

Lutte biologique contre les *Meloidogyne* au moyen d'*Arthrobotrys irregularis*

Jean-Claude CAYROL

INRA, Station de Recherches sur les Nématodes, 123 boulevard Francis Meilland,
B.P. 78, 06602 Antibes, France.

RÉSUMÉ

Des expérimentations au laboratoire et en champ ont confirmé l'efficacité du champignon prédateur *Arthrobotrys irregularis*, capturant activement les larves infestantes de *Meloidogyne*, comme agent de lutte biologique. Un inoculum industriel a été mis au point. Cet inoculum doit être utilisé à la dose de 140 g/m², un mois au moins avant la mise en place de la culture. Les facteurs édaphiques limitant l'utilisation d'*A. irregularis* sont : *i*) le pH, qui doit être neutre ou alcalin ; *ii*) la salinité excessive (la résistivité doit être supérieure à 2 000 Ω/cm²/cm⁻¹) et *iii*) une température supérieure à 37°. Par contre la teneur du sol en matière organique ne constitue pas un facteur limitant et les basses températures hivernales ne détruisent pas le champignon dont la croissance optimale se situe à 25°. Les traces de produits fongicides présentes dans le sol après traitement des parties aériennes ne détruisent pas *A. irregularis*, seuls le benomyl et le bupirimate freinent légèrement sa croissance ; de même les traitements herbicides usuels sont sans effet.

SUMMARY

Biological control of Meloidogyne by Arthrobotrys irregularis

Laboratory and field experiments have confirmed the effectiveness of the predatory fungus *Arthrobotrys irregularis*, which actively captures infective larvae of *Meloidogyne*, as an agent of biological control. A granulate industrial inoculum has been prepared ; it should be applied to the soil at least one month before planting at a concentration of 140 g/m². Some edaphic factors affect the use of *A. irregularis* : *i*) pH which should be neutral or alkaline ; *ii*) excessive salinity (resistivity should be over 2 000 Ω/cm²/cm⁻¹) and *iii*) temperatures above 37°. The level of organic matter in the soil is not a limiting factor and low winter temperatures do not kill the fungus whose optimal growth is realized at 25°. Traces of fungicides remaining in the soil after treatment of aerial parts of the plant do not kill *A. irregularis* ; only benomyl and bupirimate slightly retard the growth of the fungus. The usual herbicidal treatments are inoffensive.

De nombreux essais de lutte biologique au moyen de champignons prédateurs ont été effectués. Dans le domaine de la prophylaxie vétérinaire, Deschiens (1939), Roubaud et Descazeaux (1939), Descazeaux et Capelle (1939), Deschiens et Lamy (1943), ont obtenu de bons résultats dans la destruction des nématodes parasites des bovins, des chevaux et autres animaux domestiques. Dans le domaine de la phytiatrie, les résultats obtenus par Linford et Yap (1938), Duddington, Jones et Williams (1956), Mankau (1960), Shipinova (1960), Soprunov (1960), Tarjan (1961), Hams et Wilkins (1961) et Cooke

(1963), sont assez peu encourageants. Les échecs sont peut-être dus au fait que des expérimentateurs ont utilisé des champignons prédateurs qui n'étaient pas adaptés à l'espèce qu'ils voulaient détruire. Dans une perspective de lutte biologique contre les *Meloidogyne*, il nous a donc paru primordial de sélectionner un hyphomycète capable de piéger rapidement les larves infestantes, puis de tester ensuite les possibilités d'utilisation pratique d'un tel champignon en considérant l'influence des facteurs édaphiques et des pesticides agricoles sur son développement.

Sélection d'un champignon actif

La méthode utilisée consiste à étaler sur une lame de verre pour préparation microscopique un film d'eau gélosée à 0,5 % que l'onensemence avec le champignon testé. Cette lame est déposée sur un support, dans une boîte de Petri dont le fond est rempli d'eau, afin d'éviter le dessèchement de la préparation. Quand le mycélium a colonisé la totalité du support (temps variant de 24 à 48 heures selon le champignon étudié), on y dépose dix larves (L_2) de *Meloidogyne*.

On a comparé l'activité prédatrice de six champignons : *Arthrobotrys irregularis*, *A. oligospora*, *A. oviformis*, *Candelabrella musiformis*, *Dactylaria candida* et *Dactylella bembicoides*. Dix lames ont été préparées pour chacun d'eux et on a procédé à leur observation douze heures après le dépôt des nématodes pour dénombrer les animaux piégés.

L'espèce *A. irregularis* s'avère la plus performante : elle piège 87 % des larves en douze heures, alors que les autres sont inefficaces. C'est donc elle qui a été retenue pour la suite des travaux.

