

BAPBA 1795/1

ISSN : 1388-5545

Nematology, 2000, Vol. 2(8), 895-906

## Incidence de quelques facteurs agronomiques sur les populations de *Meloidogyne* spp. et leurs principaux organismes parasites en culture maraîchère sahélienne

Abdoussalam SAWADOGO<sup>1,\*</sup>, Mamadou T. DIOP<sup>2</sup>, Bouma THIO<sup>1</sup>, Yanougo A. KONATE<sup>1</sup> et Thierry MATEILLE<sup>3,\*\*</sup>

<sup>1</sup> INERA/SPV, B.P. 403, Bobo Dioulasso, Burkina Faso

<sup>2</sup> UCAD, Département de Biologie Animale, B.P. 5005, Dakar, Sénégal

<sup>3</sup> UR IRD 51, Laboratoire de Nématologie, B.P. 1386, Dakar, Sénégal

Accepted for publication: 23 August 2000

**Résumé** – Des prospections nématologiques ont été réalisées dans les régions de production maraîchère de deux pays sahéliens, le Burkina Faso et le Sénégal. Des analyses de correspondances entre quelques facteurs agronomiques et les populations de *Meloidogyne* spp. ont montré que les niveaux des populations telluriques et racinaires n'étaient pas exclusivement liées à la sensibilité des cultures maraîchères en place, mais dépendaient aussi des précédents culturaux ou des agrosystèmes (terres inondées ou exondées) qui prévalent dans ces régions. En outre, la présence de micro-organismes parasites des nématodes (champignons nématophages et *Pasteuria penetrans*) dans les agrosystèmes de terres exondées, permet d'envisager l'intégration de méthodes de contrôle biologique à l'aide d'hyperparasites indigènes aux méthodes de lutte culturale.

**Summary** – *Impact of agronomic factors on Meloidogyne spp. populations and their most common parasites in Sahelian vegetable cropping systems* – Nematode surveys were carried out in vegetable producing areas in two Sahelian countries, Burkina Faso and Senegal. Correspondence analysis between agronomical factors and populations of *Meloidogyne* spp. revealed that vegetable susceptibility to nematodes was not the only factor responsible for soil and root infestations. Population densities would more readily depend on cropping systems (previous crops, often flooded lowlands vs well drained uplands). Natural occurrence of nematode-parasitic microorganisms (nematophagous fungi and *Pasteuria penetrans*) in upland agrosystems was observed and could be used together with cultural practices in an IPM approach.

**Keywords** – Burkina Faso, nematophagous fungi, *Pasteuria penetrans*, previous crops, Sahel, Senegal, soil.

Les problèmes agronomiques dûs aux nématodes phytoparasites du genre *Meloidogyne* sont mondialement connus sur les cultures maraîchères. Les espèces de ce genre, très polyphages, sont présentes sous des latitudes et des climats très divers. Endoparasites sédentaires, elles se reproduisent par parthénogenèse et provoquent des symptômes spectaculaires sur les racines (galles) qui facilitent leur détection.

Le genre *Meloidogyne* est très répandu en Afrique de l'Ouest (Luc & de Guiran, 1960; de Guiran, 1962; Luc, 1968; de Guiran & Netscher, 1970; Netscher & Luc, 1974; Taylor, 1976; Cadet & Mateille, 1985), mais c'est dans deux pays sahéliens, le Sénégal et le Burkina Faso, que

la nématofaune parasite des cultures maraîchères a été la plus étudiée (Netscher, 1970; Sawadogo, 1990). Le genre *Meloidogyne* y est représenté essentiellement par les espèces *M. arenaria*, *M. incognita*, *M. javanica* (Netscher, 1970) et *M. mayaguensis* (Fargette, 1987; Berthou *et al.*, 1989), cette dernière espèce étant capable de parasiter toutes les variétés et plantes maraîchères résistantes aux autres espèces de *Meloidogyne*.

La technique de lutte la plus utilisée dans ces pays pour combattre ces nématodes est la lutte culturale par des rotations avec des cultures pluviales, comme l'arachide ou des céréales (mil, sorgho), ou par abandon périodique des terres cultivées en saison pluvieuse. Récemment, des

\* Corresponding author.

\*\* Current address: CBGP, CSIRO European Laboratory, Campus Agropolis de Baillarguet, 34980 Montferrier-sur-Lez, France.

© Koninklijke Brill NV, Leiden, 2000



010024961

Fonds Documentaire IRD

Cote : B\* 24961 Ex : 1

projets de lutte biologique intégrée ont été développés afin d'améliorer *in situ* l'efficacité d'organismes parasites indigènes, tels que les champignons nématophages (Sawadogo, 1990) ou l'actinomycète *Pasteuria penetrans* (Mateille et al., 1995; Diop, 1998) à travers la gestion des rotations de cultures.

Compte tenu de l'évolution des techniques culturales, de l'intensification de la culture maraîchère et de l'expansion des surfaces cultivées souvent aux dépens des cultures pluviales dans les pays sahéliens, l'objectif de cette étude était de voir dans quelle mesure les facteurs agronomiques propres à ces régions influencent le développement des populations de *Meloidogyne* spp. et de leurs parasites associés (champignons nématophages et *P. penetrans*).

## Matériels et méthodes

### LES RÉGIONS PROSPECTÉES

Des prospections ont été effectuées dans les principales régions de culture maraîchère au Burkina Faso et au Sénégal. Le Burkina Faso est situé au centre de l'Afrique de l'Ouest (9-15° N; 6° O-2°30 E). Le Sénégal est situé à l'extrémité ouest du continent africain (12-16°30 N; 11°30-17°30 O).

Au Burkina Faso (Fig. 1A), les cultures maraîchères se répartissent dans tout le pays défini par trois zones climatiques (Sivakumar & Gnoumou, 1987):

i) La zone sud-ouest est caractérisée par une pratique ancienne de la culture maraîchère, réalisée en assolement soit avec diverses cultures traditionnelles comme des céréales sèches, le riz irrigué, soit avec des jachères inondées ou exondées. Ces systèmes de culture sont déterminés par le climat de type soudanien méridional avec une pluviométrie annuelle élevée ( $\geq 1000$  mm répartie de mai à octobre) et des amplitudes thermiques moins marquées qu'ailleurs (17 à 25°C min. et 33 à 37°C max. pendant la saison sèche; environ 21°C min. et 29 à 34°C max. en saison pluvieuse).

ii) La partie centrale du pays est caractérisée par des cultures maraîchères de contre-saison sèche, essentiellement installées dans des bas-fonds et, par conséquent, pratiquées en assolement avec le riz irrigué et la jachère inondée. Cette zone connaît un climat de type soudanien centre-nord avec une pluviométrie moyenne (600 à 1000 mm) et des températures plus élevées que dans la zone précédente (20 à 25°C min. et 34 à 41°C max. en saison sèche; 20 à 25°C min. et 30-36°C max. en saison pluvieuse).

