

EFFETS DES COMPOSANTES DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PRATIQUES CULTURALES SUR LES COMMUNAUTÉS DES NEMATODES ASSOCIÉES À LA CULTURE DE POMME DE TERRE EN TUNISIE

W. Hlaoua^{1*}, S. Kallel² et N. Horrigue-Raouani¹

¹Institut Supérieur Agronomique de Chott Mariem, 4042 Chott Mariem Sousse, Tunisie

²Institut National Agronomique de Tunisie, 43 Avenue Charles Nicolle, 1082 Tunis-Mabrajène, Tunisie

Résumé. Une étude a été effectuée pour déterminer la structure de la communauté des nématodes associés à la culture de pomme de terre dans les régions de production (Sousse, Monastir, Mahdia, Kairouan, Cap Bon et Bizerte) au Centre et au Nord Est de la Tunisie. Une étude des corrélations entre les différents groupes des nématodes tout en tenant compte des différentes composantes de l'environnement est effectuée. Deux mille cinquante trois échantillons de sol, des racines et des tubercules sont prélevés dans 118 sites. Un total de 23 genres de nématodes a été déterminé dans les différentes aires prospectées et la plus grande diversité a été rencontrée dans les sols de la région de Sousse. Les nématodes endoparasites du genre *Globodera* et les ecto-phytoparasites sont les plus abondants dans les régions du Nord Est. Les nématodes endoparasites du genre *Meloidogyne* sont fréquents dans les régions du Centre de la Tunisie. Les nématodes endoparasites migrants sont rencontrés dans les différentes régions de la Tunisie avec une grande infestation au centre. Les nématodes bactériophages et les mycophages dominent dans les régions de Mahdia et Kairouan et les nématodes omnivores et prédateurs sont plus nombreux à Monastir et à Sousse. Les indices de richesse et de diversité sont significativement différents entre les régions. Cette étude a montré que seul le genre *Globodera* a une incidence économique sur la pomme de terre en Tunisie. Les rendements et la composition en nématofaune sont affectés par le type de sol, le système de culture, le type de rotation, le type de fertilisation et les traitements nématicides. Les *Pratylenchus* sont plus fréquents quand les populations des bactériophages, des prédateurs et des ectoparasites sont importants. Les *Globodera* s'associent avec les nématodes ectoparasites. La présence de *Meloidogyne* est plutôt associée aux différentes classes des bactériophages et surtout celles des mycophages.

Mots-clés: Ecologie, groupe trophique, nématofaune, *Solanum tuberosum*.

Summary. Effects of environment components and agricultural practices on communities of nematodes associated with the potato crop in Tunisia. An investigation was undertaken on the structure of nematode communities associated with potato crops in the geographical regions Sousse, Monastir, Mahdia, Kairouan, Cap Bon and Bizerte, in central and north-eastern Tunisia. A study of interrelationships between the different groups of nematodes as well as the different components of the environment was made. Two thousand and fifty-three samples of soil, roots and tubers were taken from 118 sites. A total of 23 genera of nematodes were identified and the greatest diversity was found in the soils of the Sousse region. Plant parasitic nematodes were the most abundant in the regions Cap Bon and Bizerte, bacterial feeding and fungal feeding nematodes dominated in Mahdia and Kairouan, and omnivores and predators were more numerous in Monastir and Sousse. Indices of richness and diversity were significantly different between regions. The graphic representation of correspondence analysis showed that the outputs and the composition of the nematofauna were affected by soil type, agricultural system, rotations, type of fertilization and nematicide treatments. The same type of analysis, relating each potato endoparasitic nematode with different groups of soil nematodes, showed that *Pratylenchus* spp. were most frequent when populations of bacterial feeding and predatory nematodes were greatest. *Globodera* sp. frequency was associated with ectoparasitic plant nematodes. The presence of *Meloidogyne* sp. was mainly associated with the different classes of bacterial feeding nematodes and especially with fungal feeders.

Keywords: Ecology, nematofauna, *Solanum tuberosum*, trophic groups.

Le sol de la rhizosphère des plantes est un écosystème dynamique, complexe et en variation perpétuelle (Kerry, 2000). Selon Yeates (1999) plus de 200 espèces de nématodes peuvent coexister dans une seule aire pour former une communauté composée de groupes fonctionnels se présentant dans trois positions de la chaîne alimentaire du sol. Les nématodes herbivores ou parasites des plantes qui s'alimentent des racines. Les bactériophages et les mycophages, consommant les bactéries et les champignons du sol, participent indirecte-

ment à la décomposition de la matière organique. Quelques nématodes prédateurs qui se nourrissent des autres groupes trophiques et des invertébrés du sol. Les omnivores se placent séparément dans la chaîne alimentaire puisqu'ils s'alimentent sur plus d'une source, entre autres les bactéries, les champignons, les algues et les protozoaires (Neher et Campbell, 1994; Ferris *et al.*, 1996). Kerry (2000) a signalé que la majorité de nématodes de la rhizosphère sont des taxons bactériophages représentant plus de 60% de la communauté des nématodes. Ce groupement est fragile; d'ailleurs, plusieurs auteurs ont montré que l'analyse des telles associations de nématodes peut être utilisée pour tester la «qualité

* Corresponding author: bhlaoua@yahoo.fr

du sol» ou pour «éprouver» certains traitements particuliers des sols (Yeates, 1994, 1999; Ferris *et al.*, 1996; Bongers *et al.*, 1997; Berkelmans *et al.*, 2003).

Les plantes cultivées, la température et la texture du sol, les techniques d'aménagement et les pratiques culturales affectent la distribution et le degré d'abondance des communautés des nématodes ainsi que leur composition générique et spécifique (Cadet et Albrecht, 1992; Yeates, 1999; McSorley, 2003; Bakonyi *et al.*, 2007). Ces facteurs sont fortement interdépendants et leurs effets peuvent être directs et/ou indirects (Bakonyi *et al.*, 2007). Les espèces des plantes dans un site donné peuvent être déterminantes de la structure spatiale des nématodes du sol. Seulement, rares sont les travaux relatifs à l'effet d'une seule espèce de plante sur la composition de nématodes (Yeates, 1984; Verschoor *et al.*, 2001). Wiketoft (2007) a montré que la diversité des espèces des plantes affecte l'abondance totale des nématodes du sol, la composition d'une communauté ainsi que l'abondance individuelle des taxons des nématodes. La réponse des groupes des nématodes aux différentes espèces de plantes n'est pas la même. Ainsi les incidences sur les nématodes phytoparasites résultent de la relation spécifique hôte-parasite, alors que les effets sur des autres groupes tels que les bactériophages et les mycophages sont dus essentiellement aux amendements organiques (Neher et Campbell, 1994; Wiketoft, 2007).

De même la pratique des cultures annuelles pendant une longue période induit un changement de la nématofaune par rapport à un sol naturel non cultivé ou un autre de culture pérenne non trop perturbé (Neher et Campbell, 1994). Ainsi, les pratiques culturales affectent la constitution génétique de nématodes à kyste de pomme de terre. D'ailleurs, la culture intensive de pomme de terre a induit une importante variation inter populations de *G. pallida* (Stone) Behrens (Folkertsma *et al.*, 2001). L'introduction d'une culture de sorgho dans une rotation diminue la population de *Meloidogyne incognita* (Kofoid et White) Citw., ravageur qui peut affecter négativement la culture de pomme de terre. Mais cette pratique peut en même temps augmenter les populations d'autres genres comme *Belonolaimus longicaudatus* Rau, *Paratrichodorus minor* (Colbran) Siddiqi (Rhoades, 1983), *Tylenchorhynchus* sp. et *Mesocriconema* sp. (Crow *et al.*, 2001). Sur maïs, la population de *M. incognita* n'est pas affectée par la présence de *Pratylenchus brachyurus* (Godfrey) Filipjev et Schuurmans Stekhoven mais d'un autre côté elle est supprimée par *B. longicaudatus* sur la même culture (Dickson et McSorley, 1990), et par *Hoplolaimus columbus* Sher sur la culture de soja (Guy et Lewis, 1987). D'ailleurs, les réponses des nématodes aux stimuli exogènes varient en fonction des caractéristiques individuelles du nématode comme l'âge, le stade physiologique et le sexe, ainsi que la densité de la population (Yeates, 2004) en plus de la qualité de la plante hôte, et des facteurs édaphiques (Melakeberhan et Dey, 2003).

Dans ce travail nous allons déterminer la présence

et l'abondance des nématodes bactériophages, mycophages, omnivores-prédateurs et les genres des phytoparasites associés à la culture de pomme de terre conduite de différentes manières selon les régions prospectées. Une étude des corrélations entre les différents groupes des nématodes tout en tenant compte des différentes composantes de l'environnement sera présentée.

MATERIELS ET METHODES

Enquête, échantillonnage et analyse. Des enquêtes sont effectuées auprès des producteurs de pomme de terre dans différentes zones de culture de la pomme de terre de saison en Tunisie pendant la période entre les mois d'avril et de juin 2006. L'étude a concerné les régions de Sousse, Monastir, Mahdia, Kairouan, Cap Bon et Bizerte situées au centre et au nord-est du pays. Nous avons enregistré les données climatiques concernant les régions prospectées comme la pluviométrie et les températures (moyenne, minimale et maximale) ambiante et dans le sol entre 10 et 20 cm de profondeur. Les données relatives à la production, le poids moyen des tubercules, la superficie, la nature du sol, le mode d'irrigation, les brise-vents, la variété cultivée, le précédent culturel, les différents traitements et les maladies présentes sont indiquées pour chaque parcelle visitée. Des échantillons de sol, des racines et des tubercules sont prélevés dans 118 sites.

