al., 1995 ; McGovern et McSorley, 1997, 2000 ; Porras et al., 2007). La solarisation pourrait avoir un rôle important dans l'éradication de l'agent du Bayoud. En effet, les premiers résultats mettant à l'épreuve la solarisation face à la flore fusarienne ont montré que cette technique est très active contre les espèces de ce genre qui recèle l'agent causal de la fusariose vasculaire du palmier dattier (Essarioui et Sedra, résultats non publiés). En revanche, le faible engouffrement de son effet en profondeur est un véritable rempart devant son efficacité à ce niveau.

La fumigation du sol est également un moyen qui serait à même d'avoir sa quote-part dans la diminution du potentiel infectieux du sol. C'est la principale technique utilisée dans la désinfection du sol en vue d'éliminer des agents pathogènes telluriques qui y vivent (De Vay, 1998). Depuis l'interdiction de l'usage du bromure de méthyle en tant que substance appauvrissant la couche d'ozone, conformément aux accords du protocole de Montréal, plusieurs études visant le développement d'autres alternatives aussi efficaces ont été menées dans le monde (Duniway, 2002). Le Metam sodium est l'un des produits importants ayant montré une aptitude à contrôler les pathogènes telluriques (Eshel et al., 2000 ; Duniway, 2002 ; Hamm et al., 2003, Shachaf et al., 2007). En plus, le Metam sodium est pratiquement le seul produit pouvant être appliqué au sol par submersion dans un système d'irrigation gravitaire tel que celui de la palmeraie marocaine. C'est pratiquement le seul fumigant qui présente le moins de danger pour la santé des agriculteurs lors de sa manipulation.

La combinaison de plusieurs tactiques est pareillement un outil très important de la lutte intégrée contre les parasites et l'une des approches les plus faisables à cet égard (Katan, 1996). L'association de la fumigation à des doses réduites à la solarisation ou à d'autres moyens de lutte améliore l'efficacité des traitements (Gamliel et al., 1993 ; Fravel, 1996 ; Stevens et al., 2003 ; Chellemi et Mirusso, 2006 ; Shachaf et al., 2007). Le secret de la performance de ce genre d'alliance réside dans leurs effets synergiques et complémentaires. Autrement dit, l'affaiblissement des agents pathogènes par des doses sous létales des

produits chimiques, accroît leur fragilité et les rend vulnérables aux autres agents biotiques et abiotiques du sol, tels que les antagonistes et la chaleur.

La présente étude a été entamée dans le dessein d'examiner la faculté de la solarisation et de la fumigation par le Metam sodium, seuls ou en combinaison, de réduire les champignons telluriques en général et les *Fusarium spp.* en particulier, d'un sol infesté par le Bayoud au domaine expérimental de l'INRA à Zagora.

II- Matériel et Méthodes

Choix des parcelles

L'étude a été menée dans une parcelle au domaine expérimental de l'INRA à Zagora. Les plantations du palmier de cette parcelle totalement ont été détruites par la maladie du Bayoud pendant les années 80s.

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental de l'essai était une randomisation totale de 5 traitements répétés 3 fois. En plus des témoins, les traitements étaient au Metam sodium, à la solarisation ou à la combinaison des deux.

Préparation du sol

Le sol de la parcelle de l'essai a subi un labour croisé à 40 cm de profondeur avec une charrue à socs puis un covercropping croisé pour casser les mottes. 15 petites parcelles (2m x 2m) ont été ensuite aménagées (nivellement et mise en cuvette) pour constituer les parcelles élémentaires de chaque traitement (5 traitements x 3 répétitions).

Produit chimique et film plastique utilisés

La spécialité commerciale du Metam sodium utilisée dans l'essai était le NEMASOL 510 (510 g/l de matière active).

Le film plastique utilisé est un polyéthylène transparent ayant une épaisseur de 40 microns.