Efficacité contre *Meloidogyne* spp. dans le sol

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Essais préliminaires

Deux essais préliminaires ont été mis en place. Dans le premier, on a utilisé 40 pots de 20 cm de diamètre remplis d'un mélange terreux stérilisé à la vapeur. Chaque pot a reçu un plant de tomate cv. Lucy. On a subdivisé l'essai en deux séries : i) vingt pots ont été contaminés par des *Meloidogyne* à raison de 1 500 œufs par pot ; ii) vingt pots n'ont pas été infestés.

Dans chaque série, dix pots ont été inoculés à l'aide du champignon, les dix autres restant comme témoins. L'inoculation par le champignon a été faite à l'aide de cultures sur milieu gélosé (Corn Meal Agar, 8,5 g, Agar-Agar 8,5 g pour un litre d'eau) en boîtes de Petri de 10 cm de diamètre (une boîte par pot mélangée au sol). L'essai a été suivi en dénombrant les L_2 présentes dans le sol après 30, 40 et 50 jours d'expérimentation. L'analyse nématologique porte sur un échantillon global de chaque série constitué par la réunion de dix mini-prélèvements de 40 g de sol, pris entre 5 et 15 cm de profondeur, effectués dans chacun des dix pots.

Le second essai a été également conduit en pots de 20 cm de diamètre remplis d'un mélange terreux

infesté par les *Meloidogyne* (deux larves par gramme de sol). L'ensemencement du champignon dans les pots a été réalisé 30 jours avant la plantation, quinze jours avant la plantation ou le jour de la plantation (la plante test utilisée est la tomate, cv. Lucy, un plant par pot). L'inoculum de champignon a été préparé sur un milieu à base de blé cuit (un volume de blé, un volume d'eau, autoclavage 1 h 30 à 120°) que l'on a apporté dans les pots à trois doses : 2,8 g, 1,4 g et 0,7 g. Étant donné que le volume de terre contenu dans chaque pot est de un litre, ces doses correspondent à des traitements en plein champ de 280, 140 et 70 g par mètre carré. Cela représente au total neuf cas différents (trois périodes d'inoculation à trois doses) à raison de quatre pots par cas, soit 36 pots. Quatre pots non traités par le champignon ont servi de témoin.

La culture a été conduite en serre et, après deux mois, on a procédé à l'analyse nématologique du système racinaire des tomates pour chacun des cas par dénombrement des femelles.

Essai du produit commercial.

La production commerciale du champignon nématophage sélectionné a été réalisée par les Laboratoires Royal-Champignon (Saint-Hilaire Saint-Florent, Saurmur, France), sur un milieu à base de seigle cuit. La technologie de fabrication est protégée par un brevet INRA/ANVAR. Le produit granulé est conditionné dans des flacons en matière plastique thermostable de 2,5 litres. Son appellation commerciale est « Royal 350 »®. Deux essais ont été effectués en cultures sous serres chez des producteurs des Alpes-Maritimes dans des sols contaminés par les *Meloidogyne* (environ une larve par gramme de sol), l'un à Gattières et l'autre à Golfe-Juan. Quatre répétitions sont faites pour chaque cas de traitement dans des parcelles élémentaires de 25 m². Dans les deux implantations, l'inoculum commercial a été incorporé au sol à la dose de 140 g par mètre carré. Le granulé est épandu en surface à la volée, puis enfoui légèrement par un griffage superficiel. Le traitement a été effectué à trois périodes différentes : 30 jours avant la plantation, quinze jours avant la plantation, le jour de la plantation. Des parcelles non traitées ont été conservées comme témoin. Trois types d'analyses ont été pratiquées pour chaque essai : analyses fongiques, analyses nématologiques, analyses de productivité.

i) L'analyse fongique consiste à suivre l'évolution du champignon dans le sol en prélevant un échantillon de terre tous les cinq jours, pour chaque traitement. Cet échantillon, d'environ 200 grammes, est constitué par dix mini-prélèvements effectués à 10 cm de profondeur en différents points des parcelles. Pour chaque échantillon, on prépare quinze boîtes de

Tableau 1

Nombre moyen de femelles de *Meloidogyne* sp. présentes en fin de culture dans un gramme de racines avec trois doses et trois époques d'application d'*Arthrobotrys irregularis*.
Average number of females of Meloidogyne sp. at the end of the culture per gramme of root at three dosage rates and three times of treatment with Arthrobotrys irregularis.

