

Effet du régime hydrique sur la densité de l'inoculum de *Phytophthora* spp. chez le clémentinier Sidi Aissa greffé sur différents porte-greffes dans la région du Gharb (Sidi Allal Tazi) au Maroc

Beniken L.^{1,2,3}, Omari F. E.^{1,2}, Boudoudou D.², Talha A.¹, Van Damme P.^{3,4}, Benkirane R.² et Benyahia H.¹

lhou.beniken@inra.ma

1 : Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), CRRRA Kenitra, Maroc.

2 : Botanique et protection des plantes, université d'Ibn Tofail, Kenitra, Maroc.

3 : Université de Gand, Département Plantes et Cultures, Belgique.

4 : Czech University of Life Sciences, Faculty of Tropical AgriSciences, Prague, Czech Republic.

Résumé

L'effet du régime hydrique sur la densité de l'inoculum de *Phytophthora* spp. sur les racines de jeunes plants du clémentinier Sidi Aissa a été étudié dans des conditions de plein champ de Sidi Allal Tazi au Gharb (Maroc). L'étude a été menée sur une parcelle de clémentinier Sidi Aissa plantée en décembre 2010 avec une densité de 5 x 3 m² au Domaine expérimental de Sidi Allal Tazi, situé à 49 km au Nord de Kenitra. La variété a été greffée sur cinq porte-greffes d'agrumes : citange C35, citrange Carrizo, *Citrus macrophylla*, l'hybride Mand. Cleo X citrange Carrizo 30577 et le Bigaradier. Trois régimes hydriques ont été testés : 100%, 75% et 50% d'ET_c. Les résultats ont mis en évidence que la densité de l'inoculum de *Phytophthora* spp. au niveau du sol varie significativement avec le régime hydrique appliqué et le porte-greffe utilisé. Cette densité a été significativement réduite sous les conditions de déficit hydrique (50% d'ET_c) comparativement aux autres doses (100% et 75% d'ET_c). Dans la même veine, nous avons démontré une corrélation significative et positive entre l'humidité du sol et la densité de l'inoculum de *Phytophthora* spp. au niveau du rhizosphère chez le *C. macrophylla* et le citrange Carrizo. Cette étude a révélé que le régime hydrique influence de manière importante la densité de l'inoculum de *Phytophthora* spp. au niveau de la zone racinaire des porte-greffes utilisés. A la lumière de cette étude, on peut conclure que *C. macrophylla* et le citrange Carrizo peuvent être recommandés comme porte-greffes pour les agrumes dans des conditions de culture à irrigation déficitaire.

Mots clés : Ecophysiologie, stress hydrique, irrigation déficitaire, culture d'agrumes, pourriture racinaire.

Effect of watering regime on inoculum density of *Phytophthora* spp. in the rhizosphere of young plantations of the sidi aissa clementine variety grafted onto different rootstocks in the Gharb region (Sidi Allal Tazi) of Morocco

Abstract

We examined the combined influence of irrigation regime and rootstock on *Phytophthora* spp. population density in citrus rhizosphere under field conditions. We carried out the study in a young orchard of Clementine, variety Sidi Aissa, grafted onto five rootstocks: i.e. carrizo citrange, citrange C35, *Citrus macrophylla*, sour orange and the hybrid Cleopatra mandarin x citrange Carrizo 30577. Three water regimes were applied: Control (T0) irrigated at 100% of ET_c, and deficit irrigation (T1) and (T2) at 75% and 50% of ET_c, respectively. Results show that *Phytophthora* spp. Inoculum density varied significantly between the different irrigation regimes and rootstock genotypes. *Phytophthora* spp. density was significantly lower under the more severe deficit irrigation T2 than under T0 or T1. Also, a significant and positive correlation was found between soil moisture and inoculum density of *Phytophthora* spp. in the rhizosphere of *C. macrophylla* and Carrizo citrange rootstocks. Among rootstocks, the highest population densities of *Phytophthora* spp. were demonstrated for *C. macrophylla* and sour orange rhizosphere under 100% ET_c regime, while no inoculum was evidenced from the root zone of *C. macrophylla* under 50% ET_c. Results showed that Carrizo citrange and *C. macrophylla* were more sensitive to soil moisture indicating that watering regime is a key factor to minimize *Phytophthora* spp. density in the rhizosphere of these rootstocks. Results also revealed that Carrizo citrange and *C. macrophylla* rootstocks can be recommended under deficit irrigation in order to reduce *Phytophthora* spp. infection in citrus orchards.

Keywords: Water regime; rootstock; *Phytophthora* spp.

تأثير نظام السقي على كثافة اللقاح الفطر فيتوفثورا "*Phytophthora spp*" عند أشجار الكليمنتين صنف سيدي عيسى المطعمة على حوامل طعم مختلفة في منطقة الغرب (سيدي علال التازي) في المغرب

بنیکن الحو، عمري فاطمة ، الزهراء، بودودو دلال، طلحة عبد الحق، فان دام باتريك، بنكيران رشيد، حميد بنحبي

