

# Recherche de méthodes de gestion des peuplements de nématodes phytoparasites par les facteurs du sol en zone soudano-sahélienne au Sénégal

P. Cadet<sup>(1)</sup>, J.-F. Bois<sup>(2)</sup>, J.-L. Chotte<sup>(1)</sup>, R. Duponnois<sup>(1)</sup>, ND. N'Diaye-Faye<sup>(3)</sup>, Ch. Floret<sup>(4)</sup>, S. Fould<sup>(5)</sup>, R. Manlay<sup>(4)</sup>, D. Masse<sup>(4)</sup>, T. Mateille<sup>(6)</sup>, Ph. Normand<sup>(5)</sup>, E. Pate<sup>(7)</sup>, Ch. Plenchette<sup>(8)</sup>, J. Thioulouse<sup>(7)</sup>, C. Villenave<sup>(1)</sup> et J. Fardoux<sup>(1)</sup>

- (1) IRD - Laboratoire de Biopédologie, BP 1386, Dakar, Sénégal  
 (2) IRD/CIRAD, Laboratoire d'Agronomie, BP 5035, Montpellier France  
 (3) IRD - UCAD Biologie Animale, Dakar, Sénégal  
 (4) IRD - Laboratoire d'Ecologie, BP 1386 Dakar, Sénégal  
 (5) UCB/CNRS, UMR 5555 - Ecologie microbienne, 43, Boulevard du 11 novembre 1918, Villeurbanne, France  
 (6) IRD - Laboratoire de Nématologie, BP 1386, Dakar Sénégal  
 (7) UCB/CNRS UMR 5557, Biométrie et Biologie Evolutive, 43, Boulevard du 11 Novembre 1918, Villeurbanne, France.  
 (8) INRA, Laboratoire d'Agronomie, 17, Rue Sully, Dijon, France

Cette étude a bénéficié du soutien financier (1996-1999) de l'Action Incitative Interinstitutionnelle (AII) IRD - CIRAD - CNRS - INRA : " Biofonctionnements des sols tropicaux et gestion durable des terres ".

## RÉSUMÉ

Une étude de la gestion des peuplements de nématodes par le fonctionnement biologique des sols a été entreprise dans les systèmes de culture soudano-sahéliens au Sénégal. Les parcelles cultivées, de jachères et de forêt, qui ont servi de support à cette étude, sont situées dans la région de Thyssé-Kaymor et dans celle de Kolda, de part et d'autre de la Gambie.

Dans les jachères d'âges croissants, la diversité du peuplement et l'abondance des nématodes augmentent régulièrement. La mise en culture des parcelles de jachère provoque des changements très rapides, qui conduisent à la disparition de *H. dihystra*. Sur le sol cultivé, la présence du peuplement peu diversifié de nématodes a entraîné une diminution de développement du mil par rapport à une culture sur sol cultivé non infesté. L'inverse se produit sur sol de jachère, grâce à la présence d'un système racinaire plus développé, en présence d'un peuplement de nématodes diversifié. En ce qui concerne les principaux groupements végétaux de la jachère et les états de surface, des expériences en pots montrent que *Combretum* constitue la situation la plus favorable au développement du mil, alors que *Guiera* offre la situation la moins favorable. En ce qui concerne les organismes antagonistes, *Pasteuria* est largement répandu, mais il ne s'agit pas de l'espèce *P. penetrans*. La mycorhization est peu développée et les potentiels infectieux mycorhizogènes sont faibles. *Triumfetta pendrata*, *Cassia obsutifolia* et *Spermacoce stachydea* sont les plantes les plus mycorhizées. Pour les facteurs abiotiques, il semble que des différences significatives dans les teneurs en magnésium ou en calcium correspondent à des différences significatives dans les proportions de *Helicotylenchus dihystra*, *Scutellonema cavenessi* et *Tylenchorhynchus gladiolatus*.

Les résultats obtenus montrent que, pour les nématodes phytoparasites, dans la zone soudano-sahélienne, un accroissement du

potentiel théorique d'infestation par une multiplication des espèces, conduit à atténuer leur effet pathogène. Certains facteurs biotiques (peuplement végétal) et abiotiques (teneurs en bases échangeables) sont donc susceptibles d'être manipulés pour modifier la structure spécifique du peuplement de nématodes et atténuer leur effet pathogène.

### Mots clés

Zone soudano-sahélienne, mil, jachère, nématodes phytoparasites, facteurs abiotiques, *Pasteuria*, mycorrhizes.

## SUMMARY

### MANAGEMENT OF PLANT PARASITIC NEMATODE COMMUNITIES BY CONTROL OF SOIL FACTORS IN THE SUDANO-SAHELIAN ZONE OF SENEGAL

A study of the biofunctioning of soils in the sudano-sahelian cultural systems was undertaken with the aim of controlling nematodes through biotic and abiotic relationships. The fields, fallow and forest studied plots are located in the region of Thysse Kaymor and Kolda, on both sides of Gambia, in Southern Senegal.

The millet fields are infested by a nematode community composed for more than 95 % by two species: *Scutellonema cavenessi* and *Tylenchorhynchus gladiolatus* (table 1). On the older fallow plots, the diversity and abundance of the community increased regularly (figure 1). The cultivation of the fallow plots induced quick modifications which lead to early disappearance of *Helicotylenchus dihystra* (figure 2). Millet plants growth was obviously better on the fallow soil. On the cultivated soil, nematodes induced a decrease of millet development compared to a sterilised soil (table 2). Conversely, on a nematode infested fallow soil, millet growth was better than that observed in a sterile soil, because of the presence of a more developed root system.

For the main plants associations or soil surface situations, a pot experiment showed that the *Combretum glutinosum* rhizospheric soil offered the most suitable situation for millet growth, whereas *Guiera senegalensis* offered the worst one (figure 3). This plant seemed to allow the multiplication of *S. cavenessi*. Soil collected in the herbaceous areas occupied an intermediate position as well as bare soil. This latest soil harboured a particular species: *T. mashhoodi*.

