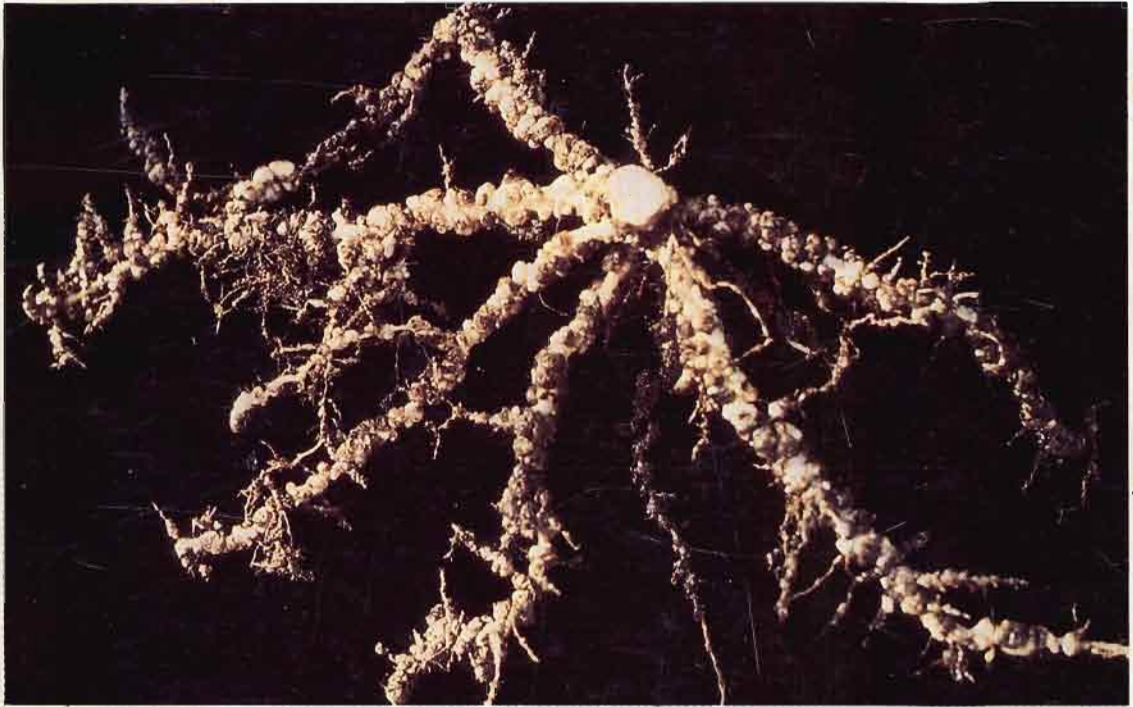


INTRODUCTION AUX NEMATODES
PHYTOPARASITES

LES NEMATODES PARASITES DES CULTURES MARAICHERES



Par

J.-C. PROT – Laboratoire de Nématologie
O.R.S.T.O.M. – B.P. 1386 – DAKAR – Sénégal

INTRODUCTION AUX NEMATODES
PHYTOPARASITES

LES NEMATODES PARASITES DES CULTURES MARAICHERES

Par

J.-C. PROT – Laboratoire de Nématologie
O.R.S.T.O.M. – B.P. 1386 – DAKAR – Sénégal



Publié et financé par
United States Agency for International Development
Regional Food Crop Protection Projet 625.0928
Dakar – B.P. 49 – Sénégal

TABLE DES MATIÈRES

Introduction aux nématodes phytoparasites

1	Introduction.....	5
2	Morphologie.....	5
3	Biologie.....	6
3-1	Relation avec le milieu.....	6
3-2	Reproduction et développement.....	7
3-3	Relation avec l'hôte et dégâts occasionnés sur la plante.....	11

Les nématodes parasites des cultures maraîchères au Sénégal

1	Introduction.....	14
2	Les Meloidogyne parasites des cultures maraîchères au Sénégal.....	14
2-1	Symptômes.....	15
2-2	Cycle de développement.....	15
2-3	Les causes de l'effet pathogène.....	21
2-4	Sensibilité et résistance des plantes.....	21
2-5	Les moyens de lutte.....	22
2-5-1	Elimination des facteurs favorisant l'infestation.....	22
2-5-2	Lutte chimique.....	22
2-5-3	Lutte physique.....	24
2-5-4	Les rotations.....	24
2-5-5	Lutte biologique.....	27
3	Conclusion.....	28

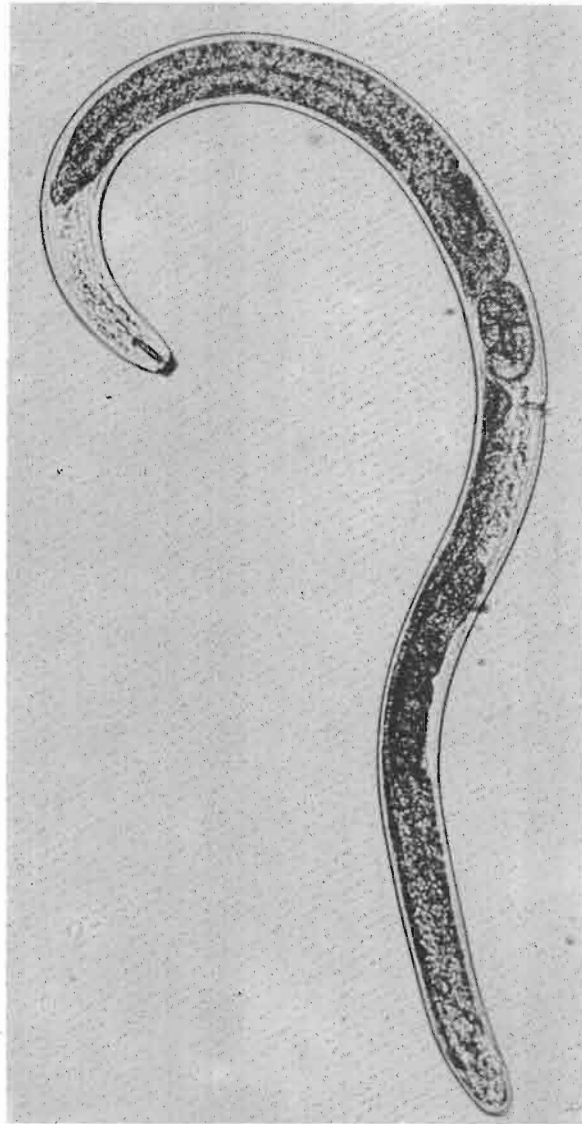


Figure 1 :

*Femelle du nématode **Scutellonema cavenessi** parasite de l'arachide au Sénégal.*

INTRODUCTION AUX NEMATODES PHYTOPARASITES

1. INTRODUCTION

Les nématodes phytoparasites sont des vers ronds allongés en fuseau (Figure 1) ; cependant chez certaines espèces le corps de la femelle adulte peut se renfler et devenir plus ou moins globuleux.

Ils vivent dans la couche arable du sol et sont de taille microscopique mesurant entre 0,3 et 5 mm de longueur et seulement 30 à 50 millièmes de millimètre de diamètre ; un examen du sol à l'œil nu ne permet donc pas de les voir. Pour les observer il faut, après les avoir extraits du sol, une loupe binoculaire ou un microscope.

Ils sont très nombreux. Les sols cultivés peuvent en renfermer plusieurs millions par m². Il en existe des centaines d'espèces ; certaines sont typiques des régions tropicales, d'autres plus abondantes dans les zones tempérées.

Pratiquement toutes les plantes, cultivées ou spontanées, sont parasitées par une ou plusieurs espèces de nématodes. Certains provoquent des dommages importants aux cultures ; ceci, en particulier dans les pays tropicaux où règne en permanence une température favorable à leur multiplication.

