

Influence de la jachère sur les peuplements de nématodes phyto-parasites au Sénégal : protocoles de collecte et d'analyse des données et premiers résultats

Jean Thioulouse ^{a,c}
N'Deye N'Diaye ^{b,c}

Emmanuelle Pate ^{a,c}
Patrice Cadet ^c

Introduction

L'objectif de ce programme de recherche est l'étude des relations entre les nématodes phyto-parasites, le sol, et l'environnement végétal en situation de jachère. Il a été entrepris récemment au Sénégal et il est intégré au programme de l'ORSTOM "*Raccourcissement du temps de jachère, Biodiversité et Développement Durable en Afrique Centrale (Cameroun) et en Afrique de l'Ouest (Sénégal, Mali)*" (contrat n° TS3-CT93-0220, DG12HSMU), dont la finalité est la restauration de la fertilité des sols par une jachère naturelle "améliorée". C'est un programme multidisciplinaire dans lequel les biologistes (dont les nématologistes), interviennent de manière coordonnée avec des agronomes, des pédologues, et des hydrologues.

- le premier objectif consiste à comprendre le fonctionnement du peuplement de nématodes en fonction de l'évolution de la flore (plantes hôtes) et des transformations des caractéristiques biologiques et physico-chimiques du sol induites par la jachère.

- le second objectif consistera à intégrer les informations obtenues par les autres disciplines pour développer une technique de gestion et de régulation des peuplements de nématodes phyto-parasites (pendant la jachère puis pendant la culture) qui s'appuie sur une sélection, à partir de leur incidence

^aUniversité Lyon 1, UMR CNRS 5558, 69622 Villeurbanne Cedex

^bUniversité Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal

^cORSTOM, Laboratoire de Bio-Pédologie, BP 1386, Dakar, Sénégal

secondaire sur le peuplement de nématodes, des interventions destinées à améliorer les différentes composantes biotiques et abiotiques de la fertilité.

Deux thèses sont en cours de rédaction sur ce thème : l'une porte sur les relations plantes de jachère - peuplements de nématodes (Emmanuelle Pate, Université Lyon 1, UMR 5558), l'autre a pour thème les relations entre les facteurs abiotiques telluriques et les peuplements de nématodes (N'Deye N'Diaye, Université de Dakar, Biologie Animale).

Matériel et Méthodes

Le protocole de récolte des données porte sur deux sites au Sénégal : Thyssé-Kaymor et Kolda, qui se différencient au niveau de l'anthropisation, du climat et de la végétation. Seul le site de Thyssé-Kaymor sera présenté ici.

Plusieurs échelles de structuration spatio-temporelles sont prises en compte dans le protocole de récolte des données. Sur le plan temporel, le recueil des données s'est déroulé sur trois années : 1994, 1995 et 1996. Chaque année sauf en 1994, six missions d'échantillonnage ont eu lieu, en mars (saison sèche) , juin (début saison des pluies), juillet (saison des pluies), septembre (saison des pluies), octobre (fin de saison des pluies) et novembre (début de saison sèche). En 1994, seulement cinq missions ont eu lieu (juin à novembre) et on dispose donc en tout de 17 dates d'échantillonnage.

Au plan spatial, 16 points de prélèvement séparés de 1,50 m sont alignés le long de transects disposés dans des parcelles de jachères d'âges différents (1 an, 8 ans et 18 ans). Certaines jachères sont protégées de l'activité humaine (parcelles mises en défens) et certaines sont exploitées : cueillette, ramassage de bois, feu, pâture des troupeaux, etc.. Un transect supplémentaire est situé dans une zone n'ayant jamais été cultivée (forêt). Au total, les données relatives à 11 transects sont disponibles.