Installation de l'essai

L'étude a été réalisée pendant les mois de juillet et août de l'année 2007. Les différents traitements de l'essai sont les suivants :

- Solarisation (Sol) : les parcelles élémentaires désignées pour ce traitement ont été irriguées jusqu'à la saturation puis couvertes hermétiquement avec le film plastique dont les extrémités ont été enterrées ;
- Fumigation au Metam sodium à la dose de 120 ml du produit commercial par mètre carré qui est la dose prescrite par le producteur (120 ml/m² soit 61,2 g/m²) (MS) : ce traitement a été réalisé en déversant dans les parcelles le produit préalablement dilué dans l'eau puis en irrigant immédiatement pour entraîner le fumigant en profondeur ;

- Combinaison de la solarisation et du Metam sodium à la dose de 60 ml du produit commercial par mètre carré (60 ml/m² soit 30,6 g/m²) (Sol+MS1) : pour cette combinaison et celle qui suit le sol des petites parcelles a été couvert avec le film plastique immédiatement après le traitement par le Metam sodium ;
- Combinaison de la solarisation et du Metam sodium à la dose de 80 ml du produit commercial par mètre carré (80 ml/m² soit 40,8 g/m²) (Sol+MS2) ;
- Témoin (T) : les parcelles qui constituaient les témoins ont été seulement irriguées jusqu'à la saturation.

Il est à noter qu'une petite expérience préalable a été réalisée pour évaluer la quantité d'eau nécessaire pour humecter les petites parcelles à plus de 60 cm de profondeur.

Prélèvement des échantillons

Le prélèvement des échantillons a été fait à l'aide d'une tarière après huit semaines de traitement. Dans chaque unité expérimentale, les prélèvements ont été faits dans trois points choisis au hasard et à trois niveaux de profondeur. A savoir : 0-20 cm, 20-40 cm et 40-60 cm. Les échantillons émanant de la même parcelle et du même niveau de profondeur sont ensuite mélangés et homogénéisés puis mis dans des sachets en papier Kraft et ramenés au laboratoire pour l'analyse microbiologique.

Analyse microbiologique

L'analyse microbiologique avait pour objectif l'évaluation de l'effet des différents traitements sur la densité de la flore fongique totale (FFT) en général et la flore fusarienne en particulier (FF). Elle est basée sur le principe classique des suspensions dilutions. Pour cela, chaque échantillon du sol, émanant d'une petite parcelle, subit une série d'opérations successives (séchage, broyage et tamisages) selon la technique utilisée par Sedra (1993a,d). Les particules de terre de l'échantillon final ont un diamètre inférieur ou égal à 80 µm. Les dilutions réalisées étaient 10⁻³, 10⁻² et 10⁻¹ pour les échantillons venant respectivement des profondeurs 0-20 cm, 20-40 cm et 40-60 cm. Le dénombrement de chaque type de micro-organisme est effectué sur dix boîtes de Pétri pour chaque échantillon du sol. Les boîtes d'analyse ensemencées sont incubées à la température ambiante à l'obscurité (16h) puis sous éclairage continu (lumière fluorescente) selon la technique utilisée par Serda (1993a,d). La flore fongique totale a été révélée sur le milieu de culture Gzapeck acidifié par l'acide chlorhydrique (pH=4) et la flore fusarienne sur le milieu de culture sélectif KOMADA (1975). Les résultats de l'analyse microbiologique sont exprimés en nombre d'unités formant des colonies (« colony forming unit » (CFU)) traduisant le nombre de propagules par gramme du sol.

Analyse statistique

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel SPSS. Nous avons fait une analyse de la variance à un seul critère de classification (ANOVA 1) suivi du test de Newman et Keuls (p=0,05).

Résultats

Les résultats de l'effet des différents traitements sur les différentes catégories de microorganismes visés sont présentés dans la figure 1.

Effet sur la flore fongique totale (FFT)

Comparativement au témoin, tous les traitements ont entraîné des chutes remarquables dans les populations de la flore fongique totale dans le sol des différentes parcelles traitées. En revanche, l'efficacité de ces traitements a varié en fonction de la profondeur du sol.

Au niveau de la couche 0-20 cm (photo 1), l'efficacité des différents traitement était maximale. L'effet de la combinaison du Metam sodium avec la solarisation étaient légèrement supérieurs à ceux des deux traitements séparés. Vers la fin de l'expérience, les deux combinaisons étaient venues à bout de 100% des champignons telluriques. Le Metam sodium avait éliminé 98% de cette catégorie de microflore, alors que la solarisation en avait exterminé seulement 86%.

