

Influence de *Meloidogyne arenaria* sur la sensibilité de deux cultivars de tomate à *Pseudomonas solanacearum* (E.F. Smith) dans les Antilles françaises

P. CADET (1), P. PRIOR (2), H. STEVA (3)

RÉSUMÉ — L'influence de *Meloidogyne arenaria* sur le flétrissement, causé par *Pseudomonas solanacearum* (E.F. Smith), de deux cultivars de tomate dont un très sensible au flétrissement (Floradel) et l'autre plus résistant (Caraïbo), a été étudiée. Deux souches de bactéries ont été inoculées avec 0, 100, 1 000 et 10 000 larves de *Meloidogyne*. Une des souches de *P. solanacearum* était peu pathogène (MT4) et l'autre très pathogène (MT1). La sensibilité du cultivar Floradel envers MT4 n'est pas modifiée par la présence des nématodes ; par contre la résistance du cultivar Caraïbo varie en fonction de la quantité de *Meloidogyne* inoculée. Quand le cultivar Caraïbo est inoculé avec la souche très pathogène MT1, les symptômes apparaissent plus tôt et la progression de la maladie est accélérée par l'action des nématodes. En absence de bactérie, 10 % des tomates infestées avec 10 000 larves meurent pendant la durée de l'expérience. La hauteur des plantes est réduite proportionnellement à la densité de l'inoculum en *Meloidogyne*. A l'inverse, *P. solanacearum* n'a pas d'influence sur la croissance des parties aériennes et le développement des galles de *Meloidogyne* sur les racines.

Mots clés : Antilles, tomate, *Pseudomonas solanacearum*, *Meloidogyne arenaria*.

La culture du cultivar de tomate Caraïbo (ANAÏS, 1986), résistante à bon nombre de souches de *Pseudomonas solanacearum* (E.F. Smith), responsable du flétrissement bactérien, s'est très rapidement généralisée dans les Antilles françaises, où cette maladie cause des dégâts considérables (MESSIAEN, 1983). *P. solanacearum* est une bactérie tellurique qui pénètre activement dans les racines de tomate par les blessures, ou par la zone d'émergence des racines secondaires (SCHMIT, 1978). A la Martinique et à la Guadeloupe, des travaux récents (PRIOR et STEVA, 1989 ; PRIOR, résultats non publiés) ont permis de mettre en évidence des différences importantes dans l'agressivité et la virulence des sou-

ches collectées. Outre *P. solanacearum*, les nématodes du genre *Meloidogyne* attaquent et endommagent les racines de tomate. Les *Meloidogyne* provoquent l'apparition de galles racinaires sur les racines de la plupart des plantes qu'ils parasitent, et sont très répandus dans les îles Caraïbes, comme dans toutes les régions tropicales (KERMARREC et DALMASSO, 1981 ; NETSCHER, 1970). L'interaction entre nématodes et *P. solanacearum* a été mise en évidence dans d'autres pays (NAPIERE et QUIMIO, 1980 ; ROUTARAY *et al.*, 1986). L'action de *Meloidogyne* diminue la durée de vie de la plante atteinte par la bactérie. Il était donc important de connaître la réaction de tomates résistantes au flétrissement dans les conditions pédoclimatiques des Antilles, lorsqu'elles sont attaquées simultanément par ces deux agents phytopathogènes.

Matériels et méthodes

Des graines de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill) des cultivars Floradel et Caraïbo, respectivement sensible et résistant au flétrissement bactérien (DALY et DE BON, 1984), ont été semées dans du terreau désinfecté, puis repiquées huit jours plus tard dans des pots de 10 cm de diamètre contenant le même terreau.