Les diverses espèces de nématodes appartenant aux différents groupes trophiques (ectoparasites, endoparasites, migrateurs et saprophages) sont dénombrées dans les échantillons collectés à chaque point de prélèvement le long des transects. Pour la présente étude, seules huit espèces phytoparasites majeures sont prises en compte, et les effectifs sont transformés en $\text{Log}(x+1)$. Les espèces sélectionnées sont : *Scutellonema cavenessi* (Scu), *Helicotylenchus dihystra* (Hel), *Tylenchorhynchus gladiolatus* (Tgl), *Tylenchorhynchus mashhoodi* (Tma), *Pratylenchus pseudopratensis* (Pra), *Trichotylenchus falciformis* (Tri), *Ditylenchus spp.* (Dit), et *Gracilacus parvula* (Gra). Les espèces végétales présentes, l'aspect de la végétation,

la hauteur moyenne, l'estimation de la biomasse aérienne et souterraine sont enregistrés. Des analyses pédologiques fournissent, pour chaque point des transects, les paramètres physico-chimiques du sol. Ces analyses pédologiques ne sont effectuées qu'une seule fois par an, en 1994, 1995 et 1996. Les 15 variables mesurées sont : le pourcentage d'argile (Cla), limon fin (FSi), limon grossier (CSi), sable fin (FSa), et sable grossier (CSa), ainsi que les teneurs en carbone (C), azote (N), phosphore (P), calcium (Ca), magnésium (Mg), sodium (Na), potassium (K), la capacité d'échange cationique (CEC), le taux de saturation (Sat), et le point de flétrissement (PF4).

Les méthodes d'analyse de données utilisées sont l'analyse triadique partielle (Thioulouse et Chessel 1987) pour analyser les séries de tableaux nématologiques et pédologiques; l'analyse de co-inertie (Chessel et Mercier, 1993; Dolédec et Chessel 1994) pour étudier les relations nématodes-sol; et la méthode STATICO, qui est une analyse triadique partielle sur les tableaux croisés de coinertie à chaque date (Chessel *al.*, 1996, Simier *et al.*, 1996). Les calculs et les représentations graphiques sont réalisés à l'aide du logiciel ADE-4 (Thioulouse *et al.*, 1997), qui est disponible gratuitement sur le réseau Internet à l'adresse Web suivante : <http://pbil.univ-lyon1.fr/ADE-4/ADE-4F.html>.

Résultats

La figure 1 montre les résultats de l'analyse triadique partielle effectuée sur les données nématologiques, pour les 17 dates d'échantillonnage, les huit espèces de nématodes et les 16 points de chacun des 11 transects, en considérant un tableau par date (dans chaque tableau les espèces sont en colonnes et les points des transects sont en lignes). La figure 1A montre le premier plan factoriel du compromis pour les espèces de nématodes, et la figure 1B le premier plan factoriel du compromis pour les points des transects. La figure 1C représente le premier plan factoriel de l'intrastructure. Les points correspondants aux transects et aux dates ont été représentés dans des graphiques séparés et seules les six premières dates sont figurées. Il existe une structure stable au cours des trois années d'étude, qui est bien exprimée par le compromis. L'examen des plans factoriels et le retour aux données montre qu'il s'agit d'une modification du peuplement de nématodes au cours du vieillissement de la jachère (1 an, 8 ans, 18 ans), avec une diminution des effectifs de *Scutellonema* et une augmentation des effectifs d'*Helicotylenchus*, qui se traduisent par un déplacement des points des transects de la gauche vers la droite des plans factoriels. Dans la parcelle de forêt, on note cependant la réapparition de *Scutellonema*. Parallèle-

ment à cette modification du peuplement, on observe une augmentation de la variabilité intra-transects avec l'âge de la jachère.

