

Impact des nématodes phytoparasites de la zone soudano-sahélienne du Sénégal sur la croissance du mil en conditions contrôlées

J.-F. Bois⁽¹⁾, P. Cadet⁽²⁾, Ch. Planchette⁽³⁾ et R. Duponnois⁽²⁾

1 IRD/CIRAD-AMIS, Ecotrop, TA 40/01, 34398 Montpellier, France

2 IRD, BP 1386 Dakar, Sénégal

3 INRA, 17, rue Sully, 21034 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

L'effet de deux peuplements de nématodes phytoparasites a été étudié en conditions contrôlées sur la croissance du mil (*Pennisetum glaucum*). Les plants de mil (cv. IKMV 8201) ont été cultivés en pots sur du sol collecté au Sud du Sénégal dans un champ cultivé (sol cultivé) et dans une jachère de 17 ans (sol de jachère). La moitié du sol de chacun des prélèvements a été stérilisée. Pour compenser l'effet de la stérilisation, six cycles de cultures de mil de deux mois ont été faits avant l'expérimentation. A l'issue de cette période, trois espèces ont été observées sur le sol cultivé non stérilisé : *Scutellonema cavanessi*, *Tylenchorhynchus gladiolatus* et *Ditylenchus myceliophagus*; dans le sol de jachère non stérilisé, trois espèces supplémentaires ont été observées : *T. mashhoodi*, *Pratylenchus pseudo-pratensis* et *Trichotylenchus falciformis*. L'effet des deux peuplements de nématodes sur la croissance du mil a été analysé pendant le 7^e cycle de culture.

Sur le sol cultivé non stérilisé, les nématodes ont réduit la surface foliaire de 10 % et la biomasse de 28 % par rapport au témoin sur le sol stérilisé. En revanche, sur le sol de jachère non stérilisé, ces deux paramètres ont augmenté d'environ 40 % en présence de nématodes. Ce résultat paradoxal peut s'expliquer par le meilleur statut organique du sol de jachère et par une stimulation de la croissance racinaire consécutives aux attaques des nématodes. La diversité spécifique du peuplement du sol de jachère a probablement atténué leur effet pathogène. Par contre, le peuplement du sol cultivé a été pathogène et a endommagé le système racinaire du mil.

Mots clés

Sénégal, mil, nématodes phytoparasites, conditions contrôlées

SUMMARY

IMPACT OF PLANT PARASITIC NEMATODES FROM THE SENEGAL SUDANO-SAHELIAN AREA ON MILLET GROWTH UNDER CONTROLLED CONDITIONS

The pathogenic effect of two plant parasitic nematode communities on millet growth (*Pennisetum glaucum*) was studied in controlled conditions. The millet plants (cv. IKMV 8201) were cultivated in pots containing either a soil from a cultivated field or a soil from a 17 year-old fallow, both soils being collected in the South of Senegal. Half of the pots were sterilized. To eliminate the sterilization effect, six 2 month long millet crop cycles were done before the experience. After this period, three nematode species were observed in the non sterilized cultivated soil: *Scutellonema cavanessi*, *Tylenchorhynchus gladiolatus* and *Ditylenchus myceliophagus*; in the non sterilized fallow soil, three additional species were detected: *T. mashhoodi*, *Pratylenchus pseudopratensis* and *Trichotylenchus falciformis*. The effect of the two nematode communities on millet growth was analysed during the 7th crop cycle.

In the non sterilized cultivated soil, nematodes reduced leaf area by 10 % and biomass by 28 %, compared with the sterilized soil. Conversely, in the non sterilized fallow soil, these two parameters increased by about 40 % with nematodes. This paradoxical result could be explained by a better organic status of the fallow soil and by the stimulation of root growth following nematode attacks. In the fallow soil, the species diversity of the nematode community mitigated their pathogenic effect. In the cultivated soil, the nematode community was definitely pathogenic and the millet root system was damaged.

