

Effet de la salinité de l'eau d'irrigation sur la colonisation des racines des porte-greffes d'agrumes par *Phytophthora parasitica*

Hamid BENYAHIA^{a*}, Mustapha AIT HADDOU MOULOUD^a, Ahmed JRIFI^a, Yamna LAMSETTE^b

^a Unité de recherche
Amélioration et conservation
des ressources
phytogénétiques, laboratoire
d'Amélioration des agrumes,
Inra, El Menzeh, BP 257,
Kenitra, Maroc
hamidbenyahia2002@yahoo.fr

^b Laboratoire de Physiologie
végétale, Faculté des
Sciences, Dhar El Mehraz,
Fes, Maroc

Effect of irrigation water salinity on the colonization of citrus rootstock roots by *Phytophthora parasitica*.

Abstract — Introduction. In Morocco, the most used citrus rootstock is the sour orange (*Citrus aurantium* L.). It confers on the trees an acceptable resistance to root rot disease due to *Phytophthora parasitica*. However, the soil and water salinity observed in the majority of the citrus-growing areas of the country can affect this resistance. Our experiment aimed at evaluating the effect of the water salinity on the colonization by *P. parasitica* of some citrus rootstock roots. **Materials and methods.** Six-month-old seedlings of sour oranges, citranges Troyer (*Poncirus trifoliata* × *Citrus sinensis*) and Rough lemons (*C. jambhiri*) were irrigated for 21 days with a half-diluted Hoagland solution with a variable osmotic potential, because adjusted to (-1.28, -2.32 and -3.11) bars by addition either of sodium chloride (NaCl) or of sodium sulphate (Na₂SO₄). An inoculation was then made by steeping the root systems in a *P. parasitica* zoospore suspension for 24 h. **Results.** The osmotic potential increase of the irrigation solution by addition of NaCl or Na₂SO₄ supported the development of root rot for the three rootstocks. Moreover, the osmotic potential increase of the solution by addition of NaCl predisposed the root systems to some intense colonization by *P. parasitica*. **Discussion.** The specific effect of salinity would be at the origin of the increase in the rootstock root colonization by *P. parasitica*.

Morocco / *Citrus* / variety trials / plant diseases / *Phytophthora parasitica* / salinity / salt tolerance / root rots

Effet de la salinité de l'eau d'irrigation sur la colonisation des racines des porte-greffes d'agrumes par *Phytophthora parasitica*.

Résumé — Introduction. Au Maroc, le porte-greffe d'agrumes le plus utilisé est le bigaradier (*Citrus aurantium* L.). Il confère aux arbres une résistance acceptable vis-à-vis de la pourriture racinaire causée par *Phytophthora parasitica*. Cependant, la salinité des sols et des eaux d'irrigation observée dans la majorité des régions productrices d'agrumes au Maroc peuvent affecter cette résistance. L'objectif de notre expérimentation a été d'évaluer l'effet de la salinité sur la colonisation des racines de quelques porte-greffes d'agrumes par *P. parasitica*. **Matériel et méthodes.** Des plants de bigaradier, citrange Troyer (*Poncirus trifoliata* × *Citrus sinensis*) et Rough lemon (*C. jambhiri*) âgés de 6 mois ont été irrigués pendant 21 jours avec une solution de Hoagland à 50 % de potentiel osmotique variable, car ajusté à (-1,28, -2,32 et -3,11) bars par addition soit de chlorure de sodium (NaCl), soit de sulfate de sodium (Na₂SO₄). Une inoculation a alors été faite par trempage des systèmes racinaires dans une suspension de spores de *P. parasitica* pendant 24 h. **Résultats.** L'augmentation du potentiel osmotique de la solution d'irrigation par addition de NaCl ou de Na₂SO₄ a favorisé le développement d'une pourriture racinaire chez les trois porte-greffes. En outre, l'augmentation du potentiel osmotique de la solution d'irrigation par addition de NaCl a prédisposé les systèmes racinaires à une colonisation intense par *P. parasitica*. **Discussion.** L'effet spécifique de la salinité serait à l'origine de l'augmentation de la colonisation des racines des porte-greffes par *P. parasitica*.

* Correspondance et tirés à part

Reçu le 18 mars 2003
Accepté le 18 novembre 2003

Fruits, 2004, vol. 59, p. 101-108
© 2004 Cirad/EDP Sciences
All rights reserved
DOI: 10.1051/fruits:2004010
RESUMEN ESPAÑOL, p. 108

Maroc / *Citrus* / essai de variété / maladie des plantes / *Phytophthora parasitica* / salinité / tolérance au sel / pourriture des racines

1. Introduction

De toutes les maladies cryptogamiques menaçant les vergers d'agrumes marocains, les maladies à *Phytophthora* spp. sont les plus importantes [1–3]. Ces agents pathogènes peuvent attaquer tous les organes de l'arbre et peuvent provoquer une pourriture des racines, une gommose du tronc et des branches charpentière, ainsi qu'une pourriture brune sur fruits [4–6].