L'efficacité dans la couche médiane (20-40 cm) n'avait rien à envier à celle de la couche supérieure. Cependant, l'avantage de la combinaison commençait à se faire sentir. En effet, seulement la combinaison Sol+MS2 avait le mérite d'anéantir tous les germes des champignons. La deuxième combinaison a montré une efficacité comparable au traitement au Metam sodium. Ils ont, tous les deux, détruit 97% des champignons. La solarisation est venue en dernière place avec un taux de réussite de 84%.

Plus profondément, dans la couche 40-60 cm, les différents traitements, et surtout la solarisation, ont commencé à voir leur impact perdre de l'importance. En effet, les efficacités étaient de 85%, 76%, 68% et 62% respectivement pour la combinaison Sol+MS2, la combinaison Sol+MS1, le Metam sodium et la solarisation.

Effet sur la flore fusarienne (FF)

L'action du produit chimique et de la solarisation sur la flore fusarienne n'est pas sortie du cadre général de leur action sur la FFT. Au niveau de chaque couche du sol, les histogrammes montrant cet effet ont la même allure. Mieux, les pourcentages de réduction de la flore fusarienne étaient meilleurs dans la majorité des cas.

La couche supérieure (0-20) était la plus affectée par les traitements (photo 1). A l'instar de l'effet sur la FFT, c'est la combinaison de la solarisation et du Metam sodium qui a donné le meilleur résultat avec 100% de réussite. Par ailleurs, les deux moyens de lutte ont réalisé séparément un pourcentage de réduction de 97%.

Un peu plus profond, dans la strate 20-40 cm, tous les traitements ont maintenus leur pression sur les *Fusarium* du sol (photo 2). A cette profondeur, les taux d'efficacité ont varié entre 94% dans les parcelles solarisées et 100% grâce à la combinaison Sol+MS2.

Au niveau de la couche 40-60, les germes étaient plus à l'abri de l'action létale des traitements (photo 3). Les deux combinaisons étaient les plus percutantes puisque 86% et 79% des *Fusarium* étaient détruits respectivement par les combinaisons Sol+MS2 et Sol+MS1. L'efficacité du metam sodium était de 65% et celle de la solarisation s'est limitée à 57%.