Key-words

Senegal, millet, plant parasitic nematodes, controlled conditions

RESUMEN

IMPACTO DE LOS NEMÁTODOS FITOPARÁSITOS DE LA ZONA SUDANO-SAHELI DE SENEGAL SOBRE EL CRECIMIENTO DEL CULTIVO DE MIJO EN CONDICIONES CONTROLADAS

El efecto de dos poblaciones de nemátodos fitoparásitos se estudió en condiciones controladas sobre el crecimiento del cultivo de mijo (*Pennisetum glaucum*). Las plantas de mijo (cv. IKMV 8201) se cultivaron en macetas con suelos que provienen del Sur de Senegal de una parcela cultivada (suelo cultivado) y de un barbecho de 17 años (suelo de barbecho). La mitad de cada muestra fue esterilizada. Para disminuir el efecto de la esterilización, seis ciclos de dos meses de cultivos de mijo se hicieron antes de la experimentación. Al final de este periodo, se observaron tres especies en el suelo cultivado no esterilizado: *Scutellonema cavanessi*, *Tylenchorhynchus gladiolatus* et *Ditylenchus myceliophagus*; en el suelo de barbecho no esterilizado, se observaron tres especies suplementarias: *T. mashhoodi*, *Pratylenchus pseudopratensis* et *Trichotylenchus falciformis*. El efecto de dos poblaciones de nemátodos sobre el crecimiento del mijo se analizó durante el séptimo ciclo del cultivo.

En el suelo cultivado no esterilizado, los nemátodos redujeron la superficie foliar de 10% y la biomasa de 28% en relación al testigo en el suelo esterilizado. En cambio, sobre el suelo de barbecho no esterilizado, estos dos parámetros aumentaron de 40% aproximadamente en presencia de nemátodos. Este resultado paradójico puede explicarse por un mayor estado orgánico del suelo de barbecho y por un estímulo del crecimiento de las raíces siguiendo los ataques de los nemátodos. La diversidad específica de la población del suelo de barbecho atenuó, probablemente su efecto patógeno. En cambio, la población del suelo cultivado fue patógena y dañó el sistema radicular del mijo.

Palabras claves

Senegal, mijo, nemátodos fitoparásitos, condiciones controladas.

La jachère a été longtemps utilisée dans les régions soudano-sahéliennes pour restaurer la fertilité des sols. Cependant, pour être efficace, cette pratique culturale impose une occupation relativement longue du terrain. Son action se traduit à la fois par des modifications physico-chimiques du sol et des modifications de l'activité biologique qui s'y déroule. En ce qui concerne le groupe trophique des nématodes phytoparasites, les travaux récents montrent que la jachère fait paradoxalement augmenter la densité d'infestation dans le sol (nombre total de nématodes), mais aussi le nombre d'espèces présentes dans le peuplement (Pate, 1997). Ce résultat à caractère global masque l'effet inhibiteur de la jachère sur les espèces qui parasitent spécifiquement les champs de cultures vivrières de ces régions, et qui sont remplacées par d'autres (Cadet et Floret, 1995).

Cependant, en endommageant le système racinaire des plantes, les nématodes réduisent sa capacité d'absorption des éléments minéraux et de l'eau nécessaire à une bonne croissance. L'un des objectifs de cette étude est donc de déterminer si les changements intervenus au niveau du peuplement, notamment en terme de diversité spécifique, se traduisent effectivement par une modification de l'effet pathogène global de ce peuplement ou si le bénéfice de cette transformation est compensé par les dégâts résultant d'un accroissement du nombre de parasites.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les essais ont été effectués en conditions contrôlées en chambre de culture :

- Lumière: 450 à 600 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; photopériode de 12 heures.

- Température: 30 à 32 °C le jour, 24 à 27 °C la nuit.

- Humidité relative: 50 % le jour et 80 % la nuit.