A 25 jours, les plants portant 3 ou 4 feuilles sont inoculés avec 0, 100, 1 000 et 10 000 larves de *Meloidogyne*. Les nématodes proviennent de plants de tomates infestés, récoltés à la Martinique dans un champ indemne de flétrissement bactérien. Ces larves sont extraites des racines dans un asperseur à brouillard (SEINHORST, 1950). Quatre jours plus tard, elles sont inoculées avec *P. solanacearum*. Deux souches de *P. Solanacearum* (race 1, biovar III) isolées à partir de tomate à la Martinique par PRIOR et STEVA (1989) ont été utilisées dans cette étude. L'une (MT1) est très pathogène, l'autre (MT4) l'est peu. L'inoculum est préparé à partir de cultures âgées de 48 h, réalisées sur le milieu de Kelman sans chlorure de tétrazolium (KELMAN, 1954) et incubées à une température de 28° C. Dans chaque pot, les bactéries sont apportées dans 1 ml d'eau distillée stérile contenant 10¹⁰ bactéries pour la souche MT4 et 5.10⁸ bactéries pour la souche MT1. Seul le cultivar de tomate résistant Caraïbo a été inoculé avec la souche MT1.

(1) SPV-ORSTOM, BP 8006, 97259 Fort de France Cedex, Martinique.

(2) INRA, BP 1232, 97184 Pointe-à-Pitre Cedex, Guadeloupe.

(3) IRAT-Martinique ; adresse actuelle : INRA, SRIV, BP 131, 33140 Pont de la Maye, France.

TABLEAU I Tableau récapitulatif des différentes situations étudiées. (+ : traitements effectués ; - : traitements non effectués).

	Floradel				Caraïbo			
	0	100	1 000	10 000	0	100	1 000	10 000
Nombre de <i>Meloidogyne</i> inoculés par pot	0	100	1 000	10 000	0	100	1 000	10 000
Sans bactérie	+	+	+	+	+	+	+	+
Avec la souche MT4	+	+	+	+	+	+	+	+
Avec la souche MT1	-	-	-	-	+	+	+	+

Compte tenu de la très grande homogénéité des conditions d'expérimentation en chambre climatique, les interprétations statistiques ont été faites en considérant que l'essai est entièrement randomisé.

Le tableau I donne un aperçu des différents traitements effectués. Chaque traitement est répété 30 fois. Tous les pots sont placés dans une chambre climatique à une température de $28^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$, à une hygrométrie de 80 à 100 % et une photopériode de 12 heures. Pendant les huit premiers jours, les plantes sont arrosées quotidiennement avec 10 cm^3 d'eau distillée, puis la dose est portée à 20 cm^3 les jours suivants.

Les plants de tomate flétris sont dénombrés dans chaque série tous les deux ou trois jours, selon l'échelle proposée par HE *et al.* (1983) : 1 = aucun symptôme apparent ; 2 = une feuille flétrie ; 3 = deux ou trois feuilles flétries ; 4 = au moins quatre feuilles flétries ; 5 = mort du plant. La moyenne de ces notations par date et par traitement a permis d'évaluer des indices de flétrissement. L'évolution de cet indice au cours du temps a été représentée au moyen de droites de régression, non pas pour décrire un processus biologique qui se déroule en plusieurs phases au cours de l'expérience, mais plutôt pour obtenir un outil simple de comparaison des différentes situations étudiées, au moyen de statistiques élémentaires, comme l'analyse de variance.

Le niveau de l'infestation en *Meloidogyne* est évalué en fonction du nombre et de la forme des galles, suivant une échelle classique à 5 niveaux : 1 = pas de galles, 2 = 1 ou 2 galles, 3 = nombreuses galles individualisées ; 4 = galles individualisées et racines déformées et 5 = toutes les racines déformées ou disparues par décomposition. Une cotation de l'infestation par les nématodes est attribuée aux pieds qui flétrissent en cours d'expérience. Dans les séries témoins, les racines des plantes qui n'ont été inoculées qu'avec les bactéries, ont été examinées afin de vérifier qu'elles ne portaient pas de galles. De la même manière, la présence éventuelle de *P. Solanacearum* a été recherchée par isolement sur le milieu de Kelman avec chlorure de tétrazolium dans les plantes inoculées par les nématodes seuls et qui sont mortes durant l'expérience.

A la fin de l'expérimentation, les plants de tomate Caraïbo ont été mesurés du collet à la dernière feuille, pour les séries non inoculées avec la bactérie.