2. MORPHOLOGIE

Ils ont un aspect vermiforme (Figure 2). Leur corps, recouvert d'une cuticule a la forme d'un cylindre plus ou moins aminci aux deux extrémités. A l'extrémité antérieure s'ouvre la bouche. Elle est pourvue d'un stylet, structure cuticulaire durcie, analogue à une aiguille hypodermique. Ce stylet peut faire saillie. Un nématode se nourrit sur une plante en perforant, à l'aide de son sty-

let, les parois cellulaires et en aspirant le contenu des cellules. L'aspiration est provoquée par les contractions d'un bulbe musculéux agissant comme une pompe : le bulbe médian.

A l'extrémité postérieure se trouve la queue. Le tube digestif comprend l'œsophage, l'intestin et le rectum qui s'ouvre vers l'extérieur par un anus, situé à la base de la queue.

L'appareil reproducteur mâle comprend un ou deux testicules, deux spicules qui sont les organes de copulation et font saillie par le cloaque en étant guidés par le gubernaculum. La bursa cau-

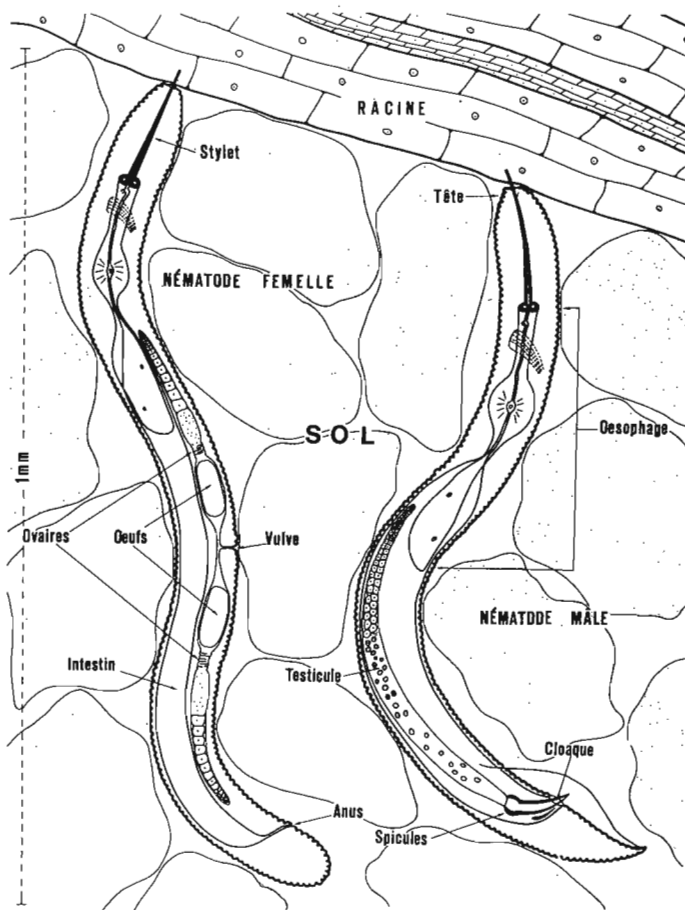


Figure 2 : Schéma d'organisation des nématodes phytoparasites mâle et femelle.

dale, lorsqu'elle est présente, est une membrane servant à retenir la femelle durant l'accouplement.

L'appareil reproducteur femelle est formé d'un ou deux ovaires, d'une spermathèque, d'un utérus et d'un vagin. La vulve a une position variable suivant les espèces mais elle est généralement située au milieu du corps lorsqu'il y a deux ovaires.

Les nématodes sont aussi pourvus :

- d'un système excréteur ;
- d'un système musculaire formé de quatre champs musculaires ;
- d'un système nerveux composé d'un anneau nerveux, de cordons nerveux, d'organes sensoriels tactiles et de chimiorécepteurs.

3. BIOLOGIE

3.1. Relation avec le milieu

Les nématodes sont des animaux qui respirent. Leur corps est constitué de 75 % d'eau.

Ce sont en fait des animaux aquatiques. Ils vivent dans le film d'eau existant à la surface des particules de sol.

A quelques exceptions près, ils se déplacent entre les particules par des mouvements ondulatoires (Figure 3).

La granulométrie du sol, la température, le pH, etc.. influencent la répartition et l'abondance des différentes espèces. Certains ne survivent pas à une inondation prolongée alors que d'autres sont inféodés aux rizières inondées. Certains genres prolifèrent dans les sols sableux alors que d'autres préfèrent les sols argileux. Les conditions climatiques auxquelles sont soumises les zones sahéliennes ont imposé une très forte sélection des espèces ; en absence d'irrigation, seules survivent dans le sol celles qui sont capables de résister à une dessiccation poussée. Ainsi **Scutellonema cavenessi** (parasite de l'arachide) et **Aphelenchus avenae** (mycophage endémique au Sénégal) peuvent résister aux 9 mois de sécheresse sous forme desséchée (Figure 4) et se remettre en activité dès les premières pluies.



Figure 3 : Traces laissées par un juvénile de **Meloidogyne** lors de son déplacement dans de la gélose.

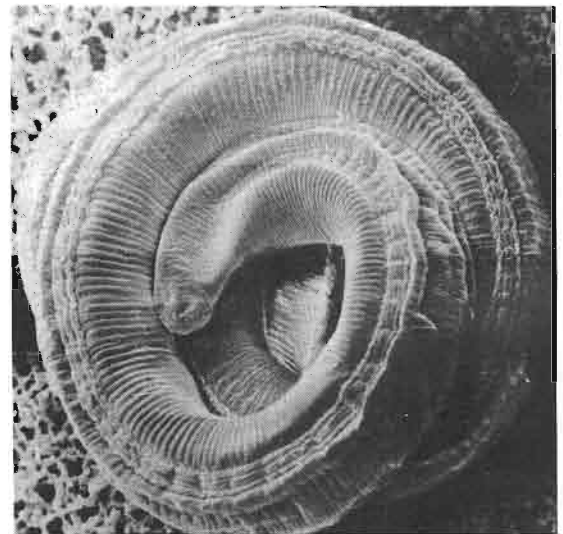


Figure 4 : Femelle du nématode **Aphelenchus avenae** sous forme desséchée.

3.2. Reproduction et développement

La reproduction des nématodes phytoparasites se fait selon deux types principaux :

- a) reproduction sexuée, la femelle est fécondée par le mâle (Figures 5 et 6) ;
- b) parthénogénèse, les œufs se développent sans fécondation.

Les œufs sont pondus dans le sol, dans les racines (Figure 7), dans une enveloppe gélatineuse appelée masse d'œufs (Figure 8) ou bien conservés dans le corps de la femelle qui s'enkyste après sa mort (Figure 9).

L'œuf subit une série de divisions cellulaires (Figure 10 a-e) aboutissant au juvénile de premier stade. Toujours dans l'œuf celui-ci subit une première mue donnant le juvénile de 2^e stade (Figure 10 f). C'est ce dernier qui déchire la coque et en émerge (Figure 10 g). Ce juvénile de second stade est souvent appelé stade infestant car la plupart du temps, il reste à ce stade jusqu'à ce qu'il trouve la racine d'une plante vivante sur laquelle il commence à se nourrir. Il subit alors trois autres mues successives pour enfin se transformer en adulte mâle ou femelle. Les mâles restent toujours vermiformes. Chez certains genres **Heterodera** par exemple la femelle devient pyriforme.