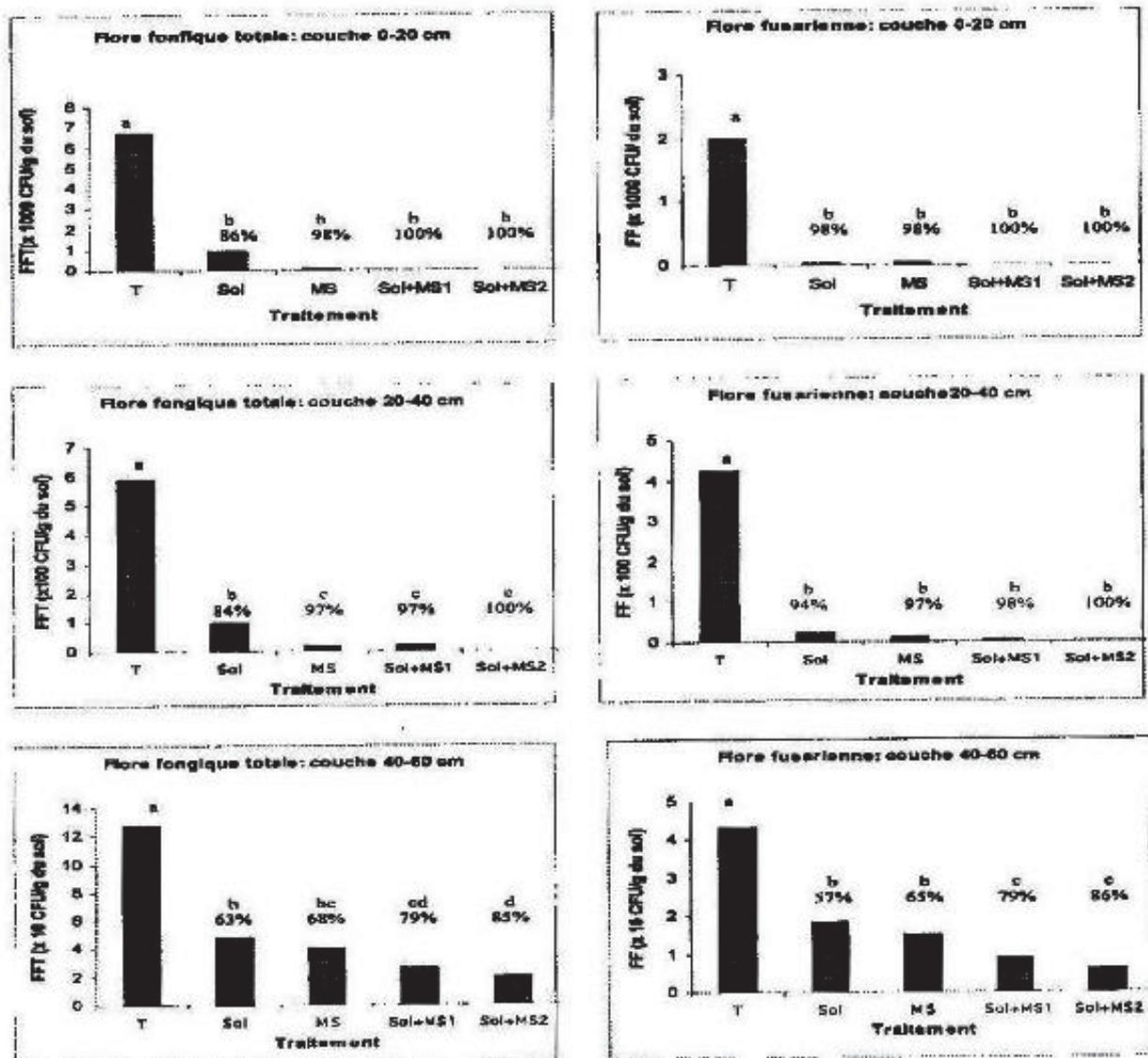
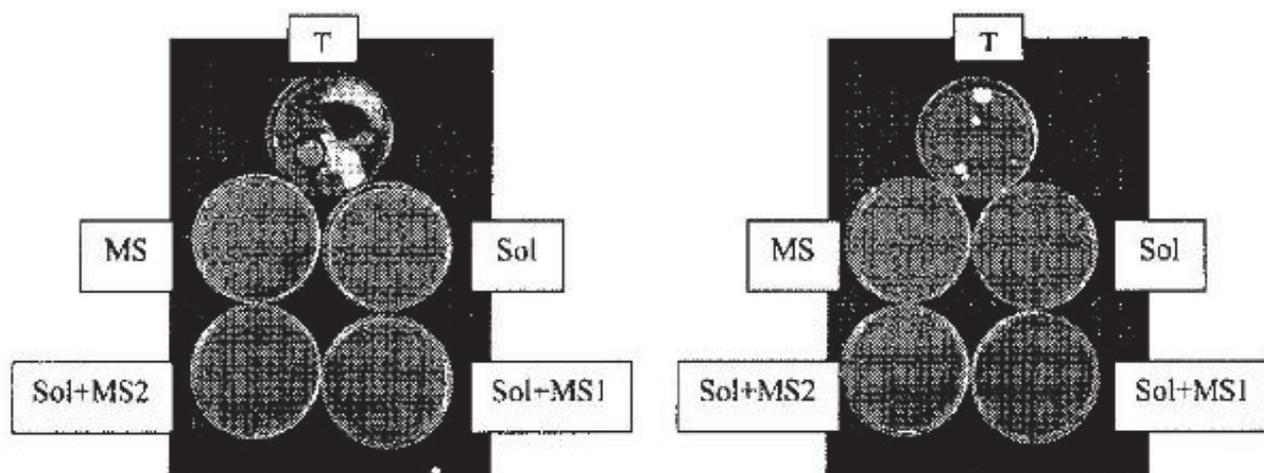


Figure 1: Effet des différents traitements sur les champignons du sol à différentes profondeurs.

T = témoin ; Sol = solarisation ; MS = metam sodium à la dose de 61,2 g/m² ; Sol+MS1 = solarisation et metam sodium à la dose de 30,6 g/m² ; Sol+MS2 = solarisation et metam sodium à la dose de 40,8 g/m² ; FFT = flore fongique totale ; FF = Flore fusarienne.

Les traitements suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents pour p = 0.05 (test de Newman et keuls).



Photos 1: Effet des différents traitements sur flore fongique totale (à gauche) et sur flore fusarienne (à droite) dans la couche 0-20 cm du sol (dilution 10^{-3}).