Des échantillons de sol, des racines et des tubercules sont prélevés pendant la période de culture de pomme de terre. Pour le prélèvement du sol, les sites sont préalablement subdivisés en sept parcelles élémentaires approximativement de même superficie qui sont par la suite échantillonnées séparément. L'échantillon d'environ 1 kg de sol consiste à rassembler plusieurs prélèvements (10 à 30) effectués dans différents emplacements dans la même parcelle élémentaire pour représenter la totalité de la superficie (McSorley, 2000). Nous avons enfin sept échantillons représentatifs de chaque site. Sept plants sont pris au hasard pour estimer la production moyenne par plant ainsi que le nombre moyen des tubercules. Les racines et les tubercules des plants prélevés sont analysés au laboratoire afin d'extraire les nématodes.

Les échantillons de sol, des racines et des tubercules sont analysés par la technique de double flottation (De Grisse, 1969) et par la technique de Fenwick pour récupérer les kystes séchés de *Globodera*. Pour tous les échantillons les nématodes sont extraits respectivement à partir de 25 g de racines et de tubercules et de 100 cm³ de sol, les différents genres de nématodes associés à la culture sont identifiés et dénombrés sous stéréomicroscope. Les genres rencontrés, à part *Meloidogyne*, *Globodera*, et *Pratylenchus*, sont arrangés par groupes trophiques désignés: ectoparasites, bactériophages, mycophages, et prédateurs (qui regroupe les omnivores et prédateurs).

Composition et structure de la nématofaune. Plusieurs indices ont été calculés pour analyser l'abondance et la diversité des nématodes associées à la culture de pomme de terre dans les différentes régions prospectées.

La Diversité générique est le nombre total des genres par 100 cm³ de sol (Korenko et Schmidt, 2006). L'Abondance est le nombre total des nématodes par 100 cm³ de sol (Korenko et Schmidt, 2006). La Diversité trophique est la proportion du groupe trophique i dans la population totale des nématodes ($T = 1/\sum_i t_i^2$) (Korenko et Schmidt, 2006). L'Indice de diversité de Shannon est la proportion du genre i (g_i) dans la population totale ($H' = -\sum_i g_i \ln g_i$) (Yeates, 1994). L'Égalité générique (*generic evenness*) est calculée par la formule

$$J' = H'/H'_{\max} \text{ où } H'_{\max} = \ln \sum_i (Yeates, 1994).$$

L'Indice de maturité (IM) est une mesure écologique de la perturbation basée sur le placement des familles des nématodes non parasites des plantes en colonisateur-persistant (c-p) sur une échelle graduée de 1 à 5 ($IM = \sum_i v_i f_i$ où v_i est la valeur c-p du taxon i et f_i est la fréquence de ce taxon dans un échantillon) (Bongers, 1990). Les faibles valeurs c-p sont assignées aux familles de nématodes ayant un court cycle de développement, une importante habilité de colonisation et qui sont tolérantes aux perturbations. Donc un IM important indique une faune de nématode qui requiert des conditions environnementales stables (Bongers, 1990). L'IPP est l'indice de maturité exclusivement pour les nématodes parasites des plantes. C'est un paramètre d'écosystème basé sur les caractéristiques de l'histoire de vie de ces nématodes et codé par les valeurs c-p des nématodes parasites des plantes (Bongers, 1990). L'Indice d'orientation de la nématofaune (IO) (Channel index) représente le rapport entre bactériophages (B) et Mycophages (M) et renseigne sur la voie de décomposition de la matière organique dans le sol ($IO = B/(B+M)$). Une importante valeur de IO indique une décomposition bactérienne et une faible valeur suggère une décomposition en majorité mycophage (Korenko et Schmidt, 2006).

Analyses statistiques des corrélations. Les valeurs des indices des différents sites sont comparées par le test d'analyse des variances ANOVA du logiciel SPSS 11.0. Pour $P < 0.05$, les différences sont considérées comme significatives et les valeurs des différents sites sont comparées par le test Duncan.

Les données chiffrées sont analysées par le logiciel STATISTICA®. Les données relatives aux populations de nématodes (œufs, larves L2 et femelles), à la production des plants et au poids moyen des tubercules sont disposées en colonnes tandis que les différentes observations (2053 échantillons) obtenues à partir de différentes régions de culture de pomme de terre en Tunisie [Bizerte, Nabeul (Cap Bon), Kairouan, Mehdià, Sousse et Monastir] forment les lignes de la matrice. La matrice formée par les populations des nématodes est soumise à une analyse en composantes principales (ACP) afin de

déterminer les axes de corrélations (du Toit *et al.*, 1986; Jolliffe, 1986; Celeux *et al.*, 1989). Le test de sphéricité de Bartlett, la mesure d'adéquation d'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin, le tracé des valeurs propres, les valeurs propres et l'analyse des corrélations sont utilisés en préliminaire comme test de diagnostic de l'ACP et pour sélectionner le nombre de composantes principales ou facteurs. Les valeurs propres forment un critère intéressant pour la détermination du nombre de facteurs puisqu'elles représentent le montant de la variance commune expliquée par les numéros de facteurs respectifs extraits par l'ACP. Le nombre de facteurs est déterminé par le critère de Kaiser qui ne prend en considération pour expliquer l'ACP que les facteurs correspondant à une valeur propre supérieure à 1 ou par la méthode empirique relative à la pente du tracé des valeurs propres. Les variables sont liées à un facteur lorsqu'elles représentent des corrélations élevées entre elles et les facteurs (ou "nouvelles variables synthétiques") extraits par défaut; ces corrélations sont également appelées poids factoriels. Les variables sont jugées avoir un intérêt pratique dans le cas où leur contribution au facteur serait supérieure à 0,7. Les coordonnées relatives des différentes observations sur les axes générés par l'ACP sont disposées avec les valeurs de la production des plants et le poids moyen des tubercules et soumis à un test de signification du coefficient de corrélation à la probabilité $P = 5\%$.

Les données chiffrées quantitatives sont par la suite transformées en variables qualitatives en définissant des classes de fréquences. Les populations de *Meloidogyne* sp. sont divisées en cinq classes (0, 0-50, 50-400, 400-800, >800), de *Globodera* sp. en cinq classes (0, 0-50, 50-200, 200-800, >800), les ectoparasites en cinq classes (0, 0-50, 50-100, 100-200, >200), les bactériophages en six classes (0, 0-20, 20-300, 300-600, 600-900, >900), les mycophages en cinq classes (0, 0-100, 100-400, 400-900, >900), les nématodes prédateurs en quatre classes (0, 0-40, 40-80, >80), les *Pratylenchus* spp. en quatre classes (0, 0-10, 10-20, >20), la production en kg/m² en quatre classes (0-2, 2-8, 8-14, >14) et le poids moyen du tubercule en gramme en quatre classes (0-50, 50-200, 200-350, >350). Ces différentes variables sont associées aux autres variables qualitatives. Les variables qualitatives évaluées sont la nature du sol (léger, sablo-limoneux, sablonneux, lourd), les cultivars Spunta, Safrane et Atlas (sensibles aux *Globodera rostochiensis* et *G. pallida*) et Mondial et Nicola (résistants à *G. rostochiensis*), le précédent cultural (pomme de terre, jachère, orge-avoine-fourrage-blé, piment-tomate, oignon, courge, arachide, persil, haricot, choux-fleur), le système d'irrigation (raie, goutte à goutte, asperseur) et les arbres intercalaires (absence d'intercalaire, oliveraie, agrumes, grenadier, abricotier). L'ensemble des ces variables ont servi à construire des tables de contingence croisant les différentes classes en lignes et les régions de cultures de la Tunisie ou l'infestation par les principaux nématodes phytoparasites (*Globodera* sp., *Meloidogyne* sp. et *Praty-*

lenchus sp.) en colonne. Ces tables de contingence ainsi formées sont soumises à l'analyse factorielle des correspondances (AFC). Chaque table de fréquence croisée sert à effectuer deux AFC, une reliant les populations de nématodes ensemble et l'autre reliant les caractères agronomiques.

RÉSULTATS

Caractéristiques climatiques. L'étude des données climatiques est très intéressante du fait que la fluctuation de la composition et de l'abondance des populations des nématodes est fonction de la richesse en eau entre les particules du sol et est fonction de la variation des températures moyennes ambiantes et du sol. Les deux régions du nord ont présenté la plus importante pluviométrie totale et les plus faibles températures moyennes pendant l'année 2006. De même les températures au niveau du sol ont suivi la même variation que les températures ambiantes moyennes. Les plus faibles températures sont enregistrées au niveau des régions de Bizerte et du Cap Bon. Les régions de Monastir, Sousse, Mehdià et Kairouan ont montré des sols plus chauds avec une température supérieure à 21,5 °C (Tableau I).

Composition et structure de la nématofaune. L'abondance moyenne des nématodes associés à la culture de pomme de terre a été affectée par la région d'échantillonnage bien qu'il s'agisse d'une même culture. La ré-

gion de Bizerte a présenté la plus importante abondance; en revanche la plus faible est obtenue dans la région de Kairouan. Les sites de Sousse, de Monastir, de Mehdià et du Cap Bon ont présenté des populations voisines de l'ordre de 140 individus par 100 g de sol.