Concerning the antagonist organisms, *Pasteuria* was widespread in the fallow of this region and parasitized a number of nematode species increasing with fallow age. However, it appears that the microorganism did not belong to the species *P. penetrans*. All plants and plots together, the mycorrhization was low or moderately developed. *Triumfetta pendrata*, *Cassia obsutifolia* and *Spermacoce stachydea* were the most mycorrhized plant species. The millet was very sparsely mycorrhized.

For the abiotic factors, significant differences in magnesium or calcium levels corresponded to significant differences in the proportions of *H. dihystra*, *S. cavenessi* or *T. gladiolatus* (figure 4). All these factors could be used to manage nematode community structure in order to reduce the pathogenic effect.

### Key-words

Sudano-sahelian area, millet, fallow, plant parasitic nematodes, abiotic factors, *Pasteuria*, mycorrhizes.

## RESUMEN

### BÚSQUEDA DE MÉTODOS DE MANEJO DE LAS POBLACIONES DE NEMÁTODOS FITOPARÁSITOS POR LOS FACTORES DEL SUELO EN ZONA SUDANO-SAHELI EN SENEGAL

Un estudio del manejo de las poblaciones de nemátodos por el funcionamiento biológico de los suelos fue realizado en los sistemas de cultivo sudano-sahelis en Senegal. Las parcelas cultivadas, de barbecho y de selva, que sirvieron de soporte a este estudio, son localizadas en la región de Thysse-Kaymor y en la de Kolda, de los dos lados de del río Gambia.

En los barbechos de edades crecientes, la diversidad de la población y la abundancia de los nemátodos aumentan regularmente. El cultivo de las parcelas de barbecho provoca cambios muy rápidos que conducen a la desaparición de *H. Dihystra*. En el suelo cultivado, la presencia de una población poco diversificada de nemátodos conduce a una disminución de desarrollo del mijo en relación a un cultivo en suelo cultivado no infestado. Lo contrario se produce en suelo de barbecho, gracias a la presencia de un sistema radicular más desarrollado, en presencia de una población de nemátodos diversificada. En lo que concierne a los principales grupos vegetales del barbecho y los estados de superficie, experimentos en macetas muestran que *Combretum* constituye la situación más favorable al desarrollo del mijo, y que *Guiera* ofrece la situación menos favorable. En lo que concierne los organismos antagónicos, *Pasteuria* es muy presente, pero no es la especie *P. penetrans*. La micorrización es poco desarrollada y los potenciales infecciosos micorrizogonos son pequeños. *Triumfetta pendrata*, *Cassia obsutifolia* y *Spermacoce stachydea* son las plantas más micorrizadas. Para los fac-

tores abiotiques, différences significatives en les contenus en magnésium ou en calcium correspondraient à différences significatives en les proportions de *H. Ditylaster*, *S. Cavenessi* et *T. Gladiolatus*.

Les résultats obtenus montrent que, pour les nématodes phytoparasites, en la zone sudano-sahélienne, un accroissement du potentiel théorique de infestation par une multiplication des espèces, conduit à atténuer son effet pathogène. Certains facteurs biotiques (population végétale) ou abiotiques (contenus en bases échangeables) sont ainsi susceptibles d'être manipulés pour modifier la structure spécifique de la population de nématodes.

### Palabras claves

Zona sudano-sahélienne, mijo, barbecho, nématodes phytoparasites, facteurs abiotiques, Pasteuria, micorrhizas.

Parmi les nématodes, de nombreuses espèces sont des parasites. Leur action parasitaire se manifeste le plus généralement par la présence de cellules nécrosées sur et dans les racines des plantes qu'ils attaquent (Dropkin, 1969; Mateille, 1994). Ces tissus nécrosés provoquent un dysfonctionnement du système racinaire qui se traduit par une réduction de sa capacité d'assimilation des éléments nutritifs et de l'eau et donc un mauvais développement de la plante (Cadet, 1990).

Faire diminuer le nombre de nématodes phytoparasites dans le sol conduit à réduire le nombre de cellules nécrosées et à restaurer la fonction assimilatrice du système racinaire. C'est le principe de la lutte chimique. Avec l'émergence des problèmes écologiques posés par l'utilisation des nématicides et des pesticides en général dans les pays développés, leur application n'est plus envisageable dans les pays en développement. Les recherches se sont naturellement orientées vers la mise au point de méthodes de lutte culturales ou biologiques qui reposent sur le même principe de réduction du nombre de parasites, mais en employant une plante résistante ou un hyper-parasite (Duponnois et Cadet, 1994; Cadet, 1985; Cadet, Quénehervé, Topart et Marie-Luce, 1994). C'est le cas des variétés résistantes de tomate (Netscher et Mauboussin, 1973), ou encore des champignons nématophages (Duponnois, Sene, Sawadogo et Mateille, 1997) ou de la bactérie *Pasteuria penetrans* (Mateille, Duponnois et Diop, 1995). Ces relations entre organismes vivants sont très spécifiques et conviennent mieux aux cultures intensives qu'aux cultures vivrières extensives. C'est une voie qui reste entièrement d'actualité, et dont l'exploration doit être poursuivie pour venir en appui aux autres méthodes dans un projet de lutte intégrée.

Cependant, bien que les nématodes phytoparasites soient des organismes ubiquistes, on constate que les dégâts n'apparaissent pas partout. Par exemple, les champs de canne à sucre dans le nord de la Côte d'Ivoire sont beaucoup plus infestés que ceux qui sont situés à quelques kilomètres, au sud du Burkina Faso (Spaull et Cadet, 1990). Pourtant, les dégâts occasionnés aux mêmes variétés de canne, cultivées de la même manière, atteignent environ 10 % en Côte d'Ivoire, alors

qu'ils dépassent 50 % au Burkina Faso ! Cette disparité se retrouve parfois au sein d'une même zone de culture (Cadet et Debouzie, 1990), voire d'une même parcelle, comme sur les cannes à sucre à la Martinique (Barret, Cadet, Feller et Albrecht, 1991; Cadet et Albrecht, 1992). Cette constatation nous amène à émettre l'hypothèse selon laquelle le milieu tellurique peut interférer avec l'expression des dégâts occasionnés par les nématodes (Cadet, Quénehervé et Meryn, 1982; Villenave, Cadet, Pate et N'Diaye, 1997). C'est sur ce constat que le concept de lutte mésologique a été élaboré (Cadet, Albergel, Villenave et Thioulouse, 1998). Il repose sur le principe de la manipulation de l'environnement édaphique pour le rendre impropre à l'action pathogène des nématodes phytoparasites (Cadet, Thioulouse et Albrecht, 1994; Cadet et Thioulouse, 1998). Ce principe est très différent du précédent puisqu'il ne s'appuie pas sur une réduction du nombre de parasites, mais sur la gestion des peuplements en place (Cadet, 1998). Il présente donc un avantage certain puisqu'il n'engendre pas de stress consécutif à l'apparition du vide écologique résultant de la disparition d'organismes dans le sol.