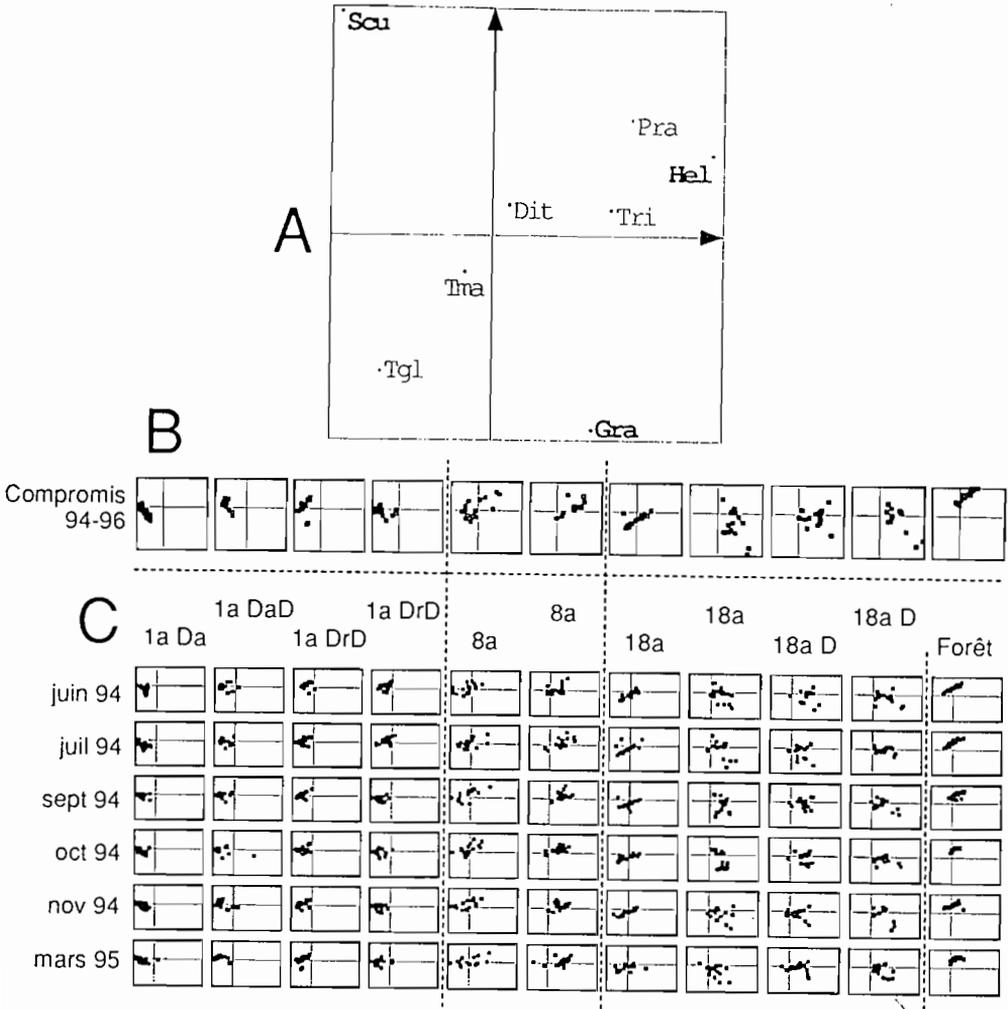


Figure 1: Résultats de l'analyse triadique partielle sur les données nématologiques, pour les 17 dates d'échantillonnage, les huit espèces de nématodes et les 16 points de chacun des 11 transects, en considérant un tableau par date (dans chaque tableau les espèces sont en colonnes, et les points des transects sont en lignes). 1A : premier plan factoriel du compromis pour les espèces de nématodes. 1B : premier plan factoriel du compromis pour les points des transects. 1C : premier plan factoriel de l'intrastructure (les points correspondants aux transects et aux dates ont été représentés dans des graphiques séparés, et seules les six premières dates sont figurées). Da = Défriche ancienne, Dr = Défriche récente, D = Défens.