Les valeurs des différents indices des sites étudiés sont résumées dans le Tableau II. Une différence significative entre les différentes régions est obtenue pour les indices de diversité générique et de diversité trophique. Un total de 23 genres a été déterminé dans les différentes aires d'étude et la plus grande diversité est rencontrée dans les sols de la région de Sousse et la plus faible à Mehdià.

L'indice de diversité de Shannon (H') et l'indice d'égalité générique (J') ont suivi la même allure que l'indice de diversité trophique T et ont montré de même une différence significative entre les différentes régions.

Les indices de maturité (IM) et les indices des nématodes parasites des plantes (IPP) sont négativement corrélés entre eux et avec l'abondance moyenne dans les différentes régions. Ces indices qui mesurent le degré de perturbation de l'écosystème ont montré les plus faibles valeurs dans les régions de Bizerte et du Cap Bon. Les milieux des régions de Sousse et de Monastir paraissent moyennement perturbés alors que ceux de Kairouan et de Mehdià sont les moins affectés vues les plus importantes valeurs des indices IM et IPP (Tableau II).

Groupements fonctionnels de la nématofaune. L'étude de la composition des groupements des nématodes a

Tableau I. Variation de la pluviométrie et des températures moyennes ambiantes et au niveau du sol dans les différentes régions prospectées durant l'année 2006.

Région	Pluviométrie totale (mm)	Température moyenne (°C)	Température maximale (°C)	Température minimale (°C)	Température du sol °C (T°10 cm + T°20 cm)/2
Bizerte	689,3	18,9	24	13,8	21,35
Cap Bon	669,6	19,6	24	15,1	17,45
Sousse	409,7	19,4	23,8	15,1	21,75
Monastir	396,3	20,4	24,7	16,2	22,7
Mahdià	325,1	19,5	24,7	14,2	22,9
Kairouan	323	21,4	27,5	15,3	22,8

Tableau II. Paramètres écologiques des nématodes associés à la culture de pomme de terre dans les différentes régions prospectées.

Indice	Région					
	Sousse	Monastir	Mehdià	Kairouan	Cap Bon	Bizerte
Abondance moyenne (N)	168b	162b	133bc	114c	144bc	272a
Nombre total des genres (Σ)	23	14	11	18	20	18
Diversité trophique (T)	2,32ab	2,41a	1,98c	2,20b	1,82d	1,63e
Indice de diversité de Shannon (H')	0,92ab	0,98a	0,75c	0,89b	0,77c	0,57d
Egalité générique (J')	0,3c	0,37a	0,26d	0,34b	0,27d	0,22e
Indice de maturité (IM)	1,19b	1,23b	1,4a	1,47a	0,6c	0,33d
Indice de maturité de nématodes parasites des plantes (IPP)	0,67c	0,68c	0,21d	0,26d	1,05b	2,07a
Indice d'orientation de la nématofaune (IO)	0,50b	0,51b	0,50cb	0,47b	0,94a	0,92a

* Les chiffres dans les différentes lignes affectés des mêmes lettres (a,b) ne sont pas significativement différents selon le test Duncan à la probabilité P = 0,05.

permis de déterminer la présence de quatre groupes trophiques qui sont les phytoparasites, les bactériophages, les mycophages et le groupe des omnivores et prédateurs avec des proportions variables selon le site prospecté (Fig. 1). D'ailleurs, l'indice de diversité trophique T qui est significativement différent entre les différentes régions confirme une abondance variable en fonction des groupes trophiques rencontrés même au niveau d'une même région.

Les régions de Sousse et de Monastir ont montré des proportions des phytoparasites, des bactériophages et des mycophages pratiquement égales alors que les omnivores et les prédateurs sont mieux présents à Monastir qu'à Sousse. Les phytoparasites, dans les régions de Mehdiä et Kairouan, représentent moins de 10% du groupement total alors que les nématodes bactériophages et mycophages dominent le peuplement. Au Cap Bon les bactériophages et les phytoparasites représentent respectivement 55% et 40% de l'abondance totale. Les phytoparasites représentent environ 70% des nématodes associés à la pomme de terre dans les parcelles de Bizerte; les bactériophages occupent environ 25% et les mycophages et les omnivores sont très peu présents.

Le peuplement des nématodes phytoparasites est représenté en majorité par les nématodes endoparasites composés des genres *Meloidogyne*, *Globodera* et *Pratylenchus*. En effet ils présentent plus de 50% des nématodes phytoparasites dans les différentes régions sauf à Mehdiä où ils ne dépassent pas les 20%. Les populations des *Pratylenchus* sp. n'excèdent guère les 10% et les proportions les plus importantes sont observées dans les régions de Kairouan et Mehdiä. À Sousse et Monastir les nématodes phytoparasites sont dominés par les *Meloidogyne* sp. suivis de *Globodera* sp. Cependant, la majorité des phytoparasites à Bizerte et au Cap Bon est constituée du nématode doré de la pomme de terre (Figs 2A et B).

Corrélations entre les régions et la nématofaune. L'indice d'adéquation de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin teste les corrélations partielles entre les variables. La mesure de cet indice pour l'ACP effectuée sur la population des nématodes, a montré une valeur égale à 0,501. Ceci montre que les variables soumises à l'analyse factorielle sont utiles. Le test de Bartlett de sphéricité défini par le test χ^2 a une valeur égale à 2718,275 pour l'ACP effectuée. Ces valeurs sont très hautement significatives ce qui indiquerait probablement l'existence d'une relation entre les variables. La qualité de représentation est la corrélation des carrés de la variable utilisant les facteurs comme variables explicatives et donc la part de la variabilité de chaque variable expliquée par les facteurs de l'ACP.

La plupart des variables contribuent d'une façon importante à l'ACP sauf la population de *Meloidogyne* sp. et les nématodes prédateurs qui ne participent que par une faible fraction de sa variabilité (Tableau III).

Trois facteurs ayant une valeur propre supérieure à

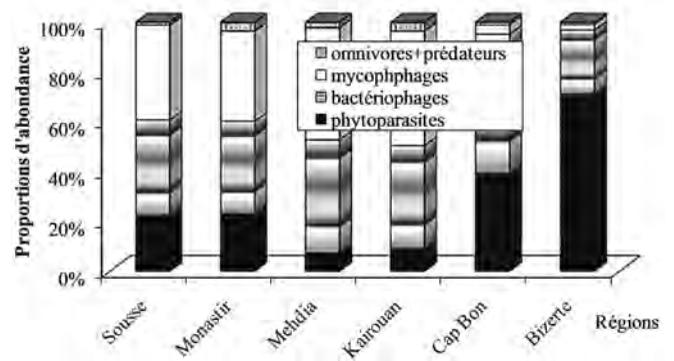


Fig. 1. Proportions d'abondance de différents groupes trophiques de nématodes associés à la culture de pomme de terre dans les différentes régions prospectées.

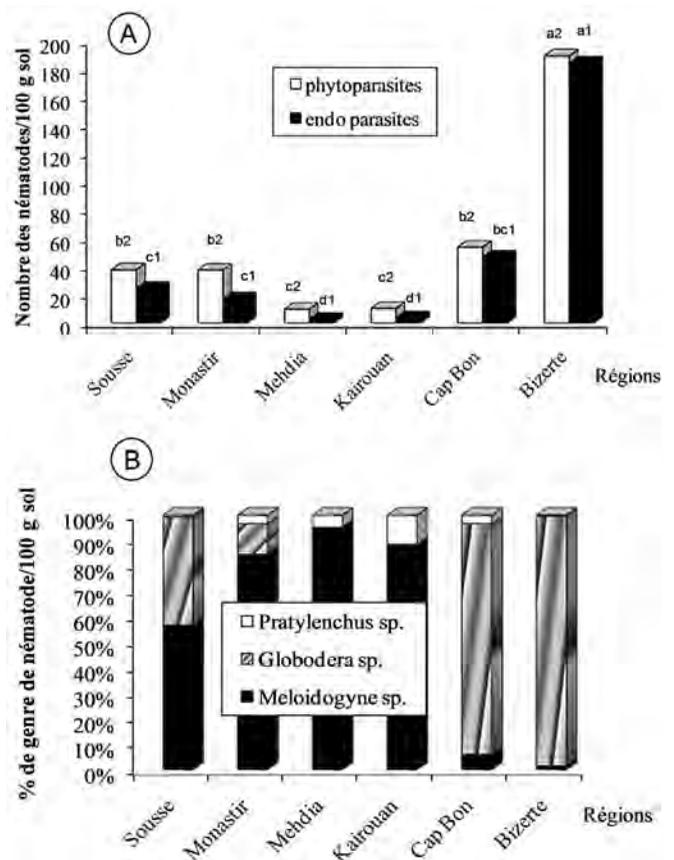
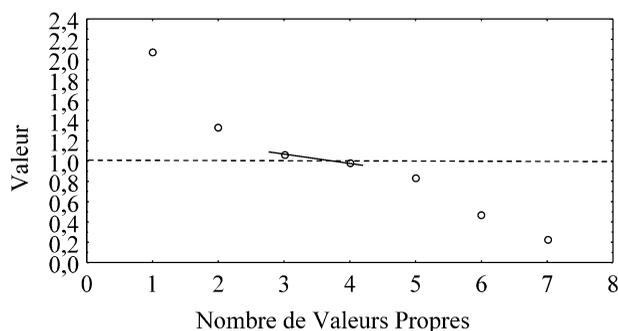


Fig. 2. Peuplement des endoparasites par rapport à l'ensemble des nématodes phytoparasites (A) et proportions de différents genres composant ce groupe de nématodes (*Meloidogyne* sp., *Globodera* sp. et *Pratylenchus* sp.) dans les différentes régions (B). Les barres affectées par les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de Duncan à la probabilité $P = 0,05$.