Dans ce cadre, une étude de gestion des peuplements de nématodes par le fonctionnement biologique des sols, autrement dit en exploitant les relations biotiques et abiotiques telluriques, a été entreprise au Sénégal, dans les systèmes de culture soudano-sahéliens, où les apports d'intrants sont erratiques.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les parcelles cultivées, de jachères et de forêt (tableau 1), qui ont servi de support à cette étude sont situées dans la région de Thyssé-Kaymor (13°45 N et 15°40 W) et dans celle de Kolda (12°50 N-14°50 W), de part et d'autre de la Gambie, au sud du Sénégal. La première est une zone très anthropisée, avec plus de 70 habitants au km<sup>2</sup>, alors que la pression démographique est faible dans la seconde. Les pluviométries annuelles sont respectivement de 650 et 1 000 mm.

Les parcelles les plus anciennes sont situées au sommet des toposéquences, alors que les plus jeunes sont localisées sur les versants des vallées, plus près des villages.

Sur le terrain, la plupart des observations ont été faites par la méthode des transects, disposés dans des zones représentatives de l'hétérogénéité locale. Les prélèvements sont effectués tous les mètres ou tous les 1,50 m. Au laboratoire, chaque échantillon de sol est divisé en plusieurs parties : une pour l'analyse nématologique, une pour l'analyse pédologique, et une autre pour l'étude des autres paramètres, selon l'objectif de l'expérience (stock de matière organique, biomasse microbienne etc.).

Au laboratoire, les essais ont été effectués soit en conditions contrôlées en chambre de culture, soit en serre, sur de la terre collectée dans les parcelles sur le terrain. La stérilisation du sol est faite à l'autoclave à 140 °C. La variété de mil IKMV 8201 (*Pennisetum americanum*) a été utilisée dans toutes les expériences. Hauteur, biomasses aériennes et racinaires ont été mesurées à chaque cycle.

Les nématodes sont extraits du sol par la technique de Seinhorst (1962), puis identifiés et dénombrés sous le microscope stéréoscopique. Pour chaque site, les tableaux faunistiques sont constitués à partir de la moyenne des effectifs de nématodes observés à chaque date d'échantillonnage.

L'analyse de données et les représentations graphiques ont été réalisées à l'aide du logiciel ADE-4 (Thioulouse et al., 1997).

## RÉSULTATS

### Influence des facteurs biotiques

#### La jachère

Dans la région de Thyssé Kaymor, les champs cultivés en mil hébergent un peuplement de nématodes phytoparasites composé à plus de 95 % par deux espèces : *Scutellonema cavenessi* et *Tylenchorhynchus gladiolatus* (tableau 1). Sur les parcelles de jachères d'âges croissants, compris entre 3 et 20 ans, le nombre d'espèces (agronomiquement importantes) à prendre en compte pour constituer 95 % du peuplement augmente régulièrement. Il ne s'agit pas seulement d'un accroissement du nombre d'espèces ; certaines disparaissent et sont remplacées par d'autres. C'est le cas de *S. cavenessi* qui devient extrêmement rare dans les jachères de plus de 18 ans. Au plan de la densité d'infestation, en prenant en compte la totalité des nématodes appartenant au groupe trophique des nématodes phytoparasites, la taille du peuplement a tendance à augmenter avec le temps de jachère (figure 1). Sous l'angle nématologique, les transformations provoquées par la jachère : accroissement de la diversité et du nombre total de parasites,

devraient théoriquement contribuer à augmenter le potentiel infestant et la pression parasitaire.

La mise en culture des parcelles de jachère provoque des changements très rapides dans la structure du peuplement. Elle entraîne notamment la disparition prématurée de *Helicotylenchus dihystra* (figure 2), alors que le mil est un bon hôte pour cette espèce et que les deux espèces de nématode habituellement dominantes ne se sont pas encore très développées.

### Impact d'un peuplement de jachère sur la croissance du mil en conditions contrôlées

La croissance du mil en présence de deux peuplements de nématodes collectés avec le sol, dans un champs cultivé et dans une jachère de 17 ans en défens de Thyssé Kaymor, a été comparée aux mêmes situations, mais en l'absence de nématodes, dans du sol stérilisé. La diversité spécifique est plus importante dans le sol de jachère que dans le sol cultivé (tableau 2).

La croissance des plants de mil a été nettement supérieure sur le sol issu de la jachère. Cet effet s'est traduit par une augmentation de surface foliaire et de biomasse et par une teneur en chlorophylle plus élevée en début de culture. Au plan agro-

**Tableau 1** - Influence du temps de jachère sur l'évolution du nombre d'espèces nécessaires pour constituer 95 % du peuplement de nématodes (espèces agronomiquement importantes uniquement).

**Table 1** - Effect of fallow time on the number of species necessary to build 95 % of the community (agronomically important species only)

Âge de la parcelle	Espèces de nématodes
Champs (mil)	<i>S. cavenessi</i> <i>T. gladiolatus</i>
Jachère de 3 ans	<i>S. cavenessi</i> <i>T. gladiolatus</i> <i>T. mashhoodi</i>
Jachère de 10 ans	<i>H. dihystra</i> <i>P. pseudoprattensis</i> <i>T. mashhoodi</i> <i>S. cavenessi</i> <i>T. gladiolatus</i>
Jachère de 20 ans	<i>H. dihystra</i> <i>P. pseudoprattensis</i> <i>T. mashhoodi</i> <i>G. parvula</i> <i>T. gladiolatus</i>

nomique, sur le sol cultivé, la présence des nématodes a entraîné une diminution de développement du mil par rapport à une culture sur sol cultivé non infesté. Inversement, sur sol de jachère infesté de nématodes, la croissance du mil est supérieure à celle observée dans le sol stérile, grâce à la présence d'un système racinaire plus développé (tableau 2).

