

Aspects de l'activité biologique du bénomyl vis-à-vis des nématodes à kyste de la pomme de terre, *Globodera rostochiensis* Woll. et *G. pallida* Stone

Alain CAVELIER*, Didier MUGNIERY** et Ali MANSOUR*

* Serv. Rech. intégrées Product. Vég. et Protect. Plantes et ** Laboratoire de Zoologie, INRA, B.P. 29, 35650 Le Rheu, France.

RÉSUMÉ

Des essais *in vivo* et *in vitro* ont permis de mettre en évidence la variété des effets biologiques du bénomyl sur les diverses séquences du cycle de développement des nématodes à kystes de la pomme de terre. L'éclosion peut être stimulée à faibles concentrations et freinée à concentrations élevées. La pénétration des larves dans les racines est réduite plus ou moins durablement selon la dose et le développement endoradiculaire est entravé par voie endotherapique à très basses concentrations. En bonnes conditions de sol, les populations infestantes peuvent être diminuées. Des effets aussi variés suggèrent une activité biochimique multisite du bénomyl.

SUMMARY

Evidence of various facets of the biological activity of benomyl on potato cyst-nematodes, Globodera rostochiensis Woll. and G. pallida Stone

In vivo and *in vitro* experiments showed a variety of effects of benomyl on the various sequences of the development cycle of potato cyst nematodes. Hatching was stimulated at low concentrations and delayed at high concentrations. Inhibition of larval penetration into roots decreased in time with the dose, and the development in roots was prevented at very low concentrations and was systemic. In certain soil conditions, nematode populations may decrease after treatment with benomyl. The effects observed suggest a multisite biochemical activity of benomyl in the nematodes.

La première référence à l'activité nématicide d'un benzimidazole en agronomie remonte à 1967 lorsque Courtillot et Allard réussirent à réduire de façon importante les dégâts provoqués par *Ditylenchus dipsaci* dans une luzernière au moyen d'une pulvérisation foliaire de thiabendazole.

Depuis, diverses équipes ont porté leur curiosité sur cette famille de composés, avec des résultats parfois contradictoires selon les nématodes en cause et les conditions d'expérience. Les premiers, Miller (1969) et Miller et Taylor (1970) ont constaté d'importantes réductions des populations de *Heterodera tabacum* et *Pratylenchus penetrans* après des traitements respectivement avec le thiabendazole et avec le bénomyl. McGuire et Goode (1970), Templeton, Johnston et Daniel (1971), Laughlin et Vargas (1972) et Hide et Corbett (1974) ont signalé l'effet dépressif du bénomyl sur l'évolution des populations, respectivement, de *Xiphinema americanum*, *Aphelenchoides besseyi*, *Tylenchorhynchus dubius* et *Globodera rostochiensis*. Price (1971) et Cook et York

(1972) ont montré que la maîtrise des populations de *Heterodera avenae* dépendait fortement du mode d'application du bénomyl. Si McLeod (1973) est parvenu à réduire de plus de 99 % les populations d'*Aphelenchoides composticola* et *Ditylenchus myceliophagus* avec le bénomyl et surtout le thiabendazole, McLeod (1972) et McLeod et Khair (1975) n'ont observé qu'un piètre effet de ces deux composés sur *Meloidogyne hapla*, *M. incognita* et *M. javanica*, de même que Strider (1973) sur *Aphelenchoides fragariae*.

Cook et York (1972) ainsi que McLeod et Khair (1975) n'ont mis en évidence aucun effet des benzimidazoles sur l'éclosion des larves infestantes, alors que Miller (1969) et Hoestra (1976) ont signalé un retard prononcé d'éclosion, ce dernier sur *Heterodera rostochiensis* avec le bénomyl. Si la pénétration des nématodes dans les racines de la plante-hôte ne paraît pas avoir été éprouvée pour elle-même, Miller (1969) et Hoestra (1976) ont soupçonné une action endotherapique de ces produits, et Cook et York (1972) ont montré un blocage du dévelop-

pement des larves endoradicales de *H. avenae* après qu'elles avaient été préalablement traitées par contact.