Les plants de mil (*Pennisetum glaucum* cv. IKMV 8201) ont été cultivés sur sol en pots individuels. La disposition des pots a été faite au hasard et a fait l'objet d'une rotation régulière pour limiter l'effet de l'hétérogénéité de la lumière.

Le sol sablo-limoneux utilisé a été collecté au Sud du Sénégal, à Thyssé Kaymor, dans un champ cultivé et dans une jachère de 17 ans en défens depuis 5 ans (Diatta, M. 1994). Une moitié du sol de chaque provenance a été stérilisé à l'autoclave (140 °C, 40 min), l'autre a été conservée avec son infestation d'origine. Avant l'expérimentation, deux séries de chacune trois cycles de mil de deux mois ont été effectuées pour l'ensemble des sols. Ces deux séries ont été séparées par une période de 6 mois, sans plante et sans arrosage simulant une saison sèche sur le terrain. Cette opération préalable avait pour but de compenser l'effet de la stérilisation (Alphei et Scheu, 1993) et de permettre la multiplication des nématodes qui ont besoin d'une période anhydrobiotique pour accomplir

leur cycle biologique (Demeure, 1980). Les nématodes ont été extraits du sol par la méthode de Seinhorst (Seinhorst, 1962). Puis les nématodes ont été identifiés et dénombrés sous le microscope stéréoscopique.

L'expérience correspond au 7^e cycle cultural dans le même sol, dont les caractéristiques physico-chimiques sont indiquées dans le tableau 1. Chaque pot a été rempli avec 1 100 g de sol. Pendant la culture, les plants ont été arrosés avec de l'eau déionisée pour maintenir l'humidité du sol entre 12 et 16 % en poids (capacité de rétention du sol: 24.5 % pour le sol cultivé et 26.5 % pour le sol de jachère). Deux apports de solution nutritive de type Hoagland ont été ajoutés au 25^e et au 32^e jour de culture.

Le dispositif expérimental comprend donc 4 traitements :

- T sc: sol cultivé stérilisé (4 répétitions)

- N sc: sol cultivé non stérilisé (3 répétitions)

- T j: sol de jachère stérilisé (4 répétitions)

- N j: sol de jachère non stérilisé (3 répétitions).

La croissance des plants a été suivie régulièrement durant la phase végétative par des notations d'émission de feuilles et par l'estimation de la surface foliaire (mesure de la longueur et la largeur des limbes). À partir du 15^e jour, la teneur en chlorophylle de la plus jeune feuille adulte a été évaluée à l'aide d'un chlorophyll meter (Minolta Spad). L'humidité du sol a été déterminée par pesée en négligeant le poids du plant. À l'arrêt de la culture (42 jours après semis), les biomasses et les paramètres racinaires (nombre, longueur) ont été mesurés. La surface foliaire réelle a été déterminée par scanner (logiciel Surfol Cirad) pour calculer le coefficient d'allométrie $k = L \times l / \text{Surface}$.

Tableau 1 - Caractéristiques physico-chimiques des sols prélevés dans le champ cultivé et dans la jachère.

Table 1 - Physico-chemical characteristics of soils collected in the cultivated field and in the fallow.

	Sol cultivé	Sol de jachère
pH eau	6,01	5,81
C (mg kg ⁻¹)	5450	9900
N (mg kg ⁻¹)	610	930
C/N	8,9	10,6
P total (mg kg ⁻¹)	70	121
CEC (c mol kg ⁻¹)	4,94	6,5
Argile (%)	8,9	18,5
Limon fin (%)	6,9	21,7
Limon grossier (%)	13,2	16,1
Sable fin (%)	40,8	26,7
Sable grossier (%)	31,1	16,8

RÉSULTATS

Variations des peuplements de nématodes en pots

La composition spécifique et la densité d'infestation dans le sol des peuplements de nématodes ont été modifiées par le précédent cultural et par les cycles successifs de culture (tableau 2). Trois espèces ont été observées sur le sol cultivé : *Scutellonema cavinessi*, *Tylenchorhynchus gladiolatus* et *Ditylenchus myceliophagus*. Dans le sol de jachère, *S. cavinessi* a pratiquement disparu, mais trois espèces supplémentaires y ont été observées : *Tylenchorhynchus mashhoodi*, *Pratylenchus pseudopratensis* et *Trichotylenchus falciformis*. *T. gladiolatus* est l'espèce dominante dans les deux situations.