| Époques d'application de l' <i>Arthrobotrys</i> (nbre de jours avant la plantation) | Nombre moyen de femelles de <i>Meloidogyne</i> sp. par gramme de racines | | | |
|--|--|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | Témoins (sans champignon) | Traitement 70 g/m ² | Traitement 140 g/m ² | Traitement 280 g/m ² |
| 30 | | 0,8 | 0,1 | 0 |
| 15 | | 1,6 | 1,1 | 0,4 |
| 0 | | 2,0 | 1,9 | 1,6 |
| | 6,4 | | | |

Petri de 5 cm de diamètre, remplies du milieu gélosé déjà cité. On étale, sur chaque boîte, 1 g de terre et on laisse incuber à l'obscurité pendant quinze jours à 20°. Passé ce délai, on observe les cultures à la loupe binoculaire pour y rechercher la présence de l'*Arthrobotrys*, facilement reconnaissable à ses conidies typiques.

ii) L'importance de l'attaque des *Meloidogyne* est déterminée en fin de culture en arrachant vingt plants de tomates dans chaque traitement et en attribuant à chacun d'eux une note variant de 0 à 5 en fonction de l'importance des galles observées sur le système racinaire : 0 (aucune galle), 5 (racines couvertes de nodosités volumineuses).

iii) L'analyse de productivité est faite en pesant les récoltes obtenues sur vingt plants choisis au hasard dans chaque cas de traitement.

RÉSULTATS

Essais préliminaires

Les résultats des analyses nématologiques effectuées dans le premier essai indiquent que le nombre de L₂ présentes dans 100 g de sol, après 30, 40 et 50 jours d'expérience, est à peu près constant dans les pots non ensemencés avec l'*Arthrobotrys* (20, 35 et 29 larves respectivement) alors qu'il devient nul au bout de 40 jours dans les pots renfermant le champignon (35, 0,0). Ce premier essai démontre que l'*A. irregularis* présente une activité nématocide nette.

Les résultats obtenus dans le second essai sont récapitulés au tableau 1. Le traitement à 280 g/m² est le meilleur, suivi de très près par celui à 140 g/m² et l'apport du champignon, 30 jours avant la plantation, conduit aux résultats les meilleurs.

Essais du produit commercial.

Croissance du champignon. Les analyses fongiques pratiquées tous les cinq jours ont montré que quelle que soit la date d'inoculation par rapport à celle de la plantation, le champignon a besoin d'une vingtaine de jours pour coloniser uniformément le milieu à partir de l'inoculum commercial en granulé incorporé au sol.

Attaques des nématodes. Le tableau 2 récapitule le degré d'attaque des plantes. Celui-ci est nettement plus réduit lorsque le champignon est apporté 30 jours avant la plantation, comparativement à l'incorporation faite le jour de la plantation, qui ne conduit à aucune amélioration par rapport au témoin. Ceci s'explique facilement par le temps nécessaire au champignon pour coloniser le sol.

Productivité des plantes. Les récoltes moyennes obtenues par plant de tomate dans les différents cas sont répertoriées au tableau 3. On constate que la récolte est d'autant plus importante que l'apport du champignon est plus précoce.

CONCLUSION

Ces résultats montrent qu'un traitement effectué

Tableau 2

Traitement avec *Arthrobotrys irregularis* (140 g/m²).
Notes moyennes attribuées aux racines en fonction du nombre de galles (0 = racines saines ; 5 = racines couvertes de galles volumineuses).

Treatment with *Arthrobotrys irregularis* (140 g/sq. m).
Mean scores attributed to the root system according to the galling (0 = healthy roots ; 5 = roots covered with large nodules).

| Époque du traitement (nombre de jours avant plantation) | Notes moyennes d'attaque |
|---|-----------------------------|
| 30 | 0,57 |
| 15 | 1,33 |
| 0 | 2,8 |
| Témoin, non traité | 1,7 |

Tableau 3

Traitement avec *Arthrobotrys irregularis* (140 g/m²).
Productivité moyenne obtenue en fonction des époques de traitement.

Treatment with *Arthrobotrys irregularis* (140 g/sq. m).
Mean productivity according to the time of treatment.

| Époques de traitement (Nombre de jours avant plantation) | Productivité moyenne exprimée en kilogrammes par plante |
|--|---|
| 30 | 15,2 |
| 15 | 11,6 |
| 0 | 8,3 |
| Témoin (non traité) | 9,1 |

à la dose de 140 g/m² avec l'inoculum commercial d'*A. irregularis* (Royal 350)[®], 30 jours avant la mise en place des cultures, conduit à une réduction marquée des attaques de *Meloidogyne* et à une augmentation des rendements de la plante.