1 sont retenus pour l'ACP sur la base du critère de Kaiser. Le tracé des valeurs propres (Fig. 3) montre qu'au-delà de trois facteurs la pente du tracé des valeurs propres change et les valeurs semblent s'équilibrer à droite du tracé ne présentant que des "éboulis factoriels". Le tracé des valeurs propres semble confirmer le choix de 3 facteurs principaux pour définir l'ACP.

Tableau III. Les communautés des nématodes ou la qualité de représentation des différentes variables soumises à l'ACP.

Communauté	Pour 1 Facteur	Pour 2 Facteurs	Pour 3 Facteurs	R ² Multiple
<i>Meloidogyne</i> sp.	0,006623	0,035937	0,137684	0,006294
<i>Globodera</i> sp.	0,236713	0,846172	0,849000	0,480622
Bactériophage	0,580080	0,657778	0,662739	0,431828
Mycophage	0,317608	0,598631	0,745451	0,274403
Prédateurs	0,124647	0,319304	0,460943	0,085839
<i>Pratylenchus</i> sp.	0,083954	0,087505	0,755804	0,089056
Ectoparasites	0,728876	0,867788	0,870991	0,610078

**Fig. 3.** Evolution des valeurs propres en fonction du nombre de facteurs déterminés par l'analyse en composantes principales effectuée sur les variables observées. La ligne horizontale discontinue représentée par rapport à la valeur propre unitaire illustre le choix des facteurs sur la base du critère de Kaiser. La ligne continue sur le graphique montre les premiers points non significatifs illustrant la sélection graphique des facteurs.

L'ACP effectuée explique respectivement 64,03% de la variabilité totale. Le premier axe factoriel explique 29,7% de la variabilité totale, le deuxième axe extrait par l'ACP explique seulement 19,1 et le dernier axe de corrélation à 15,3 du nuage de points. Le facteur 1 extrait par l'ACP est inversement lié à la population de bactériophage et des autres phytoparasites, le facteur 2 est associé à l'infestation des *Globodera* sp. et le troisième axe factoriel est corrélé négativement à la popula-

tion des *Pratylenchus* sp. (Tableau IV).

Les corrélations entre les caractéristiques de la production et les axes extraits par l'ACP montrent que seul l'axe 2 lié à la population de *Globodera* sp. est inversement lié à la quantité de production en tubercules des plants de pomme de terre et à la qualité de production mesurée par le poids moyen de tubercules (Tableau V).

La représentation graphique de correspondance (Fig. 4) montre que les deux axes choisis ont contribué à 87,9% de la variation totale. Le premier axe des abscisses (77,8%) a principalement séparé les régions Sousse, Monastir, Mehdia et Kairouan de celles de Nabeul (Cap Bon) Bizerte qui sont positivement corrélées à cet axe.

La représentation de l'ensemble des ces variables en analyse factorielle de l'infestation des régions de cultures par les différents genres et groupes trophiques des nématodes semble être superposée et corrélée par un troisième axe verticale tout au tour du point d'intersection entre les deux axes principaux.

Les régions de Nabeul (Cap Bon) et Bizerte sont caractérisées par une infestation élevée de *Globodera* sp. (G) dont les classes se projettent toutes dans le même demi plan positif du deuxième axe matérialisant un effet taille de représentation. D'ailleurs c'est dans ces deux régions que les infestations les plus importantes du ravageur sont rencontrées (celle supérieure à 800 individus, représentées respectivement par la classe 4, et celles comprises entre 50 et 800 individus représentées par les

Tableau IV. Coordonnées des variables mesurées dans le repère défini par les différents facteurs retenus par l'ACP.

Communauté	Facteur 1	Facteur 2	Facteur 3
<i>Meloidogyne</i> sp.	0,081382 ¹	0,171213	0,318978
<i>Globodera</i> sp.	-0,486532	0,780678	0,053181
Bactériophage	-0,761630	-0,278743	0,070432
Mycophage	-0,563567	-0,530116	0,383171
Prédateur	-0,353054	-0,441199	-0,376350
<i>Pratylenchus</i> sp.	-0,289748	-0,059589	-0,817496
Ectoparasites	-0,853742	0,372708	0,056598

¹Les coordonnées des différentes variables sur l'axe factoriel sont comprises entre -1,00 et 1,00. La contribution de la variable à un facteur est mesurée par les valeurs relatives des coefficients de cette variable sur les différents facteurs.

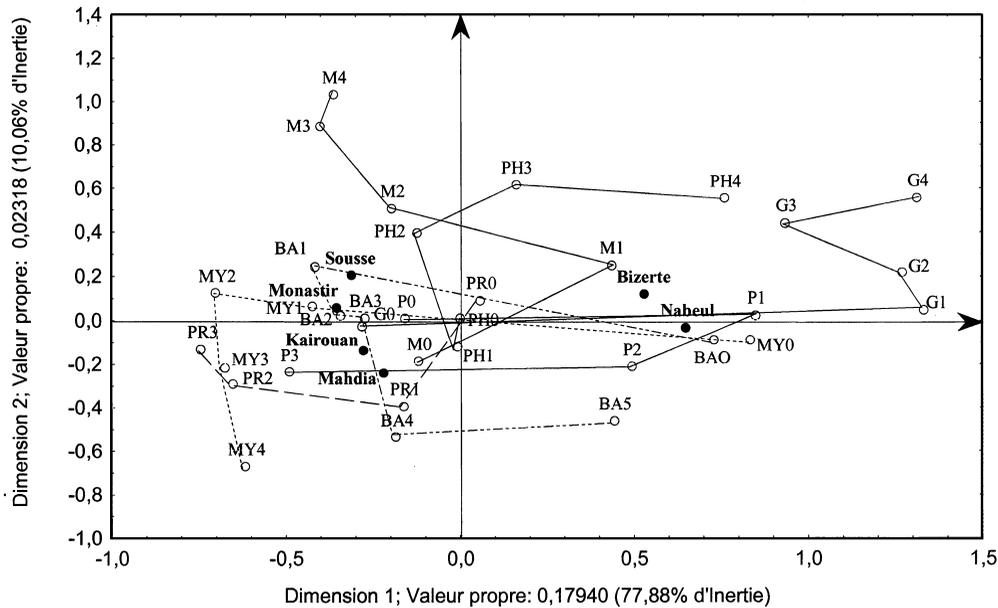


Fig. 4. Analyse factorielle des correspondances (AFC) relativement aux tables de contingence présentant l'infestation des régions de cultures par les principaux nématodes endoparasites: *Globodera* sp. (G), *Meloidogyne* sp. (M) et *Pratylenchus* sp. (P) ainsi que les autres nématodes associés, bactériophages (BACT), mycophages (MY), prédateurs (PR) et ectoparasites (PH).

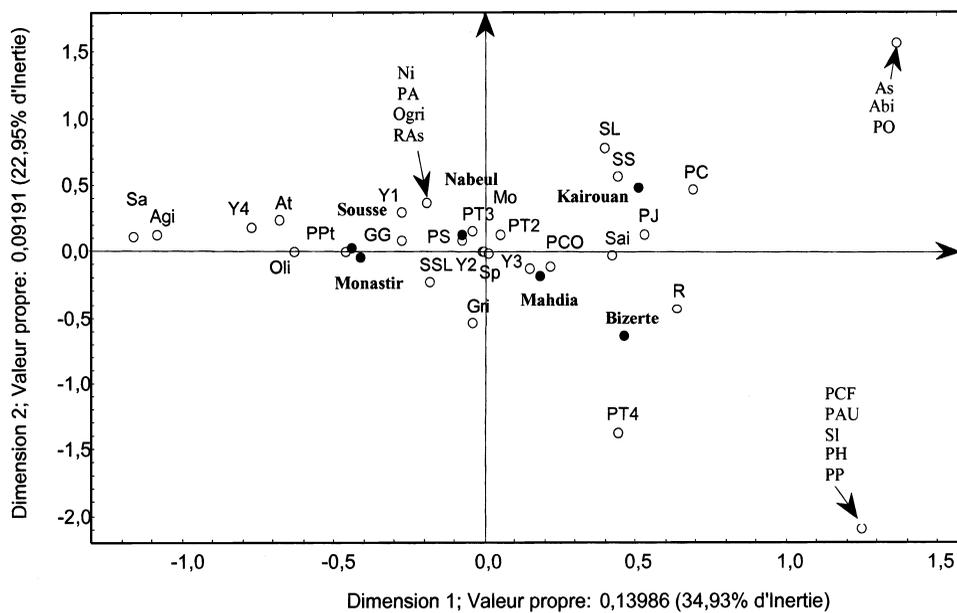


Fig. 5. Analyse factorielle des correspondances (AFC) relativement aux tables de contingence reliant les caractères agronomiques dans les différentes régions. Les paramètres agronomiques adoptés sont la production (Y), le poids moyen des tubercules (PT), le sol léger (SI), sol sablo-limoneux (SSI), sol sablonneux (SS), sol lourd (SL), les cultivars Spunta (Sp), Safrane (Sa) et Atlas (At), Mondial (Mo) et Nicola (Ni), le précédent cultural pomme de terre (PPt), jachère (PJ), céréales orge-avoine-fourrage-blé (PC), solanacée piment-tomate (PS), oignon (PO), courge (PCO), arachide (PA), persil (PP), haricot (PH), choux-fleur (PCF), le système d'irrigation à la raie (R), goutte à goutte (GG), asperseur (AS) et irrigation à la raie et par aspersion (Ras) et la présence des arbres intercalaires oliveraie (Oli), agrumes (Agi), grenadier (Gri), abricotier (Abi) et absence d'intercalaire (Pau).