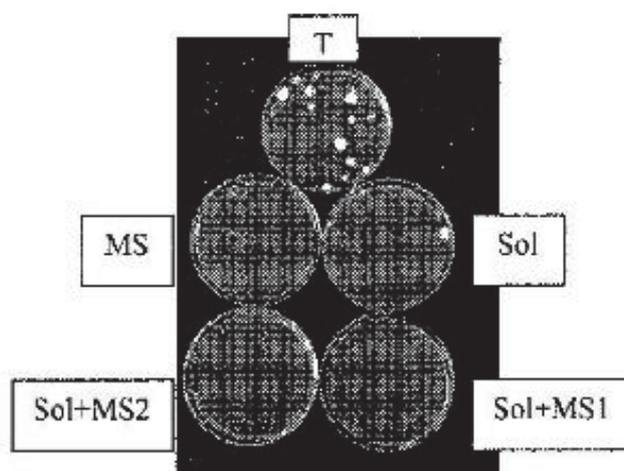


Photo 2: Effet des différents traitements sur flore fusarienne dans la couche 20-40 cm du sol (dilution 10^{-2}).

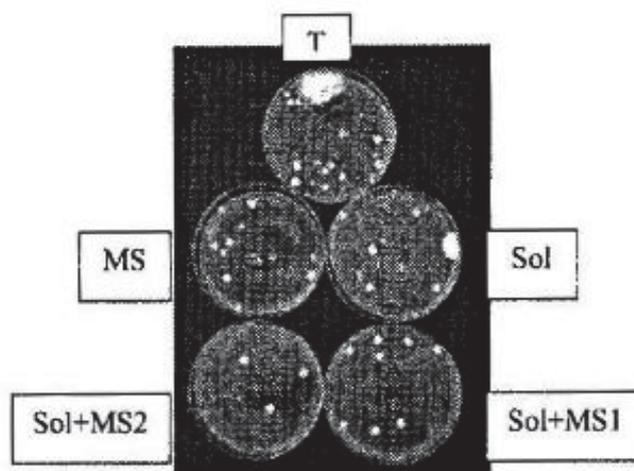


Photo 3: Effet des différents traitements sur flore fusarienne dans la couche 40-60 cm du sol (dilution 10^{-1})

T = témoin ; Sol = solarisation ; MS = Metam sodium à la dose de $61,2 \text{ g/m}^2$; Sol-MS1 = solarisation et metam sodium à la dose de $30,6 \text{ g/m}^2$; Sol+MS2 = solarisation et metam sodium à la dose de $40,8 \text{ g/m}^2$.

Discussion

Pour détecter les champignons et notamment *Fusarium spp.*, nous étions contraints de faire moins de dilutions à mesure que la profondeur du sol augmente. Ceci prouve que ces microorganismes se concentrent sur les couches supérieures. Ce résultat rejoint le constat fait par plusieurs auteurs qui ont rapporté que les *Fusarium spp.* sont très abondants entre 0 et 30 cm de profondeur (Hamm et al., 2003 ; Sign et al., 1996). Cette donnée donnerait plus d'efficacité aux traitements du sol dont l'action létale s'évanouit en profondeur.

La solarisation du sol pendant les mois les plus chauds de l'année a fait étalage d'un pouvoir très avancé sur le plan de la suppression des champignons en général et des *Fusarium spp.* en particulier. Ces résultats confirment les nôtres obtenus précédemment (Essarioui, 2006, Essarioui et Sedra non publiés). Cependant, dans le présent travail la réussite en profondeur est plus importante. A l'origine de cette différence, probablement, la nature du travail du sol. Dans nos essais antérieurs, ce dernier se limitait à un covercropping. Alors que le travail en profondeur des parcelles du présent essai aurait permis un maximum de transfert de chaleur se traduisant par une efficacité meilleure. Par ailleurs les conditions du milieu (nature du sol, température estivales, etc) dans les différentes régions où nous avons testé la solarisation du sol (Marrakech, Errachidia et Zagora) peuvent aussi expliquer la différence des résultats.