Résultats

Cultivar sensible Floradel. Les plantes qui ont été inoculées avec *P. solanacearum* et avec 1 000 et 10 000 lar-

ves de *Meloidogyne* commencent à flétrir à partir du cinquième jour. Celles qui n'ont reçu que 100 larves ou aucun nématode ne meurent qu'à partir du onzième jour. Trois semaines après le début de l'expérience, 88 % des plants de Floradel sont morts de flétrissement, y compris ceux qui n'ont reçu que la bactérie. L'analyse de variance réalisée sur les droites de régression (figure 1) obtenues entre l'indice de flétrissement et le nombre de jours après inoculation montre que ni les pentes ni les abscisses à l'origine ne sont significativement différentes au seuil de 5 % (tableau II). La maladie évolue donc de la même façon avec ou sans les nématodes.

En l'absence de *P. solanacearum* (tableau III), 7 plants de tomates sur 30, inoculés avec 10 000 *Meloidogyne*, ont péri pendant la durée de l'expérience. Deux plants inoculés avec 100 larves sont également morts pendant la même période. Les isolements ont révélé la présence de *P. solanacearum* dans les vaisseaux de ces

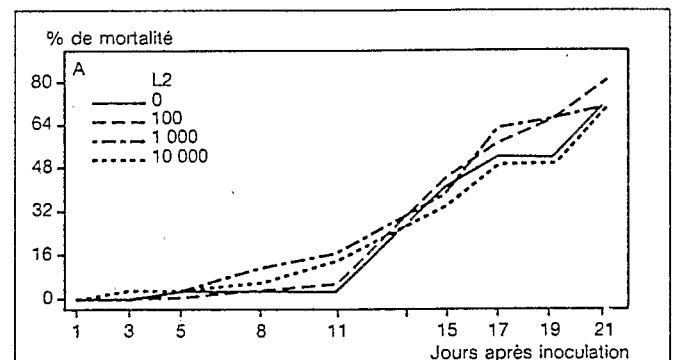


FIGURE 1 a : Evolution du pourcentage de mortalité du cultivar Floradel confronté à la souche peu pathogène MT4, selon la présence ou l'absence des différents inoculums de *Meloidogyne*.

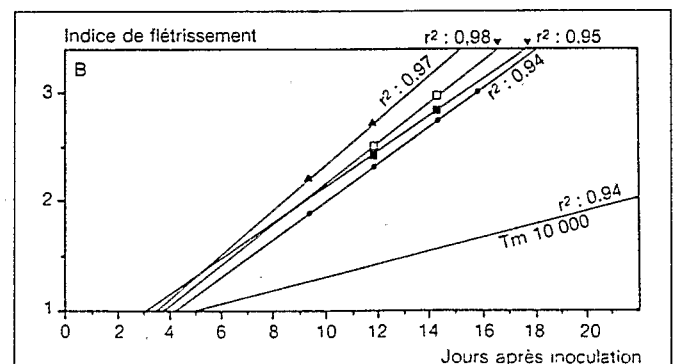


FIGURE 1 b : Traduction schématique de l'évolution de l'indice de flétrissement à l'aide de droites de régression. (Les coefficients de corrélation sont significatifs au seuil de 5 %.)

TABLEAU II Comparaison des pentes et des abscisses à l'origine des droites de régression résumant l'évolution de l'indice de flétrissement dans les différents traitements*.

Traitements (Souche - Nb L2)**	Caraïbo		Floradel	
	Pentes	Abscisses	Pentes	Abscisses
0 - 10 000	0,022 a	5,5 e	0,063 a	4,66 a
MT4 - 0	0,029 a	3,66 c	0,18 b	4,05 a
MT4 - 100	0,029 a	2,66 c	0,20 b	4,1 a
MT4 - 1 000	0,062 b	1,16 b	0,21 b	3,24 a
MT4 - 10 000	0,17 d	0,47 a	0,17 b	3,06 a
MT1 - 0	0,171 d	3,9 c		
MT1 - 100	0,135 c	1,3 c		
MT1 - 1 000	0,134 c	- 4,07 d		
MT1 - 10 000	0,136 c	- 4,07 d		

* Les chiffres qui portent la même lettre ne sont pas statistiquement différents ($p < 0,05$). (Les pentes ont été comparées au moyen d'une analyse de variance, puis les abscisses à l'origine ont été comparées deux à deux). (**: Souche de bactérie et nombre de L2 de *Meloidogyne* inoculés).

plants, qui ont probablement été contaminés accidentellement par les pots voisins.