Facteurs édaphiques conditionnant l'emploi

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Quatre facteurs ont été considérés comme importants pour la colonisation du sol par l'*A. irregularis* : le pH, la température, le type d'amendement organique et la salinité.

pH

Trois types de sol ayant des pH différents ont été choisis : sol silicieux de Cannes (pH 5,7), sol argileux de Biot (pH 7,2) et sol argilo-calcaire de Grasse (pH 8,4). Ces sols stérilisés à la vapeur sont placés en couche mince (0,5 cm d'épaisseur) dans des boîtes de Petri de 10 cm de diamètre et maintenus humides. On dépose au centre de chaque boîte un inoculum standard d'*A. irregularis*, pastille de 5 mm de diamètre prélevée à l'emporte-pièce dans une culture mère sur milieu gélosé. Cinq boîtes sont ainsi préparées pour chacun des trois sols et gardées à 20°. Le développement mycélien est mesuré régulièrement tous les cinq jours pendant vingt jours. Des expériences complémentaires ont aussi été faites en préparant le milieu gélosé déjà cité plus haut, avec des solutions tampon permettant d'obtenir les mêmes pH que ceux des sols testés (5,7 ; 7,2 ; 8,4). Dix boîtes de Petri ont été utilisées pour chaque valeur de pH et ensemencées, comme les sols, avec un inoculum de 5 mm de diamètre prélevé dans une culture mère. On a mesuré tous les cinq jours pendant vingt jours l'accroissement des colonies fongiques dans les différents cas.

Température

L'*A. irregularis* a été cultivé en boîtes de Petri sur le milieu à base de Corn Meal Agar aux températures suivantes : 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30° et 37°. Cinq boîtes ont été utilisées pour chaque température. L'inoculation a été réalisée avec une pastille standard de 5 mm de diamètre, déposée au centre de la boîte. On a mesuré le diamètre des colonies fongiques après dix jours de culture. Parallèlement, une culture d'*A. irregularis* sur grains de seigle (forme commerciale) a été entreposée pendant trois mois dans un congélateur à - 18°. Passé ce délai on a ensemencé le granulé sur Corn Meal Agar, en boîtes de Petri, afin d'observer les possibilités de réviviscence du champignon.

Matière organique

Le sol d'une serre maraîchère de la Station de Recherches d'Antibes a été subdivisé en douze

parcelles de 2,5 m × 1,2 m par des plaques de fibrociment. Cinq types différents de matière organique, allant des moins décomposés aux plus dégradés, ont été apportés à raison de deux parcelles par type. L'incorporation a été faite par labourage superficiel à la dose de 3 kg/m². Les matériaux utilisés étaient les suivants : tourbe brute, compost urbain frais, fumier de bovin peu décomposé, fumier de mouton très décomposé, humus complexe du commerce (Régénor). Deux parcelles témoins ont été conservées sans apport de matière organique. Le champignon, sous forme commerciale, a été apporté sur un bord des parcelles, dans une bande de 20 cm de large, à une dose équivalente à 140 g/m². Pour déterminer la vitesse d'extension de l'*Arthrobotrys* dans le sol en fonction du type de traitement, des échantillons ont été prélevés après 30, 45 et 60 jours à 0,70 m, 1,40 m et 2,20 m de la bande d'inoculation à 10 cm de profondeur.

Salinité

Il résulte d'un travail de Juste, Solda et Dureau (1980) que les composts urbains frais sont très riches en sels et que cette salinité décroît avec leur durée d'entreposage à l'air libre lorsqu'ils sont soumis au lessivage des pluies. Pour éprouver l'influence de la salinité du substrat vis-à-vis d'*A. irregularis*, nous avons utilisé cinq types de composts urbains : compost frais et composts stockés pendant deux, huit, douze et seize mois.

On a collecté les extraits aqueux de ces cinq types de composts urbains en immergeant 400 ml de chacun d'eux dans 600 ml d'eau pendant 24 heures. Ces extraits ont été stérilisés par passage sur filtres Millipore.

Leur résistivité ($\Omega/\text{cm}^2/\text{cm}^{-1}$) était la suivante : compost frais : 270 ; compost de deux mois : 304 ; compost de huit mois : 954 ; compost de douze mois : 1 321 ; compost de seize mois : 2 475.

Ces extraits aqueux ont été utilisés pour confectionner des milieux gélosés à base de Corn Meal Agar. Un milieu témoin a été fait avec de l'eau distillée. Cinq boîtes de Petri ont été préparées pour chaque cas et ensemencées avec une pastille standard de 5 mm de diamètre. L'accroissement des colonies fongiques a été mesuré après cinq jours de culture à 20°.

RÉSULTATS

pH

Les résultats obtenus, concernant le développement d'*A. irregularis* sur trois sols et trois milieux gélosés de pH différents, sont donnés au tableau 4.