Les études menées jusqu'à présent ont permis d'identifier les différentes espèces de *Phytophthora* associées aux agrumes, de préciser leurs modalités d'attaque et de rechercher des mesures de lutte possibles. L'utilisation de porte-greffes résistants tels que le citrange Troyer et le bigaradier s'est révélée efficace. En fait, bien que la résistance de cette dernière espèce aux *Phytophthora* spp. ne soit pas absolue [3, 7, 8], elle est considérée comme acceptable par les agrumiculteurs marocains. Cependant, les travaux de Sulistyowati et Keane [9] ont montré que, sous certaines conditions d'hydromorphie ou de salinité de sol, la résistance de ce porte-greffe vis-à-vis de la gommose du tronc pouvait être affectée. El Guilli *et al.* ont montré que l'irrigation du bigaradier avec des solutions salines causait une altération de cette résistance à la gommose du tronc [10]. Par ailleurs, Blaker et MacDonald [11] ont rapporté que la croissance prolongée du citrange Troyer dans un sol salin augmentait la sévérité des pourritures de racines dues à *Phytophthora parasitica*. Benyahia [3] a pu noter des corrélations positives entre la conductivité électrique du sol et des eaux d'irrigation et la densité de l'inoculum de *P. parasitica* dans le sol. Selon Timmer *et al.*, la densité d'inoculum de *P. parasitica* au voisinage des agrumes refléterait l'état sanitaire du système racinaire [12].

Dans les régions de production des agrumes au Maroc, la salinité du sol et des eaux d'irrigation tend à devenir une contrainte majeure. Cependant, s'il est démontré que l'augmentation de la salinité du sol prédispose les porte-greffes d'agrumes à une pourriture des racines due à *P. parasitica* [11, 13], le mode d'intervention de la salinité – effet osmotique ou spécifique – n'est pas encore connu. Dans ce contexte, El Guilli

et al. [10] ont déjà montré que l'altération de la résistance du bigaradier vis-à-vis de la gommose du tronc en conditions salines est due à un effet spécifique de l'ion Cl^- plutôt qu'à un effet osmotique de la salinité. Notre expérimentation a donc cherché à déceler l'existence éventuelle d'un effet spécifique des ions Cl^- sur la colonisation des racines des porte-greffes d'agrumes par *Phytophthora* sp. Elle a permis de tester les effets spécifiques de deux types de sel – le sulfate de sodium et le chlorure de sodium – sur trois porte-greffes couramment utilisés en vergers d'agrumes au Maroc.

2. Matériel et méthodes

2.1. Préparation des plants

Les plants de trois porte-greffes – bigaradier (*Citrus aurantium* L.), citrange Troyer (*Poncirus trifoliata* × *Citrus sinensis*) et Rough lemon (*Citrus jambhiri*) – ont été repiqués 3 mois après le semis dans des pots en plastique de 3 L contenant un substrat inerte, la perlite. Ils ont été alors placés sous tunnel plastique, à des températures variant entre (25 et 30) °C. Les plants, arrosés chaque jour, ont été fertilisés tous les 15 j à l'aide d'une solution nutritive constituée, pour 100 L d'eau, de 300 g d'ammonitrate (33,5 %), 30 g de superphosphate triple (45 %) et de 25 g de sulfate de potassium (50 %).

Après 2 mois, 48 plants homogènes de chacun des porte-greffes ont été choisis : ils ont alors été irrigués pendant 1 mois, chaque jour, avec de l'eau du robinet et trois fois par semaine avec une solution de Hoagland [14] diluée de moitié. La conductivité électrique de l'eau de robinet utilisée a été de $0,5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

2.2. Application d'un stress salin

Deux sels – le chlorure de sodium (NaCl) et le sulfate de sodium (Na_2SO_4) – ont été testés pour identifier l'origine – effet osmotique ou effet spécifique des ions Na^+ et Cl^- – du stress éventuel exprimé par les plantes. La solution d'irrigation a donc été ajustée, par addition du NaCl ou du Na_2SO_4 , aux potentiels osmotiques de (–1,28, –2,32 et –3,11) bars.