Cultivar résistant Caraïbo. Réaction à la souche pathogène MT1. Le flétrissement des plantes apparaît dès le troisième jour après l'inoculation de la bactérie dans les pots qui ont également été infestés par *Meloidogyne*. Le pourcentage de mortalité progresse alors très rapidement parmi les plantes qui ont reçu 1 000 et 10 000 larves. Dans les deux autres cas, ce n'est qu'à partir du neuvième jour que le flétrissement des plantes augmente très rapidement. Lorsqu'environ la moitié des plantes sont mortes, la maladie progresse plus lentement parmi les survivantes, puis se stabilise à 80 % dans les quatre situations au 23^e jour.

Cette évolution différente du flétrissement se traduit par des droites de régression (figure 2 et tableau II), dont les pentes sont statistiquement identiques quelle que soit la quantité des nématode apportée. Les abscisses à l'origine diffèrent significativement entre les inoculum 0 - 100 et 1 000 - 10 000 larves par pot.

Réaction à la souche peu pathogène MT4. Le flétrissement des tomates se manifeste d'autant plus tôt que l'inoculum en *Meloidogyne* est élevé : à partir du troisième jour avec 10 000 larves par pot et vers le onzième jour lorsqu'il n'y a pas de nématode. Dans les quatre situations, la mortalité des plantes est d'abord très rapide, puis elle ralentit à partir du quinzième jour après l'inoculation de la bactérie. La troisième semaine, les tomates

cessent pratiquement de flétrir. A ce moment, 13 % seulement des plantes ont disparu parmi celles qui n'ont pas été inoculées avec *Meloidogyne*, ou qui n'ont reçu que 100 larves. Le taux de mortalité se stabilise à 30 % lorsque les tomates ont été infestées avec 1 000 larves par pot. Avec 10 000 nématodes, il atteint 83 % le 23^e jour mais il n'est pas stabilisé ; les tomates continuent de flétrir. L'analyse des droites de régression (figure 3) met en évidence trois types d'évolution de la maladie. Les pentes et les abscisses à l'origine diffèrent significativement entre les situations 0 - 100, 1 000 et 10 000 larves par pot (tableau II).

En l'absence de *P. solanacearum* (tableau III), une seule plante sur 30 est morte dans la série témoin (ni nématode, ni bactérie) et une seule de celles qui ont reçu 1 000 larves. Trois plantes inoculées avec 10 000 *Meloidogyne* ont également péri mais l'une d'entre elles avait été contaminée par la bactérie.

Influence de *Meloidogyne* sur la croissance des parties aériennes des tomates. La présence de 1 000 ou 10 000 larves par pot entraîne une réduction significative de la taille des plants de tomate Caraïbo par rapport au témoin et aux pots inoculés avec 100 larves (tableau IV).

En absence de nématodes, les plantes qui ont survécu malgré l'inoculation avec des souches de *P. solanacearum* sont apparues de la même taille que les plantes qui n'ont pas été inoculées avec *Meloidogyne* et/ou *P. solanacearum*.

TABLEAU III Evolution de la mortalité des tomates non inoculées avec *P. solanacearum*, en fonction de la densité de l'inoculum *Meloidogyne*, et nombre de pieds morts contaminés accidentellement par la bactérie.