classes 3, 2 et 1). Les régions de Sousse et de Monastir présentées par Globo 0 ont montré l'infestation la plus faible (<50 individus). Les classes relatives à l'infestation par *Meloidogyne* (M) sont bien séparées selon les

régions. Les peuplements les plus importants correspondant aux classes 2, 3 et 4 ont une ordonnée positive et sont présents dans les régions de Sousse et de Monastir. Les régions de Mehdiâ et Kairouan ont montré l'in-

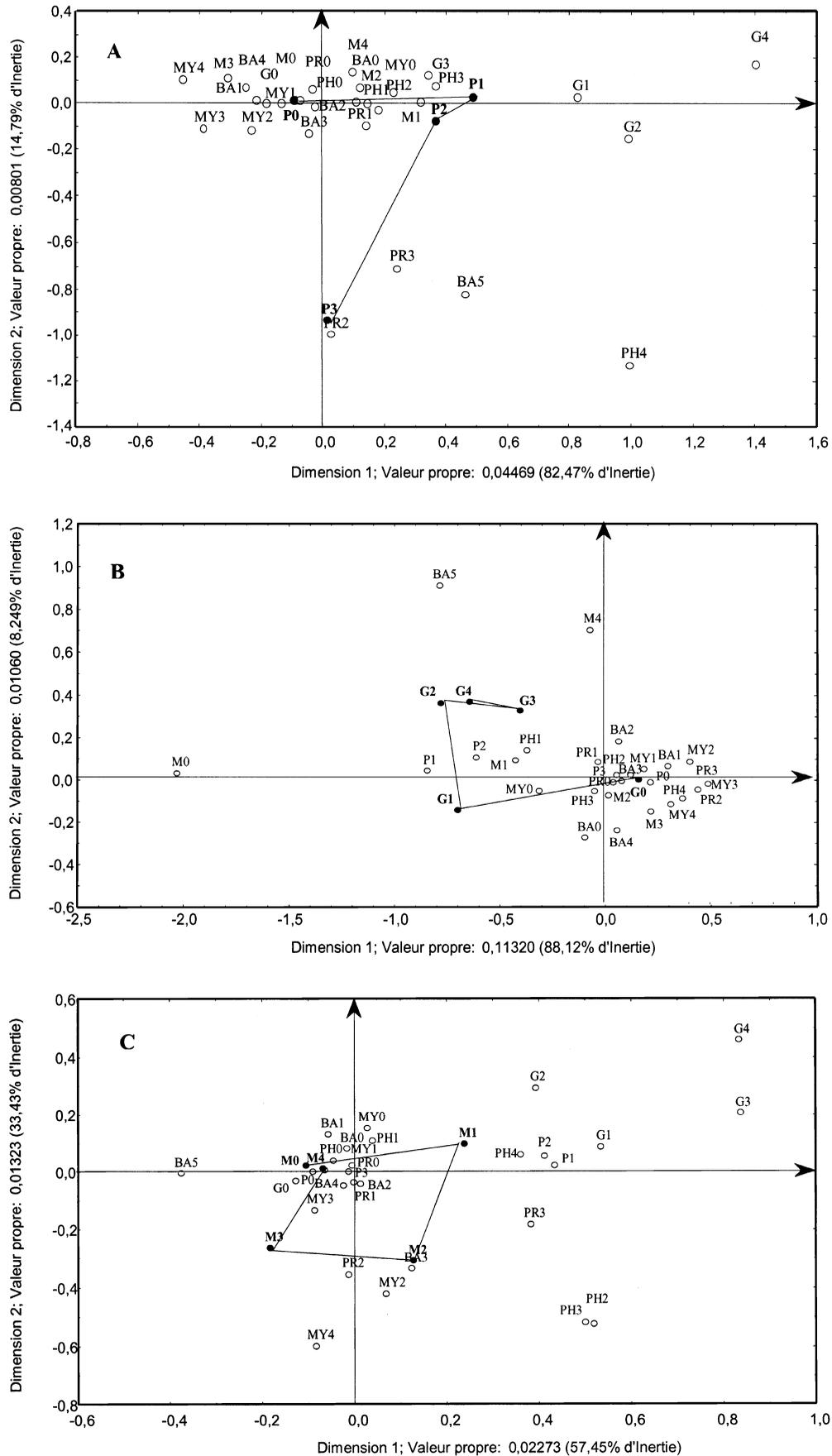


Fig. 6. Analyse factorielle des correspondances (AFC) relativement aux tables de contingence reliant chacun des endoparasites de la pomme de terre et les autres groupes des nématodes du sol (A: *Pratylenchus*, B: *Globodera* et C: *Meloidogyne*). *Globodera* sp. (G), *Meloidogyne* sp (M), *Pratylenchus* sp. (P), bactériophages (BA), mycophages (MY), prédateurs (PR) et ectoparasites (PH).

festation la plus faible (M 0) négativement corrélée aux deux axes. Alors que la classe M 1 qui caractérise Bizerte et Nabeul est la seule ayant une abscisse positive.

La population des *Pratylenchus* est très faible par rapport aux autres ravageurs de pomme de terre. Les quatre classes de ce ravageur sont réparties dans les différents cadrans de la carte factorielle. Les densités supérieures à 20 individus sont représentées dans le demi-plan négatif de l'axe 1 et sont caractéristiques des sols de la région de Mehdiá. Alors que les peuplements entre 0 et 20 individus ont des abscisses positives et se trouvent essentiellement dans la région de Nabeul (Cap Bon).

Bien qu'ayant des densités différentes, les mycophages et les prédateurs ont présenté presque la même distribution. Les deux groupes sont négativement corrélés aux deux axes et les populations les plus importantes se répartissent dans les régions de Mehdiá et Kairouan.

Les bactériophages sont le groupe de nématodes le plus représenté dans cette étude de point de vue peuplement. Dans la carte factorielle ce groupe occupe presque tout le plan factoriel montrant des différences de densité dans les régions prospectées. La plus importante densité de population se présente dans le demi-plan positif de l'axe des abscisses mais à ordonnée négative. Pour les ectoparasites (PH) la situation est presque similaire.

Pour l'AFC reliant les caractères agronomiques dans les différentes régions la représentation graphique (Fig. 5) montre une variation totale faible de 58.2% sur les deux axes. Les régions de Bizerte, Kairouan, Nabeul et Mehdiá sont positivement corrélées à l'axe 1 alors que les régions de Sousse et Monastir sont négativement reliées aux deux axes.

Les productions les plus importantes (définies par la classe Y4, supérieure à 14 kg/m²) sont observées dans les régions de Sousse et Monastir dont la majorité des parcelles cultivées en pomme de terre sont pratiquées dans des oliveraies de petite superficie et caractérisées par un sol sablonneux. Les deux régions présentent des systèmes de cultures généralement intensives où les terrains sont en majorité infestés par les *Meloidogyne*. La rotation est faite par des cultures de solanacées et cucurbitacées, plantes hôtes de ces endoparasites. Des amendements combinés en matière organique et en fertilisation minérale sont ordinairement apportés avant chaque culture. Les infestations de ces deux régions par les *Globodera* sont récentes puisque le nombre de terrains infestés est limité. Mais même si elles sont peu nombreuses, ces parcelles forment des foyers de dissémination de ces ravageurs. Les traitements du sol dans ces régions sont limités à quelques parcelles destinées à produire des semences. Kairouan et Mehdiá sont caractérisées par un sol en majorité lourd dans la première région et sablonneux dans la seconde. Les systèmes de cultures dans ces deux régions sont en majorité traditionnels et extensifs. Ils se caractérisent soit par la culture des graminées (PC), soit une jachère (PJ) travaillée en

rotation avec la pomme de terre. Cette dernière culture principale est généralement irriguée à la raie. Les agriculteurs dans ces régions ne font pas de traitements du sol et n'utilisent que la variété sensible Spunta. Les sols de ces régions sont les moins perturbés parmi les sites prospectés.

Les régions de Bizerte et de Nabeul sont les plus anciennes, connues par la production intensive de pomme de terre. Elles sont caractérisées par des sols sablo limoneux pour la première et des sols plus ou moins lourds pour la seconde et par une production moyenne entre 8 et 14 kg/m². La majorité des plantations de pomme de terre sont faites dans des parcelles de grande superficie où la fertilisation est pour la plupart minérale. Les agriculteurs de ces régions sont habitués à faire des traitements du sol par des nématicides organophosphorés et carbamates (l'Ethoprophos, le Carbofuran liquide et granulé) pour lutter essentiellement contre les infestations par *Globodera* spp. D'ailleurs ces ravageurs représentent presque la totalité des phytoparasites des sites de ces régions ; ainsi leurs sols sont les plus perturbés.