Tableau 4

Diamètres moyens des colonies d'*Arthrobotrys irregularis* sur des milieux à pH différents.
Mean diameters of the fungus colony in different pH conditions.

| pH | Milieux | Diamètres moyens des colonies (en mm) | |
|-----|---------------|---------------------------------------|----------|
| | | 10 jours | 20 jours |
| 5,7 | Sol | 6 | 6 |
| | milieu gélosé | 6 | 6 |
| 7,2 | Sol | 57 | 100 |
| | milieu gélosé | 73 | 100 |
| 8,4 | Sol | 61 | 100 |
| | milieu gélosé | 68 | 100 |

On remarque que le champignon se développe rapidement en pH neutre et alcalin (7,2 et 8,4), alors que sa croissance est stoppée en pH acide (5,7). Dans ce dernier cas, le champignon n'est pas tué, il émet une légère frange mycélienne à partir de l'inoculum, mais est incapable de s'étendre davantage dans le milieu acide.

Température

L'histogramme de la figure 1 donne les diamètres moyens des colonies fongiques d'*A. irregularis* après dix jours de culture à différentes températures. On constate que la vitesse de croissance du champignon augmente de 10 à 25° (optimum), puis régresse ensuite. A 37°, le champignon est tué. Il se montre résistant au froid puisqu'après un séjour de trois mois à — 18° il est capable de se développer normalement lorsqu'il est replacé dans des conditions thermiques favorables. Il n'est donc pas détruit dans les sols cultivés, même par les hivers les plus rigoureux.

Matière organique

Les résultats des analyses fongiques de sol effectuées à différentes distances du point d'inoculation dans chacun des six cas étudiés sont donnés sur l'histogramme de la figure 2. On constate que le champignon présente trois comportements différents : i) dans le cas de la tourbe, du fumier de bovin et du fumier de mouton, ainsi que dans la parcelle témoin sans apport organique, l'*A. irregularis* a déjà

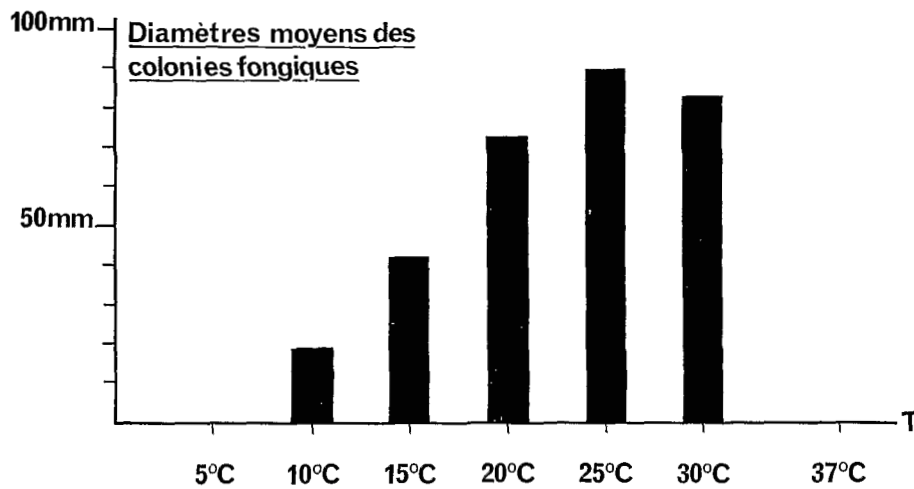


Fig. 1. Diamètres moyens des colonies d'*Arthrobotrys irregularis* après dix jours de culture à différentes températures sur milieu à base de Corn Meal Agar.
 Mean diameters of the fungus spot after ten days at different temperatures on Corn Meal Agar medium.