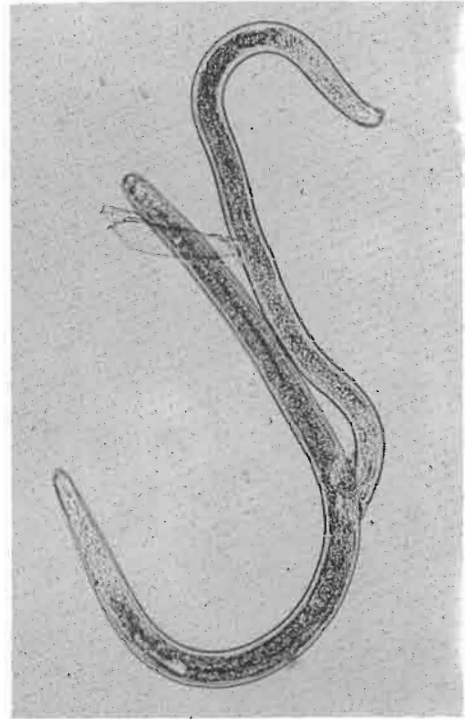
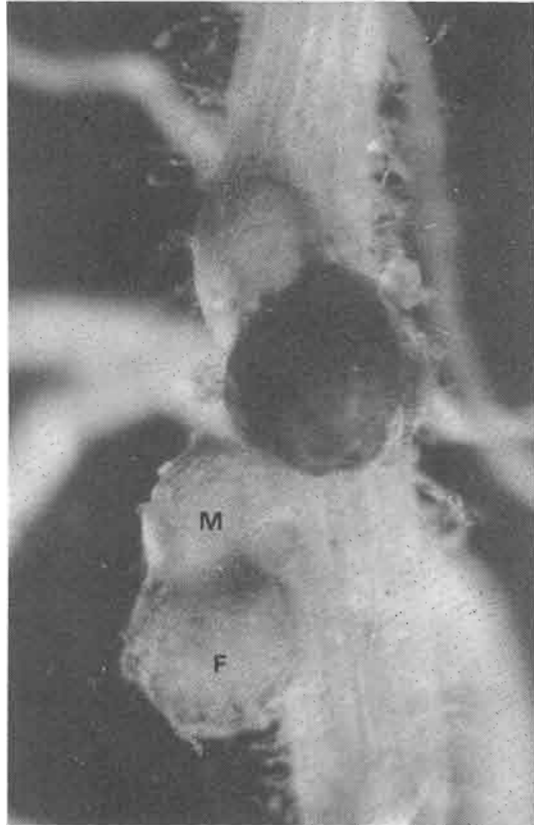


Figure 5: Accouplement chez **Scutellonema cavenessi**.



Figure 6 :
Copulation chez **Scutellonema cavenessi**.



*Figure 8: Femelles (F) et masses d'œufs (M) d'**Heterodera oryzae** sur racine de bananier.*

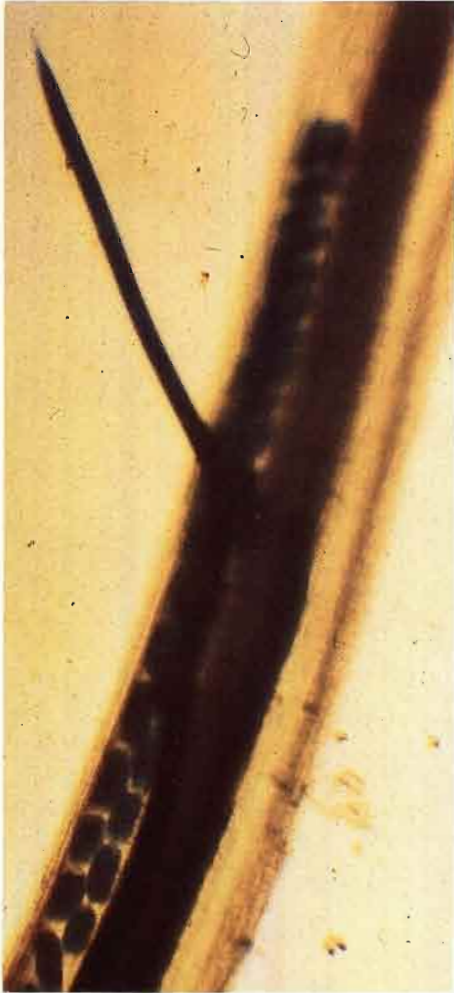


Figure 7: Femelle d'*Hirschmanniella spinicaudata* quittant une racine de riz après y avoir déposé ses œufs.



Figure 9: Coupe de femelle enkystée de *Heterodera oryzae*, noter les œufs dans le corps de la femelle.

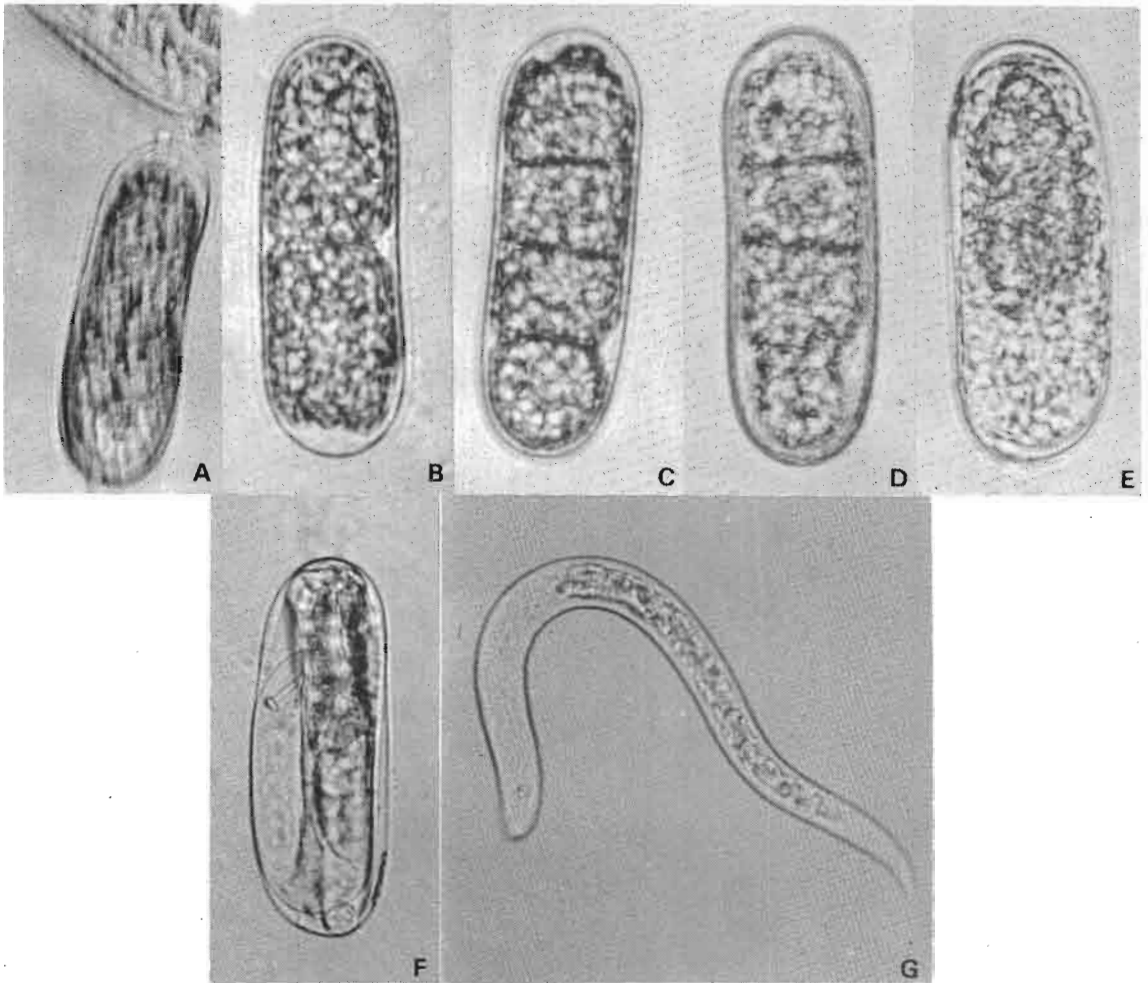


Figure 10 : Développement embryonnaire de *Scutellonema cavenessi*.