Les AFC reliant chacun des endoparasites de pomme de terre d'une part et les différents groupes des nématodes du sol d'autre part ont montré des variations totales supérieures à 90% pour les trois nématodes dominants. Elle est de 97,3% pour les *Pratylenchus*, 96,4% pour les *Globodera* et 90,9% pour les *Meloidogyne*. Les *Pratylenchus* sont répartis sur la partie positive de l'axe des abscisses et sont associés aux plus importantes populations des bactériophages, prédateurs et ectoparasites (Fig. 6A). Les *Globodera* semblent former un groupe distinct et loin des autres groupes de nématodes, leur répartition est toujours du même côté que celui de *Pratylenchus* (Fig. 6B) et en synergie avec les plus importantes proportions des phytoparasites. La présence de *Meloidogyne* n'est pas influencée par la présence des ravageurs sus mentionnés mais elle est plutôt associée aux différentes classes des bactériophages et surtout celles des mycophages (Fig. 6C).

Les AFC reliant chacun des endoparasites de pomme de terre avec les paramètres agronomiques expliquent 86% pour les *Pratylenchus*, 81% pour les *Globodera* et 96% pour les *Meloidogyne*, de la variabilité totale.

Les *Pratylenchus* sont fréquemment rencontrés dans des sols sablonneux et sablo-limoneux, soit en cultures intercalaires dans des oliveraies ou dans des abricoteraies, soit après la culture de pomme de terre et d'autres plantes hôtes comme l'oignon ou arachide. Les variétés de pommes de terre Nicola et Atlas, irriguées généralement par aspersion, sont les plus infestées par ces ravageurs (Fig. 7A). Les *Globodera* sont retrouvés sur la majorité des variétés utilisées dans les zones caractérisées par des sols limoneux à plus ou moins lourds (Fig. 7B). Les *Meloidogyne* sont associées aux variétés de pomme de terre Spunta, Safrane et Mondial surtout dans les oliveraies caractérisées par des sols sablonneux (Fig. 7C).

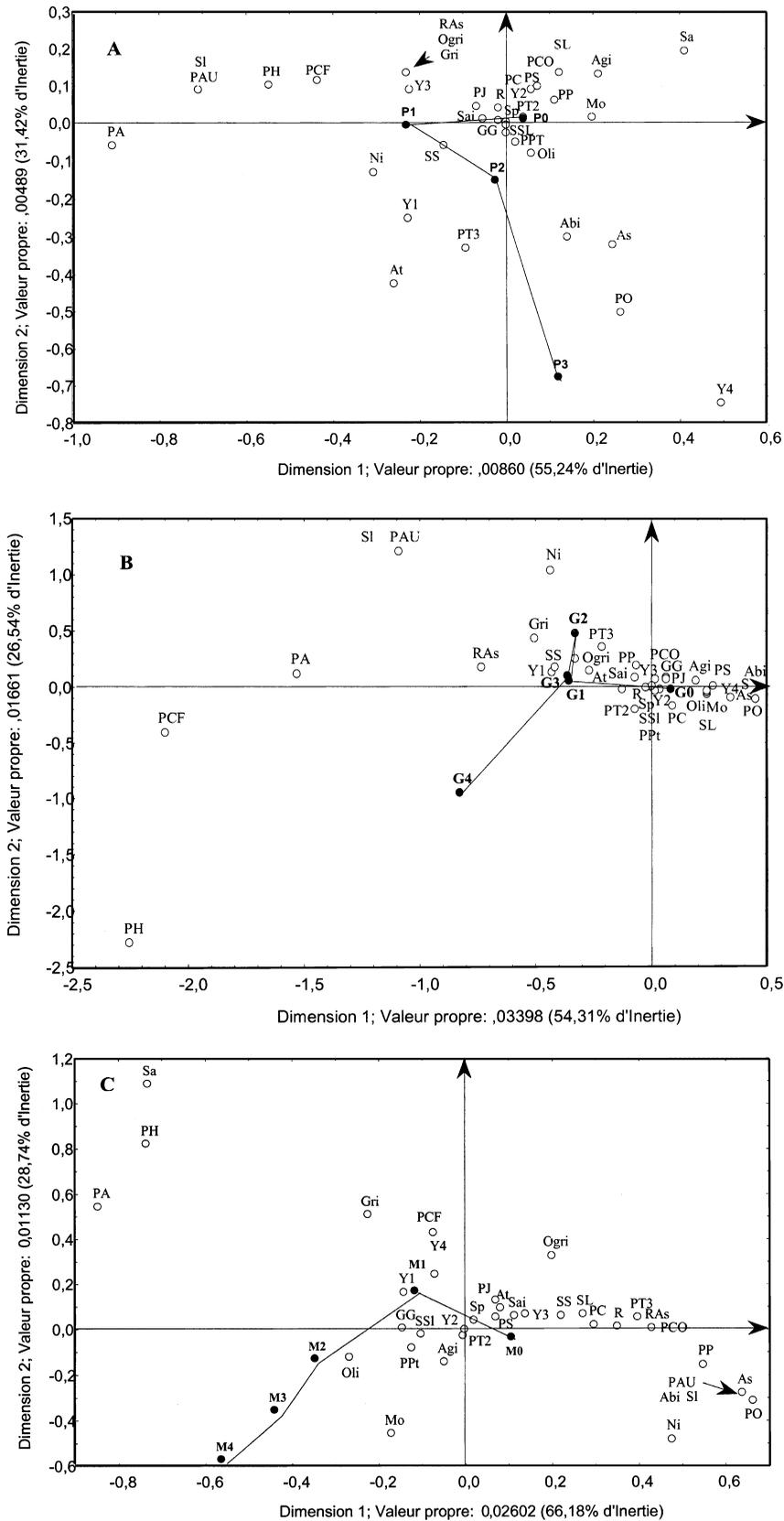


Fig. 7. Analyse factorielle des correspondances (AFC) relativement aux tables de contingence reliant chacun des endoparasites de la pomme de terre (A: *Pratylenchus* (P), B: *Globodera* (G) et C: *Meloidogyne* (M)) aux paramètres agronomiques production (Y), poids moyen des tubercules (PT), sol léger (Sl), sol sablo-limoneux (SSl), sol sablonneux (SS), sol lourd (SL), cultivars Spunta (Sp), Safrane (Sa) et Atlas (At), Mondial (Mo) et Nicola (Ni), précédent cultural pomme de terre (PPt), jachère (PJ), céréales orge-avoine-fourrage-blé (PC), solanacée piment-tomate (PS), oignon (PO), courge (PCO), arachide (PA), persil (PP), haricot (PH), choux-fleur (PCF), système d'irrigation à la raie (R), goutte à goutte (GG), asperseur (AS), irrigation à la raie et par aspersion (Ras), la présence des arbres intercalaires d'olivier (Oli), agrumes (Agi), grenadier (Gri), abricotier (Abi) et absence d'intercalaire (Pau).

Tableau V. Les corrélations entre les axes extraits par l'ACP et les caractéristiques de la production (poids moyen des tubercules et production).

	Production	Poids moyen de tubercule
Production	-	0,55
Poids moyen de tubercule	-	-
Facteur 1	0,03	0,03
Facteur 2	-0,06*	-0,05 *
Facteur 3	0,02	0,01

(*) Test de signification du coefficient de corrélation significatif à la probabilité $P = 0,05$

DISCUSSION

L'analyse des données relatives aux échantillonnages pratiqués sur la même culture de pomme de terre dans les différentes régions nous a fourni des informations concernant la variation spatiale des nématodes associés à cette culture. Ces variations sont expliquées par les modifications de leurs écosystèmes liées aux différentes pratiques culturales, et aux conditions bioclimatiques qui prévalent dans les lieux prospectés, comme cela a été montré par Ritz et Trudgill (1999). Freckman et Etema (1993) ont trouvé que la diversité trophique est plutôt affectée par la nature du système de culture: pérenne ou annuelle. D'ailleurs l'intensification de l'agriculture nécessite généralement des pratiques comme l'addition des composés synthétiques (pesticides, fertilisants), la manipulation des résidus organiques et leur incorporation dans le sol (Yeates *et al.*, 1999). Il s'est avéré que le travail et l'amendement du sol influencent la structure (diversité et densité) et la fonction (groupes trophiques et stratégie de vie) de la communauté des nématodes (McGarry *et al.*, 2000; Lenz et Eisenbeis, 2000; Kladivko, 2001).

Dans le cas de la culture de pomme de terre étudiée, cinq groupes trophiques ont été retrouvés. Bien que fixe de point de vue composition, ce groupement présente des proportions variables selon les régions.

Les nématodes bactériophages et les mycophages ont été les plus dominants dans la majorité des régions prospectées. Le premier groupe a représenté la composante dominante de la nématofaune. Ceci est probablement dû aux amendements organiques et la modification de la structure physique du sol par les travaux mécaniques répétés comme il a été observé par Freckman (1988). Les nématodes mycophages sont plus importants dans les sols où les systèmes de culture est diversifié (Didden *et al.*, 1994), comme il a été observé dans les régions du centre. Par contre, les régions du Nord (Bizerte et Cap Bon) ont présenté la plus faible proportion. Le rapport des bactériophages et mycophages est conçu comme indicateur de la voie de décomposition de la matière organique (Yeates et Bongers, 1999). Les analyses des données ont montré une différence significative d'in-

dice d'orientation de ce groupe de nématofaune. Dans les sols des sites des régions de Sousse, Monastir, Mehdiâ et Kairouan la dégradation de la matière organique est probablement effectuée aussi bien par des bactériophages que par des mycophages alors que les sols des régions de Bizerte et du Cap Bon, cette dégradation est faite essentiellement par des nématodes bactériophages. Ces résultats confirment en partie les travaux de Korenko et Schmidt (2006) qui ont montré que dans un milieu stressé et perturbé la décomposition est dominée par les bactériophages alors que les mycophages dominent dans les systèmes inertes ou peu perturbés.