ملخص

أجري هذا البحث الحقلية بغرض دراسة تأثير كمية مياه الري على كثافة لقاح (inoculum) لفطر *Phytophthora spp* عند صنف كليمنتين سيدي عيسى مطعم على خمسة حوامل طعم مختلفة (Mand. cleao. x C.C.30577 ,C35, (c. Carrizo, Bigaradier, C. macrophylla مغروسة في حقل ذي تربة طينية بسيدي علال التازي بمنطقة الغرب. تم تطبيق ثلاثة أنظمة مائية للري T₀ الشاهد مروية ب 100% من ET_c و T₁ و T₂ مسقية ب 75% و 50% من ET_c على التوالي. أظهرت النتائج أن كثافة اللقاح (inoculum) من *Phytophthora spp*. اختلفت بشكل كبير بين نظام المياه والنمط الجيني لحامل الطعم. كثافة لقاح التربة من *Phytophthora spp*. كانت أقل بكثير في ظل نظام الري بعجز حاد T₂ منه تحت T₀ أو T₁. أيضا تم التأكيد أيضا على وجود ارتباط كبير وإيجابي بين رطوبة التربة و كثافة اللقاح (inoculum) *Phytophthora spp*. في جذور *C. macrophylla* و *C. carrizo*. citrange أو على كثافة *Phytophthora spp* تم تسجيلها عند *C. macrophylla* تحت نظام ET_c 100% ، بينما لم يلاحظ أي لقاحات في منطقة الجذر لـ *C. macrophylla* تحت علاج 50% ET_c. أظهرت النتائج أن *C. carrizo citrange* و *C. macrophylla* أكثر حساسية لرطوبة التربة مما يشير إلى أن نظام المياه هو عامل رئيسي لتقليل كثافة اللقاح (inoculum) *Phytophthora spp*. في جذور هذه الأصول. وكشفت النتائج أيضا أنه يمكن التوصية بأصول جذر *C. carrizo citrange* و *C. macrophylla* تحت ظروف الري الناقص من أجل تقليل عدوى *Phytophthora spp*. في بساتين الحمضيات.

الكلمات المفتاحية: حامل الطعم، نظام المياه، *Phytophthora spp*.

Introduction

L'effet des facteurs environnementaux, tels que l'humidité du sol ou la température ambiante, sur le développement des maladies à *Phytophthora* sur les agrumes ainsi que sur d'autres cultures a été rapporté maintes fois (Graham et al., 2019 ; Graham et al., 2011 ; Wilcox et Mircetich, 1985; Broadbent, 1977). Ces facteurs sont capables de prédisposer les plantes à des attaques sévères par des agents pathogènes telluriques. Dans ce contexte, certains chercheurs ont rapporté qu'au niveau du sol, une mauvaise aération accompagnée d'une saturation hydrique prolongée induisent des attaques sévères du système racinaire du Pin rouge (*Pinus resinosa*) (Wilcox et Mirutich, 1985 ; Agrios, 1997), des agrumes (Peddinti et al., 2018 ; Graham et al., 2019 ; Graham et al., 2011) ; du noisetier *Castanea dentata* (Marsh.) Borkh (Sena et al., 2018) ; du pois chiche (*Cicer arietinum*,) (Tarafdar et al. 2018) ; et de la tomate (Coelho et al., 2001). Des résultats similaires ont été observés dans des sols lourds à texture fine chez les espèces du Chêne d'Europe central *Quercus robur* et *Q. petraea* (Jung et al., 2000), du noisetier *Castanea dentata* (Marsh.) Borkh (Sena et al., 2018) et chez la tomate (Coelho et al., 2001). De même, Rhoades et al. (2003) ont conclu que la texture du sol stimule significativement la pourriture racinaire induite par *Phytophthora cinnamomi* du noisetier (*Castanea dentata*). Selon ces derniers chercheurs, le développement de la maladie et son incidence sont significativement accentués sous un régime hydrique engendrant une humidité dans le sol proche de la saturation. Par contre et sous un régime hydrique 'adéquat' aucune attaque de ce pathogène n'a été observée chez les plantules du noisetier américain (*Castanea dentata* (Marsh.) Borkh).

Généralement, pour faire face aux attaques de *Phytophthora* spp. sur les agrumes, l'utilisation d'un porte-greffe tolérant à ces agents pathogènes demeure la solution la plus recommandée (Benfradj et al., 2016 ; Graham and Feichtenberger, 2015 ; Graham et al., 2019 ; Graham et al., 2011 ; Boava et al., 2011 ; Naqvi, 2004 ; Harris, 1991 ; Castel, 1987 ; Furr et Carpenter, 1961). Cependant, les travaux réalisés par plusieurs chercheurs ont mis en évidence que la tolérance de certains porte-greffes (comme le cas des citranges) vis-à-vis des maladies à *Phytophthora* spp. est influencée par les conditions du milieu comme la salinité ou la texture du sol, et la composition de l'eau d'irrigation (Boudoudou et al., 2015 et 2016 ; Graham et al., 2011 ; Benyahia et al., 2004 et 2007; Harris, 1991; Wilcox & Mircetich, 1985). Dans ce sens, l'objectif de la présente étude est d'évaluer l'impact du régime hydrique sur le développement de la population de *Phytophthora* spp., au niveau de la zone racinaire de jeunes plants de clémentinier (variété Sidi Aissa) greffés sur cinq porte-greffes différents et plantées sur un sol lourd dans la région du Gharb (Sidi Allal Tazi) au Maroc.

Les hypothèses énoncées dans ce travail sont que : i) le régime hydrique affecte la densité d'inoculum de *Phytophthora* spp. dans le sol au niveau des racines de la variété clémentine Sidi Aissa; ii) le porte-greffe a une influence sur la densité d'inoculum et sur le développement de la maladie à *Phytophthora* au niveau de la zone racinaire de la clémentine Sidi Aissa.

Matériel et méthodes

Matériel végétal et site d'étude

L'étude a été menée sur une parcelle de clémentinier Sidi Aissa plantée en décembre 2010 selon une densité de 5 m x 3 m au Domaine Expérimental de Sidi Allal Tazi, situé à 49 km au nord de Kenitra. La variété avait été greffée sur cinq porte-greffes d'agrumes : citange C35, citrange Carrizo, *Citrus macrophylla*, l'hybride Mand. Cleo X citrange Carrizo 30577 et le Bigaradier. La parcelle a été équipée par un système d'irrigation en goutte à goutte et était irriguée à raison de deux fois par semaine selon l'un des trois régimes hydriques suivants : 100%, 75% et 50% de l'ET_c. Les doses d'irrigation étaient calculées selon le model $ET_c = K_c \times ET_0$, où K_c est le coefficient de la culture et ET₀ l'évapotranspiration de référence (Allen *et al.*, 1998).

Le dispositif expérimental adopté est un split-plot avec trois répétitions (3 blocs) dont le facteur dose d'irrigation est affecté aux grandes parcelles et le facteur porte-greffe est assigné aux sous-parcelles. La caractérisation physico-chimique du sol a été effectuée lors de la mise en place de l'essai (Tableau 1).