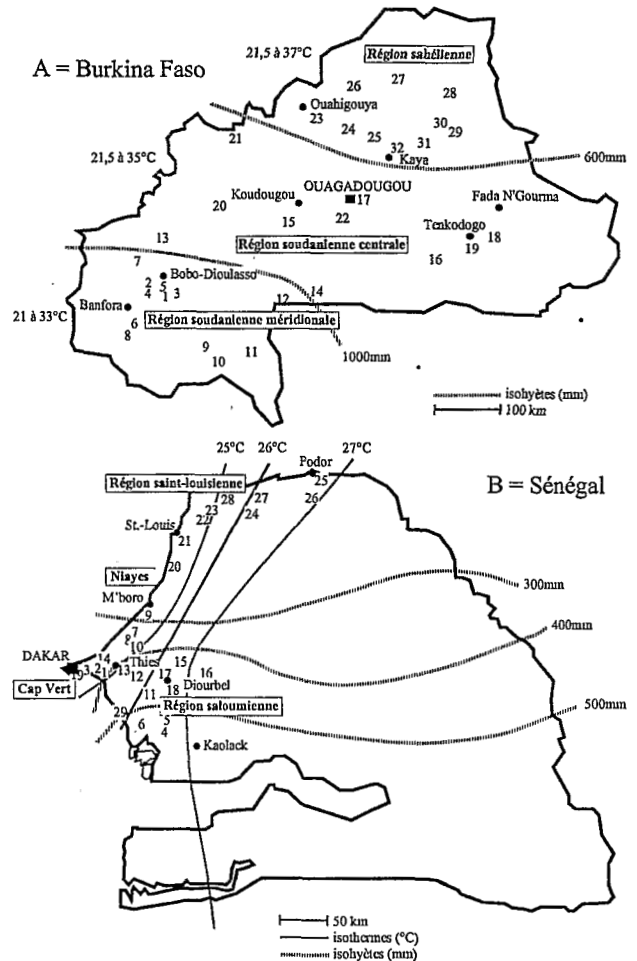


Fig. 1. Situation géographique des zones prospectées (1, 2, 3, etc.) dans les différentes régions de culture maraîchère au Burkina Faso (A) et au Sénégal (B).

iii) La zone sahélienne semi-désertique au nord est caractérisée par une pratique récente de la culture maraîchère réalisée en assolement avec le riz irrigué et la jachère inondée. Cette région est la moins arrosée du pays ( $< 600$  mm). Les amplitudes thermiques sont très accentuées (13-18°C min. et 42°C max.).

Au Sénégal (Fig. 1B), les zones de production maraîchère se situent dans la partie la plus occidentale du pays et se répartissent dans quatre zones agro-climatiques:

i) Dans la presqu'île du Cap-Vert, située à l'extrémité occidentale du pays, la production maraîchère très ancienne est continuée toute l'année. Cette région jouit d'un climat de type tropical d'alizé maritime avec un régime thermique unimodal (20°C min. et 27°C max.) et une pluviométrie issue à la fois des lignes de grain orientales et

des incursions du front tropical (300 à 400 mm). Les sols sont de type ferrugineux non lessivé (sablo-limoneux).

ii) Dans la région littorale des Niayes, comprise entre Saint Louis au nord et la presqu'île du Cap Vert au sud, la culture maraîchère très ancienne est également pratiquée en culture continue. Cette région jouit d'un climat d'alizé maritime avec des températures voisines de celles du Cap Vert. La pluviométrie s'étend de 250 mm au nord à 400 mm au sud.

iii) Dans la région saint-louisienne, le système de culture est caractérisé par une alternance de maraîchage (pendant la saison sèche de septembre à avril) et de riz irrigué pendant la saison humide. La culture maraîchère, très ancienne dans la périphérie de Saint Louis, est très récente dans la vallée du Sénégal où elle se développe dans le cadre de programmes d'aménagements hydrauliques et agricoles du fleuve. Cette région peu arrosée (environ 200 mm) bénéficie dans sa partie la plus occidentale d'un climat d'alizé maritime avec, cependant, des températures moyennes légèrement plus élevées que sur la presqu'île du Cap Vert (21°C min.; 28°C max.) et, dans sa partie orientale (Podor), d'un climat continental sahélien caractérisé par des températures maximales moyennes très élevées (32°C) et des écarts thermiques importants (17°C en moyenne).

iv) Dans la région saloumienne située au sud-ouest du pays, la culture maraîchère se développe depuis peu autour de forages afin de compléter, en saison sèche, une monoculture pluviale (arachide, mil, sorgho) pratiquée pendant la saison humide. Dans de nombreux cas, elle est développée au sein de périmètres irrigués et fait alors place à une friche pendant la saison humide. Cette région, plus arrosée (400 à 600 mm), subit trois influences climatiques: alizé maritime par l'ouest, continentale par l'est et tropicale par le sud, qui se traduisent par un régime thermique bimodal avec deux maxima, en avril (35°C) et octobre (28°C).

#### ANALYSES BIOLOGIQUES

Des prélèvements de sol et de racines ont été effectués dans les parcelles des différentes régions maraîchères (Tableau 1), le long d'un transect, à une densité de cinq prélèvements par parcelle d'une taille moyenne de 100 m<sup>2</sup>, rassemblés en un seul échantillon de référence. Au Burkina Faso, l'échantillonnage a porté exclusivement sur la tomate (*Lycopersicon esculentum*) et sur l'aubergine (*Solanum melongena* et *S. aethiopicum*) à une fréquence respective de 48 et 52%. Au Sénégal, l'échantillonnage a porté sur une plus grande diversité de cultures répar-

**Tableau 1.** Répartition des sites de prospection dans les différentes régions de culture maraîchère et densité de l'échantillonnage.

Pays et régions	Sites*	Nombre d'échantillons
<b>Burkina Faso</b>		
région soudanienne méridionale	1 à 12	78
région soudanienne centrale	13 à 22	30
région sahélienne	23 à 32	22
<b>Sénégal</b>		
Cap Vert	1 à 3, 14, 19	100
Niayes	7 à 10, 20	24
région saloumienne	4 à 6, 11 à 13, 15 à 18	56
région saint-louisienne	21 à 28	20

\* Voir la situation des sites dans la Fig. 1.

ties en familles botaniques: 48% de solanacées (tomate, aubergines [*S. melongena* et *S. aethiopicum*], pomme de terre [*S. tuberosum*], poivron [*Capsicum annum*], piment [*C. frutescens*]); 19% de malvacées (gombo [*Hibiscus esculentus*], oseille de Guinée [*H. sabdariffa*]); 13% de crucifères (chou [*Brassica oleracea capitata*], navet [*B. napus*]); 7% de convolvulacées (patate douce [*Ipomea batatas*]); 6% de cucurbitacées (courge et courgette [*Cucurbita pepo*], melon [*Cucumis melo*], pastèque [*Citrullus vulgaris*]); 7% d'autres familles (salade [*Lactuca sativa*], haricot vert [*Phaseolus vulgaris*], ail [*Allium sativum*], oignon [*Allium cepa*], carotte [*Daucus carota*], céleri [*Apium graveolens*]).

Les juvéniles de *Meloidogyne* spp. ont été extraits du sol et des racines par les méthodes de Seinhorst (1950, 1962). Avant l'extraction des nématodes des racines, un indice de galle a été attribué à chaque système racinaire selon l'échelle définie par Zeck (1971). Les effectifs de juvéniles ont été exprimés en nématodes par dm<sup>3</sup> de sol ou par gramme (poids sec) de racines.

L'actinomycète parasite de nématodes *Pasteuria penetrans* a été détecté par observation au microscope photonique (grossissement ×40) de ses spores sur les juvéniles de *Meloidogyne* spp.