Certains travaux ont montré que les nématodes phytoparasites sont plus abondants dans les sols peu perturbés que dans les sols fréquemment travaillés (Yeates *et al.*, 1991; Korenko et Schmidt, 2006). Ceci est probablement dû à la richesse en plantes et à la présence permanente des systèmes racinaires sur lesquels ils peuvent prélever leurs besoins. Dans ce travail les nématodes phytoparasites sont plus importants dans les régions de Bizerte et Cap Bon dont le sol est le plus perturbé. Ce groupement est dominé par le genre *Globodera*, ravageur inféodé à la culture de pomme de terre. Ainsi nous pouvons considérer que la nature des plantes présentes semble déterminer fortement l'abondance et l'activité de la nématofaune phytoparasites comme il a été signalé par Korenko et Schmidt (2006).

Pour ce groupe des nématodes, et plus précisément pour *Meloidogyne*, *Globodera* et *Pratylenchus* nous avons remarqué une certaine compartimentation ou spécialisation des zones de cultures de pomme de terre. En effet, les sites de Bizerte et de Nabeul (Cap Bon) caractérisés par un climat froid et humide et une culture intensive de pomme de terre sont dominés par les *Globodera* spp. A Sousse et Monastir caractérisés par un climat plus doux et une rotation des solanacées/cucurbitacées en intercalaire dans des oliveraies, la nématofaune est dominée par les *Meloidogyne* spp. Alors que les régions de Kairouan et Mehdiâ où le climat est plus sec et où la rotation est dominée par les jachères travaillées présentent une plus importante population de *Pratylenchus* sp, genre très abondant en saison sèche (Cadet et Debouzie, 1990).

Comparé aux autres groupes de nématodes, les prédateurs et les omnivores ont des proportions très faibles. Ceci est expliqué par les travaux de Ferris *et al.* (1996) qui ont montré que dans les premiers 15 cm du sol le nombre de ces deux groupes sont probablement au dessous du niveau duquel ils auront un impact sur la régulation des populations des autres nématodes. Ce sont des nématodes de taille relativement grande et sont généralement les plus sensibles aux changements de l'écosystème. D'ailleurs ces nématodes de grande taille utilisent les macropores du sol pour se déplacer et effectuer leurs activités trophiques. Ainsi, la compaction des sols a un effet négatif sur ces nématodes (Ritz et Trudgill, 1999). Ils sont aussi sensibles aux herbicides et autres pesticides ainsi qu'à l'application de la fertilisa-

tion minérale en agriculture conventionnelle (Ferris *et al.*, 1996). Ceci confirme l'importance de ce groupe de nématodes à Kairouan et à Mehdià où la culture est plutôt extensive par rapport aux autres régions.

Le nombre total des genres et les différents indices de diversité permettent selon Yeates *et al.* (1991) de distinguer entre différents systèmes de culture. Ferris *et al.* (1996) ont signalé que la notion de diversité comme indicateur de stabilité peut fournir un aperçu sur la variation des conditions et la résilience des fonctions composantes du système sol. La transformation des indices de diversité au sein d'un groupe trophique est d'un intérêt certain. Elle reflète le nombre des taxons à des niveaux variables d'abondance et le degré de redondance des fonctions communes entre les systèmes (Ferris *et al.*, 1996). Korenko et Schmidt (2006) considèrent que la plus grande diversité de la nématofaune existe dans les sols peu travaillés, tandis que Neher (1999) a trouvé que l'absence des racines vivantes durant une très longue période de l'année limite l'augmentation du peuplement des nématodes surtout les parasites des plantes. Ceci peut expliquer la faible richesse en genres dans les deux régions de Kairouan et de Mehdià due à l'application de la jachère travaillée. Cependant la diversité dans ces dernières régions et celles de Sousse et Monastir est la plus importante.

L'indice de maturité a été largement utilisé pour étudier l'effet de différents types de perturbations porté aux nématodes libres dans des agroécosystèmes (Frekman et Ettema, 1993; De Goede et Dekker, 1993). Pour calculer l'indice de maturité, le même auteur a initialement séparé les nématodes parasites des plantes des autres groupes de nématodes libres du sol en se basant sur le fait que leurs stratégies de vie ne sont pas comparables (Bongers, 1990). Des indices faibles indiquent que l'environnement est plus perturbé et la présence d'une importante population de nématodes colonisateurs (cycle court, grande faculté de reproduction). Par contre, des indices élevés montrent que le milieu est peu perturbé et présente un haut degré de persistance dans la population (nématodes à cycle long et à faible taux de reproduction). Dans la présente étude nous avons trouvé une différence significative entre les régions avec un gradient ascendant du Nord (Bizerte, Cap Bon) au Centre. Ceci peut être attribué aux façons culturales pratiquées dans les régions de Bizerte et du Cap Bon, les plus perturbées, qui présentent ainsi les plus faibles indices de maturité. Les plus importants indices (1,47 et 1,4) sont retrouvés respectivement dans les régions de Kairouan et Mehdià où nous pourrions considérer que les sols sont les moins perturbés. Nos résultats confirment ceux de Yeates (1994) qui a observé une diminution de MI avec l'augmentation de la perturbation due dans notre cas à l'intensification de la culture de pomme de terre. Ettema et Bongers (1993) ont montré que c'est plutôt la nature de la perturbation qui compte le plus et qu'après 60 jours de fumigation du sol la composition des nématodes s'est transformée progressivement des

taxons colonisateurs aux taxons plus spécialisés. L'irrigation qui augmente l'humidité du sol n'aura pas d'effet immédiat sur les taxons présents, cependant quelques années seront nécessaires au sol pour être colonisé par des taxons plus adaptés aux conditions changeantes et pour qu'un nouvel équilibre s'établisse (Yeates, 1984).

Bien que les échantillons de sol analysés dans ce travail aient présenté des nématodes dont les valeurs de c-p sont relativement importantes appartenant à la famille des Heteroderidae (*Meloidogyne* et *Globodera* sp.) et Longidoridae (*Xiphinema* sp.), les valeurs des indices des nématodes parasites des plantes IPP retrouvés ont été nettement inférieures à celles estimées par Frekman et Ettema (1993) pour les cultures annuelles (de 2,42 à 2,65). Dans cette étude les valeurs les plus importantes sont enregistrées dans les régions de Bizerte (2,07) et du Cap Bon (1,05). Ceci est dû à l'effectif très important des *Globodera*. Les régions de Sousse et de Monastir ont présenté des valeurs comparables de 0,67 et 0,68 bien que l'infestation par les *Meloidogyne* soit très importante. Ceci est dû à la distribution de cette infestation entre les racines et les tubercules et que les données relatives à ces organes de réserve ne sont pas utilisées dans cette étude. Bongers (1990) a prédit que la perturbation du sol par la culture et l'utilisation des fertilisants est souvent associée à une augmentation de la production des cultures annuelles et à une valeur IPP plus importante que les systèmes peu perturbés. Yeates (1994) a observé que les valeurs d'IPP sont similaires à celles de MI dans les pâturages permanant de la Nouvelle Zélande.

Pour montrer les perturbations causées par les différentes pratiques culturales une analyse factorielle de correspondance a confirmé les résultats déjà discutés. Cette analyse a permis de montrer que *Globodera* forme un groupe distinct et loin des autres nématodes et sa répartition toujours du même côté que celui des *Pratylenchus* et des autres ectoparasites ; ceci pourrait être présenté comme un phénomène de synergie, dans la mesure où les formes infestantes de ces nématodes sont approximativement de la même taille (Cadet et Debouzie, 1990). Cette étude a confirmé aussi les résultats de B'Chir (1990) qui a montré une corrélation négative entre la population de ce ravageur et le niveau de production de la culture de pomme de terre. D'ailleurs selon le même auteur les pertes de production peuvent atteindre plus de 45%. Jiménez *et al.* (2000) ont montré que les pertes peuvent être de l'ordre de 73% de la production. Mugniéry *et al.* (1988) ont de même trouvé que la production est parfois inférieure au poids des tubercules plantés. Cette réduction est variable selon certains facteurs (la région, la saison, les pratiques de culture) qui peuvent aussi affecter toute la nématofaune. Mais il est probable que la corrélation entre les différents genres et groupes trophiques soit fortuite étant donné que leur présence est simplement régie par les mêmes facteurs édapho-climatiques ou par le même état morphologique ou physiologique des racines. L'existence de liaisons entre endo et ectoparasites, phénotypiquement

et biologiquement très différents tels que les *Meloidogyne*, les bactériophages et les mycophages constitue un argument en faveur de cette hypothèse (Cadet et Debouzie, 1990).

Les résultats obtenus montrent le manque d'affinité de *Meloidogyne* à l'égard des sols plus ou moins lourds de Bizerte comme l'ont indiqué Cadet et Debouzie (1990). Ces mêmes auteurs ont également montré que l'utilisation des nématicides entraîne des modifications dans l'évolution du peuplement des nématodes.