La figure 2 montre les résultats obtenus sur les données pédologiques de 1994, 1995 et 1996. L'analyse triadique est effectuée sur les trois tableaux comportant en colonnes les 15 variables pédologiques et en lignes les points des 11 transects. Elle révèle ici aussi la forte influence de l'âge de la jachère, en particulier sur la granulométrie du sol des parcelles (gradient de granulométrie imputable à l'érosion du sol pendant la culture et au retour d'éléments fins pendant la période de jachère). Les parcelles en jachère depuis seulement un an ont une granulométrie grossière et le taux d'argile augmente pour les jachères de 8 ans et surtout de 18 ans. La parcelle située en forêt possède cependant un sol particulièrement sableux. On note aussi l'existence d'une structure liée à la composition ionique (Mg, Ca, K, P) dans les parcelles de jachère anciennes.

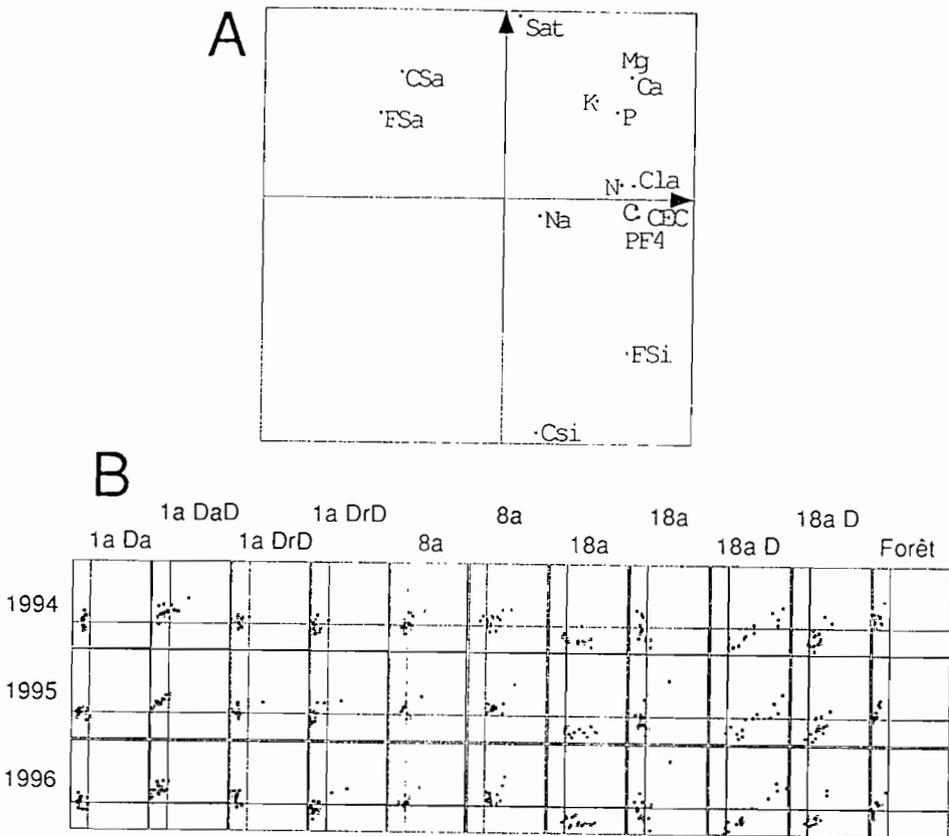


Figure 2: Résultats de l'analyse triadique partielle sur les données pédologiques de 1994, 1995 et 1996. L'analyse triadique est effectuée sur les trois tableaux comportant en colonnes les 15 variables pédologiques et en lignes les points des 11 transects. 2A : premier plan factoriel du compromis. 2B : premier plan factoriel de l'intrastructure.

Le couplage entre les données nématologiques et pédologiques est effectué grâce à la méthode STATICO, dont les résultats sont résumés dans la figure 3.