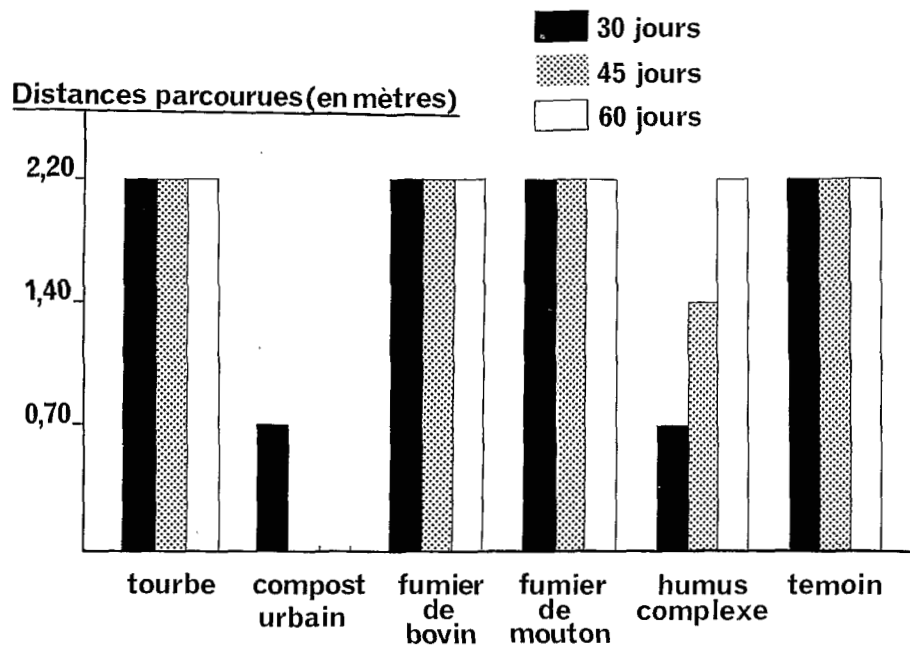


Fig. 2. Extension de l'*Arthrobotrys irregularis* dans le sol en présence de différents types de matière organique.
 Spread of *Arthrobotrys irregularis* in the soil containing different types of organic matter.

colonisé toute la surface après 30 jours, c'est-à-dire qu'il a parcouru 2,20 m à partir du point d'ensemencement; *ii*) dans le cas de l'humus complexe du commerce (Régénor), l'extension est beaucoup plus lente (0,70 m après 30 jours, 1,40 m après 45 jours, 2,20 m après 60 jours); *iii*) enfin dans le compost urbain frais, le champignon disparaît complètement au bout de 45 jours.

Trois conclusions peuvent être tirées de cette expérience : *i*) si l'on ne considère que les deux fumiers et la tourbe, on constate que l'état de décomposition de la matière organique n'affecte pas la vitesse de développement de l'*Arthrobotrys*; *ii*) il apparaît que le compost urbain et l'humus complexe du commerce (qui renferme 60 % de compost urbain) sont défavorables à la croissance de l'*A. irregularis*, sans doute par suite d'une salinité excessive, ainsi que nous le verrons plus loin; *iii*) on remarque que le champignon s'étend aussi bien dans les parcelles témoins n'ayant pas reçu de matière organique (dont la teneur est seulement de 0,8 %), ce qui indique qu'il n'a pas besoin de sols très humifères pour s'implanter.

Salinité

Le tableau 5 montre l'influence de la salinité de différents composts urbains sur la croissance de

Tableau 5

Diamètre moyen des colonies d'*A. irregularis* après cinq jours de culture sur des milieux gélosés préparés avec des extraits aqueux de composts urbains d'âges différents.

Mean diameters of the fungus colony after five days of culture on agar medium prepared with urban composts of different salinity.

| Age des composts | Résistivité ($\Omega/\text{cm}^2/\text{cm}^{-1}$) | Diamètres moyens des colonies après cinq jours de culture (exprimés en millimètres) |
|---------------------------|--|--|
| Frais | 270 | 19 |
| Deux mois | 304 | 20,5 |
| Huit mois | 954 | 18,3 |
| Douze mois | 1 321 | 19,1 |
| Seize mois | 2 475 | 27 |
| Témoin (eau distillée) | | 29 |

l'*A. irregularis*. On note que les salinités élevées présentées par les composts les plus jeunes (jusqu'à un an de stockage) freinent la croissance mycélienne. Sur le compost le plus âgé, bien lessivé par les pluies (seize mois), le champignon se développe comme sur le milieu témoin préparé avec de l'eau distillée. On peut donc considérer que les sols à salinité excessive (résistivité inférieure à $2\,000\ \Omega/\text{cm}^2/\text{cm}^{-1}$) sont défavorables à la croissance de l'*A. irregularis*.

Influence des traitements chimiques

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Fongicides

Dans une perspective d'utilisation de l'*A. irregularis* en agriculture, il est indispensable de préciser les répercussions que peuvent avoir les traitements fongicides du feuillage sur le développement mycélien. Les spécialistes estiment généralement (Tramier, comm. pers.) que les concentrations de produits fongicides, que l'on retrouve dans le sol après une pulvérisation des parties aériennes, sont de l'ordre de 10 ppm. Nous avons donc préparé des milieux gélosés à base de Corn Meal Agar renfermant différentes substances fongicides aux concentrations de 10 ppm (dose normale) et 10 000 ppm, dosage excessif choisi pour observer le comportement du champignon en présence de quantités anormalement élevées de fongicides.