Au Burkina Faso, les champignons nématophages ont été détectés après isolement à partir d'échantillons de sol inoculés *in vitro* sur un milieu pauvre CMA/2 (8,5 g de corn meal agar + 8,5 g d'agar agar pour 1 l d'eau distillée). Les 24 isolats identifiés appartiennent aux genres *Arthrobotrys* (*A. oligospora*; *A. conoides*) et *Monacrosporium* (*M. bembicodes*).

## ANALYSES ÉCOLOGIQUES

Une analyse multivariée de données environnementales couplant deux tableaux de données (variables agronomiques et variables biologiques), dite analyse de co-inertie (Dolédec & Chessel, 1994), a été exécutée à l'aide du logiciel ADE-4 (Thioulouse *et al.*, 1997). Par principe, elle se décline en une analyse en composantes principales (ACP) effectuée sur les variables agronomiques et en une analyse factorielle des correspondances effectuée sur les variables biologiques, en recherchant les facteurs  $F$  (ou combinaisons linéaires des variables) qui maximisent la covariance des deux tableaux. Les modalités des variables sont décrites dans le Tableau 2. Compte tenu de la disparité des densités des populations et des dégâts potentiels occasionnés par les différentes espèces de *Meloidogyne* spp. sur les cultures maraîchères, les effectifs de juvéniles et les indices de galles ont été transformés en classes d'abondance.

## Résultats

## CORRESPONDANCES ENTRE LES DONNÉES AGRONOMIQUES ET LES DONNÉES BIOLOGIQUES

## Au Burkina Faso

Les facteurs 1 et 2 du plan factoriel de l'analyse en composante principale effectuée sur les variables agronomiques (Fig. 2A) expliquent 36% de la variabilité des données. Les variables "culture" tomate et aubergine (TOM et AUB) se situent au centre du plan factoriel et participent peu à la variabilité des données: ces cultures sont pratiquement aussi fréquentes l'une que l'autre, quelle que soit la région (Tableau 3).

Par contre, les autres variables se projettent différemment sur les facteurs 1 et 2 du plan factoriel. La projection de la variable "région" SM (soudanienne méridionale) se situe dans les valeurs négatives des deux facteurs, alors que la variable SA (sahélienne) se projette dans leurs valeurs positives. La variable SC (soudanienne centrale) occupe une position plus centrale. Globalement, les variables "région" se distribuent selon un gradient sud-nord le long des valeurs croissantes des facteurs 1 et 2.

La variable "précédent cultural" PLU (culture pluviale) se projette dans les valeurs négatives du facteur 1 et dans les valeurs positives du facteur 2, alors que les variables JAI (jachère inondée) et RI (riz irrigué) se projettent de façon inverse. Les variables JAE (jachère exondée) et

MAR (culture maraîchère) occupent une situation centrale dans le plan factoriel. Globalement, les variables "précédent cultural" se situent le long d'une bissectrice des deux facteurs.

Les trois régions sont caractérisées (Tableau 3) essentiellement par les précédents de cultures pluviales (PLU). Seule la région sahélienne (SA) est définie par une fréquence plus élevée des précédents jachère (JAI et JAE) et riz (RI).

L'analyse de co-inertie effectuée sur les variables biologiques (Fig. 2B) indique que les facteurs 1 et 2 du plan factoriel expliquent 62,1% de la variabilité des données. Le facteur 1 sépare la modalité 1 des variables "*Meloidogyne* spp. dans le sol" (MS1), "*Meloidogyne* spp. dans les racines" (MR1) et "Indice de galles" (IR1), située dans ses valeurs positives, des autres modalités des mêmes variables, toutes situées dans ses valeurs nulles. Ces dernières (modalités 2, 3, 4 et 5) sont séparées sur le facteur 2. En outre, ce facteur sépare la modalité "présence" de la variable "champignons nématophages" (CH+), située dans ses valeurs positives, de la modalité "absence" de la même variable (CH-), située dans ses valeurs négatives. Cependant, l'absence ou la présence des champignons nématophages ne sont pas corrélées au gradient des modalités des variables associées à *Meloidogyne* spp. (MS, MR et IG). Les facteurs 1 et 2 séparent la modalité "absence" des variables "*Pasteuria penetrans* dans le sol" (PS-) et "*Pasteuria penetrans* dans les racines" (PR-), située dans leurs valeurs positives, de la modalité "présence" des mêmes variables, situées dans leurs valeurs négatives (PS+ et PR+). Les mêmes modalités des variables "*Meloidogyne* spp. dans le sol", "*Meloidogyne* spp. dans les racines" et "Indice de galles" sont corrélées entre elles. Il en est de même pour les modalités identiques des variables "*Pasteuria penetrans*": la présence simultanée de *P. penetrans* dans le sol et dans les racines représente 39,3% de l'ensemble des échantillons.

L'analyse des données régionales (Fig. 3A) montre que, selon le premier facteur de l'analyse de co-inertie, les échantillons sans juvénile de *Meloidogyne* spp. dans le sol (MS1) ou dans les racines (MR1), et sans symptôme racinaire apparent (IG1), sont beaucoup plus fréquents dans la région sahélienne (SA) que dans les autres régions. Dans la région sahélienne, les échantillons sans *P. penetrans* dans le sol (PS-) ou les racines (PR-) sont très fréquents. Selon le second facteur moins représentatif (Fig. 3B), les densités intermédiaires des populations de *Meloidogyne* spp. (modalités 3 et 4) sont les plus fréquentes dans toutes les régions excepté dans la région sahélienne où

Tableau 2. Intitulé des variables et de leurs modalités et définition des classes utilisées dans les analyses statistiques

Variables	Burkina Faso		Sénégal	
	Modalité	Code	Modalité	Code
<b>Agronomiques</b>				
région	soudanienne méridionale	SM	Cap Vert	CV
	soudanienne centrale	SC	Niayes	N
	sahélienne	SA	région saloumienne	S
culture			région saint-louisienne	SL
	tomate	TOM	solanacées	SOL
	aubergine	AUB	malvacées	MAL
			crucifères	CRU
			convolvulacées	CON
			cucurbitacées	CUC
précédent cultural			autres	AU
	culture maraîchère	MAR	maraîchère sensible	MS
	culture pluviale	PLU	maraîchère non-sensible	MNS
	riz irrigué	RI	culture pluviale	PLU
	jachère exondée	JAE	jachère exondée	JAE
	jachère inondée	JAI		
<b>Biologiques</b>				
<i>Meloïdogyne</i> spp. / sol	0	MS1	0	MS1
	1 à 1000	MS2	1 à 1000	MS2
	1001 à 5000	MS3	1001 à 5000	MS3
	5001 à 15000	MS4	5001 à 15000	MS4
	> 15000	MS5	> 15000	MS5
<i>Meloïdogyne</i> spp. / racines	0	MR1	0	MR1
	1 à 200	MR2	1 à 200	MR2
	201 à 1000	MR3	201 à 1000	MR3
	1001 à 5000	MR4	1001 à 5000	MR4
	> 5000	MR5	> 5000	MR5
indice de galles	0	IG1	0	IG1
	1	IG2	1	IG2
	2	IG3	2	IG3
	3 à 4	IG4	3 à 4	IG4
	> 4	IG5	> 4	IG5
<i>Pasteuria penetrans</i> / sol	absent	PS-	absent	PS-
	présent	PS+	présent	PS+
<i>Pasteuria penetrans</i> / racine	absent	PR-	absent	PR-
	présent	PR+	présent	PR+
champignons nématophages	absent	CH-		
	présent	CH+		

la modalité 5 pour les populations racinaires (MR5) et les symptômes racinaires (IG5) est plus fréquente. Les champignons nématophages sont peu fréquents quelle que soit la région; cependant, ils semblent plus fréquents en région sahélienne.