### Mécanisme d'action de la jachère sur les nématodes

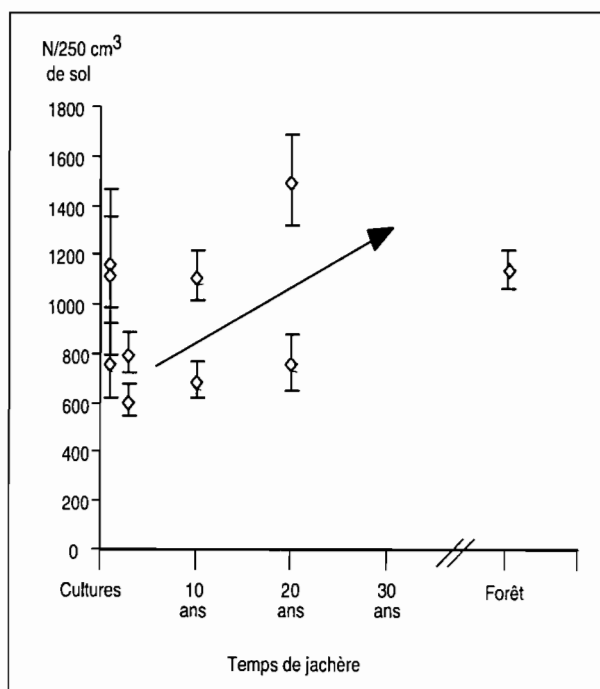
L'étude des relations entre les différentes formes de stockage de la matière organique (racines), les groupements végétaux ligneux et herbacés et les nématodes, a été effectuée en fonction de l'âge de la jachère. La présence de fortes populations de *Helicotylenchus dihystra* est associée à la présence de racines grossières de ligneux. Les racines fines d'herbacées semblent favoriser la multiplication de *Pratylenchus pseudopratensis* et *Tylenchorhynchus gladiolatus*, alors que les mêmes racines fines des ligneux seraient plutôt favorables à *Scutellonema cavenessi*.

Une étude de la croissance du mil dans du sol collecté sous

**Figure 1** - Évolution des densités moyennes du groupe trophique des nématodes phytoparasites dans les champs cultivés et en fonction du temps de jachère (2 transects par âge de jachère et un pour la parcelle de forêt)

N : nématodes phytoparasites

**Figure 1** - Evolution of the average densities of the plant parasitic nematode trophic group, in the fields and according to the fallow time (2 transects per fallow age and one in the forest).



les principaux groupements végétaux ligneux et herbacés de la jachère, ainsi que dans les zones nues a été effectuée en serre. Les résultats obtenus montrent que le sol rhizosphérique de *Combretum* constitue la situation la plus favorable au développement du mil, alors que celui de *Guiera* offre la situation la moins favorable (figure 3). Cette espèce végétale a tendance à favoriser la multiplication de *S. cavenessi* qui est une des deux espèces présentes dans les champs cultivés. Le sol sous les herbacées occupe une position intermédiaire, comme le sol nu. Celui-ci héberge une espèce particulière : *T. mashhoodi*.

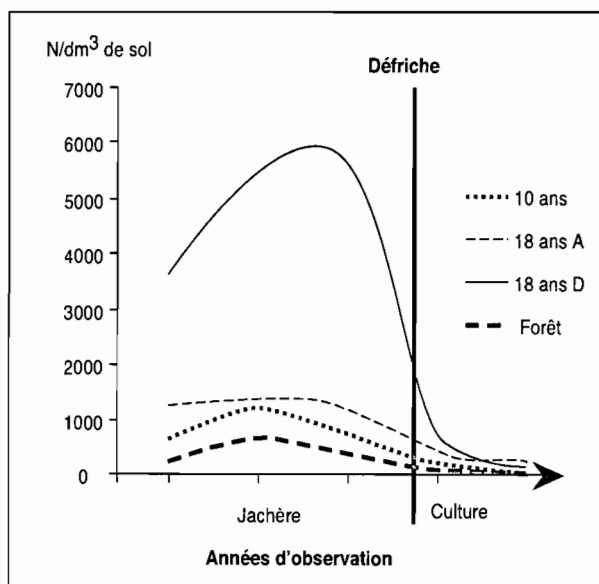
### Les organismes antagonistes

Les résultats obtenus montrent que *Pasteuria* est largement répandu dans les jachères de cette région soudano-sahélienne (10 à 14 % des échantillons) et parasite un nombre d'espèces de nématodes d'autant plus grand que la jachère est âgée (7 sur 20). Cependant, il ne s'agit pas de l'espèce *P. penetrans*, qui se développe aux dépens de *Meloidogyne*, nématode à galle des cultures maraîchères. L'utilisation rationnelle de cet organisme nécessite des recherches complémentaires pour étudier son cycle biologique sur des nématodes migrants et les conditions de son maintien et de son efficacité dans un

**Figure 2** - Évolution des populations de *Helicotylenchus dihystra* dans des parcelles de jachères d'âges différents et après la mise en culture de mil de ces parcelles pendant deux ans après la défriche. (N : nombre d'individus).

La forêt est considérée comme le stade ultime de la jachère.

**Figure 2** - Evolution of the *Helicotylenchus dihystra* populations in the different age fallow plots and after the millet cultivation in these plots, for two years after clearing. (N : number of individuals).



**Tableau 2** - Etude en phytotron de l'effet de la jachère et des nématodes sur le développement du mil (EC : écart type). Les moyennes des 4 répétitions par situation ont été comparées deux à deux par le test t ;  $p < 0,05$ .