Pour ajuster le potentiel osmotique de la solution d'irrigation composée d'une solution de Hoagland à 50 % nous avons utilisé les formules suivantes :

$$\Psi_T = \Psi_{1/2H} + \Psi_{os} \quad [15] \quad (1)$$

$$\Psi_{os} = k \times CE \quad (2)$$

$$CE = 1,452 \times S_T \quad (3)$$

Les formules 2 et 3 ont été décrites par Boulaine [16], avec Ψ_T = potentiel hydrique total, $\Psi_{1/2 H}$ = potentiel osmotique de la solution de Hoagland à 50 % égal à -0,5 bar [17], Ψ_{os} = potentiel osmotique généré par une concentration de NaCl ou du Na_2SO_4 , S_T = concentration totale des sels, CE = conductivité électrique en $\text{m}\Omega \cdot \text{cm}^{-1}$, k = un coefficient qui dépend de la nature du sel : k = 0,36 pour le NaCl, et 0,30 pour le Na_2SO_4 [16].

À l'issue de la phase d'élevage, 24 plants par porte-greffe et par sel testé ont été répartis selon un dispositif expérimental de split-plot. Les porte-greffes ont été testés dans les parcelles principales, les potentiels osmotiques dans les parcelles secondaires et deux traitements d'inoculation (plants inoculés, plants non inoculés) ont été considérés en sous-parcelles de ces parcelles secondaires. Du fait de la grande capacité de drainage de la perlite, l'arrosage des plants des différents porte-greffes par la solution saline contenant les différentes concentrations de sels a été fait chaque jour à raison de 400 mL par plant durant les 3 semaines précédant l'inoculation [11].

Parallèlement, pour chaque porte-greffe, des plants témoins soumis aux mêmes stress salins mais non inoculés ont été préparés. Par ailleurs, des témoins non stressés et inoculés ont été constitués par des plants irrigués avec la solution de Hoagland à 50 % ayant un potentiel osmotique de -0,5 bar.

2.3. Inoculation

Une souche de *Phytophthora parasitica* a été isolée à partir du sol du verger d'agrumes d'El Menzeh (Maroc). Le champignon a été cultivé dans des boîtes de Pétri contenant un milieu V8 gélosé [18]. Les cultures ont été incubées à 28 °C à l'obscurité pendant 6 jours avant prélèvement, dans le front de

la croissance de la colonie, de 10 disques de gélose de 6 cm de diamètre chacun. Ces disques contenant le mycélium ont été transférés en boîtes de Pétri contenant 8 mL d'extrait de sol. Cet extrait provenait du surnageant récupéré après filtration [18] de l'addition de 15 g de sol non stérile et d'un litre d'eau distillée, suivie d'une agitation pendant 8 h, puis d'une décantation durant 16 h. Les boîtes de culture ont ensuite été incubées à 24 °C pendant 5 jours afin de stimuler une production importante de sporanges [19]. La libération des zoospores a été alors activée par transfert des boîtes à 4 °C pendant 15 min [20]. Immédiatement après ce choc thermique, le contenu de chaque boîte a été versé dans des récipients et la concentration finale des sporanges a été ajustée à neuf sporanges par mL à l'aide d'une cellule de Malassez [19].

Pour l'inoculation, les systèmes racinaires de différents porte-greffes déterrés ont été trempés pendant 24 h dans les récipients contenant la suspension de zoospores [11–19]. Parallèlement, les témoins non stressés-non inoculés et les témoins stressés-non inoculés ont été trempés uniquement dans de l'eau distillée. Ensuite, les plants ont été séparément repiqués en pots contenant de la perlite et ils ont été répartis selon le dispositif expérimental de départ. L'arrosage a été réalisé avec la solution de Hoagland à 50 % sans addition de sel pendant 1 mois. Les plants ont alors été déterrés et leur système racinaire a été lavé à l'eau courante jusqu'à élimination totale des particules de perlite.

La colonisation des racines par *P. parasitica* a été estimée selon une technique inspirée de celles de Pineau [21] et Affailal [22] : pour chaque traitement et chaque répétition, un prélèvement de 2 g de racines fraîches de chacun des porte-greffes testés a été broyé pendant 2 min dans un mixeur contenant 20 mL d'eau distillée stérile. Un extrait d'un mL de ce broyat de racines a été étalé dans une boîte de Pétri contenant le milieu sélectif Barphy₇₂ constitué de 15 g·L⁻¹ d'extrait de malt, 20 g·L⁻¹ d'agar, 250 mg·L⁻¹ d'ampiciline, 10 mg·L⁻¹ de Rifampicine, 15 mg·L⁻¹ de Benomyl et 72 mg·L⁻¹ d'hymexazole [3]. Trois boîtes de Pétri ont été préparées pour chaque plant échantillonné. Ces boîtes ont été incubées pendant 4 jours, à

l'obscurité et à 28 °C avant que les colonies de *P. parasitica* ne soient comptées. En supposant qu'une propagule et une seule soit à l'origine de l'observation d'une colonie, les résultats de l'analyse ont pu être exprimés en quantité de germes / g de tissus frais.