A : œufs lors de la ponte

B : stade 2 cellules

C : stade 4 cellules

D : stade 5 cellules

E : stade Gastrula

F : juvénile de stade 2 dans l'œuf

G : juvénile de stade 2 après éclosion.

3.3. Relations avec l'hôte et dégâts occasionnés sur la plante

Les nématodes phytoparasites sont des parasites obligés. Cela signifie que pour survivre, compléter leur développement et se reproduire ils doivent se nourrir sur les racines ou les parties aériennes d'une plante vivante.

Certains ont une gamme d'hôtes très restreinte alors que d'autres tel que **Meloidogyne incognita** attaquent plus de 2000 plantes connues.

Les stades infestants sont, tout au moins pour certaines espèces, attirés par les racines des plantes qu'ils parasitent. Après avoir rejoint une racine ces juvéniles commencent à s'alimenter. Le mode de parasitisme a permis de subdiviser les nématodes phytoparasites en quatre grands groupes :

- a) les ectoparasites : ils ne pénètrent jamais dans les racines. Ils se nourrissent sur les cellules se trouvant à la périphérie ou à l'apex des racines. Ils sont capables de se déplacer d'une racine à une autre. les **Trichodorus**, les **Longidorus** et les **Xiphinema** font partie de ce groupe.
- b) les endoparasites migrants : ils pénètrent dans les racines, s'y déplacent peuvent en ressortir et changer de racine. **Scutellonema cavenessi** en est un exemple (Figure 11).
- c) les endoparasites sédentaires : ils pénètrent totalement dans la racine s'y fixent et ne quittent plus le site choisi. Les **Meloidogyne**, les **Heterodera** et **Hylonema** (Figure 12) sont des endoparasites. Chez ces trois genres le corps de la femelle devient pyriforme et parfois fait saillie à l'extérieur de la racine.
- d) les semi-endoparasites : ils se fixent en un point de la racine. Seule une partie du corps, la tête, pénètre dans la racine, le reste du corps se trouvant à l'extérieur. C'est le cas de **Rotylenchulus reniformis** (Figure 13) dont le corps de la femelle se renfle ; celle-ci devenant sessile.

Les dommages causés aux plantes et les baisses de rendements qui en résultent proviennent du mode d'alimentation des nématodes.

- 1) Ils détournent à leur profit une partie du métabolisme de la plante.
- 2) Ils endommagent le système racinaire de la plante par réductions et destructions des racines et des radicelles ce qui réduit l'alimentation en eau et en sels minéraux.



Figure 11 : Juvénile de 2^e stade de **Scutellonema cavenessi** dans une racine de mil.



Figure 12 : Femelle d'Hylonema ivorensis dans une racine d'avodirée.

- 3) Ils injectent dans les cellules des sécrétions glandulaires destinées à liquéfier le contenu cellulaire avant de l'absorber. Ces sécrétions sont généralement toxiques pour les cellules et les tuent. Les **Trichodorus** parviennent ainsi à détruire totalement les zones de multiplication et d'élongation situées à l'apex des racines (Figure 14).
- 4) Les nématodes endoparasites sécrètent généralement des substances modifiant les cellules du cylindre central et du cortex provoquant la formation de cellules géantes ; ceci au-delà de la zone attaquée ce qui entraîne la formation de galles. Les cellules du cylindre central étant déformées, la circulation des sèves brute et élaborée est fortement perturbée.
- 5) Certains nématodes comme **Scutellonema cavenessi** gênent l'établissement des **Rhizobium** sur les racines des légumineuses privant ainsi ces plantes d'un apport substantiel d'azote.
- 6) Les nématodes appartenant aux genres **Trichodorus**, **Longidorus** et **Xiphinema** peuvent être des vecteurs de virus qu'ils injectent dans la plante en même temps que leur salive.
- 7) En s'insérant entre les cellules, en les perforant pour se déplacer et se nourrir, ils provoquent des lésions par lesquelles peuvent s'introduire d'autres agents pathogènes tels que champignons et bactéries.

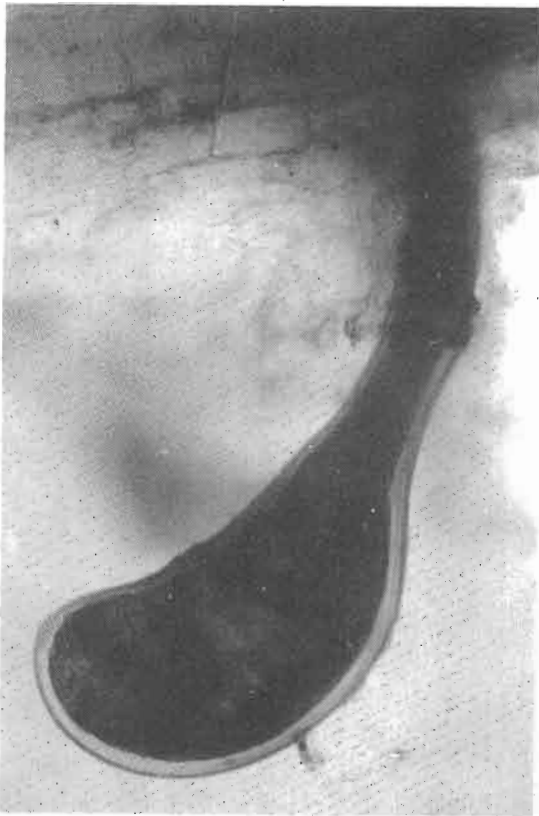


Figure 13 : Femelle de **Rotylenchulus reniformis** sur une racine de tomate.

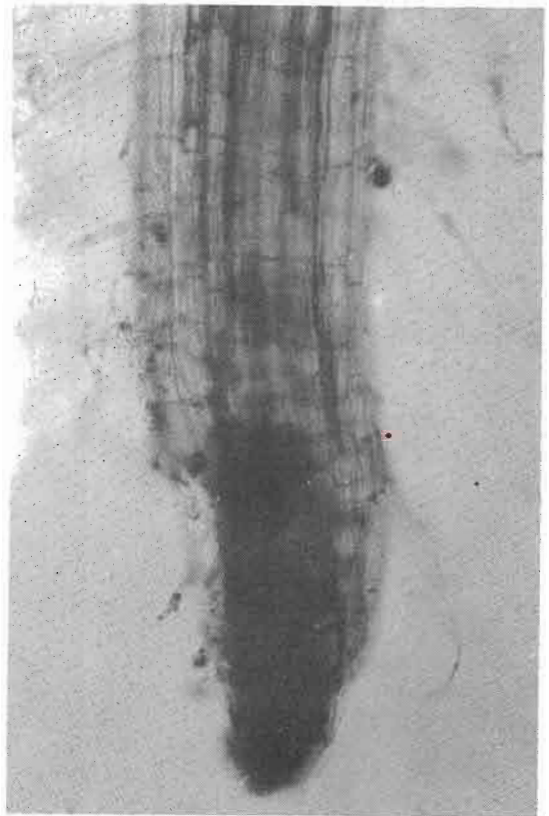


Figure 14 : Nécroses provoquées à l'apex d'une racine de chou par **Paratrychodorus minor**.

LES NEMATODES PARASITES DES CULTURES MARAICHERES AU SENEGAL

1. INTRODUCTION

De nombreux genres de nématodes phytoparasites attaquent les cultures légumières au Sénégal. Le tableau ci-dessous indique les fréquences des différents genres rencontrés dans 120 échantillons prélevés au hasard et sur différentes plantes cultivées dans la zone des Niayes au Nord de Dakar.