Les substances testées ont été les suivantes : bénomyl, bupirimate, captane, mancozèbe, pentachloronitrobenzène, prothiocarbe, sulfate de cuivre, thiophonate et thirame. Pour chaque concentration de chaque produit on a préparé huit boîtes de Petri ensemencées avec une pastille standard d'*A. irregularis* de 5 mm de diamètre. Le diamètre des colonies fongiques obtenues dans les différents cas a été mesuré après huit jours de culture à 20°, comparativement à des cultures témoins sans fongicide.

Herbicides

Ils sont largement utilisés en agriculture; il a paru nécessaire de préciser également leur influence sur la croissance de l'*A. irregularis*. La concentration normale de produits que l'on retrouve dans le sol après un traitement est voisine de 10 ppm (Laboratoire de Malherbologie, INRA, Dijon, comm. pers.). Nous avons donc préparé des milieux gélosés à base de Corn Meal Agar avec des concentrations d'herbicides de 10 ppm (dose normale) et de 1 000 ppm (dose excessive destinée à observer le comportement du cham-

pignon dans les pires conditions de traitement). Les substances testées ont été les suivantes : diquat, glyphosate, linuron, metribuzin, monalide, penoxaline, propyzamide. Pour chaque concentration de chaque produit, on a préparé huit boîtes de Petri ensemencées avec une pastille standard d'*A. irregularis* de 5 mm de diamètre. Le diamètre des colonies fongiques a été mesuré après huit jours de culture à 20°, comparativement à des cultures témoins sans herbicide.

RÉSULTATS

Fongicides

L'influence des traitements fongicides sur le développement de l'*A. irregularis* est exposée au tableau 6.

Tableau 6

Diamètre moyen des colonies d'*Arthrobotrys irregularis* après huit jours de cultures sur des milieux gélosés renfermant différentes concentrations de substances fongiques et herbicides (un diamètre de 5 mm correspond à l'inoculum standard de départ et indique donc une croissance nulle).

Mean diameters of the fungus colony after eight days of culture on agar medium with different concentrations of fungicid and herbicid substances. A diameter of 5 mm indicates absence of growth.

| | Concentrations utilisées | | |
|------------------------------|--------------------------|-----------|------------|
| | 10 ppm | 1 000 ppm | 10 000 ppm |
| <i>Fongicides</i> | | | |
| Bénomyl | 20 mm | | 5 mm |
| Bupirimate | 18 mm | | 15 mm |
| Captane | 67 mm | | 5 mm |
| Mancozèbe | 64 mm | | 5 mm |
| Pentachloroni- trobenzène | 67 mm | | 64 mm |
| Prothiocarbe | 63 mm | | 65 mm |
| Sulfate de cuivre | 71 mm | | 21 mm |
| Thiophanate | 69 mm | | 45 mm |
| Thirame | 43 mm | | 5 mm |
| <i>Herbicides</i> | | | |
| Diquat | 48 mm | 18 mm | |
| Glyphosate | 61 mm | 16 mm | |
| Linuron | 67 mm | 70 mm | |
| Metribuzin | 68 mm | 66 mm | |
| Monalide | 55 mm | 14 mm | |
| Penoxaline | 54 mm | 18 mm | |
| Propyzamide | 48 mm | 52 mm | |
| <i>Témoin</i> | | 68 mm | |

On remarque qu'à la concentration de 10 000 ppm, certaines substances stoppent totalement le développement du champignon (bénomyl, captane, mancozèbe et thirame), tandis que d'autres n'ont aucun effet (pentachloronitrobenzène, prothiocarbe). A la concentration de 10 ppm aucun produit ne détruit l'*Arthrobotrys*, seuls le bénomyl et le bupirimate freinent sa croissance.

Herbicides

Les résultats obtenus sont également donnés au tableau 6. Il apparaît qu'à la concentration de 10 ppm le champignon est très peu affecté. A forte concentration (1 000 ppm), la croissance mycélienne n'est sensiblement réduite qu'avec le diquat, le glyphosate, le monalide et la penoxaline.

D'une manière générale, il résulte de ces expériences que, dans les conditions normales d'emploi, les traitements fongicides du feuillage, ainsi que les traitements herbicides, perturbent très peu le développement de l'*A. irregularis*.