	Floradel				Caraïbo			
	0	100	1 000	10 000	0	100	1 000	10 000
Nombre de <i>Meloidogyne</i> inoculés par pot	0	100	1 000	10 000	0	100	1 000	10 000
Nombre de pieds morts	0	2	0	7	1	0	1	3
Nombre de pieds morts contaminés par <i>P. solanacearum</i>	-	2	-	0	0	-	0	1

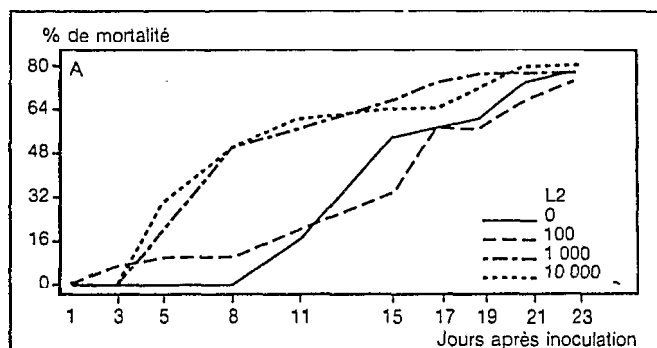


FIGURE 2 a : Evolution du pourcentage de mortalité du cultivar Caraïbo, confronté à la souche pathogène MT1, selon la présence ou l'absence des différents inoculums de *Meloidogyne*.

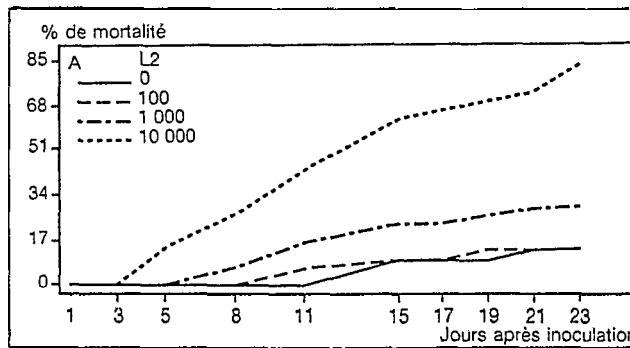


FIGURE 3 a : Evolution du pourcentage de mortalité du cultivar Caraïbo, confronté à la souche peu pathogène MT4, selon la présence ou l'absence des différents inoculums de *Meloidogyne*.

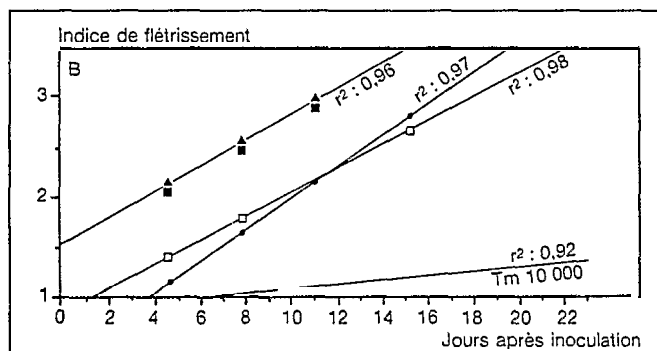


FIGURE 2 b : Traduction schématique de l'évolution de l'indice de flétrissement à l'aide de droites de régression. (Les coefficients de corrélation sont significatifs au seuil de 5 %).

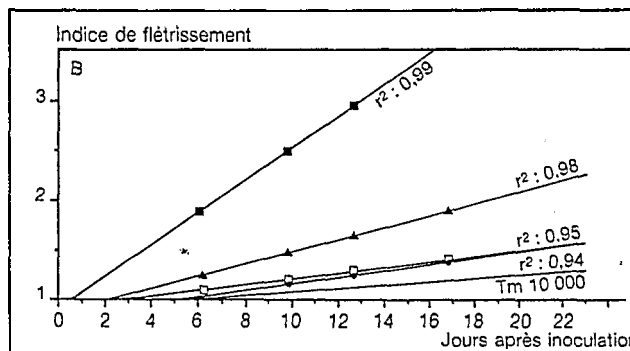


FIGURE 3 b : Traduction schématique de l'évolution de l'indice de flétrissement à l'aide de droites de régression. (Les coefficients de corrélation sont significatifs au seuil de 5 %.)