**Table 2** - Phytotron study of the effect of fallow and nematodes on the millet development (EC : standard deviation). The average of the four replicates were compared two by two with the student t test ;  $p < 0,05$ .

		<b>Biomasses racinaires</b>	<b>EC</b>	<b>Biomasses aériennes</b>	<b>EC</b>
Sol cultivé	Non infesté	0,393	0,038	1,035	0,178
	Infesté	0,341	0,039	0,715	0,073
		NS		S	
Sol de jachère	Non infesté	0,53	0,147	0,991	0,156
	Infesté	0,713	0,075	1,417	0,24
		NS		S	

Il faut choisir entre 2 ou 3 décimales partout.

système de cultures extensives.

D'une manière générale, la mycorhization, toutes plantes et parcelles confondues, est peu à moyennement développée pour des sols recevant peu d'engrais et aucun pesticide, que ce soit pour la longueur de racine colonisée ou, surtout, pour l'intensité de mycorhization. Les valeurs obtenues, ne dépassent 50 % qu'à quelques exceptions pour la longueur, et n'atteignent jamais cette valeur pour l'intensité. Bien qu'il n'y ait pas de règle établie, on peut considérer qu'au dessus de 50 %, la mycorhization est bien développée. On remarque aussi une grande variabilité dans les différents échantillons d'une même plante le long d'un transect ou dans une parcelle. *Triumfetta pendrata*, *Cassia obsutifolia* et *Spermacoce stachydeia* sont les plantes les plus mycorhizées. Le mil cultivé est très peu mycorhizé.

Les potentiels infectieux mycorrhizogènes sont faibles. Cependant, ils sont plus élevés dans les jachères en défens que dans les jachères anthropisées. D'autre part, un effet du sol sur la répartition des espèces de mycorhizes a été mis en évidence : les espèces à spores de faibles diamètres (*Glomus* spp.) ne se rencontrent que dans les sols où la granulométrie est fine. Dans les autres sols contenant un fort pourcentage de sables grossiers, ce sont les espèces *S. verrucosa* et *S. gregaria* qui dominent.

### Influence des facteurs abiotiques

Les relations entre les caractéristiques du sol et la répartition des populations de nématodes montrent que non seulement l'abondance, mais aussi les proportions relatives des espèces au sein du peuplement sont associées avec des facteurs du sol. Pour les nématodes phytoparasites agronomiquement importants, c'est le cas pour *H. dihystra* et deux espèces de *Tylenchorhynchus* : *T. gladiolatus* et *T. mashhoodi*. Dans la zone étudiée, il semble que des différences significa-

tives dans les teneurs en magnésium ou en calcium correspondent à des différences significatives dans les proportions de *H. dihystra*. Pour *Tylenchorhynchus*, il apparaît que ce sont plutôt des facteurs physiques : une teneur élevée en sable fin, qui déterminent leur position dominante dans le peuplement.

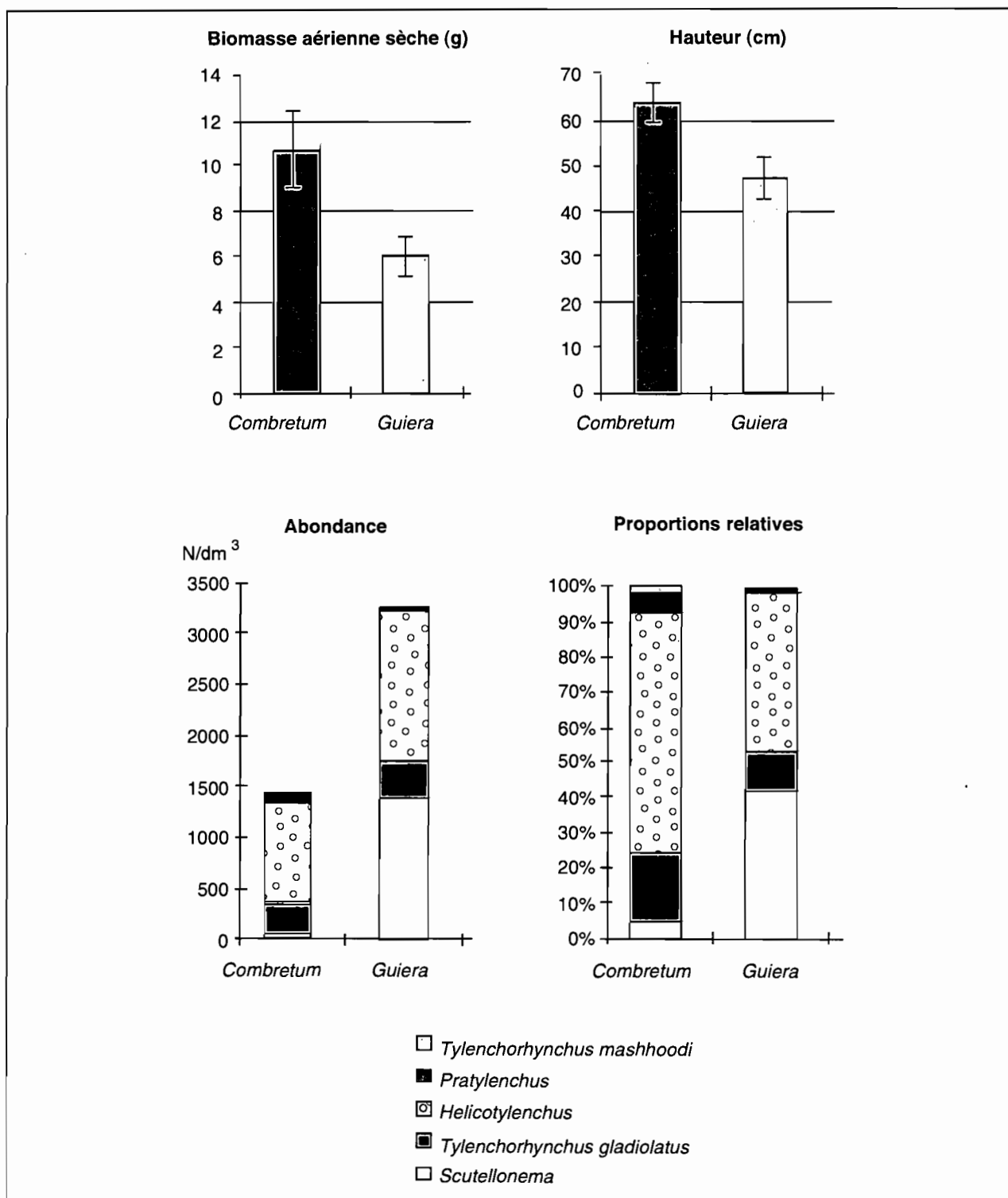
Au laboratoire, une expérience a été conduite sur plusieurs espèces de nématodes, dont *H. dihystra* et *P. pseudopraten-sis*, inoculés sur du mil en pot, où la concentration ionique de la solution de sol a été artificiellement modifiée par addition de  $KNO_3$  et de  $NaCl$ . Les taux de multiplication des nématodes, aussi bien en populations qu'en peuplements, ont été très différents de ceux observés sur les plantes témoins (Villeneuve et Cadet, 2000).