Surface foliaire du mil

Sur le sol cultivé non stérilisé (traitement N sc), la surface foliaire des plants s'est accrue moins vite que celle des plants se développant sur le sol stérilisé (T sc) c'est à dire non infesté (figure 1). Cependant, la différence n'a pas été significative. La situation inverse a été observée sur le sol de jachère. A partir du 33^e jour, la surface foliaire des plants poussant sur le sol non stérilisé (N j) a été significativement supérieure à celle des plants poussant sur le sol stérilisé (T j). A la fin de l'expérimentation, l'accroissement de surface foliaire a été de 37 %. Dès le 20^e jour, la surface foliaire des plants poussant sur le sol de jachère (T j, N j) a été supérieure à celle des plants poussant sur le sol cultivé (T sc, N sc).

Biomasse des plants de mil

Sur le sol cultivé non stérilisé, la présence des nématodes a entraîné une diminution significative de 31 % de la biomasse aérienne et une diminution non significative de 13 % de la bio-

masse des racines (figure 2). Sur le sol de jachère non stérilisé, la biomasse des parties aériennes a été augmentée de 43 % par rapport à celle du sol stérilisé (différence significative) et celle des racines de 34 % ; la biomasse totale a été deux fois supérieure à celle obtenue sur le sol cultivé non stérilisé.

Teneur en chlorophylle des feuilles de mil

Jusqu'au 27^e jour, la teneur en chlorophylle (exprimée en unités arbitraires) des feuilles des plants poussant sur le sol cultivé, a été significativement inférieure à celle des plants poussant sur le sol de jachère (figure 3). Cette différence a disparu après l'apport de solution nutritive. Sur le sol cultivé non stérilisé (N sc), cette teneur en chlorophylle a été significativement supérieure à la teneur observée sur les plants sur le sol stérilisé (T sc) jusqu'au 30^e jour. En début de culture, ce paramètre a varié parallèlement pour les deux traitements sur le sol cultivé et pour celui sur le sol de jachère stérilisé. La teneur en chlorophylle est passée par un maximum vers le 18^e jour puis a diminué régulièrement. Pour ce paramètre, le maximum sur le sol de jachère non stérilisé (N j) n'a été atteint qu'au 26^e jour. Au 33^e jour, les différences entre traitements ont disparu.

DISCUSSION

L'effet d'un précédent jachère se manifeste de manière évidente sur la culture du mil par rapport à une parcelle où la culture est pratiquée en permanence. La croissance des plants de mil est nettement supérieure sur le sol issu de la jachère, grâce à un meilleur niveau organique et minéral que celui du sol cultivé (Masse et al., 1998). 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.

Outre l'effet sur les propriétés physico-chimiques du sol, la

Tableau 2 - Densité (nématodes (n par dm³ de sol) des différentes espèces de nématodes observées dans les sols cultivés et de jachère après le premier cycle de mil et à l'issue du 7^e cycle cultural en conditions contrôlées.

Table 2 - Density (nematodes (n per dm³ of soil) of the different nematode species observed in the cultivated and fallow soils, after the first and the 7th crop cycles under controlled conditions.

Espèces observées	Sol cultivé (n/dm ³)		Sol de jachère (n/dm ³)	
	1 ^{er} cycle	7 ^e cycle	1 ^{er} cycle	7 ^e cycle
<i>S. cavinessi</i>	2065	107	0	2
<i>H. dihystra</i>			8078	0
<i>T. gladiolatus</i>	97494	444	21065	577
<i>T. mashhoodi</i>			805	9
<i>P. pseudopratensis</i>			961	119
<i>T. falciformis</i>			2104	27
<i>D. myceliophagus</i>	1935	8	1896	20

Figure 1 - Variations en fonction du temps de la surface foliaire du mil. (Valeurs moyennes \pm écart type, 3 répétitions. Sc: sol cultivé; j: sol de jachère; T: sol stérilisé; N: sol non stérilisé).