L'analyse des données culturales (Fig. 4A) montre que, selon le premier facteur de l'analyse de co-inertie, les échantillons sans juvénile de *Meloïdogyne* spp. dans le sol (MS1) ou dans les racines (MR1), et sans symptôme racinaire apparent (IG1), sont beaucoup plus fréquents

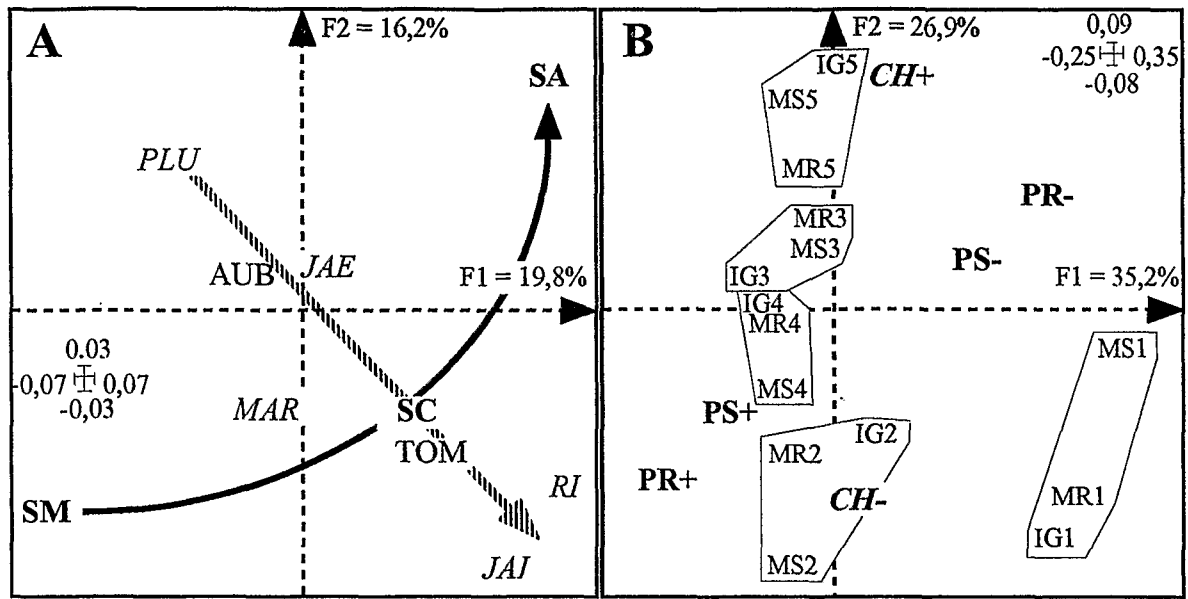


Fig. 2. Distribution des modalités des variables agronomiques (A) et des variables biologiques (B) dans les plans factoriels F1 x F2 de l'analyse de co-inertie (voir la légende des variables et de leurs modalités dans le tableau 2) dans le cas du Burkina Faso.

Tableau 3. Fréquence des variables agronomiques dans les différentes régions du Burkina Faso et du Sénégal.

Variables	Burkina Faso Variables "Régions"			Sénégal Variables "Régions"				
	SM	SC	SA	CV	N	S	SL	
<b>Cultures</b>								
AUB	52,6	53,3	45,5	SOL	53,5	66,7	27,3	43
TOM	47,4	46,7	54,5	MAL	4,2	0	52,7	19
				CRU	4,2	33,3	9,1	9,5
				CON	18,3	0	0	0
				CUC	2,8	0	10,9	19
				AU	16,9	0	0	9,5
<b>Précédents</b>								
JAE	5,1	0	13,6	MS	9,8	54,8	38,2	4,8
JAI	3,8	10	22,8	MNS	12,7	35,7	29,1	9,5
MAR	14,1	6,7	4,5	PLU	0	0	25,4	4,8
PLU	71,8	76,7	45,5	JAE	77,5	9,5	7,3	80,9
RI	5,2	6,6	13,6					

Voir la légende des variables dans le tableau 2.

lorsqu'ils sont prélevés après des précédents riz (RI) ou jachère inondée (JAI) qu'après des précédents jachère exondée (JAE) ou culture maraîchère (MAR). C'est après une culture pluviale (PLU) qu'ils sont plus rares. Lorsque *Meloidogyne* spp. est présent (Fig. 4B), les populations telluriques et racinaires et les symptômes racinaires sont toujours faibles après jachère, qu'elle soit exondée ou

inondée (modalité 2). Pour les autres précédents culturaux, les populations de densités intermédiaires (modalités 3 et 4) sont les plus fréquentes.

*P. penetrans* est moins fréquent après jachère inondée ou culture de riz qu'après les autres précédents culturaux. Les champignons nématophages ne sont pas détectés après une jachère, qu'elle soit exondée ou inondée.

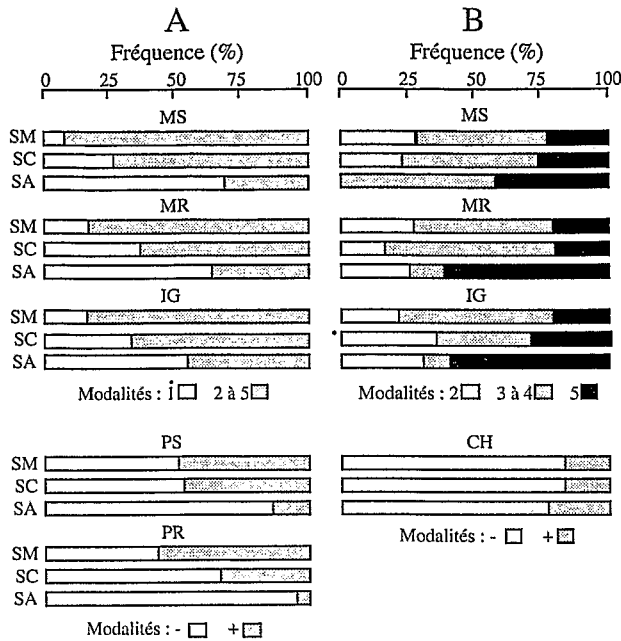


Fig. 3. Fréquence des modalités des variables biologiques pertinentes dans les régions maraîchères du Burkina Faso selon le facteur 1 (A) et le facteur 2 (B) de l'analyse de co-inertie.