3. Résultats

3.1. Effet de la salinité et de *P. parasitica* sur l'expression des symptômes de la pourriture racinaire

L'irrigation des porte-greffes par la solution d'irrigation contenant les sels NaCl ou Na₂SO₄ suivie ou non d'une inoculation a favorisé un développement de symptômes de pourriture racinaire chez les trois porte-greffes testés. Ces symptômes correspondent à un brunissement des fibres racinaires avec altération des cellules épidermiques de la racine et des extrémités.

Les symptômes observés chez les plants non inoculés par *P. parasitica* mais stressés par une irrigation avec une solution saline ont ressemblé à ceux observés chez les plants stressés puis inoculés par *P. parasitica*. L'incubation de fragments de racines prélevés sur des plants stressés puis inoculés par *P. parasitica* dans des boîtes de Pétri contenant le milieu Barphy₇₂ a permis d'observer un développement de *P. parasitica* après 48 h à 28 °C en obscurité. En revanche, les fragments issus des plants stressés mais non inoculés n'ont pas donné lieu à l'observation de *P. parasitica*. Par ailleurs, en présence de NaCl ou de NaSO₄ dans la solution d'irrigation, qu'il y ait eu ou non inoculation, une faible intensité des rot-tips (fibres nourricières) a pu être observée par comparaison avec les plants irrigués uniquement par la solution de Hoagland non additionnée par la salinité.

3.2. Effet de NaCl sur la colonisation des systèmes racinaires par *P. parasitica*

L'irrigation des porte-greffes avec de l'eau contenant du NaCl prédisposerait les systèmes racinaires à une colonisation intense par *P. parasitica*. L'analyse de la variance de la variable colonisation des racines (*tableau 1*) montre que les effets potentiels osmotiques et porte-greffes sont significatifs. En revanche, l'interaction [potentiel osmotique × porte-greffe] ne s'est pas révélée significative.

L'augmentation du potentiel osmotique de l'eau d'irrigation due à sa concentration en NaCl a entraîné une intensification de la colonisation des racines des trois porte-greffes (*figure 1*). Quel que soit le porte-greffe considéré, les eaux avec un potentiel osmotique de -3,11 bars ont provoqué les plus fortes colonisations. Cependant, bien que l'augmentation du potentiel osmotique de l'eau d'irrigation ait induit une augmentation conjointe de la colonisation des racines par *P. parasitica*, l'intensité de la colonisation a varié en fonction du porte-greffe (*figure 2*). Le bigaradier a présenté le degré de colonisation le plus élevé avec 610,21 propagules / g de poids frais de racines, alors que le porte-greffe Rough lemon permettait le

Tableau 1.

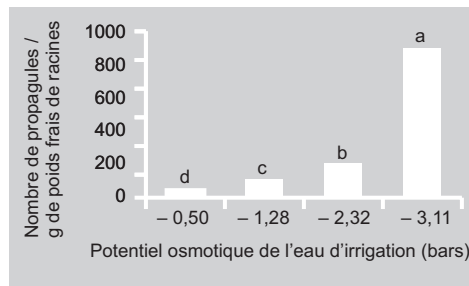
Caractéristiques de l'analyse de variance permettant d'étudier l'influence de deux facteurs (porte-greffe et potentiel osmotique) sur la colonisation de racines d'agrumes par *Phytophthora parasitica*, exprimée par le nombre de propagules / g de racines. Cas de l'irrigation des porte-greffes avec de l'eau contenant du NaCl.

Source de variation	Degré de liberté	Valeur de F	Seuil de signification
Porte-greffe (Pg)	2	4,36	0,029 *
Potentiel osmotique (Po)	3	17,26	0,001 ***
Interaction (Pg × Po)	6	2,58	0,05 ns

*** Différences très hautement significatives, * significatives, ns = non significatives au seuil de 5 %.

Figure 1.

Effet de différentes valeurs du potentiel osmotique de l'eau d'irrigation obtenues par addition de NaCl, sur la colonisation de racines d'agrumes par *Phytophthora parasitica* (test de Duncan, au seuil de 5 %).



comptage de 408,11 propagules / g de racines et le citrange Troyer, 161,77 propagules / g de racines.

3.3. Effet de Na_2SO_4 sur la colonisation des systèmes racinaires par *P. parasitica*

La colonisation des systèmes racinaires par *P. parasitica* s'est révélée indépendante du potentiel osmotique de l'eau lorsque l'irrigation des porte-greffes avait été effectuée avec de l'eau contenant du Na_2SO_4 (tableau II). Pour un porte-greffe donné traité avec des solutions de Na_2SO_4 présentant des potentiels osmotiques différents, la concentration en sel de l'eau d'irrigation n'a pas eu d'influence sur la colonisation des racines par *P. parasitica* (figure 3).