Figure 1 - Time course of the leaf area. (Mean values + standard deviation, 3 replicates. Sc: cultivated soil; j: fallow soil; T: sterilized soil; N: non sterilized soil).

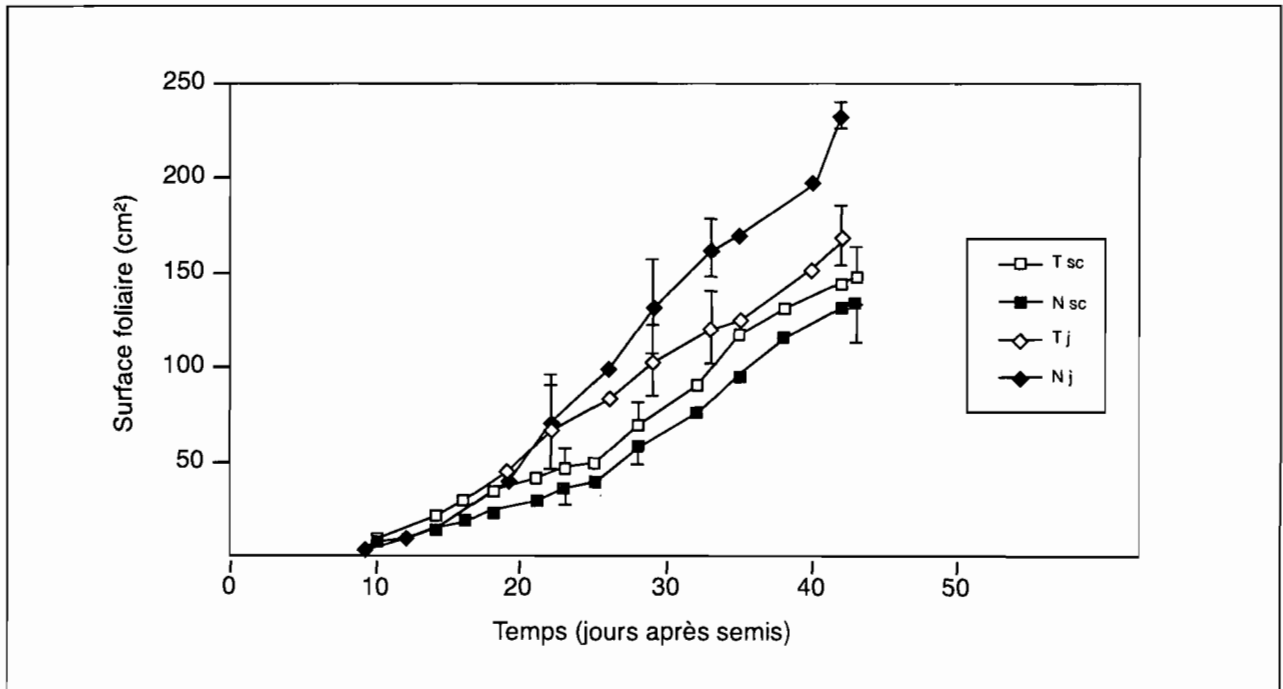


Figure 2 - Biomasses cumulées (42 jours après semis). Moyennes + écart type. T: sol stérilisé; N: non stérilisé.

Figure 2 - Cumulated biomass (42 days after sowing). Mean values + standard deviation. T: sterilized soil; N: non sterilized soil.