Parmi ces treize genres trois sont reconnus comme étant des parasites graves de ces cultures. Par ordre d'importance croissante ce sont :

- **Rotylenchulus** représenté dans les Niayes par **Rotylenchulus reniformis** qui est un semi-endoparasite sédentaire à reproduction bisexuée (Figure 13). Au Sénégal, il a été trouvé associé à un grand nombre de cultures telles qu'aubergine, chou, laitue, poireau, pomme de terre, tomate, etc...

- **Trichodorus** représenté par **Paratrichodorus minor**, présent sur de très nombreuses cultures légumières, qui est un ectoparasite strict. Les **Trichodorus** peuvent être des vecteurs de virus mais ils causent sans doute beaucoup plus de dommages en détruisant les apex des racines qu'ils parasitent provoquant ainsi l'arrêt de croissance et la mort des racines (Figure 14).

Meloidogyne : le genre le plus communément rencontré dans les Niayes puisqu'il a été décelé dans 92 % des échantillons analysés. Ce genre est mondialement reconnu comme une peste majeure des cultures maraîchères, il est sans aucun doute un des principaux facteurs limitant le développement et la rentabilité des cultures maraîchères au Sénégal. Pour toutes ces raisons il mérite une attention particulière.

2. LES MELOIDOGYNE PARASITES DES CULTURES MARAICHERES AU SENEGAL

Ce sont des nématodes endoparasites se reproduisant par parthénogénèse.

Bien que la systématique de ce genre soit très imparfaite nous pouvons considérer que les trois principales espèces tropicales sont présentes au Sénégal. Il s'agit de **M. javanica**, **M. incognita** et **M. arenaria**. Très polyphages ils parasitent la presque totalité des plantes légumières cultivées.

Genres	% de champs infectés
Meloidogyne	92
Helicotylenchus	44
Pratylenchus	29
Rotylenchulus	24
Trichodorus	21
Scutellonema	14
Xiphinema	12
Tylenchorhynchus	12
Telotylenchus	4
Criconemella	2
Tylenchulus	2
Peltamigratus	1
Belonolaimus	1

2.1. Symptômes

Ils provoquent un rabougrissement des plants et généralement un flétrissement et un jaunissement des feuilles ceci même en terrain correctement irrigué et amendé. Lorsqu'ils sont en populations importantes, ils entraînent la mort des plantes (Figure 15).

Il est facile de diagnostiquer une attaque de **Meloidogyne** car ils provoquent la formation de galles sur les racines et les tubercules (Figures 16-17-18-19-20) ; galles qui sont caractéristiques d'une attaque par **Meloidogyne**. Ces galles sont faciles à distinguer des nodules formés sur les racines des légumineuses par les **Rhizobium**. Les galles sont solidaires de la racine et situées dans son axe alors que les nodules peuvent être facilement détachés de la racine et sont en position excentrée par rapport à son axe ; les nodules bactériens se distinguent également des galles à la coupe, rosâtres dans le premier cas.

2.2. Cycle de développement

Après l'éclosion les juvéniles de second stade (Figure 21) sont attirés par les racines des plantes hôtes. Ils pénètrent dans ces dernières au niveau de la zone sous-apicale des racines en croissance (Figure 22). Les juvéniles se déplacent, dans la racine, intra et intercellulairement puis se fixent sur le cylindre central. Ils sécrètent des substances salivaires provoquant la formation dans le tissu vasculaire de cellules géantes polynucléées sur lesquelles ils se nourrissent ; ces toxines induisent aussi l'hypertrophie des cellules corticales. Ces déformations aboutissent à la formation des galles caractéristiques.

Les juvéniles subissent alors trois mues successives et atteignent le stade adulte se transformant soit en mâle (Figure 23) soit en femelle (Figure 24 et 25). Les mâles restent vermiformes et mobiles ; ils sont très peu nombreux et même souvent inexistant dans les populations de **Meloidogyne** rencontrées au Sénégal qui appartiennent toutes à des espèces parthénogénétiques. Les femelles grossissent rapidement, deviennent pyriformes ou sphériques. La ponte commence à peu près 3 semaines après la pénétration. Les œufs 500 à 1000 sont émis dans une masse gélatineuse sécrétée par la femelle et fixée à l'arrière de celle-ci (Figure 26) ; l'ensemble des œufs et de la masse mucilagineuse est appelé masse d'œufs. La plupart des œufs peu-

vent se développer immédiatement pour donner de nouveaux stades infestants ; on peut considérer que l'on a une nouvelle génération toutes les 4 semaines.

*Figure 15 : Planche de haricots verts attaqués par **Meloidogyne** (région des Niayes).*

Figure 16 : Aspect des plants de haricots verts survivants dans la planche représentée sur la figure 15. Noter les galles sur les racines.

*Figure 17 : Système racinaire de Gombo attaqué par **Meloidogyne**.*

*Figure 18 : Racines de pomme de terre attaquées par **Meloidogyne**.*

*Figure 19 : Galles de **Meloidogyne** sur tubercules de pomme de terre.*

*Figure 20 : Galles de **Meloidogyne** sur racines de tomate.*

*Figure 21 : Juvéniles de 2^e stade de **Meloidogyne** (stade infestant).*

*Figure 22 : Juvéniles de 2^e stade de **Meloidogyne** dans une racine de tomate.*

*Figure 23 : Mâle de **Meloidogyne** dans une racine de tomate.*

*Figure 24 : Jeune femelle de **Meloidogyne** dans une racine de tomate. Noter le début de formation de la galle et la déformation du cylindre central.*

*Figure 25 : Coupe d'une femelle de **Meloidogyne** dans les tissus d'une racine de tomate.*