Nos résultats sont aussi en étroite concordance avec d'autres. Porras et al. (2007) ont montré que l'élimination de *Phytophthora cactorum* peut atteindre 100% grâce à la solarisation du sol. Israel et al. (2005) ont aussi rapporté la possibilité de combattre *Fusarium oxysporum* f.sp. *cumini* par ce moyen physique de désinfection. Pareillement, le rôle de la solarisation

du sol a été prouvé par Tamietti et Valentino (2006). Ces deux chercheurs ont affirmé dans leur travail que la solarisation du sol avait réduit 58% à 96% des champignons telluriques dans les premiers 25 cm. Les mêmes auteurs ont aussi avancé que la chaleur humide avait été à l'origine de la réduction des *Fusarium spp.* du sol de $2-7 \times 10^{-3}$ à 0-25 CFU (colonies formant des unités) par gramme du sol. Avant de clore ce paragraphe il est à admettre que la technique de la solarisation se heurte au problème du faible engouffrement de son action en profondeur. Ce point faible limiterait son impact sur les germes de l'agent du Bayoud qui se protègent profondément.

Le Metam sodium, à la dose prescrite du produit commercial utilisé ($61,2 \text{ g/m}^2$) a manifestement montré une grande capacité à neutraliser les champignons du sol. Ce fumigant est un générateur du méthyle isothiocyanate qui a un large spectre d'action sur les pathogènes vivant dans le sol (Duniway, 2002). Plusieurs travaux relatent des effets similaires à ceux de notre étude. Hamm et al. (2003) ont mis l'accent sur la suppression de trois genres de champignons, inféodés à la pomme de terre, suite à un traitement au Metam sodium. Les trois genres en question sont, *Fusarium spp.*, *Pythium spp.* et *Verticillium dahliae*. Ils ont précisé également que l'action de la fumigation est arrivée jusqu'à 60 cm de profondeur. La réduction des populations de *Fusarium spp.* suite à des traitements au Metam sodium a été aussi démontrée par un bon nombre de chercheurs (Sumner et Phatak, 1988 ; Sumner et al., 1997). Par ailleurs, malgré les succès que la fumigation au Metam sodium a connus, une étude récente a montré que la génération et la dissipation du méthyle isothiocyanate sont très tributaires des conditions du sol (Shachaf et al., 2007). Ceci suscite beaucoup de questions quant à la reproductibilité des succès si les conditions sine qua non pour cela ne sont pas réunies.

Si l'on compare les différents traitements réalisés sur le plan de l'efficacité, on se rendra aisément à l'évidence que la combinaison des deux moyens physique et chimique était meilleure. Le mixage de la solarisation et de la fumigation à des doses basses a pu anéantir les germes des champignons telluriques à des niveaux assez profonds. Ceci peut être apprécié de deux angles de vue différents. Le premier étant l'amélioration de l'efficacité de la solarisation en étendant l'effet du traitement à des niveaux rhizosphériques aussi bas que possible. Le deuxième est la diminution de l'intensité des dommages que des doses élevées de pesticides peuvent infliger à l'environnement. Les outputs de notre travail corroborent avec ceux de beaucoup de chercheurs ayant fait du sujet de la désinfection du sol leur cheval de bataille. Eshel et al. (2000) ont trouvé que la combinaison de la solarisation et du Metam sodium à de faibles doses détruit à 100% *Sclerotium rolfsii* et *Fusarium oxysporum* f. sp. *Basilici* dans la couche 0-40 cm du sol. Pour cause ils ont avancé la synergie qui s'établit entre les deux moyens de lutte. Comme mécanisme de cette synergie, l'affaiblissement des agents pathogènes par des doses sous létales d'un agent de contrôle et l'achèvement du travail par l'autre. Comme exemple de signe d'affaiblissement, les mêmes chercheurs ont prouvé que l'élongation des tubes germinatifs des agents pathogènes sur lesquels ont travaillé est ralentie à cause des doses sous létales de différents moyens de lutte. Du coup, les champignons deviennent plus vulnérables en s'exposant le maximum de temps aux différents agresseurs (température, pesticides, antagonistes thermotolérants, etc.). Dans

notre essai, c'est plutôt la couche 40-60 cm du sol qui aurait été le théâtre de ces phénomènes. De telles explications ont aussi argumenté les résultats de beaucoup d'auteurs (Arora et al., 1996 ; Ben-Yephet et al., 1988).