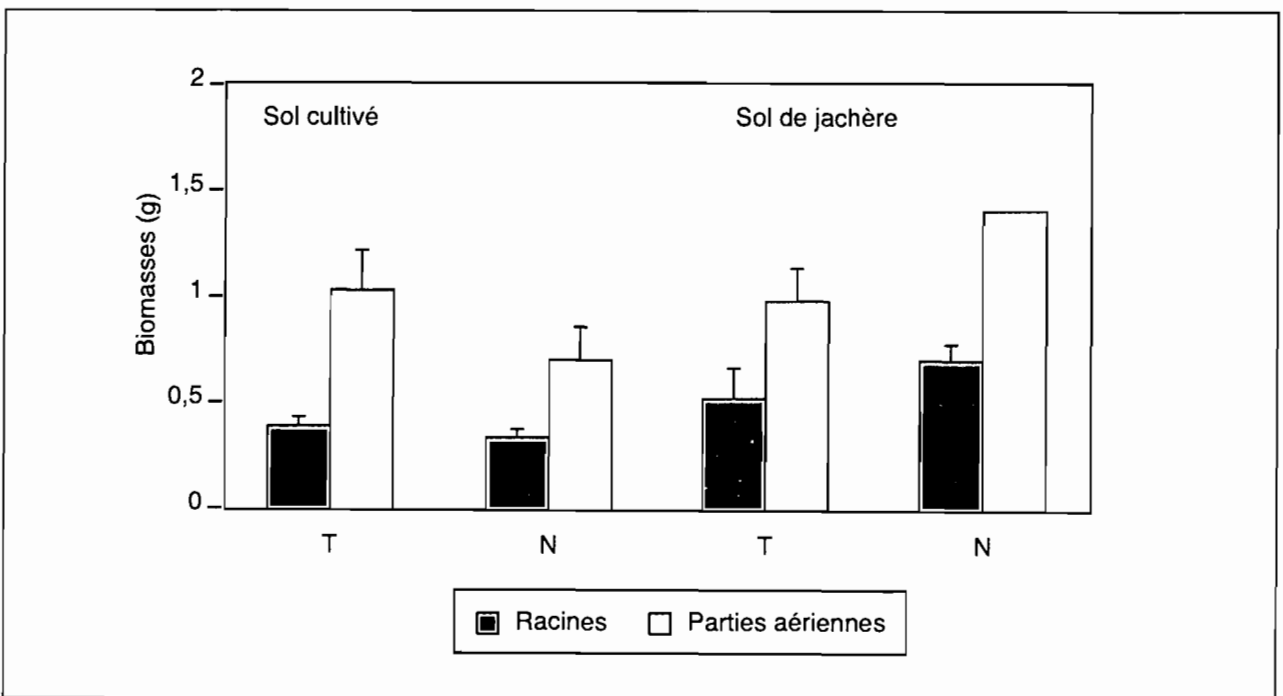
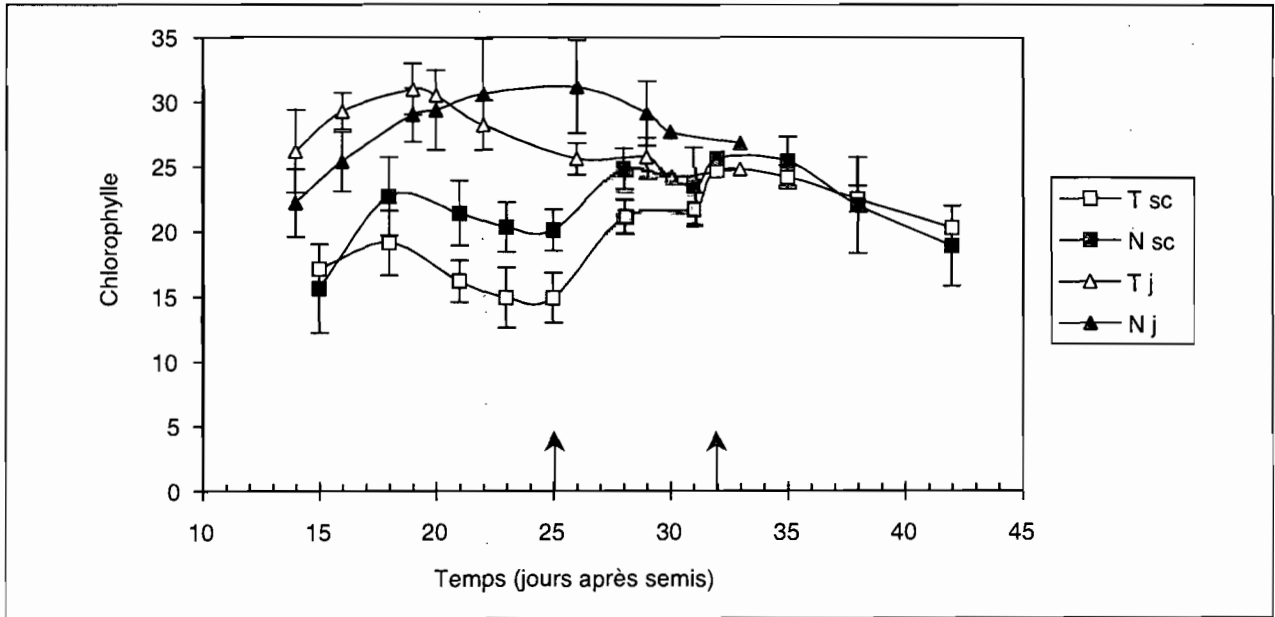