Les informations obtenues des différentes régions laissent penser qu'il ne s'agit pas d'une situation momentanée mais d'une lente modification qui probablement traduit les changements aperçus au sein de l'écosystème racinaire de la plante de pomme de terre (Cadet et Debouzie, 1990). Il n'est pas exclu que les facteurs responsables de cette évolution ne deviennent défavorables à la croissance de la pomme de terre et entraînent la disparition de certaines espèces de nématodes. Mais ils pourraient aussi être à l'origine d'un bouleversement dans l'équilibre interspécifique (Cadet et Debouzie, 1990) amenant la prédominance de certains genres extrêmement pathogènes comme *Pratylenchus* actuellement minoritaire.

LITTÉRATURE CITÉE

- B'Chir M.M., 1990. Evaluation de la nuisibilité de quelques groupes de nématodes en fonction des particularités agrométéorologiques régionales. *Symposium OMM/OEPP/NAP-PO*, Florence, Italie, pp. 88-89.
- Bakonyi G., Nagy P., Kovács-Láng E., Kovács E., Barabás S., Répási V. et Seres A. 2007. Soil nematode community structure as affected by temperature and moisture in temperate semiarid shrubland. *Applied Soil Ecology*, 37: 31-40.
- Berkelmans R., Ferris H., Tenuta M. et Van Bruggen A.H.C., 2003. Effect of long term crop management on nematode trophic levels other than plant feeders disappear after 1 year of disruptive soil management. *Applied Soil Ecology*, 23: 223-235.
- Bongers T., 1990. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, 83: 14-19.
- Bongers T., Van der Meulen H. et Korthals G., 1997. Inverse relationship between the nematode maturity index and plant parasite index under enriched nutrient conditions. *Applied Soil Ecology*, 10: 195-199.
- Cadet P. et Albrecht A., 1992. Le remodelage des terres de la Martinique: 3. Effet sur le peuplement de nématodes parasites de la canne à sucre en relation avec la croissance végétale. *Cahier de l'ORSTOM, Série Pédologie*, 27: 49-58.
- Cadet P. et Debouzie D., 1990. Évolution spatio-temporelle d'un peuplement de nématodes parasites de la canne à sucre. *Revue de Nématologie*, 13: 79-88
- Celeux G., Diday E., Govaert G., Lechevallier Y. et Rlambondrainy H., 1989. *Classification automatique des données - Environnement statistique et informatique*. Dunod Informatique, Paris, France, 285 pp.
- Crow W.T., Weingartner D.P., Dickson D.W. et McSorley R., 2001. Effect of Sorghum-Sudangass and Velvet bean cover crop on plant-parasitic nematodes associated with potato production in Florida. *Journal of Nematology*, 33(S): 285-288.
- De Goede R.G.M. et Dekker H.H., 1993. Effect of liming and fertilization on nematode communities in coniferous forest soils. *Pedobiologia*, 37: 193-209.
- De Grisse A.T., 1969. Redescription ou modifications de quelques techniques utilisées dans l'étude des nématodes phytoparasites. *Medelingen Rijkskulten Landbouw Wetenschappen Gent*, XXXIV: 351-366.
- Didden W.A.M., Marinissen J.C.I., Vreeken-buijs M.J., Burgers S.L., Geurs M. et Brussaard L., 1994. Soil meso and macro fauna in two agricultural systems: factors affecting population dynamics and evaluation of their role in carbon and nitrogen dynamics. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 51: 171-186.
- Dickson W.D. et McSorley R., 1990. Interaction of three plant parasitic nematodes in corn and soybean. *Supplement to the Journal of Nematology*, 22: 783-791.
- du Toit S.H.C., Steyn A.G.W. et Stumpf R.H., 1986. *Graphical expletory data analysis*. Springer-Verlag Inc, New York, USA, 314 pp.
- Ettema C.H. et Bongers T. 1993. Characterization of nematode colonization and succession in disturbed soil using the maturity index. *Biology and Fertility of Soils*, 16: 79-85.
- Ferris H., Venette R.C. et Lau S.S., 1996. Dynamics of nematode communities in tomatoes grown in conventional and organic farming systems, and their impact on soil fertility. *Applied soil ecology*, 3: 161-175.
- Folkertsma R.T., Van Koert P., Rouppe Van der Voort J.N.A.M., De Groot K.E., Kammenga J.E., Helder J. et Bakker J., 2001. The effect of founding events and agricultural practices on the genetic structure of three metapopulations of *Globodera pallida*. *Phytopathology*, 91: 753-758.
- Freckman D.W., 1988. Bacteriovorous nematodes and organic matter decomposition. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 24: 195-217.
- Freckman D.W. et Ettema C.H., 1993. Assessing nematode communities in agroecosystems of varying human intervention. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 45: 239-261.
- Guy D.W. et Lewis S.A., 1987. Interaction between *Meloidogyne incognita* and *Hoplolaimus columbus* on Davis soybean. *Journal of Nematology*, 19: 346-351.
- Jiménez N., Crozzoli R. et Greco N., 2000. Effect of *Globodera rostochiensis* on the yield of potato in Venezuela. *Nematologia Mediterranea*, 28: 295-299.
- Jolliffe I.T., 1986. *Principal component analysis*. Springer-Verlag Inc., New York, USA, 272 pp.
- Kerry B.R., 2000. Rhizosphere interactions and the exploitation of microbial agents for the biological control of plant parasitic nematodes. *Annual Revue of Phytopathology*, 38: 423-441.
- Kladivko E.J., 2001. Tillage systems and soil ecology. *Soil & Tillage Research*, 61: 61-76.
- Korenko V. et Schmidt C., 2006. Effect of agricultural practices in the rice crop system on nematode communities in Uruguay. *Nematologia Mediterranea*, 34: 151-159.
- Lenz R. et Eisenbeis G., 2000. Short term effects of different tillage in a sustainable farming system on nematode com-

- munity structure. *Biology and Fertility of Soils*, 31: 237-244.
- McGarry D., Bridge B.J. et Radford B.J., 2000. Contrasting soil physical properties after zero and traditional tillage of an alluvial soil in the semiarid subtropics. *Soil & Tillage Research*, 53: 105-115.
- McSorley R., 2000. Sampling and Extraction Technique for Nematodes. In *Techniques in Nematodes Ecology*. Online publication (lamondia@caes.state.ct.us.)
- McSorley R., 2003. Adaptation of nematodes to environmental extremes. Symposium: Insect Behavioral Ecology-2001. *Florida Entomologist*, 86: 138-142.
- Melakeberhan H. et Dey J., 2003. Competition between *Heterodera glycine* and *Meloidogyne incognita* or *Pratylenchus penetrans*. Independent rate measurements. *Journal of Nematology*, 35: 1-6.
- Mugniéry D., Balandras C. et Roussel P., 1988. Les nématodes à kystes de la pomme de terre. Distribution, Nuisibilité, Lutte. Proceedings Deuxième Conférence Internationale sur les Maladies des Plantes, 8-10 novembre, Bordeaux, France, pp. 659-666.
- Neher D.A., 1999. Soil community composition and ecosystem processes. Comparing agricultural ecosystems with natural ecosystems. *Agroforestry Systems*, 45: 159-168.
- Neher D.A. et Campbell C.L., 1994. Nematode communities and microbial biomass in soil with annual and perennial crops. *Applied Soil Ecology*, 1: 17-28.
- Rhoades H.L., 1983. Effect of cover crop and fallowing on population of *Belonolaimus longicaudatus* and *Meloidogyne incognita* and subsequent crop yields. *Nematropica*, 13: 9-16.
- Ritz K. et Trudgill D.L., 1999. Utility of nematode community analysis as an integrated measure of functional state of soils: perspectives and challenges. *Plant and Soil*, 212: 1-11.
- Verschoor B.C., De Goede R.G.M., De Hoop J.W. et De Vries F.W., 2001. Seasonal dynamics and vertical distribution of plant feeding nematode communities in grasslands. *Pedobiologia*, 48: 213-233.
- Wiketoft M., 2007. Soil nematode communities in grasslands, effect of plant species identity and diversity. Doctor's dissertation. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*, 48: ISSN 1652-6880, ISBN 978-91-576-7347-3.
- Yeates G.W., 1984. Variation in soil nematode diversity under pasture with soil land year. *Soil Biology and Biochemistry*, 16: 95-102.
- Yeates G.W., 1994. Modification and qualification of the nematode maturity index. *Pedobiologia*, 38: 97-101.
- Yeates G.W., 1999. Effects of plant nematode community structure. *Annual Revue of Phytopathology*, 37: 127-149.
- Yeates G.W., 2004. Ecological and behavioural adaptations. Pp. 1-24. In: *Nematode Behaviour* (Gauler R. and Bilgrami A.L., eds). CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Yeates G.W. et Bongers T., 1999. Nematode diversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74: 113-135.
- Yeates G.W., Bamforth S.S., Ross D.J., Tata R.K. et Sparling G.P., 1991. Recolonization of methyl bromide sterilized soil under four different field conditions. *Biology and Fertility of soils*, 11: 181-189.
- Yeates G.W., Wardle D.A. et Watson R.N., 1999. Responses of soil nematode community structure, diversity and temporal variability to agricultural intensification over a seven year period. *Soil Biology and Biochemistry*, 31: 1721-1733.