



biologique, est très efficace pour lutter contre certaines espèces de nématodes mais les préparations actuellement homologuées sont encore peu pratiques de conservation, de stockage et d'emploi.

La **lutte chimique** reste la méthode la plus employée ; elle consiste soit à désinfecter les sols, avant plantation, avec des produits fumigants ou précurseurs de fumigants extrêmement dangereux, pour l'homme et l'environnement, soit à trafter sur culture en place des produits systémiques, véhiculés par la sève (carbamates et organophosphorés) pour des productions non comestibles ou à récolte tardive.

Ces nématicides chimiques dangereux et polluants, sont progressivement mis à l'index dans certains pays (c'est le cas notamment de la Suisse, l'Allemagne et la Hollande) alors que les solutions de remplacement n'existent pas encore.

Cette pénurie de matières actives peu dangereuses incite partenaires privés et publics à s'orienter vers la **recherche de nouvelles molécules "nématicides"** (comprenant les substances nématifuges, nématostatiques et nématicides au sens strict) moins polluants, **d'origine naturelle**, c'est à dire produites par des microorganismes et des végétaux supérieurs.

Lors de recherches réalisées au laboratoire de l'INRA d'Antibes sur les possibilités d'utilisation de différents champignons nématophages comme agents de lutte biologique, il a été mis en évidence que certains d'entre eux (en particulier *Paecilomyces lilacinus* (Thom Samson) pouvaient également agir sur les nématodes en produisant des substances toxiques (9) ; le même type d'activité a été retrouvé dans les filtrats de cultures d'autres champignons : *Trichoderma longibrachiatum* et *Fusarium roseum* var. *arthrosporioides* (8) ; après avoir purifié et identifié ces mycotoxines nématicides (15), une étude structure/activité a permis de découvrir des dérivés très efficaces agissant spécifiquement sur des espèces de nématodes phytoparasites des racines et épargnant les espèces utiles du sol (2, brevet INRA, contrat Socotra-Coralline S.A.).

Très peu de travaux font état de molécules produites par des microorganismes.

Certains antibiotiques produits par des bactéries du genre *Bacillus* ou *Pseudomonas* (17) et des actinomycètes du genre *Actinomadura* (26) ou *Streptomyces* (53) sont connus comme ayant une certaine efficacité vis à vis des nématodes phytoparasites, de même que la toxine thermostable de *Bacillus thuringiensis* (54).

Des publications d'origine indienne mentionnent l'effet nématicide *in vitro* des filtrats de culture de diverses espèces de champignons ; de récents travaux ont abouti à l'isolement et l'identification de quelques substances :

- Une avermectine (l'Abamectine), lactone macrocyclique produite par *Streptomyces avermitilis* (3) testée par notre laboratoire vis à vis de *Meloidogyne* sp. Cette molécule, déjà utilisée comme insecticide et acaricide, commercialisée sous le nom de VertimecTM, et très voisine de l'Ivermectine à propriétés antihelminthique est utilisée sous le nom de MectizanTM pour lutter contre l'Onchocercose (30),.

- Deux hétérocycles à soufre (fusarénone et monoliformine), produites par *Fusarium oxysporum* et actives vis à vis de *Meloidogyne* sp. (11).

Ces recherches sur les propriétés nématicides des filtrats de cultures de champignons notamment se multiplient actuellement en Inde et au Japon.



Chez les autres algues, spongiaires et coraux, on connaît encore peu d'espèces à vertu nématocide : seuls l'extrait aqueux de *Sparteoglossum schroedi* (algue utilisée comme amendement organique) semble efficace sur *Meloidogyne sp.* (38), de même que les extraits aqueux de *Phormidium tenue* (algue bleue-vert d'eaux thermales), et lipidiques d'*Asterionella japonica* (diatomée) testés *in vitro* vis à vis de larves de *Meloidogyne sp.* (7).

La production de substances "nématocides" par des végétaux supérieurs est par contre connue depuis très longtemps (46). Les données acquises sur le terrain par les nématologistes de l'ORSTOM (34, 35, 40) et des enquêtes ethnobotaniques (4) démontrent une activité nette de certains végétaux introduits traditionnellement (par des ethnies africaines ou des populations d'Asie et d'Amérique du Sud) dans les assolements, en cultures intercalaires ou sous forme de broyats, pour lutter contre une "maladie", en fait des invasions de nématodes.