Figure 3 - Variations en fonction du temps de la teneur en chlorophylle. Valeurs en unités arbitraires. Moyennes \pm écart type (3 à 6 répétitions). Mêmes symboles que dans la figure 1. Les flèches indiquent les dates d'apport de solution nutritive.

Figure 3 - Time course of chlorophyll content. Values in arbitrary units. Mean values \pm standard deviation (3 to 6 replicates). Same symbols as in figure 1. Arrows indicate dates of nutrient solution supply.



jachère influence aussi la répartition spécifique des nématodes. Le peuplement de nématodes issu du sol de jachère cultivé en mil est plus diversifié que celui collecté dans les champs cultivés. L'une des espèces majeures, omniprésente sur les champs de mil: *S. cavenessi*, a même disparu sous l'effet de la jachère (Germani et al., 1985; Cadet et Floret, 1995).

Sur le sol cultivé, qui peut être considéré comme très appauvri par une longue période de culture, la présence des nématodes a entraîné une diminution de 10 % de surface foliaire et de 28 % de la biomasse accumulée par rapport à une culture sur sol cultivé stérilisé. Cet effet dépressif des nématodes sur la croissance des plantes est tout à fait classique, dans la mesure où ces parasites endommagent le système racinaire qui est le siège de l'assimilation des éléments nutritifs et de l'eau (Luc et al., 1989; Duponnois et al., 1997). A l'inverse, sur le sol de jachère infesté de nématodes, la surface foliaire et la biomasse augmentent d'environ 40 %, par rapport au sol de jachère stérilisé. Ce résultat s'explique dans la mesure où la biomasse racinaire est plus élevée dans le sol infesté que dans le sol stérilisé. Ce phénomène n'a pas été observé dans le sol cultivé. Cette stimulation paradoxale de croissance en présence des nématodes pourrait s'expliquer par la différence entre la composition spécifique du peuplement de nématodes issu de la jachère et celui résultant de plusieurs cycles de cultures céréalières sur le terrain. Lorsqu'une plante est attaquée par des parasites au niveau de son système racinaire, elle réagit

par une émission supplémentaire de racines (Wallace, 1963). Dans les situations précédemment exposées, les racines émises dans le sol cultivé sont détruites par le peuplement de nématodes car il est composé principalement d'espèces pathogènes. Dans le cas du sol de jachère, les attaques de nématodes provoquent la réaction de stimulation du développement racinaire, mais ces racines ne sont pas détruites car la diversité spécifique du peuplement nématologique atténuerait son effet pathogène. Dans ce cas, la croissance de la plante est stimulée dans la mesure où elle dispose d'un système racinaire plus développé. Ce résultat confirme ceux obtenus par Villenave et al. (1997).