Influence de *P. solanacearum* sur le développement des galles de *Meloidogyne*. Pour les deux cultivars de tomate, le nombre et l'aspect des galles sont similaires pour les plants inoculés et pour les plants non inoculés avec *P. solanacearum* (figure 4).

Chez le cultivar résistant Caraïbo, la situation est plus nuancée. En présence d'une souche très pathogène, les plantes infestées de nématodes flétrissent huit jours avant celles qui en contiennent peu ou pas du tout. Compte tenu des observations de SCHMIT (1978), il est probable que les blessures occasionnées par les nématodes aux racines facilitent la pénétration de la bactérie dans la plante. Dans ce cas, le nombre létal de bactéries colonisatrices serait évidemment plus vite atteint.

Discussion

Il ressort de cette étude qu'une très forte interaction existe entre *Meloidogyne* et *P. solanacearum* lorsqu'ils parasitent simultanément la tomate. Pour un cultivar sensible comme Floradel, la présence des nématodes ne modifie pas de manière significative la progression de la maladie. Il semble que, quel que soit le nombre de bactéries qui pénètrent dans les racines, la colonisation du xylème atteint très rapidement le seuil létal pour la plante.

En présence d'une souche de *P. solanacearum* peu pathogène, l'évolution de l'indice de flétrissement est directement proportionnelle au nombre de nématodes inoculés ; le cultivar Caraïbo n'apparaît plus résistant au

TABLEAU IV Influence de *Meloidogyne* sur le développement des parties aériennes de la tomate Caraïbo.

	Caraïbo			
Nombre de nématodes par pot	0	100	1 000	10 000
Hauteur moyenne (en cm) *	39,98 a	37,85 a	30,82 b	18,55 c

* Les chiffres qui portent la même lettre ne sont pas significativement différents, $p < 0,05$.

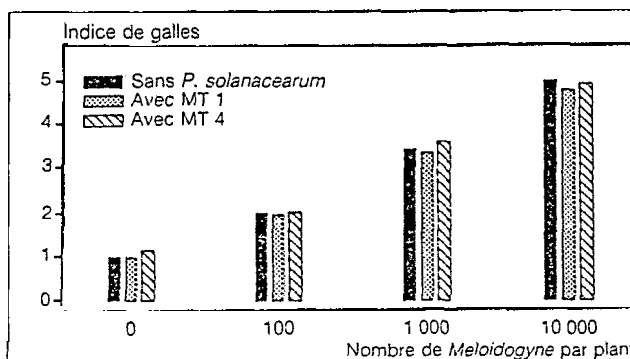


FIGURE 4 : Comparaison de l'indice moyen de galles racinaires pour la tomate Caraïbo, en fonction des différents inoculums de *Meloidogyne*, selon la présence ou l'absence des souches de *Pseudomonas solanacearum*.

flétrissement dès qu'il est fortement attaqué par *Meloidogyne*. Or, si le nématode provoque une réduction de la hauteur des parties aériennes proportionnelle à la densité de l'infestation (SITARA *et al.*, 1984), il n'entraîne que rarement la mort du plant de tomate. La plante tolère bien la présence des nématodes pendant la durée de l'expérience.

Dans l'hypothèse d'une résistance exclusivement « mécanique » de la tomate à la pénétration des bactéries, telle que nous l'avons évoquée précédemment, le processus que nous observons avec Caraïbo s'expliquerait par le fait que la perforation des racines par les nématodes permet à *P. solanacearum* d'envahir la plante. Cependant, cela ne permet pas d'écarter l'hypothèse selon laquelle la diminution de la résistance de Caraïbo proviendrait de son incapacité à combattre la multiplication de la bactérie dans ses vaisseaux, lorsqu'elle est également contrainte de lutter contre les dégâts dus au développement de *Meloidogyne* dans ses racines. L'apparition des galles racinaires est d'ailleurs une preuve des bouleversements physiologiques induits par la présence de cette espèce de nématode, dont le cycle biologique ne semble pas affecté par la présence des bactéries (SELLAM *et al.*, 1982).