Plus de 200 espèces de plantes appartenant à 80 familles différentes sont étudiées pour leurs propriétés nématocides (publications principalement indiennes, japonaises et brésiliennes).

Ces végétaux peuvent avoir plusieurs modes d'activité.

En effet, les substances actives peuvent être exsudées au niveau des racines et agir :

- soit en inhibant l'éclosion des oeufs : exsudat ovicide d'*Eragrostis curvula* (Poaceae) (43),
- soit en repoussant les larves : exsudat nématifuge de *Cucumber sp.* var. résistance (Cucurbitaceae) (20),
- soit en inhibant la pénétration des larves dans les racines : exsudats de *Seamum orientale* (Pedaliaceae) et *Abelmoschus esculentus* (Malvaceae) (49),
- soit en empoisonnant les nématodes : exsudat larvicide de *Catharanthus roseus* (Apocynaceae) (32).

Elles peuvent aussi être synthétisées en réaction à l'infestation (phytoalexines) (51) :

- glyceolline de *Glycine max* cv. centennial (Fabaceae) (22),
- 5 dérivés du gossypol (aldéhyde terpénoïque) de *Gossypium hirsutum* var. Auburn 623 (Malvaceae) (52),
- rishitine et lubimine de *Solanum tuberosum* var. Temp. (55),

ou être déjà présentes dans les tissus au niveau des tiges, feuilles, fleurs, graines ou racines et agir :

- soit en empoisonnant la larve dès sa pénétration dans la plante : *Arachis hypogaeae* (Fabaceae) (23),
- soit en bloquant son développement et sa multiplication : *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) (33) ou *Tagetes minuta* (Asteraceae) (18,21).

Certaines de ces plantes sont introduites dans des rotations en précédent cultural (*Panicum maximum*, Poaceae, 12, 34), sont utilisées comme engrais verts nématocides ou en association avec la culture sensible ; ce sont surtout des Fabaceae : *Cajanus cajan*, *Crotalaria spectabilis*, *C. striata*, *Stylosobium niveum* (1), *Stylosanthes gracilis* (13), mais aussi des Asteraceae : *Tagetes erecta*, *T. patula*, *T. tenuifolia* (28, 42), *Cosmos bipinnatus* (2), et des Poaceae : *Brachiaria brizantha*, *B. decumbens* (12), *Eragrostis chloromelas* (13).

De nombreuses pratiques indigènes en Afrique, en Inde, aux Philippines et en



Amérique du Sud les utilisent également sous forme de préparations à base de broyats ou d'extraits qui sont incorporés aux sols cultivés et peuvent servir d'amendements organiques nématocides :

- Racines d'*Euphorbia hirta* (Euphorbiaceae) (54),
- Tiges de *Vernonia polyanthes* (Asteraceae) (45),
- Feuilles d'*Amaranthus gracilis* (Amaranthaceae) (32), *Catharanthus roseus* (Apocynaceae) (39), *Leucaena leucocephala* (Fabaceae) (28), *Nerium indicum*, *N. oleander* (Apocynaceae) (32, 42), *Parthenium hysterophorus* (Asteraceae) (42), feuilles compostées de *Datura metel* (Solanaceae), *Phyllanthus niruri* (Euphorbiaceae) (19), *Polytrias amanra* (Poaceae) (5),
- Fleurs de *Tagetes erecta*, *T. minuta*, *T. patula*, *T. tenuifolia* (Asteraceae) (27, 32, 42),
- Graines (tourteaux) d'*Azadirachta indica* (Meliaceae) (27, 42), *Gossypium arboreum* (Malvaceae) (5), *Hannoa undulata*, *H. klaineana* (Simarubaceae) (41), *Madhuca indica* (Sapotaceae) (19).

L'analyse des substances produites lors de la décomposition de ces matières organiques dans les sols a permis d'identifier, en dernière phase de décomposition, outre les éléments N, P, K, qui stimulent l'activité des parasites naturels ou prédateurs des nématodes, différents acides gras volatiles (AGV) à propriétés nématocides : acides formique, acétique, propionique et butyrique principalement (5). L'effet nématocide de ces AGV s'ajouterait à celui des molécules contenues dans les tissus des plantes et libérées dans le sol après broyage, macération ou extraction.