3.4. Synthèse des effets imputables aux sels sur la colonisation des systèmes racinaires par *P. parasitica*

La comparaison entre les effets de NaCl et de Na_2SO_4 , à niveau égal du potentiel osmotique de l'eau d'irrigation, a révélé que, quel que soit le sel utilisé, les potentiels osmotiques de $-0,5$ bars et $-1,28$ bars ont occasionné une colonisation modérée des racines de porte-greffes par *P. parasitica* (figure 4). À partir de $-1,28$ bars, la colonisation a augmenté de façon continue en présence de concentrations croissantes de NaCl dans l'eau d'irrigation, alors qu'elle se révélait plus ou moins stable en présence de Na_2SO_4 .

4. Discussion

Au cours de notre étude, l'irrigation répétée des porte-greffes par des eaux chargées en NaCl ou en Na_2SO_4 a causé d'une part une pourriture des racines (rot-tips) avec une réduction de la production de fibres nourricières, d'autre part, en présence de NaCl dans la solution d'irrigation, une prédisposition à une colonisation intense des systèmes racinaires par *P. parasitica*.

Les symptômes de pourriture observés chez les plants stressés-non inoculés sont conformes aux résultats obtenus par Sulis-

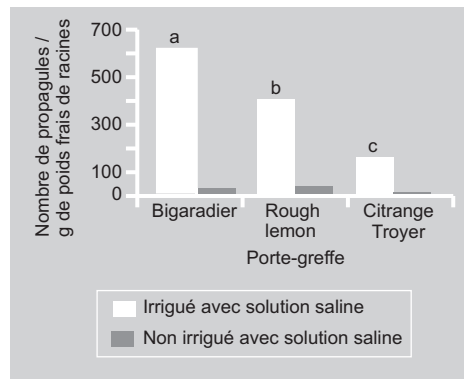


Figure 2. Comparaison de la colonisation des racines de trois porte-greffes d'agrumes par *Phytophthora parasitica* après irrigation ou non avec une solution saline contenant du NaCl, appliquée pendant 3 semaines avant inoculation par *P. parasitica* (test de Duncan, au seuil de 5 %).

Tableau II.

Caractéristiques de l'analyse de variance permettant d'étudier l'influence de deux facteurs (porte-greffe et potentiel osmotique) sur la colonisation de racines d'agrumes par *Phytophthora parasitica*, exprimée par le nombre de propagules / g de racines. Cas de l'irrigation des porte-greffes avec de l'eau contenant du Na_2SO_4 .

Source de variation	Degré de liberté	Valeur de F	Seuil de signification
Porte-greffe (Pg)	2	1,96	0,17 ns
Potentiel osmotique (Po)	3	1,22	0,33 ns
Interaction (Pg × Po)	6	0,44	0,84 ns

ns = différences non significatives au seuil de 5 %.

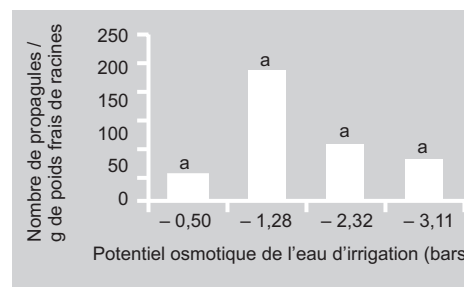
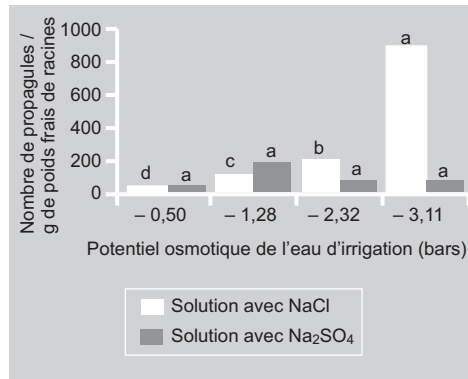


Figure 3. Effet de différentes valeurs du potentiel osmotique de l'eau d'irrigation obtenues par addition de Na_2SO_4 , sur la colonisation de racines d'agrumes par *Phytophthora parasitica* (test de Duncan, au seuil de 5 %).

tyowati [13] selon lesquels, en milieu hydroponique, la salinité causerait une pourriture des racines semblable à celle provoquée par *P. citrophthora*. Par ailleurs, Blaker et MacDonald [11] ont signalé une pourriture des racines de porte-greffes d'agrumes inférieure à 1,2 % en présence d'eau saline. Les mêmes auteurs ont rapporté que la pourriture racinaire des agrumes provoquée par *P. parasitica* était stimulée par la salinité qui

Figure 4. Effet de différentes valeurs du potentiel osmotique de l'eau d'irrigation obtenues par addition de NaCl ou Na₂SO₄, sur la colonisation de racines d'agrumes par *Phytophthora parasitica* (pour chacun des deux sels, test de Duncan au seuil de 5 %).



entraînerait une atteinte du système racinaire et une diminution de la capacité de régénération des fibres racinaires.