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques du sol de la parcelle d'étude (0-30cm)

Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)	Calcaire total (%)	pH-eau	Matière organique (%)	N total (%)	P ₂ O ₅ assimilable (%)	K ₂ O échangeable (%)
38,5	34,2	27,3	18,2	7,8	1,29	0,83	0,03	0,22

Détermination de l'humidité du sol et la densité de l'inoculum de *Phytophthora* spp.

Echantillonnage

Les échantillons de sol ont été prélevés au mois de novembre 2013 dans la partie superficielle du sol dans la zone racinaire, soit entre 10 et 20 cm de profondeur sur les quatre côtés de l'arbre pour former un échantillon composite (Timmer *et al.*, 1988 et 1993). Les échantillons ont été codés et référenciés puis transportés au laboratoire dans une glacière. Une partie de ces échantillons a été utilisée pour la détermination de l'humidité du sol par la méthode gravimétrique (Reynolds, 1970) alors que l'autre partie a servi pour la détermination de la densité des propagules de *Phytophthora* spp. dans le sol par la technique de la mise en culture dans un milieu sélectif BARPHY (Benyahia, 1998).

Détermination de la densité de l'inoculum

Pour chaque échantillon, trois répétitions constitué de 3 boîtes de Pétri, ont été utilisées pour la détermination de la densité de l'inoculum de *Phytophthora* spp. Chaque échantillon de 10 g de sol a été mis dans un Erlenmeyer contenant 90 ml de l'eau gélosée stérilisée auparavant. Ces Erlenmeyers ont été par la suite soumis à

une forte agitation pendant 10 min. Ensuite, 1 ml de la solution (sol+eau gélosée) a été prélevé et étalé sur une boîte de Pétri contenant le milieu de culture sélectif BARPHY (Benyahia, 1998) (15g/L d'extrait de malt, 20g/L d'agar, 250 mg/L d'ampicilline, 10 mg/L de rifampicine, 15mg/L de benomyl, 10 mg/L de pimarinic, 72 mg/L d'hymexazole). Les boîtes de pétri ont par la suite été bien fermées par un film de paraffine et incubées à l'obscurité pendant 48h à une température de 26°C. Après la période d'incubation, le nombre de colonies par boîte de pétri a été compté. La densité de l'inoculum de *Phytophthora* spp. est calculée en multipliant le nombre de colonies par boîte de pétri par 10 (facteur de correction 1ml est prélevée de 100g du mélange du 10g du sol et 90g de l'eau gélosée).

Détermination de l'humidité du sol

L'humidité du sol a été déterminée par gravimétrie (Reynolds, 1970) pour chaque échantillon en prélevant 10g de sol qu'on met dans l'étuve pendant 48h à 75°C. Une fois séché, on détermine le poids sec (P_s) de l'échantillon séché et l'humidité (exprimée en %) est calculée selon l'équation suivante :

$$H (\%) = [(10 - P_s) / 10] * 100 \text{ (Reynolds, 1970).}$$

Analyses statistiques

Les résultats obtenus ont été soumis à une analyse de la variance ANOVA à deux facteurs (régime hydrique comme facteur principal et porte-greffe comme facteur secondaire). La comparaison des moyennes a été effectuée par le biais du test de Duncan au seuil de 0,05. Pour chaque porte-greffe, nous avons établi des corrélations entre l'humidité du sol et la densité de l'inoculum de *Phytophthora* spp. Toutes les analyses ont été effectuées au moyen du logiciel « SAS ».

Résultats

Effet du régime hydrique et du porte-greffe sur la densité de l'inoculum de *Phytophthora* spp. dans le sol

La densité de l'inoculum de *Phytophthora* spp. dans le sol a été fortement affectée par le porte-greffe et le régime hydrique. L'analyse de la variance a montré un effet très hautement significatif du régime hydrique, du porte-greffe et de l'interaction régime hydrique x porte-greffe (Tableau 2). Ceci montre que les porte-greffes utilisés présentent un comportement différentiel vis-à-vis du régime d'irrigation.

Pour les arbres sous régime hydrique de 100 % d'ETc, nous avons noté la densité de l'inoculum de *Phytophthora* spp. dans le sol la plus élevée lorsque les arbres étaient greffés sur le porte-greffe *Citrus macrophylla* (2379,3 propagules/g de sol) alors que la plus faible était enregistrée avec les porte-greffes C35, citrange Carrizo, bigaradier et l'hybride Mand. Cleopatra X C. Carrizo, pour lesquels les valeurs étaient comprises entre 64,94 et 258,06 propagules/g de sol (Figure 1.).

Sous le régime hydrique de 75% d'ETc, la densité de l'inoculum de *Phytophthora* spp. dans le sol la plus élevée a été notée dans le cas du bigaradier (104,85 propagules/g de sol) tandis que la plus faible densité était observée sur les porte-greffes C35 et citrange Carrizo (16,71 et 0 propagules/g de sol respectivement) (Figure 2).

En revanche, sous un régime hydrique de 50 % d'ETc, les porte-greffes C35 et l'hybride Mand. Cleopatra X C. Carrizo 30577 ont enregistré les valeurs les plus élevées (79,59 et 62,63 propagules/g de sol, respectivement). Cependant, nous avons aussi noté l'absence de l'inoculum au niveau du sol lorsque *C. macrophylla* était utilisé comme porte-greffe (Figure 3).