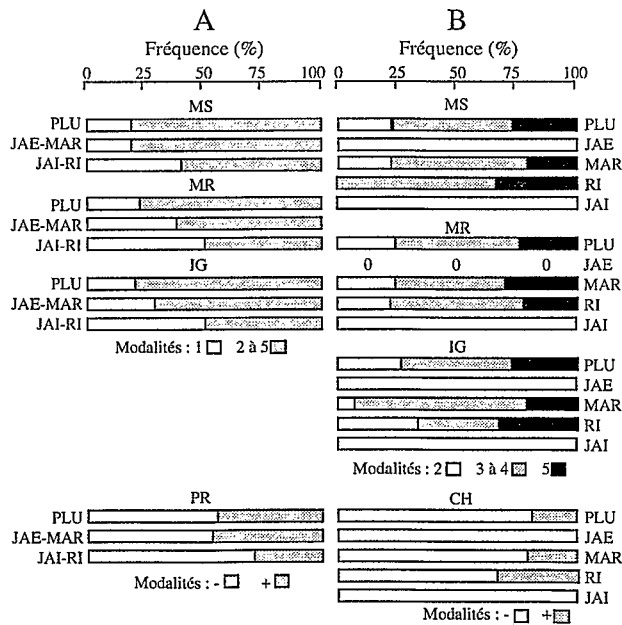


Fig. 4. Fréquence des modalités des variables biologiques pertinentes selon le précédent cultural au Burkina Faso selon le facteur 1 (A) et le facteur 2 (B) de l'analyse de co-inertie.

Peu fréquents dans les autres conditions, ils sont cependant plus présent après une culture de riz qu'après une culture pluviale ou maraîchère.

*Au Sénégal*

L'analyse en composante principale effectuée sur les variables agronomiques (Fig. 5A) montre que les facteurs 1 et 2 du plan factoriel expliquent 38,8% de la variabilité des données.

Ces facteurs sont essentiellement définis par les variables "région": la variable "Cap Vert" (CV) se projette dans les valeurs positives du facteur 1 alors que la variable "Niayes" (N) se projette dans ses valeurs négatives. La variable "région saloumienne" (S) se projette dans les valeurs négatives du facteur 2. La variable "région saint-louisienne" (SL) est située plus au centre du plan factoriel.

Bien que les autres variables agronomiques participent moins à la variabilité des données, la variable "culture" CON (convolvulacées) est située dans les valeurs positives du facteur 1 et la variable MAL (malvacées) dans les valeurs négatives du facteur 2. Parmi les variables "précédent cultural", seule la variable "jachère exondée" (JAE) contribue au facteur 1 (valeurs positives) et la variable "culture pluviale" (PLU) au facteur 2 (valeurs négatives). La lecture du Tableau 3 indique que la variable "convolvulacées" (CON) est associée à la région "Cap Vert" (CV), mais pas la variable "jachère exondée" (JAE). Les variables "malvacées" (MAL) et "culture pluviale" (PLU) sont fortement associées à la région saloumienne (S). Le précédent "culture pluviale" (PLU) n'a pas été rencontré dans les régions du Cap Vert et des Niayes. La jachère exondée (JAE) est très pratiquée dans le Cap Vert (CV) et dans la région saint-louisienne (SL). La région des Niayes (N) est essentiellement définie par les cultures de solanacées (SOL) et de crucifères (CRU).

L'analyse de co-inertie effectuée sur les variables biologiques (Fig. 5B) indique que les facteurs 1 et 2 du plan factoriel expliquent 63,3% de la variabilité des données. Le facteur 1 sépare la modalité 2 des variables "Meloidogyne spp. dans le sol" (MS2), "Meloidogyne spp. dans les racines" (MR2) et "Indice de galles" (IG2) située dans ses valeurs positives d'une part des modalités 3, 4 et 5 des mêmes variables situées dans ses valeurs nulles et d'autre part de la modalité 1 de ces mêmes variables situées dans ses valeurs nulles (MR1 et IG1) ou négatives (MS1). Ce facteur sépare également la modalité "absence" des variables "Pasteuria penetrans dans le sol" (PS-) et "Pasteuria penetrans dans les racines" (PR-) située dans ses valeurs positives de la modalité "présence" des mêmes variables (PS+ et PR+) situées

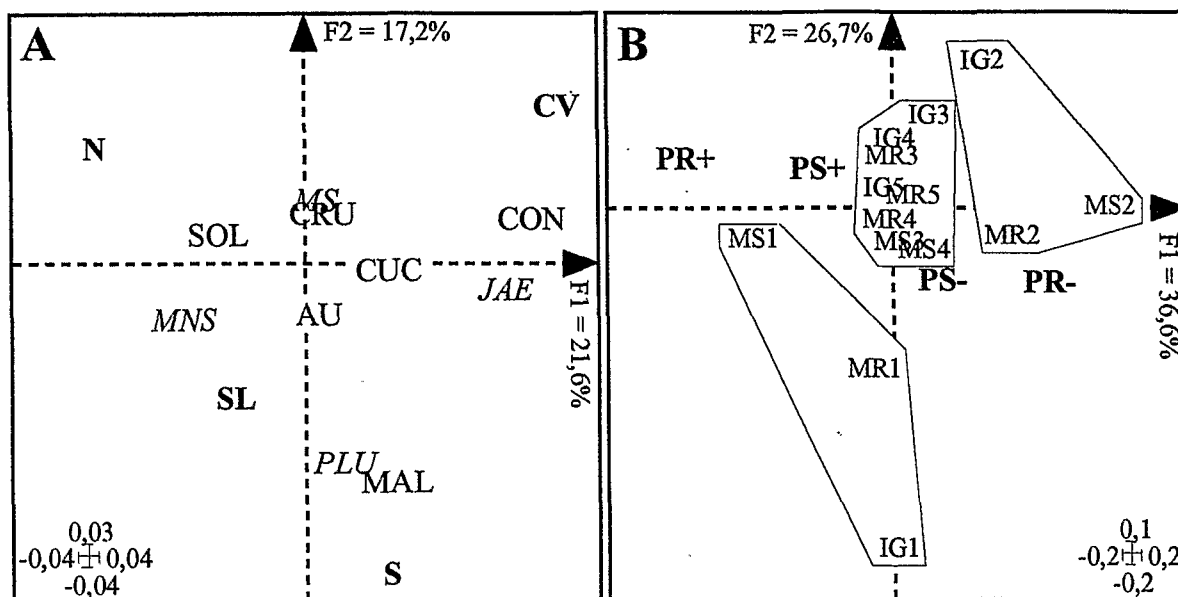


Fig. 5. Distribution des modalités des variables agronomiques (A) et variables biologiques (B) dans les plans factoriels F1 x F2 de l'analyse de co-inertie (voir la légende des variables et de leurs modalités dans le Tableau 2) dans le cas du Sénégal.

dans ses valeurs négatives. Mais la présence simultanée de *P. penetrans* dans le sol et dans les racines ne représente que 6,7% de l'ensemble des échantillons.

Le facteur 2 sépare les variables "Meloidogyne spp. dans le sol", "Meloidogyne spp. dans les racines" et "Indice de galles" de modalité 1, alors que la projection des autres modalités de ces variables est comparable.

L'analyse des données régionales (Fig. 6A) montre que, selon le premier facteur de l'analyse de co-inertie, les échantillons dans lesquels *Meloidogyne* spp. n'a pas été détecté dans le sol (MS) sont relativement fréquents (> 25%), beaucoup plus dans la région des Niayes (N) que dans les autres régions. En revanche, selon le second facteur de l'analyse (Fig. 6B), les échantillons de racines infestées par *Meloidogyne* spp. (MR) sont très fréquents, et les populations sont plus importantes dans les régions du Cap Vert (CV) et des Niayes (N) que dans les autres régions. Corrélativement, les symptômes racinaires (IG) sont plus fréquents dans ces deux régions, mais leur absence dans les régions saint-louisienne (SL) et saloumienne (S) est tout à fait significative.