Cette pourriture observée sans inoculation pourrait être le résultat de l'altération de cellules épidermiques de la racine par la salinité. En effet, Chaibi [23] a rapporté que, chez la luzerne, la présence de NaCl dans l'eau d'irrigation provoquait la lyse des cellules externes de la racine. Hodson et Mayer [24] ont également observé des lésions brunâtres au niveau de la couche externe de la racine après seulement 24 h d'exposition des plants de petit pois à une solution de NaCl à 120 mM. Des résultats similaires ont été notés dans l'interaction salinité et *Chrysanthemum moniliforme* par Swiecki et MacDonald [25].

L'irrigation avec des eaux riches en NaCl prédisposerait aussi les trois porte-greffes testés à une colonisation intense des racines par *P. parasitica*. L'augmentation de la colonisation en présence de NaCl serait à rapprocher des travaux de MacDonald [26, 27] chez le couple *P. cryptogea* / *Chrysanthemum*, de ceux de Sulistyowati [13] chez le couple *P. citrophthora* / agrumes et de ceux de Afailal [22] chez le couple *Verticillium lboatum* / tomate. En effet, selon ces divers auteurs, l'augmentation de la salinité de l'eau d'irrigation stimulerait une colonisation intense des plantes par l'agent pathogène.

La colonisation intense par *P. parasitica* observée au cours de notre étude pourrait être le résultat d'une augmentation des sites d'infection au moment de l'inoculation, d'une

progression intense de l'agent pathogène dans les tissus de la racine ou encore de la production de l'inoculum secondaire.

D'après Campebell et Pitman [28], les fortes concentrations de l'ion sodium dans le sol pourrait augmenter la perméabilité des cellules membranaires et perturber l'organisation cellulaire. Il en résulterait une sécrétion de substances chimiques dont la composition agirait sur le degré d'attachement des agents pathogènes sur la racine [29]. MacDonald [27] a rapporté que le stress salin augmentait le nombre de zoospores de *P. parasitica* fixées sur la racine du *Chrysanthemum moniliforme*. Une stimulation de la progression de *P. parasitica* dans les racines de tomate a également été notée par Swiecki et MacDonald [30].

Des trois porte-greffes utilisés, c'est le citrange Troyer qui, en présence de NaCl dans la solution d'irrigation, a eu les racines les moins colonisées par rapport au bigaradier et au Rough lemon. La résistance réduite des porte-greffes, et plus particulièrement celle du bigaradier traduite par l'intensité de colonisation de ses racines, pourrait être liée à l'un des effets physiologiques de la salinité sur les agrumes, à savoir soit l'effet spécifique de l'ion, soit l'effet osmotique [31, 32]. Au cours de nos expérimentations, l'augmentation de la concentration de Na₂SO₄ n'a pas provoqué d'augmentation de la colonisation, à l'inverse de ce qui a été observé avec NaCl. Par ailleurs, étant donné que le citrange Troyer, à l'inverse du Rough lemon, a fortement tendance à exclure l'ion Cl⁻ de la racine [32], nous pensons que la colonisation des racines en conditions de salinité pourrait être conditionnée par un effet spécifique des ions Cl⁻ qui stimuleraient la croissance de l'agent pathogène *in vivo*, ou qui auraient un effet entravant pour les mécanismes de défense de la plante [9]. Dans ce sens, chez les espèces du genre *Citrus*, la résistance des porte-greffes à la pourriture du tronc provoquée par *P. citrophthora* serait étroitement liée à la capacité d'accumulation d'une phytoalexine : la 6,7 diméthoxycoumarine (DMC) [33, 34]. Une des hypothèses explicative de l'augmentation de la colonisation des racines par *P. parasitica* en conditions de salinité serait alors une diminution de la concentration de la DMC dans les tissus des porte-greffes.

Ainsi, d'après nos résultats et surtout en se basant sur l'absence d'un effet du potentiel osmotique sur la colonisation des racines par *P. parasitica* en présence de Na_2SO_4 , l'altération de la résistance des porte-greffes à cette colonisation serait davantage due à un effet spécifique de l'ion qu'à un effet osmotique. Globalement donc, l'augmentation de la concentration en sel, notamment en NaCl , dans l'eau d'irrigation causerait d'une part une pourriture des racines et prédisposerait d'autre part les porte-greffes d'agrumes à une plus grande colonisation des racines par *P. parasitica* par effet spécifique de l'ion Cl^- .