## DISCUSSION

Si la jachère est une pratique culturale très répandue, c'est parce que les rendements des cultures pratiquées après la défriche sont généralement meilleurs que ceux obtenus avant la jachère. Ces résultats s'expliquent par toute une série de transformations physiques, chimiques et biologiques dans le sol qui résultent, en grande partie, d'une amélioration du stock de matière organique sous l'effet du développement de la végétation et d'une meilleure circulation de l'eau (Masse et al., 1998). Ces facteurs sont indispensables à l'existence et à l'activité de la faune et de la flore du sol. Pour les nématodes, la jachère contribue à accroître le peuplement de nématodes libres, notamment ceux qui consomment des bactéries, et qui jouent un rôle important dans les processus de biodisponibilité des nutriments azotés pour les plantes (Pate, 1997). À l'instar de ces facteurs de fertilité positifs, la jachère favorise aussi le développement du peuplement de nématodes phytoparasites, qui s'opposent à la croissance des plantes en détruisant leurs racines. Mais les résultats obtenus montrent que l'effet

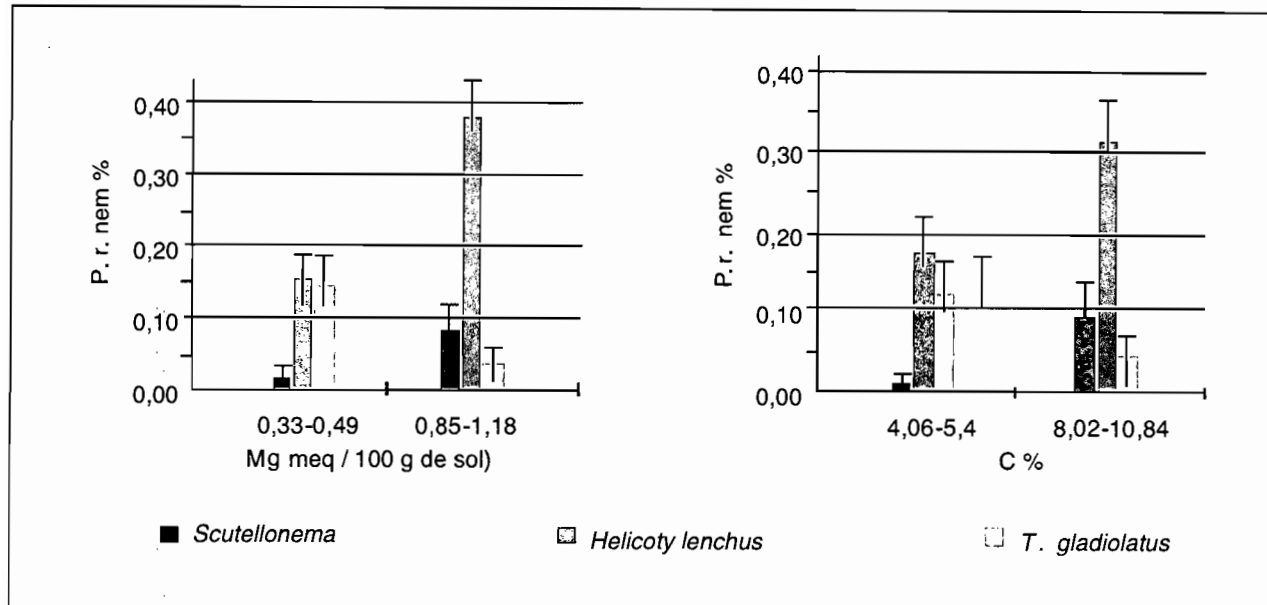
**Figure 3** - Influence du sol rhizosphérique collecté à Thyssé kaymor, sous *Combretum glutinosum* et sous *Guiera senegalensis* sur le développement du mil, l'abondance et la structure du peuplement de nématodes phytoparasites (espèces agronomiquement importantes).

**Figure 3** - Influence of rhizospheric soil collected in Thyssé kaymor under *Combretum glutinosum* and *Guiera senegalensis*, on the millet development, plant parasitic nematode community abundance and structures (agronomically important species only).



**Figure 4** - Evolution des proportions relatives des trois principales espèces de nématodes phytoparasites dans la parcelles de Thyssé Kaymor dans les échantillons à faibles et à fortes teneurs en magnésium ou en carbone. L'intervalle de variation des teneurs est mentionné en abscisse (P.r.Nem (%) : proportions relatives des trois espèces en %)

**Figure 4** - Evolution of the relative proportions of the three main plant parasitic nematode species in the plots of Thyssé kaymor, in the samples with low and high magnesium and carbone contents. Variation interval of the content is given in abscissa. (P.r.Nem (%) : relative proportions of the three species in %).



pathogène, qui pourrait résulter de la présence d'un grand nombre de parasites, semble atténué par les interactions entre espèces de nématodes, lorsque celles-ci sont nombreuses. Cette situation contribue à améliorer la croissance des plantes cultivées après une jachère, au même titre que les autres paramètres de fertilité physiques ou chimiques.