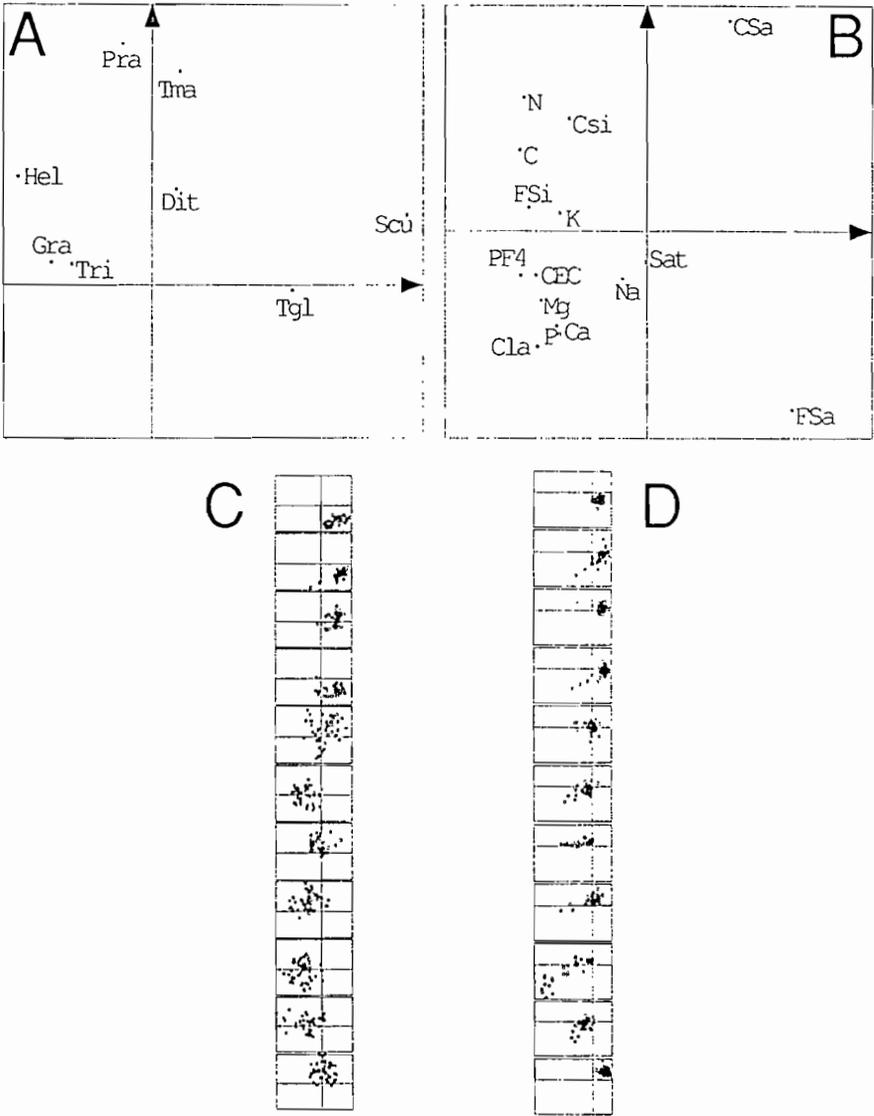


Figure 3: Résultats de l'analyse de la relation nématode-sol par la méthode STATICO. 3A : premier plan factoriel du compromis pour les espèces, 3B : premier plan factoriel du compromis pour les variables pédologiques. 3C : premier plan factoriel de l'intrastructure pour les données nématologiques. 3D : premier plan factoriel de l'intrastructure pour les données pédologiques.

Pour les données nématologiques, c'est la moyenne annuelle des effectifs de nématodes qui a été utilisée ici, de façon à disposer d'un seul tableau (transects x espèces) pour chaque année. Les données pédologiques sont celles analysées par l'analyse triadique partielle dans le paragraphe précédent. Les figures 3A et 3B montrent le premier plan factoriel du compromis pour les espèces de nématodes (3A) et pour les variables pédologiques (3B). Les figures 3C et 3D montrent le premier plan factoriel de l'intrastructure pour les données nématologiques (3C) et pédologiques (3D).