Tableau 2. Effets combinés du régime hydrique et du porte-greffe sur la densité de l'inoculum de *Phytophthora* spp. dans le sol

Source de la variation	DF	F Value	Pr > F
Régime hydrique	2	16,46	<0,0001
Porte-greffe	4	11,12	<0,0001
Régime hydrique * Porte-greffe	8	11,77	<0,0001

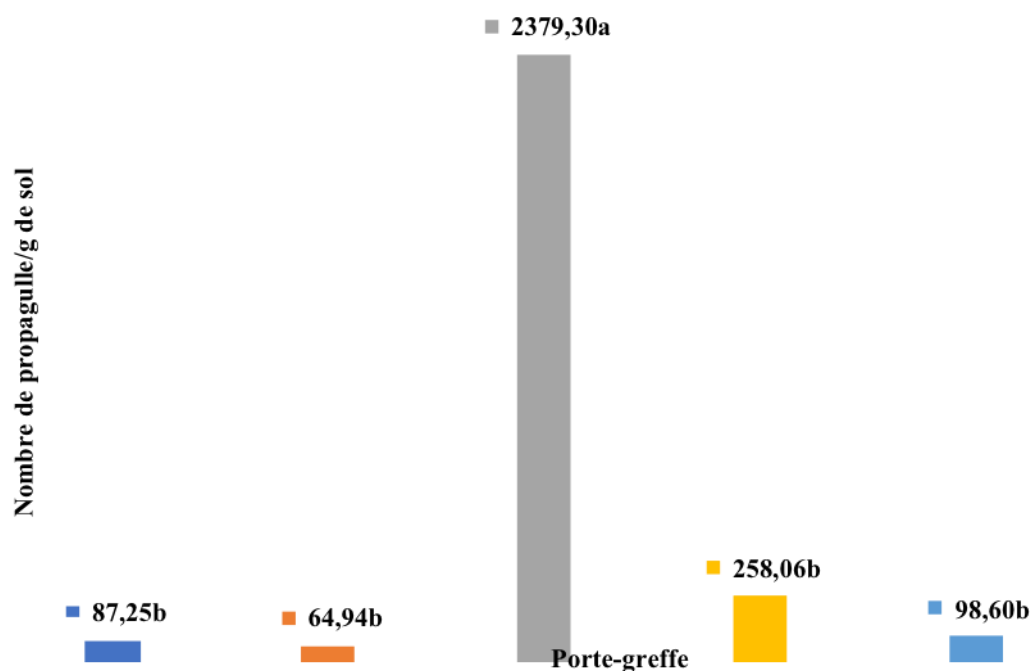


Figure 1. Densité de l'inoculum de *Phytophthora* spp. dans le sol en fonction du porte-greffe sous le régime hydrique 100% d'ET_c
 Les moyennes suivis de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (test de Duncan).

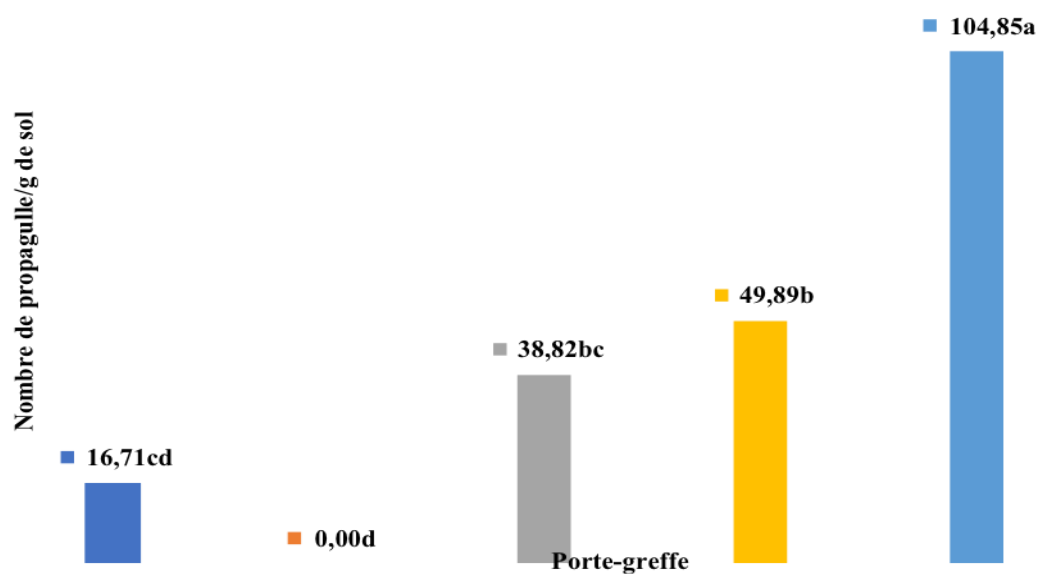


Figure 2. Densité de l'inoculum de *Phytophthora* spp. dans le sol en fonction du porte-greffes sous le régime hydrique 75% d'ET_c

Les moyennes suivis de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (test de Duncan).