Certains travaux sommaires au Brésil mais surtout en Inde ont consisté à tester *in vitro* les extraits aqueux, alcooliques et lipidiques des différents tissus de ces espèces "nématocides" sur les oeufs et larves de divers nématodes, principalement *Meloidogyne sp.*

Des investigations plus poussées (en Californie et au Japon notamment) ont déjà permis l'isolement et la caractérisation d'un certain nombre de principes actifs. Les structures chimiques de ces substances nématocides s'étendent très largement à diverses familles de molécules :

- Polyacétylènes : des extraits benzéniques de fleurs et racines de *Carthamus tinctorius* (Asteraceae) (24, 31), des extraits méthanoliques de racines d'*Erigeron philadelphicus* (Asteraceae) (23) et d'*Angelica pubescens* (Umbelliferaceae) (31) ;
- Acides, esters carboxyliques et acides gras : acide asparagique extrait des racines, feuilles et tiges d'*Asparagus sp.* (Liliaceae) (48), di-n-butyl succinate extrait d'*Arachis hypogaeae* (Fabaceae) (23), acides myristique et palmitique des racines d'*Iris japonica* (Iridaceae) (31) ou oléique, linoléique, palmitique et stéarique de *Cyperus esculentus* (Cyperaceae) (29) et *Lawsonia alba* (Lythraceae) (25) ;
- Acides aminés : dans les exsudats racinaires de *Sesamum orientale* (Poaceae) (42) et *Abelmoschus esculentus* (Malvaceae) (49) ;
- Protéines : lectine isolée de *Canavalia ensiformis* (Fabaceae) et *Stizolobium (Mucuna) deeringiana* (Fabaceae) (56), protéine glycosylée dans les extraits aqueux de feuilles d'*Anagallis arvensis* (Primulaceae) (10) ;
- Composés aromatiques : saponine extraite d'*Hedera helix* (Araliaceae) (47), pyrocatechol dans l'exsudat racinaire d'*Eragrostis curvula* (Paceae) (45) ;



- Hétérocycles à oxygène, azote ou soufre : dérivés du bithienyl et de l'alpha-terthienyl des extraits de *Tagetes patula*, *T. tenuifolia* et *T. erecta* (Asteraceae) (50), quassinolides d'*Hannoa undulata* et *Hannoa klaineana* (Simarubaceae) (41) ;

- Alcaloïdes : écliptine dans les extraits aqueux d'*Eclipta alba* (Asteraceae) (2), pyrrolizidine, dérivé de l'ornithine, chez *Crotalaria spectabilis* (Fabaceae) (16) ;

- Terpénoides : odoracine et odoratine, diterpènes extraits des racines de *Daphné odora* (Thymelaceae) (24, 31), nimbine et azadirachtine, triterpènes (limonoïdes) des graines d'*Azadirachta indica* (Meliaceae) (41).

Il a été mis en évidence par Munakata (3) que la plupart des substances naturelles nématocides peuvent avoir une activité systémique, sont décomposables et non polluantes. Elles peuvent être utilisées comme base pour la synthèse de nouveaux nématocides ou dans la recherche de gènes de résistance aux nématodes pour la création de nouvelles variétés.

Des études sont en cours sur les modalités d'utilisation des extraits d'*Azadirachta indica* (nimbine et azadirachtine) en enrobage des semences prometteuses pour lutter contre *Meloidogyne sp.*, mais aussi contre d'autres nématodes phytoparasites. Ces travaux se multiplient en Inde, au Japon et en Amérique et intéressent de nombreux pays où ces nématodes prolifèrent et causent d'importants dommages.

Des travaux sont en cours également au laboratoire de l'INRA d'Antibes (financés par le Conseil Régional PACA) concernant d'une part l'étude du mode d'action sur les nématodes des molécules dérivées des mycotoxines déjà isolées (8, 14, 15), d'autre part l'étude du mode d'activité de certaines Fabaceae (37) et Asteraceae (6, 21) à vertu nématocides en vue d'une exploitation biochimique ultérieure ou d'une utilisation de ces plantes dans les assolements. Une collaboration avec les centres ORSTOM d'Antibes et de Nouméa est également engagée pour une synergie des compétences dans le développement de ce programme de recherche sur les Substances Naturelles à Activité Nématocide.