Duniway (2002) rapporte que le Metam sodium et ses dérivés sont peu mobiles dans le sol et que le produit doit être véhiculé et bien réparti dans le volume du sol à traiter, d'où l'intérêt de la combinaison avec la solarisation. En effet, DeVay (1998) a affirmé qu'au cours de la solarisation l'humidité des différentes couches du sol connaît une fluctuation qui dépend de leur température. Cette dernière est douce pendant la nuit et forte pendant les heures de forte insolation. Il a rapporté qu'à cause de ces changements, le mouvement de l'eau à travers les différentes couches est cyclique. Les radiations solaires induisent un flux descendant et quand la surface du sol perd de la chaleur pendant la nuit, l'eau remonte de nouveau. Ce phénomène serait aussi le secret de la réussite des traitements combinés. Pour être plus précis, dans une parcelle traitée avec le Metam sodium et couverte avec un film plastique, il y aurait un entraînement progressif du produit chimique en profondeur grâce au mouvement cyclique de l'eau entre le jour et la nuit. Le film plastique garde aussi les conditions de température et d'humidité nécessaires pour le bon fonctionnement du pesticide (Aharonson et Katan, 1991). Lequel diffuserait verticalement, compensant, en conséquence, la perte d'efficacité accusée par la solarisation.

En conclusion, ces résultats permettent d'éclairer la possibilité d'éradiquer les germes de *F.o. f. sp. albedinis*, agent du Bayoud du palmier présents dans le sol. Ces techniques testées ont l'avantage d'avoir moins de risque écologique que les traitements avec le bromure de méthyle dont l'utilisation est actuellement prohibée.

Remerciements

Nous remercions Mme BAHA Yamina, technicienne au laboratoire de phytopathologie, et Mr SADIKI Abderrahim pour leur aide précieuse au cours de l'installation de l'essai et des manipulations lourdes et répétitives au laboratoire.

Références bibliographiques

- Aharonson, N., and Katan, J. 1991. Pesticide behavior in solarized and disinfected soils. Pages 131-138 in: Soil Solarization. J. Katan and J. E. DeVay, eds. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Arora, D. K., Pandey, A. K., and Srivastava, A. K. 1996. Effects of heat stress on loss of C, germination and pathogenicity for chlamydospores of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceri*. Soil Biol. Biochem. 28:399-407.
- Ben-Yephet, Y., Melero, J. M., and DeVay, D. E. 1988. Interaction of soil solarization and metham-sodium in the destruction of *Verticillium dahliae* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum*. Crop Prot. 7:327-331.
- Blanco-López, M. A., Jiménez-Díaz, R. M., Melero-Vara J. M., and Bejarano-Alcázar J. 1992. Integrated control of *Verticillium* wilt of cotton by soil solarization and tolerant cultivars. Pages 63-67 in: Biological Control of Plant Diseases. E. C. Tjamos, G. C. Papavizas, and R. J. Cook, eds. Plenum Press, New York.
- Chellemi D. O. and Mirusso J. 2006. Optimizing Soil Disinfestation Procedures for Fresh Market Tomato and Pepper Production. Plant Dis. 90:668-674.
- DeVay J. E., 1998. Historical review and principales of soil solarization. <http://www.fao.org/docrep/t0455c/t0455c03.htm>.
- Duniway, J. M. 2002. Status of chemical alternatives to methyl bromide for pre-plant fumigation of soil. Phytopathology 92:1337-1343.
- Eshel, D., Gamliel, A., Grinstein, A., Di Primo, P., and Katan J. 2000. Combined soil treatments and sequence of application in improving the control of soilborne pathogens. Phytopathology 90:751-757.
- Essarioui A. 2006. Comparaison entre les effets de la solarisation et du traitement chimique sur la microflore du sol de palmeraies et sélection d'un substrat organique inhibiteur du *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* agent causal du Bayoud du palmier dattier. Rapport de fin de stage, INRA, Rabat, Maroc, 107pp
- Fravel, D. R. 1996. Interaction of biocontrol fungi with sublethal rates of metham sodium for control of *Verticillium dahliae*. Crop Prot. 15:115-119.
- Gamliel, A., Hadar, E., and Katan, J. 1993. Improvement of growth and yield of *Gypsophila paniculata* by solarization or fumigation of soil or container medium in continuous cropping systems. Plant Dis. 77:933-938.
- Hamm, P. B., Ingham, R. E., Jaeger, J. R., Swanson, W. H., and Volker, K. C. 2003. Soil fumigant effects on three genera of potential soilborne pathogenic fungi and their effect on potato yield in the Columbia Basin of Oregon. Plant Dis. 87:1449-1456.
- Israel S., Mawar R. and LpdhaS. 2005. Soil solarisation, amendments and bio-control agents for the control of *Macrophomina phaseolina* and *Fusarium oxysporum* f.sp. *cumini* in aridisols. Annals of Applied Biology, 146:481-491.