Selon ce résultat, pour réduire l'impact des nématodes parasites dans un système de culture à faible apport d'intrants, l'objectif consistera à accélérer l'établissement de cette biodiversité nématologique pendant la phase de jachère, et son maintien pendant la période de culture au cours de laquelle s'effectue une érosion spécifique extrêmement rapide qui conduit à l'émergence prématurée du peuplement pathogène constitué d'un faible nombre d'espèces (deux). Comme ces nématodes sont des parasites stricts, la manipulation des groupements végétaux pendant la période de jachère peut conduire au résultat attendu. Dans ce domaine, l'intérêt des plantes ligneuses est confirmé, pour ce facteur, comme pour d'autres facteurs de fertilité. Cependant, tous les ligneux n'ont pas les mêmes potentialités, certains offrent même des situations très défavorables, comme *Guiera senegalensis*. Or, cette espèce se développe notamment en raison de l'exploitation préférentielle de *Combretum* comme bois de chauffe. Cet exemple montre que l'anthropisation des jachères peut interférer négati-

vement avec le processus de restauration de la fertilité des sols. La même observation peut être faite pour l'espèce *T. mashhoodi* qui se développe préférentiellement dans les zones nues, résultant du surpâturage ou des feux de brousse. Dans ce cas, l'anthropisation pourrait avoir un effet positif, si cette espèce avait un effet modérateur sur la pathogénie du peuplement auquel elle appartient, comme c'est le cas pour *H. dihystrera*.

Hormis la manipulation des plantes, l'équilibre des populations au sein du peuplement pourrait être bouleversé en activant les compétitions interspécifiques par une action ciblée sur une ou plusieurs espèces de nématodes. Cet objectif pourrait être atteint en renforçant l'efficacité des bactéries appartenant au groupe des *Pasteuria*, puisqu'elles sont extrêmement répandues dans les jachères. D'ailleurs les travaux récents de Mateille et al. (1996) montrent que les caractéristiques physiques et chimiques du sol déterminent fortement la persistance de l'organisme dans le sol et son attachement sur les cuticules de nématodes. Autrement dit, la gestion de cet organisme pourrait se faire sur la base des relations mésologiques selon un concept équivalent à celui qui est proposé pour les nématodes. D'ailleurs, l'augmentation de la fréquence de *Pasteuria* en fonction du temps de jachère pourrait correspondre à l'évolution similaire du taux d'argile dans les par-



celles. Cet élément est indispensable à la rétention de la bactérie dans la couche superficielle du sol où évoluent les nématodes.

Dans l'hypothèse où la diversité nématologique a été rétablie avant la culture, le second objectif consiste à prévenir la disparition des espèces après la mise en culture. Les transformations du peuplement s'effectuent très rapidement, dès la première année de culture, alors que toutes les espèces présentes sur la jachère peuvent se développer sur le mil (Baujard et Martiny, 1995). L'espèce clé *H. dihystra* disparaît, alors que les deux espèces dominantes sur les cultures n'ont pas encore accédé à cette situation. Ces résultats suggèrent que ce ne sont pas seulement des processus biologiques de compétition interspécifique qui sont à l'origine de ces disparitions, mais que celles-ci pourraient résulter du bouleversement physique du milieu à l'occasion de la défriche et du labour. Dans cet esprit, il est possible que des techniques de travail minimal du sol puissent donner des résultats intéressants.

Une autre opportunité est offerte par une manipulation de l'environnement abiotique. La répartition horizontale de l'abondance de certaines espèces de nématodes semble en effet dépendante de facteurs physiques ou chimiques. Dans le premier cas, cette relation a peu d'intérêt car il n'apparaît pas véritablement possible de modifier rapidement la granulométrie d'un terrain. Dans le second cas, la relation est plus intéressante, puisque la manipulation de la concentration ionique de la solution de sol est a priori réalisable, selon une technique qu'il reste cependant à mettre au point pour une intervention à une grande échelle.

Parmi les facteurs biotiques, les mycorhizes offrent des perspectives de gestion intéressantes dans la mesure où elles contribuent à la nutrition minérale et hydrique de la plante hôte avec laquelle elles entrent en symbiose et peuvent protéger les racines contre certains parasites comme les nématodes (Harley et Smith, 1983). Bien que le mil, comme toutes les graminées, ne soit pas une plante très mycotrophe, il est permis de penser que des résultats intéressants pourraient être obtenus avec les souches indigènes de mycorhize, bien adaptées au milieu. D'ailleurs, même si les plantes de la jachère ne sont pas très mycorhizées, elles entretiennent une certaine diversité spécifique des champignons, qui peut être exploitée en faveur

des cultures vivrières qui seront pratiquées après la défriche.

## CONCLUSION

Pour la plupart des organismes vivants, l'intérêt de la conservation de la biodiversité apparaît comme une évidence, par exemple en ce qui concerne les plantes. Cette notion est cependant plus difficile à admettre pour les agents pathogènes, que l'on cherche généralement à éradiquer. Les résultats obtenus montrent que, pour les nématodes phytoparasites, dans la zone soudano-sahélienne, un accroissement du potentiel théorique d'infestation par une multiplication des espèces, conduit paradoxalement à atténuer leur effet pathogène. Cet objectif est cependant difficile à atteindre dans des agrosystèmes orientés vers l'intensification des cultures, c'est-à-dire vers la disparition des jachères qui offriraient des espaces de stabilité indispensables à la restauration de la biodiversité et à la régénérescence des interactions biologiques favorables à la croissance des plantes. Pour pallier cette situation, le biofonctionnement du sol ne doit pas seulement être raisonné à l'échelle de la parcelle, mais aussi au plan spatial, à l'échelle du terroir ou du bassin versant, qui offrent des zones stables, non cultivables, au niveau des écotones comme les haies ou des aménagements anti-érosion, etc. La gestion de ces zones stables va notamment permettre, comme une jachère, la conservation des espèces de nématodes et de leurs organismes antagonistes, dont l'influence doit ensuite être étendue, de la bordure, à la totalité de la parcelle. Ce transfert pourrait être atteint par des apports de biomasse végétale ou d'organismes, et dans ce cas, en exploitant par exemple les capacités de " transport " des eaux de ruissellement, qui, sous ces climats, déterminent les périodes d'activité biologique intense.