Références

- [1] Vanderweylen A., Contribution à l'étude de la gommose à *Phytophthora* des agrumes au Maroc, Univ. Nancy, thèse, Nancy, France, 1982, 160 p.
- [2] Serrhini M.N., La résistance de *Phytophthora citrophthora* au metalaxyl, Univ. Cathol. Louvain, thèse, Belgique, 1986, 150 p.
- [3] Benyahia H., Effet de la salinité sur le développement des maladies à *Phytophthora* des agrumes au Maroc, Univ. Cadi Ayyad, thèse, Fac. Sci., Semlalia, Marrakech, 1998, 170 p.
- [4] Whiteside J.O., Garsnay S.M., Timmer L.W., Compendium of citrus diseases, Am. Phytopathol. Soc. (APS), St. Paul, Minn, USA, 1988, 105 p.
- [5] Graham J.H., Root regeneration and tolerance of *Citrus* rootstocks to root rot caused by *Phytophthora nicotianae*, Phytopathology 85 (1995) 111–117.
- [6] Timmer L.W., Garnsey S.M., Graham J.H., Compendium of citrus diseases, Am. Phytopathol. Soc. (APS), St. Paul, Minn, USA, 2002.
- [7] Boccas B., Laville E., Les maladies à *Phytophthora* des agrumes, Edition IRFA, Paris, France, 1976, 162 p.
- [8] El Guilli M., Benyahia H., Variability of susceptibility within 18 clones of *Citrus aurantium* L. to *Phytophthora* root rot, 5th Arab. Congr. Plant Prot., Fez, Morocco, 1994.
- [9] Sulistyowati L., Keane P.J., Effect of soil salinity and water content on stem rot caused by *Phytophthora citrophthora* and accumulation of phytoalexin in *Citrus* rootstocks, Phytopathology 82 (1992) 771–777.
- [10] El Guilli M., Benyahia H., Jrfi A., Besri M., Effet de la salinité de l'eau d'irrigation sur la sévérité de la gommose du tronc d'agrumes due à *Phytophthora citrophthora*, Fruits 55 (2000) 184–186.
- [11] Blaker N.S., MacDonald J.D., The role of salinity in development of *Phytophthora* root rot of *Citrus*, Phytopathology 76 (1986) 970–975.
- [12] Timmer L.W., Sandler H.A., Graham J.H., Zitko S.E., Sampling citrus orchards in Florida to estimate populations of *Phytophthora parasitica*, Phytopathology 78 (1988) 940–944.
- [13] Sulistyowati L., Effect of salinity on development of root infections caused by *Phytophthora citrophthora* in citrus rootstocks growing in hydroponics, Agrivita 16(1) (1993) 13–19.
- [14] Hoagland D.R., Arnon D.I., The water culture method for growing plants without soil, Calif. Agric. Exp. Stn. Circ. 347, 1950, 32 p.
- [15] Swart W.J., Conradie E., Wingfield M.J., Venter W.B., Effects of water stress on the development of cambial lesions caused by *Cryphonectria cubensis* on *Eucalyptus grandis*, Plant Dis. 76 (1992) 744–746.
- [16] Boulaine J., Cours d'hydrologie, Inst. Natl Agron., Maroc, 1978, 192 p.
- [17] Zekri M., Effects of NaCl on growth and physiology of sour orange and Cleopatra mandarin seedlings, Sci. Hortic.-Amsterdam 47 (1991) 305–315.
- [18] Matheron M.E., Metjka J.C., *In-vitro* activity of sodium tetrathiocarbonate on sporulation and growth of six *Phytophthora* species, Phytopathology 78 (1988) 1234–1237.
- [19] Matheron M.E., Matejka J.C., Effects of temperature on sporulation and growth of *Phytophthora citrophthora* and *P. parasitica* and development of foot and root rot on *Citrus*, Plant Dis. 76 (1992) 1103–1109.
- [20] Matheron M.E., Metjka J.C., Effect of sodium tetrathiocarbonate metalaxyl, and fosetyl-Al on development and control of *Phytophthora* root rot of *Citrus*, Plant Dis. 75 (1991) 264–268.
- [21] Pineau R., Étude du comportement du complexe parasitaire *Fusarium-Verticillium* chez la tomate, ENAIA Nancy, thèse, France, 1983, 182 p.
- [22] Afailal A., Manifestation de la verticilliose sur les tomates sensibles et résistantes : effet de la salinité sur le développement des deux races de *Verticillium dahliae* Kleb. et sur la