- Katan, J. 1996. Soil solarization: Integrated control aspects. Pages 250-278 in: Principles and Practice of Managing Soilborne Plant Pathogens. R. Hall, ed. American Phytopathological Society Press, St. Paul, MN.
- Komada H., 1975. Developpement of a selective Medium for quantitative Isolation for *Fusarium oxysporum* from Natural soil. *Rev. of plant protect. Res.*, 8: 114-125.
- Melero-Vara, J. M., Blanco-López, M. A., Bejarano-Alcázar, J., and Jiménez-Díaz, R. M. 1995. Control of *Verticillium* wilt of cotton by means of soil solarization and tolerant cultivars in southern Spain. *Plant Pathol.* 44:250-260.
- McGovern, R. J., and McSorley R. 1997. Physical methods of soil sterilization for disease management including soil solarization. Pages 283-313 in: Environmentally Safe Approaches to Crop Disease Control. N. A. Rechcigl and J. A. Rechcigl, eds. CRC Press, Boca Raton, FL.
- McGovern, R. J., McSorley, R., and Bell, M. L. 2002. Reduction of landscape pathogens in Florida by soil solarization. *Plant Dis.* 86:1388-1395.
- Porras M., C. Barrau, F. T. Arroyo, B. Santos, C. Blanco, and F. Romero. 2007. Reduction of *Phytophthora cactorum* in Strawberry Fields by *Trichoderma spp.* and Soil Solarization. *Plant Dis.* 91:142-146.
- Sedra My. H., 1993a. Caractères morphologiques et culturaux du *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, agent causal de la fusariose vasculaire (Bayoud) du palmier dattier. Séminaires sur les "interactions plantes – microorganismes". 17-22/2/1992, Dakar, Sénégal.
- Sedra My. H., 1993d. Role of some physical-chemical and microbiological characteristics in the observed resistance of Marrakech date palm grove soils to *Fusarium* wilts. January 17-20/1993, Date Palm Research Center, King Faisal University, El-Hassa, Saudi Arabia; p42-54.
- Sedra My. H., 2003b. Le palmier dattier base de la mise en valeur des oasis au Maroc. Techniques phoenicoles et création d'oasis. Editions-INRA, Maroc, Imprimerie Al-Watania Marrakech.
- Sedra My. H., 2005. Caractérisation des clones sélectionnés du palmier dattier pour combattre la maladie du Bayoud. Actes du symposium international sur : Le développement durable des systèmes oasiens. 08 au 10 mars 2005/ Erfoud-Maroc. pp :72-79.
- Shachaf Triky-Dotan, Miriam Austerweil, and Bracha Steiner. 2007. Generation and Dissipation of Methyl Isothiocyanate in Soils Following Metam Sodium Fumigation: Impact on *Verticillium* Control and Potato Yield. *Plant Dis.* 91:497-503.
- Sing, A, Dhara, H. S., and Singh, A. 1996. Rhizosphere mycoflora of cotton in relation to root depth and locality under two crop rotations. *Plant Dis. Res.* 11:100-102.
- Stevens C., Khan V.A., Rodriguez-Kabana R., Ploper L.D., Backman P.A., Collins D.J., Brown J.E., Wilson M.A. and Igwegbe E.C.K. 2003. Integration of soil solarization with chemical, biological and cultural control for the management of soilborne diseases of vegetables. *Plant and Soil.* 253: 493-506.
- Sumner, D. R., and Phatak, S. C. 1988. Efficacy of metam-sodium applied through overhead

sprinkler irrigation for control of soilborne fungi and root diseases of vegetables. *Plant Dis.* 72:160-166.

Sumner, D. R., Gitaitis, R. D., Gay, J. D., Smittle, D. A., Maw, B. W., Tollner, E. W., and Hung, Y. C. 1997. Control of soilborne pathogenic fungi in fields of sweet onions. *Plant Dis.* 81:885-891.

Tamietti, and Valentino D. 2006. Soil solarization as an ecological method for the control of *Fusarium* wilt of melon in Italy. *Crop protection.* 25: 389-397.