Alors que les populations telluriques de *P. penetrans* sont partout très rares, il est plus fréquent de trouver cet organisme dans les racines, plus souvent dans les Niayes (N) et dans la région saint-louisienne (SL) que dans les autres régions.

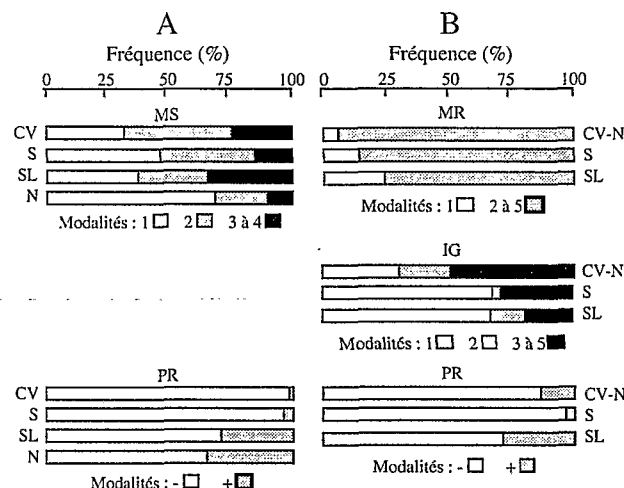


Fig. 6. Fréquence des modalités des variables biologiques pertinentes dans les régions maraîchères du Sénégal selon le facteur 1 (A) et le facteur 2 (B) de l'analyse de co-inertie.

L'analyse des données culturales montre que, alors que l'infestation des différentes cultures est très hétérogène, les populations élevées de *Meloidogyne* spp. sont régulièrement présentes sur les cultures de convolvulacées (CON) (Fig. 7A) et de malvacées (MAL) (Fig. 7B). Malgré cela, l'absence de symptômes racinaires est très fréquente. Il apparaît enfin que *P. penetrans* n'a jamais été détecté ni

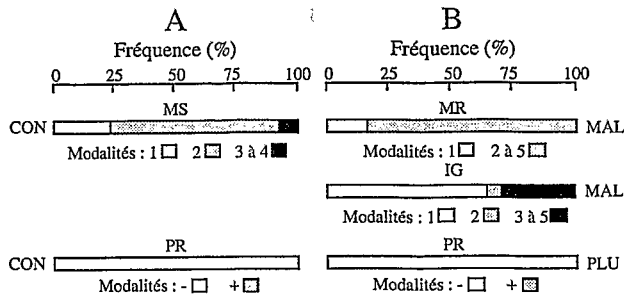


Fig. 7. Fréquence des modalités des variables biologiques pertinentes selon la culture et le précédent cultural au Sénégal selon le facteur 1 (A) et le facteur 2 (B) de l'analyse de co-inertie.

sur les cultures de convolvulacées (CON) ni après des cultures pluviales (PLU).

ANALYSE DES SYMPTÔMES RACINAIRES

Au Burkina Faso, les résultats précédents ont montré que les variables "Meloidogyne spp. dans le sol" (MS), "Meloidogyne spp. dans les racines" (MR) et "Indice de galles" (IG) étaient très fortement liées pour chacune de leur modalité, et que leurs modalités étaient très différentes. En effet, les niveaux des populations de juvéniles de *Meloidogyne* spp. dans le sol et ceux des populations extraites des racines sont corrélées linéairement (Fig. 8A). En outre, les symptômes racinaires, exprimés par l'indice de galle, augmentent de manière exponentielle avec le niveau de la population racinaire de *Meloidogyne* spp. (Fig. 8B).

En revanche, au Sénégal, les modalités des variables "Meloidogyne spp. dans le sol", "Meloidogyne spp. dans les racines" et "Indice de galles" peuvent être semblables (cas des modalités 3, 4 et 5), ou bien ces variables peuvent ne pas être corrélées pour une même modalité (cas de MS1, MR1 et IG1). Or nous avons observé que la relation entre les populations de *Meloidogyne* spp. et les dégâts provoqués n'est pas la même selon les régions: par exemple, dans la zone littorale des Niayes, les populations racinaires de *Meloidogyne* spp. ne sont importantes que pour des indices de galles moyens égaux à 4 ou 5, et les populations telluriques correspondantes sont toujours très faibles (Fig. 9A); par contre, dans la région saloumiennne, les populations telluriques et racinaires sont plus importantes que celles des Niayes pour des indices de galles identiques (Fig. 9B).

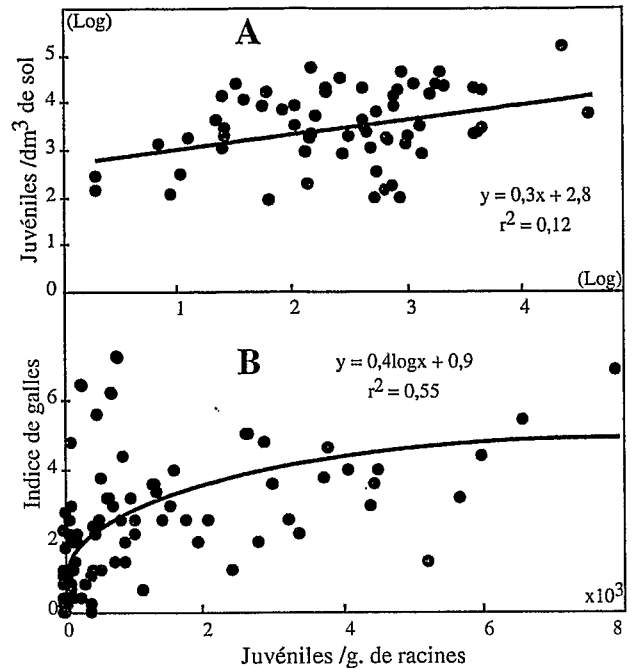


Fig. 8. Evolution des niveaux A: des populations telluriques de *Meloidogyne* spp.; B: des indices de galles en fonction des niveaux des populations racinaires au Burkina Faso.

Discussion

Au Burkina Faso, les populations de *Meloidogyne* spp. ne sont pas directement influencées par le type de culture maraîchère en place. En revanche, deux situations agro-écologiques se conjuguent et semblent déterminer une situation nématologique particulière: d'une part un axe géographique sud-nord, essentiellement caractérisé par un gradient pluviométrique, et, d'autre part, un gradient agronomique allant des terres hautes aux bas-fonds inondables.

Les agrosystèmes de terres hautes, où prévalent en saison pluvieuse les cultures pluviales sèches (mil, sorgho) et les jachères herbeuses exondées, favorisent le développement de fortes populations de nématodes à galles *Meloidogyne* spp. sur la culture de tomate de contre saison. Ceci est particulièrement vrai dans les périmètres de la zone soudanienne méridionale humide du pays.