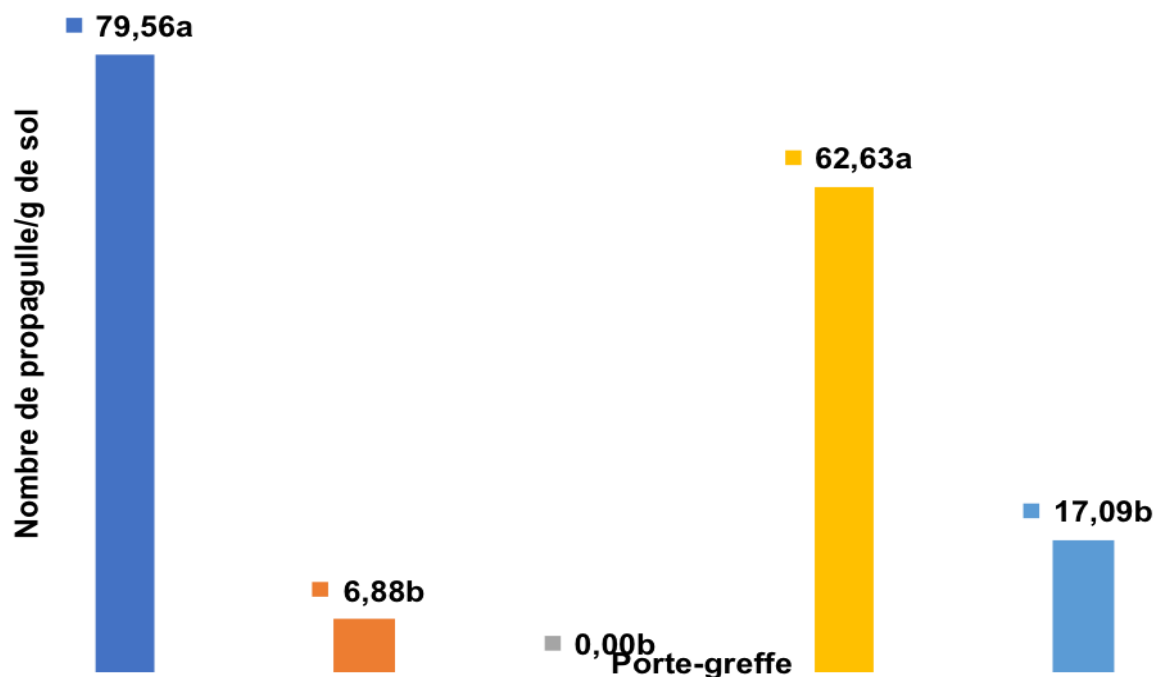


Figure 3. Densité de l'inoculum de *Phytophthora* spp. dans le sol en fonction du porte-greffes sous le régime hydrique 50% d'ET_c.

Les moyennes suivis de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (test de Duncan).

L'analyse des corrélations entre l'humidité du sol et la densité des propagules de *Phytophthora* spp. a montré l'existence d'une corrélation positive et hautement significative dans le cas des porte-greffes citrange Carrizo ($R= 0,7745$; $P= 0,0143$) et *Citrus macrophylla* ($R=0,81744$; $P= 0,0071$). Par contre, une telle corrélation n'a pas été enregistrée avec les autres porte-greffes (Tableau 3 & Figure 4.).

Tableau 3. Corrélation entre l'humidité du sol et la densité de l'inoculum de *Phytophthora* spp. dans le sol (Pearson Correlation Coefficients)

Porte-greffes	R ²	R	Pr > F	Niveau significatif
C 35	0,1728	-0,4157	0,266	Non significatif
Citrange Carrizo	0,5999	0,7745	0,014	Hautement significatif
<i>Citrus macrophylla</i>	0,6682	0,8174	0,007	Hautement significatif
Mand cleopatra X c. Carrizo 30577	0,2973	0,5452	0,129	Non significatif
Bigaradier	0,0666	0,2580	0,503	Non significatif

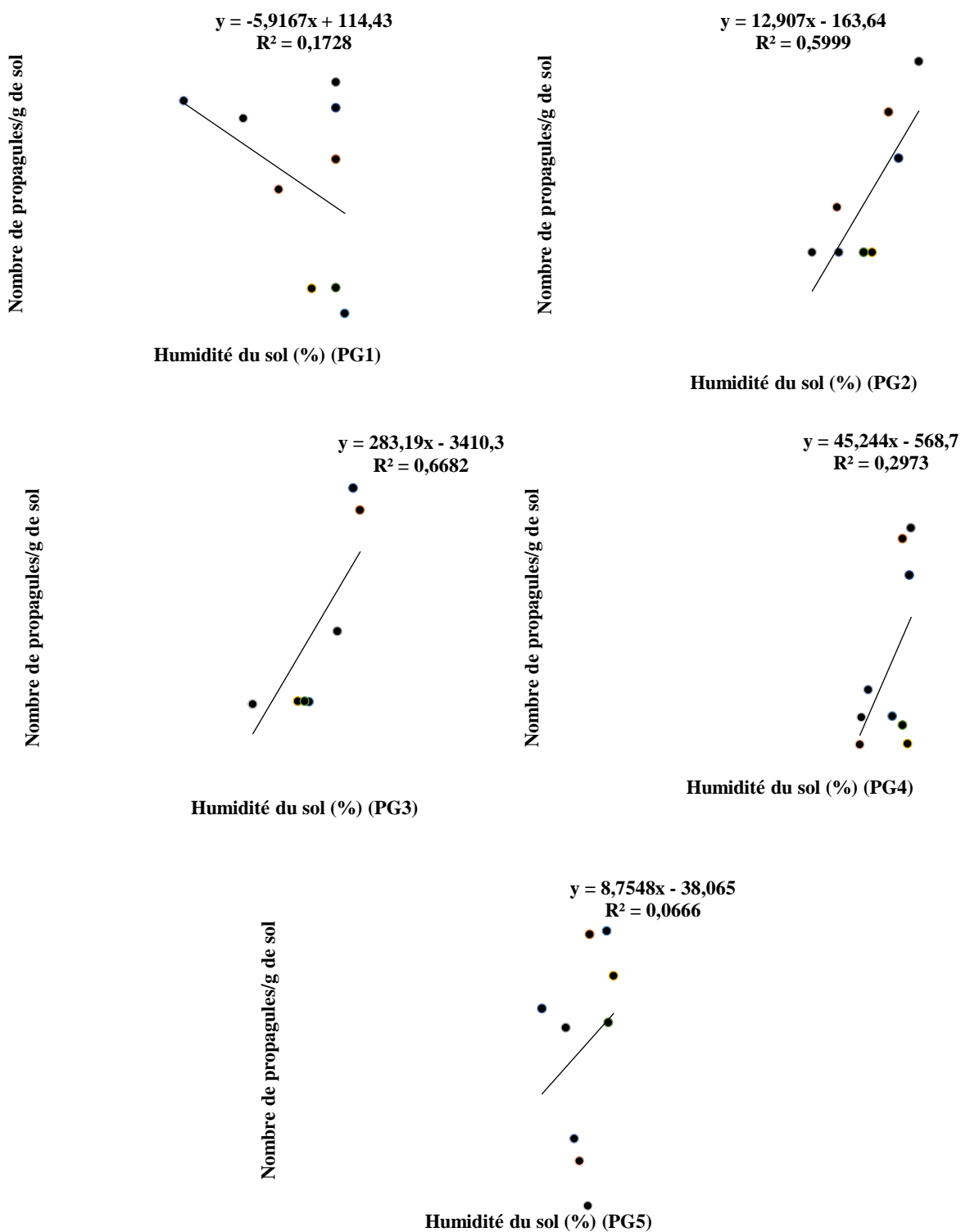


Figure 4. Densité de l'inoculum de *Phytophthora* spp. en fonction du régime hydrique du sol (Humidité du sol) pour chacun des porte-greffes étudiés avec l'équation de la droite de régression linéaire. (PG1 : C 35 ; PG2 : citrange Carrizo ; PG3 : *Citrus macrophylla*; PG4 : Mand cleopatra X C. Carrizo; PG5 : Bigaradier).