Le compromis exprime ici la partie stable de la co-structure pour les trois années. Les tests de permutations des analyses de co-inertie effectuées pour chaque année séparément montrent que cette co-structure est très forte. On voit sur la figure 3 qu'elle relie le gradient de granulométrie et la composition du peuplement de nématodes en *Helicotylenchus* et *Scutellonema*. *Scutellonema* est plus abondant dans les sols à caractère sableux, et plus rare dans les sols à granulométrie fine, alors qu'*Helicotylenchus* est plus abondant dans les sols argileux et plus rare dans les sols à granulométrie grossière. Sur l'axe 2, on note que l'abondance de *Pratylenchus* et *T. mashhoodi* peut être reliée négativement aux teneurs en ions Mg, P, Ca, et Na.

Discussion

L'analyse triadique des données nématologiques a été effectuée à partir de tableaux construits par date d'échantillonnage. Chaque tableau possède alors en colonnes, les espèces de nématodes, et en lignes, les transects. Dans ces conditions, l'analyse recherche une structure stable, commune aux différentes dates d'échantillonnage. Elle fait ressortir l'influence de l'âge de la jachère, c'est-à-dire les différences entre transects. Cela ne signifie pas qu'il n'existe pas de variations saisonnières (et des variations inter-annuelles). L'analyse triadique pratiquée en prenant un tableau par transect montre d'ailleurs que ces structures existent bien, et sont liées au cycle de développement des nématodes et à l'influence de l'alternance saison sèche - saison humide. Le retour aux données montre cependant que, quantitativement, les différences entre transects sont bien plus fortes que les variations temporelles au cours des trois années d'étude.

Plusieurs tendances sont mises en évidence par cette analyse :

i) La durée de la jachère a une influence déterminante sur la structure du peuplement et, dans une certaine limite sur sa variabilité.

Il ressort que les deux espèces de nématodes qui sévissent dans les

champs cultivés : *S. cavenessi* et *T. gladiolatus* (Germani, Baujard et Luc, 1985), sont surtout présentes dans les jachères jeunes et qu'elles ont tendance à disparaître lorsque la jachère vieillit, au profit d'un peuplement nettement plus diversifié dominé par *H. dihystra* et *Gracilachus parvula* (Cadet et Floret, 1995). Les caractéristiques nématologiques suivantes caractérisent les tranches d'âges croissantes de jachère :

- jachères jeunes (moins de 3 ans) : *S. cavenessi* et *T. gladiolatus*.

- jachères moyennes (environ 10 ans) : *T. gladiolatus*, *H. dihystra* et *P. pseudoprattensis*.

- jachères âgées (plus de 15 ans) : *H. dihystra* et *Gracilachus sp.*

Cependant, *S. cavenessi* réapparaît avec *H. dihystra* et *P. pseudoprattensis* dans la forêt qui, sans être exactement une jachère, est sensée figurer la situation extrême en terme de durée de jachère. Il est probable qu'une étude longitudinale permettrait de lever l'indétermination concernant la part de l'influence respective du vieillissement de la jachère et de la position des parcelles dans la toposéquence. Trois années d'étude sont malheureusement insuffisantes pour espérer lever cette indétermination ici.

ii) La protection des jachères pendant 5 ans, contre toute forme d'exploitation (Hommes, bétail, feu etc...), qui a une influence considérable sur le développement de la végétation (Bodian, 1993), ne semble pas avoir d'incidence majeure sur le peuplement de nématodes. Cependant, l'analyse statistique n'était pas ciblée sur l'étude des effets de la mise en défens.

iii) Il peut apparaître des variations que nous ne pouvons pas expliquer avec les seuls résultats nématologiques, comme par exemple, l'un des transects dans une parcelle de jachère de 18 ans, qui présente un profil spécifique proche de celui d'une parcelle de 8 ans.