A l'inverse, les agrosystèmes de bas-fonds, très représentés dans la région sahélienne au nord du Burkina Faso et caractérisés par la culture du riz ou par des jachères inondées en saison pluvieuse, sont impropres au développement de *Meloidogyne* spp. Il est très probable que les inondations périodiques diminuent fortement l'inoculum de nématodes dans le sol, voire éradiquent

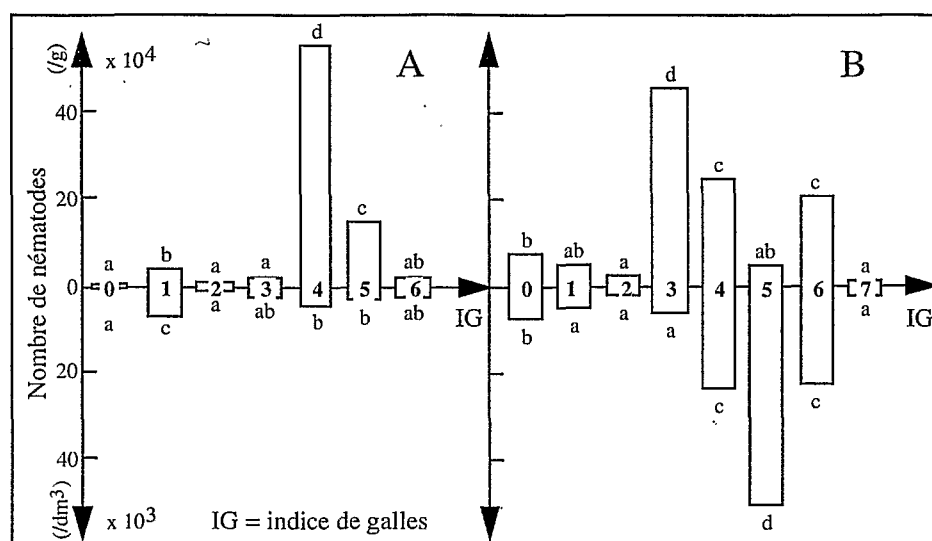


Fig. 9. Evolution des niveaux des populations racinaires et telluriques de *Meloidogyne* spp. dans la région littorale des Niayes (A) et dans la région saloumienne (B) du Sénégal en fonction de l'intensité des symptômes racinaires (indice de galle IG) (les données suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes, test de rang U de Man Witney,  $P > 0.05$ ).

les populations. Des observations similaires ont été faites dans les "Baibohos" à Madagascar sur tabac (de Guiran, 1970) et sur cultures maraîchères au Sénégal (Netscher, 1970). La raison tiendrait essentiellement à l'asphyxie des nématodes (Van Gundy *et al.*, 1962).

La présence de *P. penetrans* dépend de deux phénomènes. D'une part, elle est associée à celle du nématode *Meloidogyne* spp. qui est son hôte obligé. Ainsi, de nombreux auteurs ont-ils décrit une densité-dépendance entre la bactérie et le nématode (Spaull, 1981; Verdejo-Lucas, 1992; Ciancio, 1995, 1996; Diop *et al.*, 1996). D'autre part, dans les terres argileuses des bas-fonds, la structure compacte des sols gêne considérablement la mobilité des juvéniles de *Meloidogyne* spp. (Prot & Van Gundy, 1981), diminuant par conséquent la probabilité de rencontre entre les juvéniles et les spores de *P. penetrans*. Par ailleurs, les colloïdes argileux seraient capables d'adsorber les spores, les rendant indisponibles pour l'attachement sur les juvéniles (Dabiré *et al.*, 1996; Mateille *et al.*, 1996).

Enfin, la saturation périodique des sols en eau, pendant la saison pluvieuse, constituerait aussi une gêne importante pour le maintien des champignons nématophages dans le sol. Ces champignons sont connus pour être plus sensibles à l'excès qu'au manque d'eau (Cayrol & B'Chir, 1972). La correspondance entre la présence des champignons nématophages et les fortes populations de *Meloidogyne* spp. peut aussi s'expliquer par le fait que la formation des pièges fongiques dépend de la présence des néma-

todes (Nordbring-Hertz, 1977). Ceci expliquerait l'absence de champignons nématophages dans les sols de jachère (exondée ou non) dont les adventices qui les composent ne sont pas du tout hôte de *Meloidogyne* spp.

Au Sénégal, les situations sont beaucoup plus variées qu'au Burkina Faso. La région saint-louisienne est la seule où prévalent des terres inondées pendant la saison pluvieuse. Pourtant, les populations de *Meloidogyne* spp. y sont importantes. En fait, le type de sol apparaît comme un facteur déterminant du développement des populations de nématodes. En effet, les sols des Niayes et de la région saloumienne dans lesquelles les dégâts racinaires ont été observés sont respectivement caractérisés par des sables dunaires grossiers (sol minéral brut) et par une texture sablo-limoneuse (sol ferrugineux). Pour des dégâts racinaires équivalents, les populations telluriques de *Meloidogyne* spp. sont beaucoup plus faibles dans les sols sableux que dans les sols sablo-limoneux: les sols limoneux, moins lessivables que les sols sableux à cause d'une texture plus fine et d'une structure plus élaborée, limiteraient l'entraînement des juvéniles par l'eau d'irrigation importante (environ 10 mm par jour) dans les couches plus profondes du sol.

Malgré une très faible proportion moyenne (environ 8%) de juvéniles de *Meloidogyne* spp. infestés par *P. penetrans*, la présence de l'actinomycète est évidemment liée à celle de son hôte obligé. En outre, hormis l'incidence des facteurs physico-chimiques du sol observée au Séné-

gal (Mateille *et al.*, 1995), l'influence de la nature de la plante hôte du nématode sur la présence de *P. penetrans* est confirmée puisqu'aucune femelle parasitée n'a été détectée dans les racines de patate douce (convolvulacée), pourtant sensible à *Meloidogyne* spp., ou après une culture pluviale (mil, sorgho ou arachide).

Les résultats de la présente étude révèlent par conséquent que, dans les systèmes de culture maraîchère sahéliens, les niveaux des populations de *Meloidogyne* spp. dépendent fortement des agrosystèmes en vigueur. Il ressort, en particulier, que les terres de bas-fonds inondées en saison pluvieuse sont peu infestées par les *Meloidogyne* qui supportent très mal l'inondation. Par contre, les problèmes dus à *Meloidogyne* spp. se poseraient surtout dans les terres hautes exondées plus propices à la multiplication du nématode.

Ces diverses situations permettent d'élaborer des mesures de gestion naturelle des populations de nématodes. L'inondation naturelle des terres de bas-fonds assure d'elle-même une réduction des populations de nématodes dans les sols. Les agrosystèmes concernés ne nécessiteraient alors que des moyens préventifs de contrôle des populations de nématodes (utilisation de plants maraîchers sains provenant de pépinières indemnes de nématodes) ou des mesures d'entretien (utilisation de variétés résistantes). Dans ces agrosystèmes, la lutte biologique à l'aide de champignons nématophages ou de *P. penetrans* s'avèrerait malavisée, du fait que ces organismes ne s'y maintiendraient pas ou qu'ils y seraient inutiles à cause de la baisse naturelle des populations de leur hôte.

Dans le cas des agrosystèmes exondés, des stratégies plus complexes, élaborées au cas par cas, mais intégrées, s'avèrent nécessaires. Cependant, l'intercalation des cultures pluviales peu sensibles à *Meloidogyne* spp. sont très efficaces et la présence de populations indigènes d'organismes parasites des nématodes permet d'envisager le développement de méthodes culturales et biologiques intégrées.