Discussion

La présente étude a révélé que la densité de l'inoculum de *Phytophthora* spp. dans le sol varie à la fois en fonction du régime hydrique et du porte-greffe utilisés. La densité de l'inoculum de *Phytophthora* spp. dans le sol la plus élevée a été enregistrée sous le régime hydrique de 100% d'ET_c (14.9% d'humidité dans le sol). Nos résultats sont en concordance avec ceux rapportés par plusieurs études antérieures sur agrumes (Benfradj *et al.*, 2016 ; Graham *et al.*, 2019 ; Graham *et al.*, 2011 ; Duniway, 1976 ; Sterne *et al.*, 1977; MacDonald et Duniway, 1978 a et b, Kuna et Erwin, 1980 et 1982; Blaker et MacDonald, 1981;) , sur tomate (Coelho *et al.*, 2001) ; sur pois chiche (*Cicer arietinum*) (Tarafdar *et al.* 2018) et sur le gainier rouge (*Cercis canadensis* L.) et le tulipier (*Liriodendron tulipifera* L.) (Addesso *et al.*, 2018).

En effet, le statut hydrique influence significativement le développement et la biologie du *Phytophthora* spp. L'humidité élevée du sol (proche de la saturation) stimule la formation et la libération des sporanges (Tyler, 2007; Graham *et al.*, 2011 ; Coelho *et al.*, 2001 ; MacDonald et Duniway, 1978 a et b) et facilite la mobilité des zoospores (Badri *et al.* 2009 ; Duniway, 1976). Ces conditions favorisent également la germination directe des sporanges, des oospores et des chlamydospores (Graham *et al.*, 2011 ; Coelho *et al.*, 2001 ; Kuna et Erwin, 1982 ; Sterne *et al.*, 1977). De plus, la stagnation prolongée de l'eau dans la rhizosphère augmente la sensibilité de l'hôte aux attaques de *Phytophthora* spp. Ceci par l'altération et la destruction de la membrane des racines et la production par les racine de la plante hôte des substances attractives aux zoospores sous forme d'éthanol ou d'exsudats comme les flavonoïdes, iso-flavonoïdes, sucre et acides aminés (Zhang *et al.*, 2019 ; Addesso *et al.*, 2018 ; Hua *et al.*, 2015 ; Suo *et al.*, 2016 ; Riggs, 2010 ; Graham *et al.*, 1991 ; Morris and Ward, 1992 ; Ploetz et Schaffer, 1987 ; Kuna et Erwin, 1980 ; Blaker et MacDonald, 1981).

Egalement, il ressort de nos résultats que les porte-greffes utilisés ont un comportement différentiel vis-à-vis de la densité de l'inoculum de *Phytophthora* spp. dans le sol. En effet, le *Citrus macrophylla* a significativement favorisé le développement de la population de *Phytophthora* spp. dans le sol sous le régime hydrique de 100% d'ET_c par rapport aux autres porte-greffes testés. En revanche et sous le régime hydrique le plus stressant, les porte-greffes *Citrus macrophylla*, citrange Carrizo et le bigaradier ont significativement réduit la population de *Phytophthora* spp. dans la zone racinaire comparativement au C35 et l'hybride Mand. Cleo X citrange Carrizo 30577. Nos résultats sont en concordance avec ceux rapportés par d'autres auteurs notamment sur agrumes par Timmer *et al.* (1991), et sur prunier par Browne, (2017). En effet, Timmer *et al.* (1991) ont montré que la densité de population de *Phytophthora* spp. dans le sol est significativement influencée par le porte-greffe utilisé. Selon ces auteurs, après inoculation artificielle du sol par une même quantité de propagules, la densité de population de *Phytophthora* spp. la plus élevée est observée chez le bigaradier et l'orange douce alors que la plus faible est enregistrée chez le *Poncirus trifoliata* et le citrumélo swingle. La présence d'une population importante de *Phytophthora* spp. dans la zone racinaire nous renseigne sur l'état sanitaire des racines et sur la susceptibilité des porte-greffes des agrumes à cette maladie bien que l'extériorisation des symptômes ne soit pas la même pour une même densité d'inoculum (Timmer *et al.*, 1991 ; Bright *et al.*, 2004). En effet, Bright *et al.* (2004) ont classé les porte-greffes en trois groupes notamment les résistants, et ceux

à tolérance intermédiaire et sensibles, en se basant sur la densité de propagules présents dans la zone racinaire. Ainsi, ces auteurs ont classé le bigaradier, le citrange Carrizo et Mandarine Cleopatra comme résistants au *Phytophthora nicotinae* alors que le *Citrus volkameriana* est considéré comme étant le plus sensible. Quant au citrumélo swingle et le citronnier doux de Palestine, ils sont rangés dans le groupe à tolérance intermédiaire. Tandis que Benfradj *et al.* (2016) ont classé le Citrumelo Swingle 4475 et le bigaradier comme groupe tolérant au *Phytophthora* spp., le Citrange C35 est considéré comme intermédiaire alors que Citrange carrizo et *Citrus volkameriana* comme très sensibles.

Egalement, Graham (1995) a observé une faible densité de population du *P. nicotinae* dans la rhizosphère des plants greffés sur *Poncirus trifoliata* et a suggéré que l'infestation du sol est probablement inhibée par des mécanismes biochimiques via la sécrétion par les racines de substances inhibitrices de ce pathogène.