- réaction des plantes à l'agent pathogène, Fac. Sci. Rabat, thèse, Maroc, 1987, 127 p.
- [23] Chaibi-Cossentini W., Étude physiologique, ultrastructurale et cytoenzymologique de l'effet du chlorure de sodium chez *Medicago sativa* L. (cultivar Gabes), Fac. Sci. Tunis, thèse, Tunisie, 1995, 224 p.
- [24] Hodson M.J., Mayer A.M., Salt induced changes in the distribution of amyloplasts in the root cap of excised pea roots in culture, *Ann. Bot.-London* 59 (1986) 499–503.
- [25] Swiecki T.J., MacDonald J.D., Histology of *Crysanthemum* roots exposed to salinity and *Phytophthora cryptogea*, *Can. J. Bot.* 66 (1988) 280–288.
- [26] MacDonald J.D., Effect of salinity stress on the development of *Phytophthora* root rot of *Chrysanthemum*, *Phytopathology* 72 (1982) 214–219.
- [27] MacDonald J.D., Salinity effects on the susceptibility of *Chrysanthemum* root rot to *Phytophthora cryptogea*, *Phytopathology* 74 (1984) 621–624.
- [28] Campbell L.C., Pitman M.G., Salinity and plant cells, in: *Salinity and water use*, Wiley Intersci., New York, USA, 1971, pp. 207–224.
- [29] Hinch J., Clarke A.E., Adhesion of fungal zoospores to root surfaces is mediated by carbohydrate determinants of the root lime, *Physiol. Plant Pathol.* 16 (1980) 303–307.
- [30] Swiecki T.J., MacDonald J.D., Soil salinity enhances *Phytophthora* root rot of tomato but hinders asexual reproduction of *Phytophthora parasitica*, *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 116(3) (1991) 471–477.
- [31] Walker R.R., Blackmore D.H., Sun Q., Carbon dioxide assimilation and foliar ion concentrations in leaves of lemon (*Citrus limon* L.) trees irrigated with NaCl or Na₂SO₄, *Aust. J. Plant Physiol.* 20(2) (1993) 173–185.
- [32] Maas E.V., Salinity and citriculture, *Tree Physiol.* 12(2) (1993) 195–216.
- [33] Afek U., Szejnberg A., Carmely S., 6,7-dimethoxycoumarin, a citrus phytoalexin conferring resistance against *Phytophthora* gummosis, *Phytochemistry* 25(8) (1986) 1855–1856.
- [34] Sulistyowati L., Keane P.J., Anderson J.W., Accumulation of the phytoalexin, 6,7-dimethoxycoumarin, in roots and stems of citrus seedlings following inoculation with *Phytophthora citrophthora*, *Physiol. Mol. Plant P.* 37(6) (1990) 451–461.

Efecto de la salinidad del agua de riego en la colonización de las raíces de patrones de cítricos por *Phytophthora parasitica*.

Resumen — Introducción. El patrón de cítricos más empleado en Marruecos es el naranjo amargo (*Citrus aurantium* L.) que proporciona a los árboles una resistencia aceptable frente a la podredumbre radicular causada por *Phytophthora parasitica*. Sin embargo, la salinidad de los suelos y de las aguas de riego observada en la mayoría de las regiones productoras de cítricos en Marruecos pueden afectar dicha resistencia. Nuestro experimento tenía como objetivo evaluar el efecto de la salinidad en la colonización de las raíces de algunos patrones de cítricos por *P. parasitica*. **Material y métodos.** Se regaron plantas de *C. aurantium*, citrange Troyer (*Poncirus trifoliata* × *Citrus sinensis*) y Rough lemon (*C. jambhiri*) de 6 meses de edad, durante 21 días, con una solución de Hoagland al 50% de potencial osmótico variable, ya que se ajustó a (-1,28, -2,32 y -3,11) bares mediante adición, bien de cloruro sódico (NaCl), bien de sulfato sódico (Na₂SO₄). Luego, se efectuó una inoculación mediante remojado de los sistemas radiculares en una suspensión de esporas de *P. parasitica* durante 24 h. **Resultados.** El aumento del potencial osmótico de la solución de riego mediante la adición de NaCl o de Na₂SO₄ favoreció el desarrollo de una podredumbre radicular en los tres patrones. Además, el aumento del potencial osmótico de la solución de riego mediante la adición de NaCl predispuso los sistemas radiculares a una colonización intensa por *P. parasitica*. **Discusión.** El efecto específico de la salinidad sería la causa del aumento de la colonización de las raíces de los patrones por *P. parasitica*.

Marruecos / Citrus / ensayos de variedades / enfermedades de las plantas / Phytophthora parasitica / salinidad / tolerancia a la sal / podredumbre de la raíz