Références:

1. Antonio N. et Neumaier N., *Nematol. Brasileira* 10, 208-215 (1986)
2. Bano M., Anver S., Tiyagi S.A. et Alam M.M., *Int. Nem. Network Newsletter* 3, 10 (1986)
3. Birth et al., *brevet Merck Sharp & Dohme* (1982)
4. Bourdy G., *unpublished work* (1991)
5. Castillo M.B., *Philippines Agric.* 68 (1), 76-93 (1984)
6. Cayrol J.C., *Riviera Scient.*, 35-42 (1991)
7. Cayrol J.C. et Djian C., *unpublished work* (1989)
8. Cayrol J.C. et Djian C., *C.R. Acad. Agri.* présenté par M. Ritter (1990)
9. Cayrol J.C., Djian C. et Pijarowski L., *Rev. Nematol.* 12 (4), 331-336 (1989)
10. Chopra R.N., Badhuvar R.L. et Ghosh S., *Indian Council Agri. Res. Pois. Plants of India* 2 (1965)
11. Cianco A., Logrieco A., Lamberti F. et Bottalico A., *Nematol. Med.* 16, 137-138 (1988)
12. Debrito J.A. et Ferraz S., *Nemat. Brasileira* 11, 260-269 (1987)
13. Deguiran G. : *Cah. ORSTOM, série Bio.* 11, 187-208 (1970)
14. Djian C., Cayrol J.C. et Ponchet M. : *Brevet INRA N°8911212, France, Europe, USA, OAPI*, (1989)
15. Djian C., Pijarowski L., Ponchet M., Arpin N. et Favre-Bonvin J., *Nematologica* 37 (1990)
16. Fassuliotis G. et Skucas G.P., *J. of Nematol.* 1 (4), 287-288 (1969)
17. Gokte N. et Swarup G., *Indian J. Nematol.* 18 (1), 152-153 (1988)
18. Gommers F.J., *Meded. Landbouwhoogesh, Wageningen* 73 (17), 1-71 (1973)
19. Goswami B.K. et Vijayalaksmi K., *Ind. J. Nematol.* 16 (2), 236-240 (1986)