## Remerciements

Les enquêtes faunistiques réalisées au Burkina Faso et au Sénégal ont bénéficié d'un financement de la Communauté Européenne (EC Project STD3 n°TS3 \* CT92-0098: Biocontrol of damaging root-knot nematode [*Meloidogyne* spp.] pests of staple food and cash crops by including suppressive soils with the bacterial parasite *Pasteuria penetrans*).

## Références

- BERTHOU, F., BÂ-DIALLO, A., DE MAYER, L. & DE GUIRAN, G. (1989). Caractérisation chez les nématodes *Meloidogyne* Goeldi (Tylenchida) de types virulents vis à vis du gène *Mi* de la tomate dans deux zones maraîchères au Sénégal. *Agronomie* 9, 877-884.
- CADET, P. & MATEILLE, T. (1985). Les nématodes parasites des cultures vivrières au Togo. *Bulletin de la Protection des Végétaux, Lomé* 9, 3-14.
- CAYROL, J.C. & B'CHIR, M.M. (1972). Sur le rôle des champignons prédateurs de nématodes dans l'équilibre biologique des sols. *Compte Rendus des Séances de la Société de Biologie* 166, 909 pp.
- CIANCIO, A. (1995). Density-dependent parasitism of *Xiphinema diversicaudatum* by *Pasteuria penetrans* in a naturally infested field. *Phytopathology* 85, 144-149.
- CIANCIO, A. (1996). Time delayed parasitism and density-dependence in *Pasteuria* spp. and host nematode dynamics. *Nematropica* 26, 251. [Abstr.]
- DABIRÉ, K.R., MATEILLE, T., DIOP, M.T., NDIAYE, S. & DUPONNOIS, R. (1996). Influence of the soil on the availability of *Pasteuria penetrans* to parasitize nematodes genus *Meloidogyne*. *Nematropica* 26, 252-253. [Abstr.]
- DIOP, M.T. (1998). *Ecologie de l'infestation de Meloidogyne javanica (Treub, 1885), Chitwood, 1949 (Nematoda) par l'actinomycète parasitoïde Pasteuria penetrans Sayre & Starr, 1985*. Thèse, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 142 pp.
- DIOP, M.T., MATEILLE, T., NDIAYE, S., DABIRÉ, K.R. & DUPONNOIS, R. (1996). Effects of crop rotations on populations of *Meloidogyne javanica* and *Pasteuria penetrans*. *Nematropica* 26, 256. [Abstr.]
- DOLÉDEC, S. & CHESSEL, D. (1994). Co-inertia analysis: an alternative method for studying species-environment relationships. *Fresh Water Biology* 31, 277-294.
- FARGETTE, M. (1987). Use of esterase phenotype in the taxonomy of the genus *Meloidogyne*. 2. Esterase phenotype observed in West-African populations and their characterization. *Revue de Nématologie* 10, 45-56.
- DE GUIRAN, G. (1962). Nématodes parasites des plantes cultivées aux Iles Canaries. *Compte Rendus de l'Académie d'Agriculture de France* 48, 388-390.
- DE GUIRAN, G. (1970). Le problème *Meloidogyne* sur tabac à Madagascar. *Cahiers ORSTOM, Série Biologie* 11, 187-208.
- DE GUIRAN, G. & NETSCHER, C. (1970). Les nématodes du genre *Meloidogyne* parasites de cultures maraîchères au Sénégal. *Cahiers ORSTOM, Série Biologie* 11, 151-158.
- LUC, M. (1968). Nematological problems in the former French African tropical territories and Madagascar. In: Smart, G.C. (Ed.), *Tropical Nematology*, Gainesville, FL, USA, University of Florida Press, pp. 93-112.

- LUC, M. & DE GUIRAN, G. (1960). Les nématodes associés aux plantes de l'Ouest africain. Liste préliminaire. *Agronomie Tropicale, Nogent* 15, 434-449.
- MATEILLE, T., DUPONNOIS, R., DABIRÉ, K., NDIAYE, S. & DIOP, M.T. (1996). Influence of the soil on the transport of the spores of *Pasteuria penetrans* by water and on their availability to parasitize nematodes genus *Meloidogyne*. *European Journal of Soil Biology* 32, 81-88.
- MATEILLE, T., DUPONNOIS, R. & DIOP, M.T. (1995). Influence des facteurs telluriques abiotiques et de la plante hôte sur l'infection des nématodes phytoparasites du genre *Meloidogyne* par l'actinomycète parasitoïde *Pasteuria penetrans*. *Agronomie* 15, 581-591.
- NETSCHER, C. (1970). Les nématodes parasites des cultures maraîchères du Sénégal. *Cahiers ORSTOM, Série Biologie* 11, 209-229.
- NETSCHER, C. & LUC, M. (1974). Nématodes associés aux cultures maraîchères en Mauritanie. *Agronomie Tropicale, Nogent* 29, 697-701.
- NORDBRING-HERTZ, B. (1977). Nematode-induced morphogenesis in the predacious fungus *Arthrobotrys oligospora*. *Nematologica* 23, 443-451.
- PROT, J.C. & VAN GUNDY, S.D. (1981). Effect of soil texture and the clay component on migration of *Meloidogyne incognita* juveniles. *Journal of Nematology* 13, 213-217.
- SAWADOGO, A. (1990). *Contribution à l'étude de la nématofaune et de la mycoflore antagoniste dans les cultures maraîchères du Burkina Faso*. Thèse, Université Montpellier II, 123 pp.
- SEINHORST, J.W. (1950). De betekenis van de toestand van de grond voor het optreden van aanstasting door het stengelaaltje *Ditylenchus dipsaci* (Kühn) Filipjev. *Tijdschrift Plantenziekten* 56, 292-349.
- SEINHORST, J.W. (1962). Modifications of the elutriation method for extracting nematodes from soil. *Nematologica* 8, 117-128.
- SIVAKUMAR, M.V.K. & GNOUMOU, F. (1987). Agroclimatologie de l'Afrique de l'Ouest: le Burkina Faso. *Patancheru, India, Information Bulletin ICRISAT n°23*, 192 pp.
- SPAULL, V.W. (1981). *Bacillus penetrans* in South African plant-parasitic nematodes. *Nematologica* 27, 244.
- TAYLOR, D.P. (1976). Plant nematology problems in tropical Africa. *Helminthological Abstracts, Series B* 45, 269-284.
- THIOULOUSE, J., CHESSEL, D., DOLEDEC, S. & OLIVIER, J.M. (1997). ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing* 7, 75-83.
- VAN GUNDY, S.D., STOLZY, L.H., SZUSZKIEWICZ, T.E. & RACKHAM, R.L. (1962). Influence of oxygen supply on the survival of plant parasitic nematodes in soil. *Phytopathology* 52, 628-632.
- VERDEJO-LUCAS, S. (1992). Seasonal population fluctuations of *Meloidogyne* spp. and the *Pasteuria penetrans* group in kiwi orchards. *Plant Disease* 76, 1275-1279.
- ZECK, W.M. (1971). A rating scheme for field evaluation of root-knot nematode infestations. *Pflanzen-Nachrichten Bayer Ag* 24, 141-144.