*Figure 26 : Femelle (F) mature de **Meloidogyne** et sa masse d'œufs (M).*



Figure 15



Figure 16

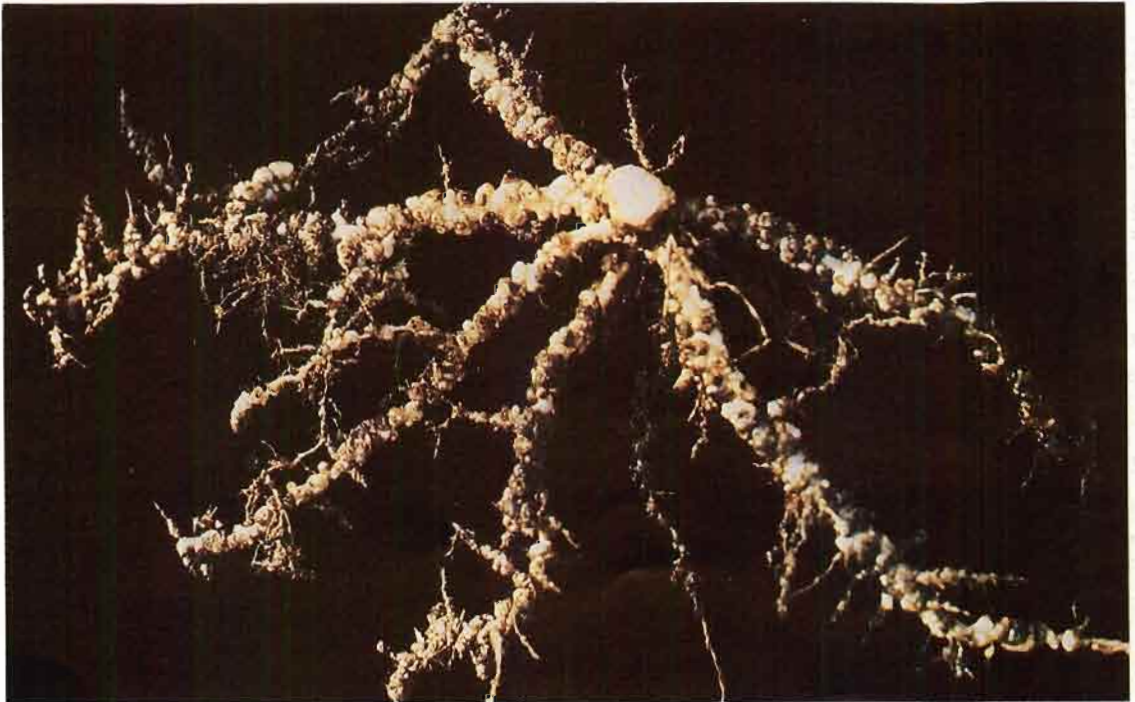


Figure 17



Figure 18



Figure 19

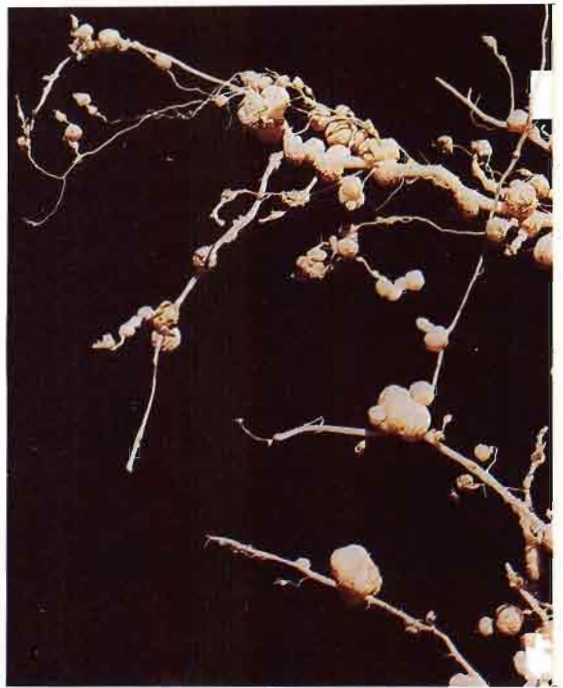


Figure 20

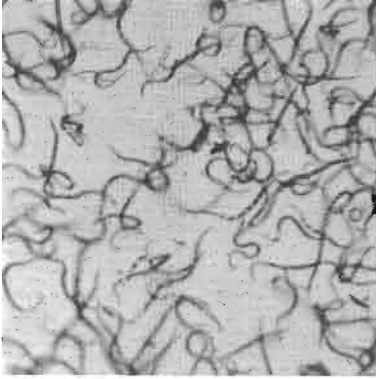


Figure 21



Figure 22



Figure 23



Figure 24



Figure 26



Figure 25

2.3. Les causes de l'effet pathogène

Lorsque les juvéniles pénètrent en grand nombre à l'apex d'une jeune racine, ils détruisent le méristème apical. Quand le sol est très infesté toutes les racines sont ainsi tuées ce qui entraîne la mort du jeune plant.

Si la plante a résisté à l'infestation, les déformations induites au niveau du cylindre central réduisent la circulation des sèves ce qui provoque une diminution de l'alimentation en eau et en sels minéraux des parties aériennes d'où un rabougrissement et un flétrissement. Dans les cas extrêmes la plante fane et meurt.

Les lésions produites lors de la pénétration des juvéniles et de la formation des galls constituent des voies de pénétration pour d'autres agents pathogènes.

Les transformations physiologiques qu'ils induisent chez la plante favorisent l'établissement et le développement d'agents pathogènes cryptogamiques ou bactériens.

2.4. Sensibilité et résistance des plantes

La sensibilité d'une plante aux **Meloidogyne** ne se définit pas par rapport à la gravité des dégâts qu'elle subit mais par sa capacité à permettre la reproduction du parasite. On peut déterminer plusieurs degrés de sensibilité et classer les plantes en fonction de cette dernière. En considérant leur comportement moyen sur le terrain, les plantes maraîchères cultivées au Sénégal peuvent être classées comme suit :

- plantes sensibles : ce sont les plantes qui permettent une reproduction normale du parasite : aubergine, courge, diakhatou, gombo, haricot vert, laitue, melon, piment, pomme de terre, tomate, patate douce ;
- plantes peu sensibles : ce sont les plantes qui ne permettent généralement qu'une faible reproduction : chou, oignon, navet, poireau, radis ;
- plantes résistantes : ce sont les plantes qui ne permettent qu'exceptionnellement une reproduction : menthe, fraisier et les variétés de tomate, haricot, patate douce, etc. sélectionnées à cette fin.

Cette classification, basée sur le comportement moyen des différentes plantes aux champs,

n'est pas absolue. Il est évident, par exemple, que le chou qui se comporte généralement comme une plante peu sensible est très fortement attaqué dans certains champs.

Cette différence de comportement d'un champ à l'autre est liée à l'existence d'au moins trois espèces tropicales de **Meloidogyne** mais aussi à la variabilité physiologique des **Meloidogyne** ; il existe dans chaque espèce, des souches particulièrement agressives.

Les plantes sensibles peuvent aussi être tolérantes. Cela signifie que bien que permettant une reproduction normale du parasite, leur croissance n'est pas trop affectée par ce dernier. Au Sénégal c'est fréquemment le cas de l'aubergine qui parvient souvent à fructifier alors qu'elle est fortement attaquée.

Si les plantes sensibles peuvent être tolérantes il arrive aussi que les plantes résistantes subissent des dégâts importants. Très souvent la

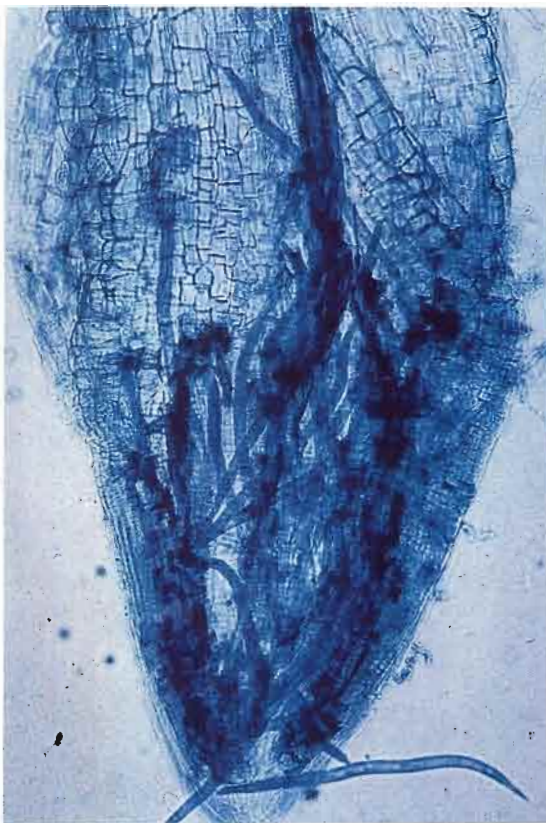


Figure 27 : Réaction d'hypersensibilité (nécroses) d'une racine de tomate résistante (Rossol) après la pénétration des juvéniles de **Meloidogyne**.

résistance des plantes aux **Meloidogyne** est due à une réaction d'hypersensibilité. La plante réagit très violemment à l'infestation, les tissus racinaires se nécrosent (Figure 27). Les juvéniles infestants se retrouvent emprisonnés dans des tissus morts, sont incapables de s'alimenter et ne peuvent achever leur développement. Dans des sols faiblement infestés par **Meloidogyne** les nécroses sont peu nombreuses et les plantes n'en souffrent pas ; par contre, dans des sols très infestés les apex des racines sont détruits, les plantes sont donc affaiblies et dans les cas extrêmes sont tuées.

Parmi les plantes résistantes, l'arachide, bien que n'étant pas une plante maraîchère, mérite au Sénégal une attention particulière. Elle a été qualifiée de plante piège pour les **Meloidogyne** ; en effet, les juvéniles infestants sont attirés par ses racines, ils y pénètrent mais ne peuvent s'y développer car ils provoquent la nécrose des tissus racinaires (réaction d'hypersensibilité). L'arachide abaisse ainsi de manière active l'infestation des sols.