Ces résultats prouvent que la jachère est un moyen de lutte efficace contre les nématodes dans la zone soudano-sahélienne, même si son action sur le peuplement global est plus qualitative que quantitative. La diminution des effectifs de certaines espèces sous l'effet du vieillissement de la jachère est compensée par le développement d'autres espèces.

Partant du principe que le peuplement qui sévit sur les cultures est nécessairement le plus pathogène, il est évident que le bénéfice obtenu par la mise en culture après jachère résultera non seulement de l'amélioration des propriétés physico-chimiques du sol (infiltration, taux de matière organique ...), mais aussi de la diminution de la pression parasitaire due en partie à la disparition de certaines espèces de nématodes (Cadet et Floret, 1995).

Plus le temps de jachère augmente plus le peuplement se diversifie.

Ce résultat s'explique probablement par l'évolution de la végétation qui tendrait à faire disparaître ou apparaître des plantes hôte de ces parasites stricts. Au demeurant, comme tous les organismes vivants, ceux-ci sont également sensibles aux influences mésologiques et en particulier aux caractéristiques du sol, dont les variations latérales s'amplifient en fonction du temps de jachère à cause de l'hétérogénéité induite par l'évolution côte à côte des groupements végétaux (zones herbacées, à ligneux, zones nues ...) qui constituent la jachère (Donfack *et al.*, 1995).

Sur la base des résultats nématologiques, dans la mesure où l'une des espèces majeures des champs cultivés, *S. cavenessi*, réapparaît dans la forêt, il est possible de déterminer une durée optimum de la jachère, qui se situerait autour de 15 ans. Mais cette conclusion est basée sur l'observation d'un seul transect en forêt.

Bien que toutes ces parcelles soient relativement proches les unes des autres, situées sur un même type de sol ferrugineux peu profond, l'étude de leurs caractéristiques physico-chimiques révèle l'existence de différences probablement issues de leur position sur la toposéquence. Plus les jachères sont anciennes et plus leurs sols sont argileux et hétérogènes, à l'exception de la forêt (au sommet de la toposéquence) où les sols sont aussi sableux que ceux des parcelles récemment mise en jachère. On note également des différences entre les transects situés dans la parcelle de jachère de 18 ans et entre parcelles de 18 ans anthropisées et en défens.

L'analyse simultanée des caractéristiques du sol et des peuplements de nématodes apporte des informations extrêmement intéressantes, comme la relation entre *S. cavenessi* et les sols sableux, principalement représentés par les jachères jeunes et la forêt. Ceci nous autorise à émettre l'hypothèse selon laquelle, ce serait peut-être le statut "argileux" des jachères anciennes qui expliquerait la disparition de cette espèce sur ces situations, plutôt que la raréfaction des plantes hôtes potentielles. Cependant, il n'y a pas plus de *S. cavenessi* sur l'un des sites de la jachère de 18 ans, dont la tendance est très sableuse, que sur l'autre site qui l'est moins. Par ailleurs, tous les champs de mil (plante hôte) de la zone sont infestés par *S. cavenessi* et *T. gladiolatus*, mêmes ceux qui sont situés à proximité des jachères anciennes et dont le taux d'argile du sol est aussi élevé. La texture du sol ne suffit donc pas à expliquer la disparition de *S. cavenessi*.

Dans le contexte agronomique général qui sévit depuis quelques dizaines d'années, caractérisé par la diminution du temps de jachère, il est évident que les champs continuellement cultivés sont sensibles à l'érosion qui contribue à éliminer les éléments fins du sol (argile) et par conséquent à faire augmenter le taux de sable. Une situation qui pourrait donc être de plus en

plus favorable au développement de *S. cavenessi*. Comme il n'est pas possible de modifier cette tendance, c'est probablement en jouant sur d'autres facteurs, comme par exemple le taux de matière organique, qu'il serait possible de contrebalancer ce phénomène. En revanche, en ce qui concerne *T. gladiolatus*, qui est moins sensible que *S. cavenessi* à l'environnement abiotique, ces résultats laissent penser qu'il existe peu de chance de le combattre de cette manière.