Conclusion

Le régime hydrique joue un rôle significatif dans le développement de la maladie de *Phytophthora* spp. chez les agrumes. Sous les conditions de régime hydrique favorable (100% d'ET_c) et en se basant sur la densité de propagules présente dans la zone racinaire, le *Citrus macrophylla* s'est montré très sensible aux *Phytophthora* spp. Le citrange Carrizo et le bigaradier ont montré une tolérance plus élevée par rapport aux autres porte-greffes testés que ce soit sous le régime hydrique favorable (100% d'ET_c) ou sous une irrigation déficitaire (50% d'ET_c).

Références bibliographiques

- Addesso Karla, Fulya Baysal-Gurel, Jason Oliver, Christopher Ranger and Paul O'Neal. (2018). Interaction of a Preventative Fungicide Treatment and Root Rot Pathogen on Ambrosia Beetle Attacks during a Simulated Flood Event. *Insects*. 9(83). p. 1-11.; doi:10.3390/insects9030083
- Agrios, G.N. (1997). *Plant Pathology*, 4th ed. Academic Press, San Diego, CA. 635 pages.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization, Rome. 300 pages.
- Badri DV, Vivanco JM. (2009). Regulation and function of root exudates. *Plant Cell Environ*. 32. p. 666-681.
- Benfradj Najwa, Nabih Metoui, Naïma Boughalleb-M'Hamdi . (2016). Screening for tolerance of different citrus rootstocks against zoospores of *Phytophthora nicotianae* in infested soil. *Journal of Phytopathology and Pest Management*. 3(3). p. 63-75.
- Benyahia H., Ait Haddou M. M., Jrfi A. et Lamsettef Y. (2004). Effet de la salinité de l'eau d'irrigation sur la colonisation des racines des porte-greffes d'agrumes par *Phytophthora parasitica*. *Fruits*. 59. p. 101-108.
- Benyahia, H. (1998). Effet de la salinité sur le développement des maladies à *Phytophthora* des agrumes au Maroc. Thèse de 3ème cycle, Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech. 170 pages.
- Benyahia, H. (2007). Amélioration de la résistance des porte-greffes d'agrumes vis-à-vis des contraintes biotiques et abiotiques. Faculté des Sciences Dhar El Mahraz - Fès - Doctorat ou Doctorat National.
- Blaker. N.S. and MacDonald, J.D. (1981). Predisposing effects of soil moisture extremes on the susceptibility of rhododendron to *Phytophthora* root and crown rot. *Phytopathology*. 71. p. 831-834.
- Boava LP, Cristofani-Yaly M, Stuart RM, Machado MA, (2011). Expression of defense-related genes in response to mechanical wounding and *Phytophthora parasitica* infection in *Poncirus trifoliata* and *Citrus sunki*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 77. p. 1–7.
- Boudoudou Dalal, Anas Fadli, Abdelhak Talha, Younes Bourachdi , Allal Douira and Hamid Benyahia. (2015). Effect of seasonal and citrus rootstocks on inoculum density of *Phytophthora* spp. in Citrus orchard in a heavy soil of the Gharb region of Morocco. *Biolife Vol*. 3(2). p. 367-377.
- Boudoudou Dalal., Talha Abdelhak, Fadli Anas, Douira Allal and Benyahia Hamid. (2016). Influence of citrus rootstocks on soil populations of *phytophthora* sp. In the gharb region in morocco. *International Journal of Recent Scientific Research* .Vol. 7 (11).p. 14230-14236.
- Bright D.B., Graham J. H., Irey M., Baucum L. E. (2004). Soil, rootstock and climatic factors affect population of *P. nicotianae* in South Florida citrus plantings. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*117.p. 148-151.
- Broadbent P, (1977). *Phytophthora* diseases of citrus: A review. *Proceedings International Society of Citriculture* 3: 986–998.
- Browne G.T. (2017). Resistance to *Phytophthora* Species among Rootstocks for Cultivated Prunus Species. *Hortscience*. 52(11).p.1471–1476
- Castel W. S. (1987). Citrus rootstocks. In: *Rootstocks for fruit crops*. Rom R.C. and Carlson R.F. (eds.) Wiley J. and Sons, New York . p. 361-399.