2.5. Les moyens de lutte

2.5.1 Elimination des facteurs favorisant l'infestation

Il faut éliminer les plantes réservoir ; ce sont des plantes hôtes qui permettent aux **Meloidogyne** de survivre, à l'abri dans leurs racines, quelques soient les actions entreprises contre eux. Ainsi on éliminera le papayer, très sensible, qui devra faire l'objet d'une plantation séparée des cultures légumières. On évitera la proximité d'un baobab (plante hôte). De même, le choix des brises-vent devra être judicieux. **Euphorbia balsamifera** et **Prosopis juliflora** très souvent utilisés à cet effet au Sénégal sont très sensibles ; ils sont à proscrire, on leur préférera des essences résistantes : le neem (**Azadirachta indica**), l'anacarde, l'eucalyptus, les citrus ou le filao.

Il faut traiter les pépinières (voir chapitre lutte chimique) et ne pas utiliser des plants ou des tubercules produits dans des pépinières infestées, ceci pour éviter la dissémination du parasite.

En terrain infesté il faut récupérer. autant que faire se peut, les racines parasitées et les détruire par le feu.

Il faut toujours éviter de faire se succéder les cultures très sensibles.

2.5.2. Lutte chimique

Dans l'éventail des moyens de lutte dont on dispose le traitement nématicide reste l'un des plus utilisés et l'un des plus efficaces (Figure 28).

En cultures maraîchères deux produits peuvent être recommandés : le métham sodium pour le traitement des pépinières et le DD (mélange de dichloropropane et de dichloropropène) pour celui des champs et des pépinières. Ce sont des fumigants qui nécessitent une bonne préparation du sol et un arrosage abondant avant et après application. Ils doivent être utilisés au moins trois semaines avant le semi ou le repiquage. Très efficaces, ils détruisent non seulement les nématodes mais aussi les insectes, les champignons et les mauvaises herbes.

Le métham-sodium (Vapam ou Mapasol) présente l'avantage de pouvoir être appliqué à l'aide d'un arrosoir en le diluant dans l'eau. Il doit être utilisé à raison de 800 à 1500 l/ha. Il présente deux inconvénients. il est peu efficace contre les nématodes à kyste (genre **Heterodera**) et son prix est prohibitif pour le traitement des grandes surfaces (environ 240.000 F CFA de produit à l'hectare). Il est conseillé pour le traitement des pépinières.

Le DD doit être injecté dans le sol à raison de 300 l/ha et d'une injection tous les 30 cm. Les traitements des petites surfaces se font au pal injecteur (Figure 29). Ceux des grandes surfaces nécessitent des engins tractés ; les coutres injecteurs (Figure 30). Sans tenir compte des investissements en matériel et de la main-d'œuvre un traitement au DD revient à 150.000 F CFA l'hectare (prix 1982).

Pour être efficace il doit être appliqué dans un sol convenablement préparé. Sa répartition dans le sol doit être homogène d'où la nécessité de vérifier fréquemment le débit des pals ou des coutres. Pour que la diffusion du produit dans le sol soit bonne il faut reboucher convenablement les orifices d'introduction et ne traiter qu'aux heures les plus fraîches. Par ailleurs c'est un produit très corrosif qui impose que le matériel de traitement soit démonté et nettoyé (au pétrole) après chaque utilisation. Pour toutes ces raisons son application ne doit être effectuée que par ou sous la direction d'un personnel qualifié.

Les investissements que nécessitent les traitements nématicides, les conditions de leur réali-



Figure 28 : Résultats d'un traitement nématocide sur Gombo.

A : parcelle traitée

B : parcelle non traitée



Figure 29 : Traitement au pal injecteur.



Figure 30 : Appareil attelé (stériculteur à coutres injecteurs) pour le traitement des grandes surfaces).

sation et le fait qu'ils ne protègent qu'une seule culture sensible impose la recherche d'autres moyens de lutte contre les nématodes. Néanmoins ils restent nécessaires lorsque les terrains sont très infestés.

2.5.3. Lutte physique

La jachère nue :

Les **Meloidogyne** sont des parasites obligés et de plus ils ne résistent que très mal à la dessiccation du sol. Un bon moyen d'abaisser le taux d'infestation d'un sol est de le conserver nu pendant 2 à 4 mois au cours de la saison sèche.

Submersion :

Les **Meloidogyne** ne résistent pas à une submersion de plusieurs mois. L'inondation peut se réaliser naturellement dans les Niayes ou artificiellement dans les casiers rizicoles de la région du Fleuve dans lesquels est pratiquée une rotation riz – plantes maraîchères. Il suffit alors de désinfecter les pépinières, généralement établies en dehors de la zone inondable afin d'éviter la réinfestation de la zone de culture.

2.5.4. Les rotations

Le but des rotations est d'éviter ou de limiter le développement des **Meloidogyne** afin de maintenir l'infestation en dessous d'un seuil critique à partir duquel la rentabilité des cultures est mise en question et au-dessus duquel les traitements nématicides deviennent nécessaires.

Dans ce but deux types de plantes peuvent être introduits dans les successions culturales, les plantes résistantes et les plantes-pièges. En effet, elles ne permettent pas ou qu'exceptionnellement la reproduction du parasite.

Les cultivars résistants se comportent généralement bien en terrain moyennement infestés. Leur développement et leur production sont satisfaisants, alors que les cultivars sensibles ont un développement très réduit et une production pratiquement nulle (Figure 31). Ces variétés doivent toutefois être utilisées avec précaution, ceci pour plusieurs raisons.

Aux températures élevées la résistance est affaiblie et même peut être totalement annihilée.

La variabilité physiologique des **Meloidogyne** est telle que certains se reproduisent sur les cultivars résistants. Il est très rare que la majorité des individus d'une population soient capa-

bles de se développer spontanément sur plante résistante ; ce phénomène n'a été observé que deux fois au Sénégal (Figure 32). Habituellement seule une proportion très restreinte des juvéniles infestants brisent la résistance. Les **Meloidogyne** se reproduisant par parthénogénèse la totalité ou une partie de la descendance des individus s'étant développée sur cultivars résistants peuvent à leur tour en être capables. On assiste ainsi à l'apparition d'une race B (race capable de briser la résistance des plantes). De fait, il semble que certaines populations de **Meloidogyne** puissent acquérir graduellement la capacité de parasiter les plantes résistantes.

Il a été constaté qu'après cinq ou six cultures du même cultivar résistant la population entière avait acquis définitivement la capacité de le parasiter et de se reproduire sur les autres plantes ayant le même type de résistance.

Les plantes résistantes ne doivent donc être utilisées que sur des terrains très peu infestés. Ceci afin de limiter les risques d'avoir un ou des individus capables de donner naissance à une race B. De plus, on ne doit pas se faire succéder les cultures résistantes afin de ne pas provoquer l'apparition d'une race B stabilisée. Il est donc nécessaire d'introduire des plantes sensibles ou peu sensibles dans la succession culturale.

Au Sénégal l'arachide est considérée comme une plante-piège pour les **Meloidogyne**. De fait, sur les milliers de plants d'arachide prélevés aux champs ou testés au laboratoire, aucun n'a permis (à ce jour) à une population de **Meloidogyne** présente au Sénégal de se reproduire. L'arachide peut donc valablement être utilisée en rotation avec les cultures maraîchères. Elle abaisse activement les taux d'infestation des sols, ce qui entraîne une augmentation substantielle du rendement de la culture sensible qui lui succède (Figure 33). L'arachide peut être cultivée pendant l'hivernage, période au cours de laquelle l'occupation des sols par les cultures maraîchères est faible. Elle peut être utilisée soit comme engrais vert soit cultivée jusqu'à la récolte ; mais dans tous les cas la culture doit être parfaitement sarclée afin d'éviter la présence de plantes adventices hôtes des **Meloidogyne**.