Cependant, le temps de jachère nécessaire pour obtenir ce peuplement de nématodes non pathogènes est extrêmement long: plus de 15 ans, une période d'immobilisation totalement incompatible avec les besoins actuels des populations en produits agricoles. Or, l'étude de l'évolution des peuplements de nématodes sous l'effet de la jachère montre qu'un raccourcissement du temps de jachère ne permet pas d'aboutir à une modification aussi importante du peuplement de nématodes (Pate, 1997). Dans ce cas, l'effet antagoniste de certains organismes, comme les mycorhizes (Dehne, 1982; Bagyaraj, 1984), observé pour d'autres plantes, par exemple chez l'Acacia (Duponnois et Cadet, 1994) et le soja (Germani et al.

1981), pourrait devenir extrêmement utile.

BIBLIOGRAPHIE

- Alpei J. et Scheu S., 1993 - Effects of biocidal treatments on biological and nutritional properties of a mull-structured woodland soil. *Geoderma*, 56, pp. 435-448.
- Bagyaraj D.J., 1984 - Biological interactions with VA mycorrhizal fungi. In: *Va mycorrhiza* (Ed by C. L. Powell & D.J. Bagyaraj - pp. 131-153. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Cadet P. et Floret C., 1995 - An initial study of fallow periods on the nematode community in the soudanese - sahelian zone of Senegal. *Acta Oecologica*, 16, pp. 77-88.
- Dehne H.W., 1982 - Interaction between vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and plant pathogens. *Phytopathology*, 72, pp. 1115-1118.
- Demeure Y., 1980 - Biology of the plant parasitic nematode *Scutellonema cavenessi* Sher, 1964 : anhydrobiosis. *Revue Nématol.*, 3, pp. 283-289.
- Diatta M., 1994 - Mise en défens et techniques agroforestières au Sine Saloun (Sénégal) - Effet sur la conservation de l'eau, du sol et sur la production primaire. Thèse de doctorat. Université de Strasbourg I. 202 pages.
- Duponnois R. et Cadet P., 1994 - Interactions of *Meloidogyne javanica* and *Glomus* sp. on growth and N_2 fixation of *Acacia seyal*. *Afro-Asian Journal of Nematology*, 4, pp. 228-233.
- Duponnois R., Cadet P., Senghor K. et Sougoufara B. 1997 - Sensibilité de plusieurs acacias australiens au nématode à galles: *Meloidogyne javanica*. *Annales des Sciences Forestières*, 54, pp. 181-190.
- Germani G., Ollivier B., Diem H.G., 1981 - Interaction of *Scutellonema cavenessi* and *Glomus mosseae* on growth and nitrogen fixation of soybean. *Rev. Nematol.*, 4, pp. 277-280.
- Germani G., Baujard P. et Luc, M., 1985 - La lutte contre les nématodes dans le bassin arachidier sénégalais. Paris, ORSTOM; 16p.
- Luc M., Sikora, R.A. et Bridge, J. - *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*. CAB International Institute of Parasitology, Wallingford, UK, 1990; 629 p.
- 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.
- Pate E., 1997 - Analyse spatio-temporelle des peuplements de nématodes phytoparasites dans les systèmes de culture à jachère au Sénégal. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard, Lyon France, 208 p.
- Sein-horst J.W., 1962 - Modification of the elutriation method for extracting nematodes from soil. *Nematologica*, 8, pp. 117-28.
- 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 soudanese-sahelian zone of West Africa. *Biology and Fertility of Soil*, 24, pp. 288-293.
- Wallace H.R., 1963 - *The biology of Plant Parasitic Nematodes*. Edward Arnold (Publisher) LTD. London, 280 p.