## BIBLIOGRAPHIE

- Barret P., Cadet P., Feller C., et Albrecht A., 1991 - Le remodelage des terres à la Martinique. 2. Variabilité intra-parcellaire du remodelage en relation avec la production végétale. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 26, pp. 105-113.
- Baujard P. et Martiny B., 1995 - Ecology and pathogenicity of the Haplaimidae (Nemata) from the sahelian zone of West Africa. 7. *Helicotylenchus dihystra* (Cobb, 1893) Sher, 1961 and comparison with *Helicotylenchus multicinctus* (Cobb, 1893) Golden, 1956. *Fundamental and Applied Nematology*: 18, pp. 503-511.
- Cadet P. et Albrecht A., 1992 - Le remodelage des terres à la Martinique. 3. Effet sur le peuplement de nématodes parasites de la canne à sucre en relation avec la croissance végétale. Cah. ORSTOM, sér. Pedol., 27, pp. 49-58.
- Cadet P. et Debouzie D., 1990 - Évolution spatio-temporelle d'un peuplement de nématodes parasites de la canne à sucre. *Revue Nématol.*, 13, pp. 77-88.
- Cadet P., 1985 - Recherches de méthodes culturales de lutte contre les nématodes parasites de la canne à sucre en Afrique de l'Ouest., 8, pp. 377-382, *Revue de Nématologie*.
- Cadet P., 1990 - Les nématodes et la fatigue des sols sous culture sucrière au Burkina Faso. *Nematologica*, 35, pp. 355-365.

- Cadet P., 1998 - Gestion écologique des peuplements de nématodes phytoparasites tropicaux : importance des facteurs édaphiques et du ruissellement. *Cahiers Agricultures*, 7, pp. 187-194.
- Cadet P., Albergel J., Villenave C., et Thioulouse J., 1998 - Use of similarities between soil components and nematodes to mitigate their pathogenic effects. *Compte-Rendu de l'AISS*. CD-ROOM.
- Cadet P., Quénéhervé P. et Mery G., 1982 - Pathogenic action of nematodes on irrigated sugarcane. *Revue Nématol.*, 5, pp. 205-209.
- Cadet P., Quénéhervé P., Topart P. et Marie-Luce S., 1994 - Assainissement de boutures d'*Alpinia* et d'*Anthurium* infestées par les nématodes aux Antilles. *Agron. Afr.*, 6, pp. 59-65.
- Cadet P., Thioulouse J. et Albrecht A., 1994 - Relationships between ferrisol properties and the structure of plant parasitic nematode communities on sugarcane in Martinique (French West Indies). *Acta Oecologica*, 15: 767-780.
- Cadet P. et Thioulouse J., 1998 - Identification of soil factors that relate to plant parasitic nematode communities on tomato and yam in the French West Indies. *Applied Soil Ecology*, 8, pp. 35-49.
- Cadet P., Duponnois R. et Senghor K., 1998 - Étude préliminaire des relations entre les nématodes et les *Acacia*. In C. G. C. Campa, M. Gueye et S. Hamon (Eds), *L'acacia au Sénégal* (pp. 397-412.). Paris: ORSTOM.
- Dropkin V., 1969 - The necrotic reaction of tomatoes and other host resistant to *Meloidogyne*: Reversal by temperature. *Phytopathology*, 59, pp. 1632-1637.
- Duponnois R. et Cadet P., 1994 - Interactions of *Meloidogyne javanica* and *Glomus* sp. on growth and N<sub>2</sub> fixation of *Acacia seyal*. *Afro-Asian Journal of Nematology*, 4, pp. 228-233.
- Duponnois R., Sene V., Sawadogo A. et Mateille T., 1997 - Effectiveness of different species of *Arthrobotrys* sp. on the development of *Meloidogyne mayaguensis* in West Africa. *Entomophaga*, 41, pp. 475-483.
- Harley J.-L. et Smith S.E., 1983 - *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, London and New York.
- Masse D., Cadet P., Chotte J.-L., Diatta M., Floret C., N'Diaye-Faye N., Pate E., Pontanier R., Thioulouse J. et Villenave C., 1998 - L'exploitation des jachères naturelles compromet la restauration de la fertilité du milieu semi-aride au Sénégal. *Agriculture et Développement*, 18, pp. 31-38.
- Mateille T., 1994 - Comparative host tissue reactions of *Musa acuminata* (AAA group) cvs Poyo and Gros Michel roots to three banana-parasitic nematodes. *Ann. appl. Biol.*, 124, pp. 65-73.
- Mateille T., Duponnois R. et 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, pp. 581-591.
- Mateille T., Duponnois R., Dabiré K., N'Diaye S. et 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, pp. 81-88.
- Netscher C. et Mauboussin J. C. (1973). Résultats d'un essai concernant l'efficacité comparée d'une variété de tomate résistante et de certains nématicides contre *Meloidogyne javanica*. *Cah. ORSTOM, Sér. Biol.*, 21, pp. 97-102.
- Pate E., 1997 - Analyse spatio-temporelle des peuplements de nématodes du sol dans les systèmes de culture à jachère au Sénégal. Thèse N° 365-97, Université Claude Bernard Lyon I, 210 p.
- Seinhorst J.W., 1962 - Modifications of the elutriation method for extracting nematodes from soil. *Nematologica*, 8, pp. 117-128.
- Spaull V. W. et Cadet P., 1990 - Nematodes parasites of sugarcane. In M. Luc, S. R.A., et J. Bridge (Eds.), *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture* (pp. 461-491). London: C.A.B. International.
- Thioulouse J., Chessel D., Dolédec S. et Olivier J.-M., 1997 - ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing*, 7, pp. 75-83.
- Villenave C., Cadet P., Pate E. et N'Diaye N., 1997 - Microcosm experiment on development of different parasitic nematode fauna in two soils from the sudanese-sahelian zone of West Africa. *Biology and Fertility of Soil*, 24,