L'arachide doit être utilisée avec les mêmes précautions que celles prises pour les cultivars résistants ; en effet, le risque potentiel de création d'une race B capable d'attaquer l'arachide ne peut pas être négligé.



Figure 31 : Comportement d'une variété sensible, Roma (A) et d'une variété résistante Rossol (B) en terrain moyennement infesté.



Figure 32 : Attaque de *Meloidogyne arenaria* sur tomate résistante (Rossol).

1



Figure 33 : Exemple de rotation : à gauche tomate sensible (Roma) après une culture d'arachide, à droite tomate sensible (Roma) après une autre culture sensible.

2.5.5. Lutte biologique

Les nématodes phytoparasites sont attaqués par de nombreux prédateurs ou parasites : nématodes prédateurs, amibes, tardigrades, acariens, enchytréides, bactéries, champignons et insectes. Parmi ces organismes deux sont plus particulièrement étudiés. **Bacillus semipenetrans** (Figure 34) présent dans de nombreux champs au Sénégal, tue les juvéniles infestants ou les empêche d'avoir une reproduction normale. Les champignons, comme ceux du genre **Arthrobotrys** digèrent les nématodes après les avoir piégés dans des anneaux (Figure 35). Si **Arthrobotrys** commence à être utilisé comme moyen de lutte contre les nématodes dans les serres en Europe, la lutte biologique contre ces parasites en plein champ en est encore au stade expérimental.

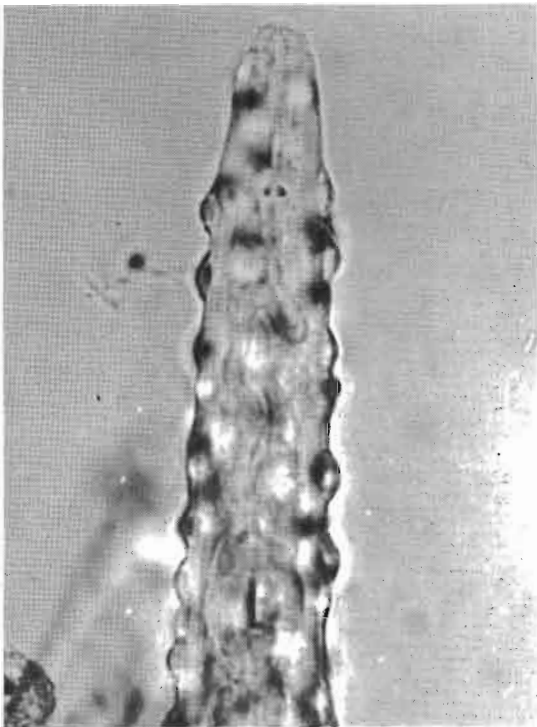


Figure 34 : Juvénile de second stade de **Meloidogyne** parasité par **Bacillus semipenetrans**.

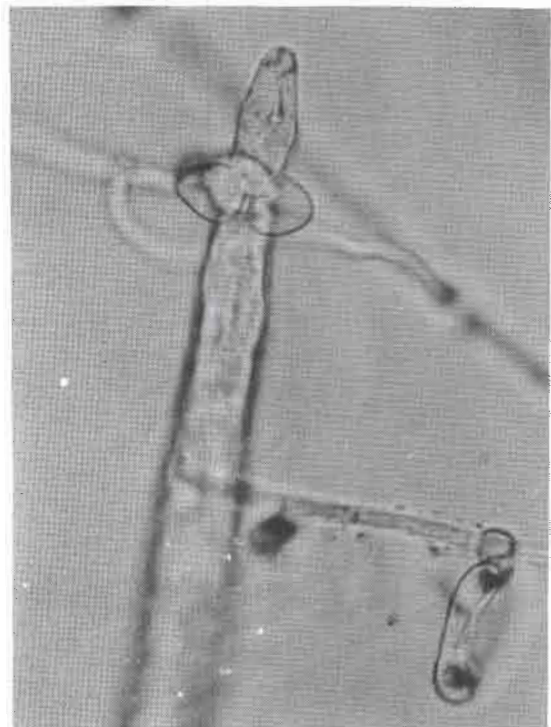


Figure 35 : Juvénile de second stade de **Meloidogyne** piégé dans un anneau formé par un champignon du genre **Arthrobotrys**.

3. CONCLUSION

Les nématodes du genre **Meloidogyne** sont parmi les principaux facteurs limitant les cultures maraîchères au Sénégal. Tout doit être fait pour éviter leur multiplication dans les sols où les populations sont faibles et pour diminuer leur nombre là où l'infestation met en danger les cultures.

Les traitements nématicides, nécessitant des investissements importants et un personnel entraîné, ne doivent pas être considérés comme une panacée. S'ils restent indispensables pour la récupération des sols très infestés leur nombre doit être limité au minimum nécessaire. Pour cela, il faut les introduire dans un système de lutte intégrée comprenant la prévention de l'infestation, les moyens de lutte physique et les rotations culturales.

La prévention comprendra : le traitement des pépinières,

- l'élimination des plantes refuges : baobab, papayer, prosopis ;
- l'utilisation de brises-vent résistants : anacarde, neem, eucalyptus, filao ou citrus.

La lutte physique utilisera :

- l'inondation, là où est possible une alternance riz inondé plantes maraîchères les **Meloidogyne** ne devraient pas constituer un problème si les pépinières sont traitées au nématicide. En effet, les **Meloidogyne** ne résistent pas à une inondation prolongée ;
- la jachère nue en saison sèche car les **Meloidogyne** ont besoin de plante hôte pour se multiplier et ils ne résistent pas à la dessiccation.

Les rotations culturales ne devront favoriser ni la multiplication des **Meloidogyne** ni l'éventuelle apparition d'une race B. L'arachide plante-piège

devrait être systématiquement cultivée pendant l'hivernage. Une succession culturale qui permettrait une utilisation intensive des sols pourrait être la suivante :

1 ^{er} hivernage :	Arachide ou toute autre plante-piège
1 ^{re} saison sèche :	Culture résistante à cycle long + culture peu sensible à cycle court.
2 ^e hivernage :	Arachide ou toute autre plante-piège
2 ^e saison sèche :	Culture sensible à cycle long + jachère nue en saison sèche chaude.
3 ^e hivernage :	Arachide ou toute autre plante-piège
3 ^e saison sèche :	Culture résistante à cycle long + culture peu sensible à cycle court.
4 ^e hivernage :	Arachide ou toute autre plante-piège
4 ^e saison sèche :	Culture sensible à cycle long + jachère nue en saison sèche chaude.
5 ^e hivernage :	Arachide ou toute autre plante-piège

Un tel enchaînement cultural qui ne fait pas succéder les cultures sensibles ne devrait pas provoquer un développement trop important du parasite. De même l'alternance plante résistante, plante sensible ne devrait pas favoriser l'apparition d'une race B.

Le traitement nématicide sera nécessaire au départ si le sol est assez fortement infesté et devrait être appliqué dès que des dégâts importants seront constatés.

CREDITS PHOTOGRAPHIQUES

Les Figures 1, 5, 6 et 10 sont extraites, avec la permission de la « Revue de Nématologie », de : Demeure, Y., Netscher, C. & Quénéhervé, P. (1980). Biology of the plant-parasitic nematode **Scutellone-ma cavenessi** Sher, 1964 : reproduction, development and life cycle. **Revue Nématol.** 3 : 213-225.

La Figure 4 est extraite, avec la permission de la « Revue de Nématologie », de : Demeure, Y. Freckman, D.W. & Van Gundy, S.D. (1979). In vitro response of four species of nematodes to dessiccation and discussion of this and related phenomena. **Revue Nématol.** 2 : 203-210.

Les Figures 2, 3, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34 et 35 sont à porter au crédit du laboratoire de Nématologie ORSTOM de Dakar.