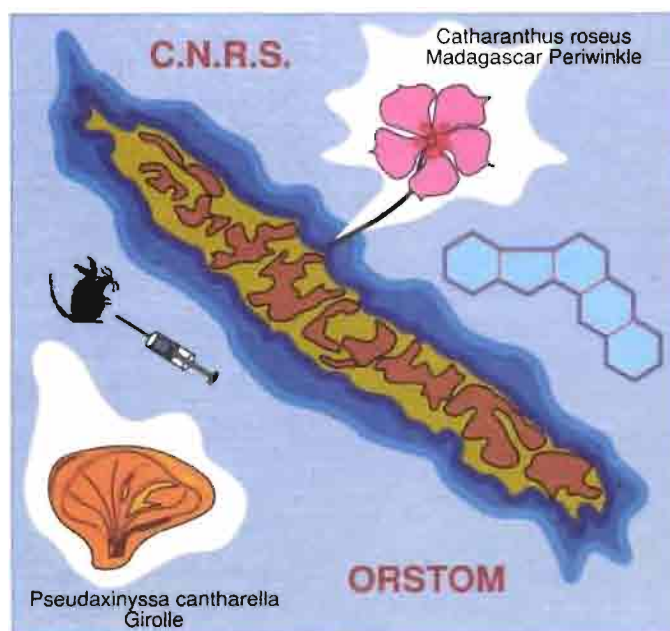


20. Hayne R. et Jones C.M., *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **101**, 422-424 (1976)
21. Jeuffraut E., *Mémoire DEA ENSA Montpellier* (1991)
22. Kaplan D.T., Keen N.T. et Thomason I.J., *Physiol. Pl. Pathol.* **16**, 309-318, 319-325 (1980)
23. Kimura Y., Mori M., Suzuki A. et Kobayashi, *Agri. Biol. Chem.* **45**, 2915-2917 (1981)
24. Kogiso S., Wada K. et Munakata K., *Agric. Biol. Chem.* **40**, 2085-2089 et 2119-2120 (1976)
25. Kumari R., Verma K.K., Dhindsa K.S. et Bhatta D.S., *Ind. J. Nematol.* **16**(2), 236-240 (1986)
26. Labeda D.P. et al., *brevet American Cyanamid Corporation N°BE-894762* (1983)
27. Mani A., Ahmed S.N., Rao P.K. et Dakshinamuri V., *Int. Nemat. Network Newsletter* **3** (2), 14-15 (1986)
28. Mani A. et Chitra K.C., *Nematol. Med.* **17**, 43-44 (1989)
29. Mei-He Y. et Zheng-Xue G., *Tetrahedron Lett.* **20**, 2443-2445 (1968)
30. MSD : Product Monograph, Merck et Co, Inc., USA (1988)
31. Munakata K. in Whitehead D.L. et Bowers W.S., *Pergamon Press Oxford (ed)* (1979)
32. Nandal S.N. et Bhatti D.S., *Ind. J. Nem.* **13**, 123-127 (1983)
33. Nandal S.N. et Bhatti D.S., *Nem. Med.* **14**, 291-294 (1986)
34. Netscher C., *Acta Horti.* **152**, 219-225 (1983)
35. Netscher C. et Sikora R. A. in Luc M., Sikora R.A. & Bridge J., *C.A.B. Intern. Inst. of Parasito., London* (1990)
36. Nickle W.R. : *Manual of agricultural nematology*, Dekker, New York, 1035 pp. (1991)
37. Panchaud-Mattei E., *DEA, Univ. Aix-Marseille III*, 28 pp. (1990)
38. Paracer S., Tarjan A.C. et Hodgson L.M., *J. of Nematol.* **19**, (2), 194-200 (1987)
39. Pathak K.N., Nath R.P. et Jha A.K., *Nat. Acad. Sci. Letters* **12**, (1) (1989)
40. Prot J.C., *Rev. Nématol.* **9**, 416-418 (1986)
41. Prot J.C. et Kornprobst J.M., *Rev. Nematol.* **6**, 330-332, 1983, **8**, 383-389 (1985)
42. Rao V., Mani A. et Rao P.K., *Proc. Ind. Acad. Sci.* **95** (4), 397-401 (1986)
43. Scheffer F., Kichuth R. et Viser H., *Z. Pflanzenernaehr Dueng Bodenk* **97**, 26-40 (1962)
44. Schwab G.E. et Halloran T.P. : *Brevet Mycogen Corporation* (1989)
45. Scramin S., Silva H.P., Fernandez L.M.S. et Yhan C.A., *Nemat. Bradileira* **11**, 89-101 (1987)
46. Shukla V.N. et Bankor M.D., *PKV Research J.* **9** (2), 46-52 (1969)
47. Synthelabo : *Brevet DE-3025223* (1979)
48. Takasugi M., Yachida Y., Anetai M., Masamune T. et Kegasawa K., *Chem. Lett.*, 43-44 (1975)
49. Tanda A.S., Atwal A.S. et Bajaj Y.P.S. , *Nematologica* **35**, 115-124 (1989)
50. Ulhenbroek J.H. et Bijloo J.D., *Int. Plant. Congress 4th Proc.* 579-580 (1958)
51. Veech J.A., *J. of Nematol.* **14** (1), 1-9 (1982)
52. Veech J.A. et Mc Clure M.A., *J. of Nematol.* **9**, 225-229 (1977)
53. Wood J.B. et al. : *brevet American Cyanamid Corporation N°EP-170006* (1985)
54. Yadav B.S., *Proc. Ind. Sci. Cong. Ass.* **57**, 551 (1970)
55. Zinovieva S.V. et Chalova L.I., *Helminthol.* **24**, 303-309 (1987)
56. Zuckerman B.M., Dicklow B. et Hsu J., *Dep. Plant Pathol. Univ. M.A., N.E.-133, Report 1988-89*, 1-2 (1989)

Troisième Symposium sur les substances naturelles d'intérêt biologique de la région Pacifique-Asie

Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 26-30 Août 1991

ACTES



Editeurs : Cécile DEBITUS, Philippe AMADE,
Dominique LAURENT, Jean-Pierre COSSON