Conclusion

Cette étude permet d'expliquer l'augmentation régulière du taux de flétrissement de la tomate Caraïbo dans les champs à la Guadeloupe et à la Martinique (HOSTACHY, BERTRAND, communication personnelle). Les nématodes apparaissent comme un facteur qui augmente la sensibilité des tomates à cette maladie. La résistance à la bactériose ne peut se manifester si un cultivar de tomate uniquement résistant à *P. solanacearum* est cultivé dans un terrain infesté par *Meloidogyne*. Pour cette raison, les programmes de sélection de tomates visent à développer des cultivars qui sont à la fois résistants aux souches les plus pathogènes de bactéries et à *Meloidogyne*.

Reçu le 17 janvier 1989.
Accepté le 16 novembre 1989.

Remerciements. Les auteurs remercient M. P. Daly, J. Fournet et P. Pauvert pour leurs conseils lors de la rédaction de cet article, ainsi que M. J. Bernard qui a réalisé les figures.

Références bibliographiques

- ANAÏS G., 1986. Utilisation de la résistance variétale dans la lutte contre le flétrissement bactérien de la tomate : *Pseudomonas solanacearum* E.F. Smith. *Bull. Tech. d'Inf.*, n° 409-411, ministère de l'Agriculture, Paris, p. 449-453.
- DALY P., DE BON H., 1984. Notes et techniques sur quelques cultures maraichères et vivrières. IRAT-Martinique, 191 p.
- HE L.Y., SEQUEIRA L., KELMAN A., 1983. Characteristics of strains of *Pseudomonas solanacearum* from China. *Plant Dis.*, 67 (12) : 1357-1361.
- KELMAN A., 1954. The relationship of pathogenicity of *Pseudomonas solanacearum* to colony appearance in a tetrazolium medium. *Phytopathology*, 44 : 693-695.
- KERMARREC A., DALMASSO A., 1981. Les nématodes de la culture de la tomate. In : *La tomate aux Antilles*. INRA, édition subventionnée par le Conseil général de Guadeloupe, p. 24-30.
- MESSIAEN C.-M., 1983. Impression de voyage en Martinique : la culture de l'aubergine va-t-elle disparaître définitivement de ce pays ? *Bull. agronomique des Antilles et de la Guyane*, 1 : 17-22.
- NETSCHER C., 1970. Les nématodes parasites des cultures maraichères au Sénégal. *Cah. ORSTOM, Sér. Biol.*, 11 : 209-229.
- NAPIERE C.M., QUIMIO A.J., 1980. Influence of root-knot nematode on bacterial wilt severity in tomato. *Ann. Trop. Res.*, 2 : 29-39.
- PRIOR P., STEVA H., 1990. Characteristics of isolates of *Pseudomonas solanacearum* from the French West Indies (Martinique and Guadeloupe). *Plant. Dis.*, 74 : 13-17.
- ROUTARAY B.N., SAHOO H., DAS S.N., 1986. Response of some nematode resistant tomato cultivars to mixed inoculations of *Meloidogyne incognita* and *Pseudomonas solanacearum*. *Indian J. Nematol.*, 16 : 56-59.
- SCHMIT J., 1978. Microscopy study of early stage of infection by *Pseudomonas solanacearum* E.F. Smith on « in vitro » grown tomato seedlings. *Proc. 4th Int. Conf. Plant pathol.*, Angers, 27 août - 2 septembre 1978. Station de pathologie végétale et phytobactériologie, INRA p. 841-856.
- SEINHORST J.W., 1950. De betekenis van de toestand van de grond voor het optreden van aanstasting door het stengelaaltje (*Ditylenchus dipsaci* (Kühn) Filipjev). *Tijdschr. PlZiekt.*, 56 : 291-349.
- SELLAM M.A., RUSHDI M.H., EL GENDI D.M., 1982. Interrelationship of *Meloidogyne incognita* Chitwood and *Pseudomonas solanacearum* on tomato. *Egypt. J. Phytopathol.*, 12 : 35-42.
- SITARA M., AIAH K., SINHA S.K., 1984. Interaction between *Meloidogyne javanica* and *Pseudomonas solanacearum* on brinjal. *Indian J. Nematol.*, 14 : 1-5.