- Coelho L., Mitchell D.J. and Chellemi D.O. 2001. The effect of soil moisture and cabbage amendment on the thermoinactivation of *Phytophthora nicotianae*. *European Journal of Plant Pathology*. 107. p. 883–894.
- Duniway. J.M. (1976). Movement of zoospores by *Phytophthora cryptogea* in soils of various textures and matric potential. *Phytopathology*. 66. p. 877-882.
- Furr J. R. et Carpenter, (1961). Program for breeding citrus rootstocks tolerant to *Phytophthora* root rot. *Florida State Horticultural Society*. 74. p. 18-23.
- Graham J. and Feichtenberger E. (2015). Citrus phytophthora diseases: Management challenges and successes. *Journal of Citrus pathology*. 2(1). p. 1-11.
- Graham J. H. (1995). Root regeneration and tolerance of citrus rootstocks to root rot caused by *Phytophthora nicotianae*. *Phytopathology*. 85. p. 111-117.
- Graham JH, Timmer LW, Dewdney MM, (2019). Florida Citrus Pest Management Guide: *Phytophthora* Foot Rot and Root Rot. Florida: The Plant Pathology Department, UF/IFAS Extension: IFAS publication. PP.156. 7 pages.
- Graham Jim, Mike Irey and John Taylor. (2011). *Phytophthora* damage to roots A potential contributor to decline of HLB affected Trees. *Citrus Industry* • May 2011.
- Graham TL (1991) Flavonoid and isoflavonoid distribution in developing soybean seedling tissues and in seed and root exudates. *Plant Physiol* 95.p.594–603.
- Harris D. C. (1991). The *Phytophthora* diseases of apple. *Journal of Horticultural Science*. 66 (5). p. 513-544.
- Hua C, Yang X, Wang Y . (2015). *Phytophthora sojae* and soybean isoflavones, a model to study zoospore chemotaxis. *Physiol Mol Plant Pathol*. 92. p. 161-165
- Jung, T., Blaschke, H. and Obwald, W. (2000). Involvement of soilborne *Phytophthora* species in Central European oak decline and the effect of site factors on the disease. *Plant Pathol*. 49. p. 706–718
- Kuan T. L. et Erwin D.C. (1980). Predisposition effect of water saturation of soil on *Phytophthora* root rot of Alfalfa. *Phytopathology*. 70. p. 981-986.
- Kuan T. L. et Erwin D.C. (1982). Effect of soil matric potential on *Phytophthora* root rot of alfalfa. *Phytopathology*. 72. p. 543-548.
- MacDonald J. D. and Duniway J. M., (1978 a). Temperature and water stress effects on sporangium viability and zoospore discharge in *Phytophthora cryptogea* and *P. megasperma*. *Phytopathology*. 68. p. 1449-1455.
- MacDonald, J.D., and Duniway, J.M. (1978b). Influence of the matric and osmotic components of water potential on zoospore discharge in *Phytophthora*. *Phytopathology*. 68. p. 751-757.
- Morris PF, Ward EWB. (1992). Chemoattraction of zoospores of the soybean pathogen, *Phytophthora sojae*, by isoflavones. *Physiol Mol Plant Pathol*. 40. p. 17-22.
- Naqvi Samh, (2004). Diagnosis and management of certain important fungal diseases of citrus. In: Naqvi Samh, eds. *Diseases of Fruits and Vegetables-Diagnosis and Management*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 1. p. 339–359.
- Peddinti, S.R., B.V.N.P. Kambhammettu, Shashi Ranjan, Saurabh Suradhaniwar, Mrunalini R. Badnakhe, J. Adinarayana, and R.M. Gade. (2018). Modeling soil–water–disease interactions of flood-irrigated mandarin orange trees: Role of root distribution Parameters. *Vadose Zone Journal*. *Advancing Critical Zone Science*. 17(170129). p. 1-13. doi:10.2136/vzj2017.06.0129.
- Ploetz Randy C. and Bruce Schaffer. (1987). Effects of flooding and *Phytophthora* root rot on photosynthetic characteristics of avocado. *Proc. Fla. State Hort. Soc*. 100. p. 290-294.

- Reynolds, S. G. (1970). The gravimetric method of soil moisture determination Part I : A study of equipment, and methodological problems. *Journal of Hydrology*. 11(3). p. 258–273.
- Rhoades C.C., Brosi S.L., Dattilo A.J., and Vincelli P. (2003). Effect of soil compaction and moisture on incidence of phytophthora root rot on American chestnut (*Castanea dentata*) seedlings. *Forest Ecology and Management*. 184. p. 47–54.
- Riggs K (2010) Chemotaxis of *Phytophthora sojae* zoospores to soybean roots is altered by isoflavone silencing. Honors thesis, Ohio State University, Columbus, OH, USA. 18 pages.
https://kb.osu.edu/bitstream/handle/1811/45485/Honors_Thesis_Kara_Riggs.pdf
- Sena Kenton L., Kevin M. Yeager , Tyler J. Dreaden and Christopher D. Barton. (2018). Phytophthora cinnamomi colonized reclaimed surface mined sites in Eastern Kentucky: implications for the restoration of susceptible species. *Forests*. 2018. 9 (203).p.1-15. doi:10.3390/f9040203
- Sterne, R. E., Zentmyer G. A., and Kaufmann M. R. (1977). The effect of matric and osmotic potential of soil on Phytophthora root disease of *Persea indica*. *Phytopathology*. 67. p. 1491-1494.
- Suo Bing, Qiuming Chen, Wenxu Wu, Di Wu, Miao Tian, Yan Jie, Bin Zhang, et Jingzhi Wen. (2016). Chemotactic responses of *Phytophthora sojae* zoospores to amino acids and sugars in root exudates. *J Gen Plant Pathol*. 82. p. 142-148. DOI 10.1007/s10327-016-0651-1
- Tarafdar A, Rani TS, Chandran USS, Ghosh R, Chobe DR and Sharma M. (2018). Exploring combined effect of abiotic (soil moisture) and biotic (*sclerotium rolfsii* Sacc.) stress on collar rot development in chickpea. *Front. Plant Sci*. 9:1154 p. 1-13. doi: 10.3389/fpls.2018.01154.
- Timmer L. W., Agostini J.P., Graham J. H. and Castel W.S. (1991). Relationship of citrus rootstock to Phytophthora root rot and population of *Phytophthora parasitica*. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*104. p. 173-178.
- Timmer, L. W. Sandler, H. A., Graham, J. H., and Zitko, S. E. (1988). Sampling Citrus orchards in Florida to estimate populations of *Phytophthora parasitica*. *Phytopathology*.78.p.940-944.
- Timmer, L.A., Menge, J.A., Zitko, S.E., Pond, E., Miller, S.A. & Johnson, E.L., (1993). Comparison of ELISA techniques and standard isolation methods for *Phytophthora* detection in citrus orchards in Florida and California. *Plant Dis*. 77. p. 791-796.
- Tyler BM. (2007). *Phytophthora sojae*: root rot pathogen of soybean and model oomycete. *Mol Plant Pathol*. 8. p. 1-8.
- Wilcox, W.F., and Mircetich, S.M., (1985). Effects of flooding duration on the development of Phytophthora root and crown rots of cherry. *Phytopathology*.75.p.1451–1455.
- Zhang Zhuoqun , Ying Xu, Guangmei Song, Xinying Gao, Yuqi Zhao, Mengzhen Jia, Yufei Chen, Bing Suo, Qiuming Chen, Di Wu, Wenxu Wu, Jingzhi Wen. (2019). n. *Journal of General Plant Pathology*. 85. p. 201-210.