Cette analyse permet également de mettre en évidence une relation entre *P. pseudopraticensis* et *T. mashhoodi*, et des teneurs en calcium, magnésium, phosphore ou sodium. Indépendamment des causes de cette relation, qu'il convient d'étudier, cela sous-entend qu'une variation de leur concentration dans le sol pourrait avoir une incidence sur les niveaux de population des deux espèces de nématodes et de ce fait interagir sur l'équilibre spécifique au sein du peuplement. En d'autres termes, ceci pourrait avoir deux types de répercussions :

- D'une part influencer indirectement, par l'intermédiaire des relations ethologiques, la proportion d'une autre espèce du peuplement, comme par exemple *T. gladiolatus*.

- D'autre part, permettre le maintien de ces espèces dans les champs où elles disparaissent bien que les cultures vivrières de cette zone, comme le mil, soient des plantes hôtes de ces espèces. Avec pour conséquence, un accroissement de la biodiversité qui, comme l'indique la bonne croissance du mil après jachère malgré la présence d'un peuplement numériquement aussi important que dans les champs, semble associé à une diminution de la pathogénicité globale du peuplement (Cadet et Bois, 1997).

Références bibliographiques

- Bodian A. 1993. Influence de la mise en défens sur la végétation des jachères anciennes et de savanes dans la région du Sine-Saloum. Mémoire, Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, Dakar, Sénégal. 40 p.
- Cadet P et Bois J. F. 1997. Pathogenic effect of two communities of plant parasitic nematodes on vegetative growth on millet in Senegal (Abstr.). African Plant Protection. (Sous presse)
- Cadet P et Floret C. (1995). An initial study of fallow periods on the nematode community in the soudanese - sahelian zone of Senegal. Acta écologica, 16 : 77-88.
- Chessel D. et Mercier P. (1993) Couplage de triplets statistiques et liaison espèce-environnement. Biométrie et Environnement (eds J.D. Lebreton et D. As-selain), pp. 15-44. Masson, Paris.

- Chessel D., Simier M. et Hanafi M. (1996). STATICO : STATIS et Co-inertie. Documentation du logiciel ADE-4.
<http://pbil.univ-lyon1.fr/ADE-4/volume5F.html>,
<ftp://pbil.univ-lyon1.fr/pub/mac/ADE/ADE-4/DocThemPDF/Thema58.pdf>.
- Dolédec S. et Chessel D. (1994) Co-inertia analysis : an alternative method for studying species-environment relationships. *Freshwater Biology*, 31, 277-294.
- Donfack P., Floret C et Pontanier R. 1995. Secondary succession in abandoned fields of dry tropical northern Cameroun. *Journal of Vegetation Science*, 6 : 499 - 508.
- Germani G., Baujard P. et Luc M. (1985). La lutte contre les nématodes dans le bassin arachidier sénégalais. Paris: ORSTOM. 26p.
- Simier M., Hanafi M. et Chessel D. (1996) Approche simultanée de K couples de tableaux. Recueil des résumés des communications des XXVIIIèmes Journées de statistique, Université Laval, Québec, Canada, 27-30 Mai 1996. 673-676.
- Thioulouse J. et Chessel D. (1987). Les analyses multitableaux en écologie factorielle. I: De la typologie d'état à la typologie de fonctionnement par l'analyse triadique. *Acta Oecologica, Oecologia Generalis*, 8, 4, 463-480.
- Thioulouse J., Chessel D., Dolédec S. et Olivier J.M. (1997). ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing*, 7, 75-83.

Société Française de Biométrie

De l'observation à l'analyse,
implication de la biométrie
dans les pays
de développement

1998

Textes présentés lors des journées réalisées par
la Société Française de Biométrie
à Carcassonne, les 29 et 30 mai 1997

N° 15