Conclusions

L'ensemble des résultats obtenus montre qu'il est désormais possible d'envisager une lutte biologique contre les *Meloidogyne* au moyen du champignon prédateur *A. irregularis*, à condition toutefois de respecter un certain nombre de précautions. Tout d'abord, l'inoculation du sol doit être faite suffisamment tôt avant la plantation de la culture sensible pour que le mycélium ait le temps de coloniser le substrat et d'agir ainsi avec efficacité contre les larves infestantes (avec une température de 12°, ce temps de colonisation est d'une vingtaine de jours). Il est toutefois préférable d'attendre 30 jours par mesure de sécurité. Ensuite, on doit considérer qu'un certain nombre de facteurs édaphiques limitent les possibilités d'emploi du champignon : *i*) d'abord le pH du sol doit être neutre ou alcalin, la croissance mycélienne étant stoppée en milieu acide (pH inférieur à 7) ; *ii*) ensuite la salinité excessive qui empêche le développement lorsque la résistivité ($\Omega/\text{cm}^2/\text{cm}^{-1}$) est inférieure à 2 000. Ajoutons à cela que l'effet du champignon est progressif puisque les larves ne sont détruites qu'à mesure de leur éclosion et de leur contact avec le mycélium prédateur. Il en résulte que la lutte biologique au moyen d'*A. irregularis* ne conduit pas à une éradication immédiate des nématodes comme le ferait un traitement chimique. L'abaissement des populations est graduel et nécessite donc une conception différente du système de lutte

par rapport à la chimiothérapie. En contrepartie, les recontaminations qui s'effectuent après un traitement nématicide chimique à partir des couches plus profondes non atteintes par les produits sont inexistantes avec ce procédé de lutte biologique. En effet, le réseau mycélien développé dans le sol par le champignon, constitue un véritable filet capteur qui empêche la migration massive des larves vers la rhizosphère. On peut donc espérer beaucoup de ce nouveau mode de lutte qui présente en outre l'avantage de ne pas laisser de résidus dans les récoltes livrées aux consommateurs.

RÉFÉRENCES

- COOKE, R. C. (1963). The predacious activity of nematode-trapping fungi added to soil. *Ann. appl. Biol.*, 51 : 295-299.
- DUDDINGTON, C. L., JONES, F. G. W. & WILLIAMS, T. T. (1956). An experiment on the effect of a predacious fungus upon the soil population of potato root eel-worm *Heterodera rostochiensis* Woll. *Nematologica*, 1 : 341-343.
- DESCAZEUX, J. & CAPELLE, C. (1939). Contribution à l'étude des champignons prédateurs de larves de nématodes parasites des animaux domestiques. *Bull. Acad. vet. Fr.*, 12 : 284-288.
- DESCHIENS, R. (1939). Capture et destruction de larves de Strongilides du singe et du bœuf par des hyphomycètes. *Bull. Soc. Path. exot.*, 32 : 394-398.
- DESCHIENS, R. & LAMY, L. (1943). Conditions pratiques de culture, de sporulation et de récolte des spores d'hyménomycètes prédateurs de nématodes. *C. r. Séanc. Soc. Biol.*, 137 : 381-383.
- HAMS, A. E. & WILKINS, G. D. (1961). Observations on the use of predaceous fungi for the control of *Heterodera* spp. *Ann. appl. Biol.*, 49 : 515-523.
- JUSTE, C., SOLDA, P. & DUREAU, P. (1980). Mise au point de tests agronomiques légers permettant de déterminer simultanément la phytotoxicité globale des composts d'ordures ménagères et leur degré de maturation. *INRA, Ministère de l'Environnement, Convention d'étude*, 77 : 147.
- LINFORD, M. B. & YAP, F. (1938). Root-knot injury restricted by a nematode-trapping fungus. *Phytopathology*, 38 : 14-15.
- MANKAU, R. (1960). The use of nematode-trapping to control root-knot nematodes. *Phytopathology*, 50 : 645.
- NORDBRING-HERTZ, B. & MATTIASSON, B. O. (1979). Action of a nematode-trapping fungus shows lectin-mediated host-microorganism interaction. *Nature, Lond.*, 281 : 477-479.
- ROUBAUD, E. & DESCAZEUX, G. (1939). Action de certains champignons prédateurs sur les larves des Strongilides du cheval. *Bull. Soc. Path. exot.*, 32 : 290-294.
- SHIPINOVA, S. L. (1960). [Experimental application of predaceous fungus for the control of root-knot nematode]. *Mater. Vseloy, Soveshch. izuch. Nematod. Samarkand*, 131 : 1422.
- SOPRUNOV, F. F. (1960). [Contribution à l'utilisation pratique des champignons prédateurs de nématodes dans la lutte contre ces vers]. *Trudy gel'mint Lab.*, 10 : 192-194.
- TARJAN, A. C. (1961). Attempts at controlling Citrus burrowing nematodes using nematode-trapping fungi. *Proc. Soil Crop Sci. Soc. Fla.*, 21 : 17-36.

Accepté pour publication le 15 décembre 1982.