Ces travaux ont été menés selon des méthodes différentes allant du traitement des semences (liquide ou sec) au traitement au champ, en passant par des essais en pots. Les doses appliquées sont donc très diverses et peu comparables entre elles. Nous ne retiendrons donc de cette revue bibliographique que l'aspect qualitatif de l'activité des benzimidazoles sur les nématodes.

Dans notre laboratoire, la vérification des propriétés nématicides de la famille des benzimidazoles, entreprise d'abord à l'occasion d'une mise au point méthodologique (Cavelier, Bordenave & Kouamé, 1983), s'est étendue à l'étude du comportement du carbendazime (Cavelier, Mugniéry & Le Garjean, 1986), et plus complètement du bénomyl, qui s'est révélé un modèle particulièrement intéressant (Cavelier, Mugniéry & Mansour, 1985).

Les méthodes mises en œuvre ont permis, *in vitro* et *in vivo*, de faire la part des effets du bénomyl sur les séquences successives du cycle de développement des nématodes à kyste de la pomme de terre, *G. rostochiensis* et *G. pallida*, ainsi que sur l'évolution des populations de *G. pallida*.

Essais en pots

Deux essais ont été réalisés. L'un avait pour objet de mettre en évidence l'effet de trois doses de bénomyl sur le développement de *G. rostochiensis*, l'autre d'observer le comportement du bénomyl vis-à-vis de l'évolution des populations de *G. pallida* dans deux types de sols.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Développement de G. rostochiensis

Des fragments de pomme de terre cv. Bintje comportant un germe ont été mis en culture dans des pots en polyéthylène contenant 300 g de sol préalablement passé à l'autoclave puis traité par mélange avec une poudre mouillable à base de bénomyl. Les concentrations finales, rapportées à la solution du sol à la capacité de rétention étaient de 0, 6, 17, et 52 mg/l. Chaque pot a été contaminé par un lot récupérable de cinq kystes de *G. rostochiensis* (souche écossaise) contenus dans un sachet en toile de nylon de maille de 150 µm.

A six dates après le début de l'expérience (8, 21, 41, 51, 67 et 80 jours), on a dénombré les contenus en nématodes du sol, des racines et des kystes initiaux dans quatre pots prélevés au hasard dans chaque traitement. L'essai a pris fin lorsqu'une génération a accompli son cycle complet dans le témoin (0 mg/l).

Évolution des populations de G. pallida

Les principes de contamination étaient les mêmes que ci-dessus, excepté le nombre de kystes : dix par sachet.

Les deux sols, S 1 et S 2, différaient par leur composition granulométrique (Tab. 1).

Il y avait respectivement quatre et cinq répétitions pour S 1 et S 2. Les concentrations finales de bénomyl rapportées à la solution du sol à sa capacité de rétention étaient 0, 1, 5 et 25 mg/l. Tous les traitements ont été appliqués par injections dans le sol en trois points au moyen d'une micropipette, plus un traitement de contrôle à 5 mg/l sous forme de brassage comme dans l'essai précédent et identifié 5 BR. Ce choix du mode de traitement par injection résidait dans la commodité de cette technique et correspondait à une méthode utilisée en Belgique pour lutter contre *Verticillium* sp. en cultures de fraisier avec le carbendazime; un essai a montré qu'elle permettait en outre de limiter les dégâts dus à *Pratylenchus* sp. sur fraisier (G. Jamain, comm. pers.).

Quatre mois après la mise en place de l'essai, on a dénombré les kystes néoformés, leur contenu en œufs viables et le contenu résiduel des kystes initiaux.

Tableau 1
Caractéristiques des sols des deux essais S1 et S2
Soils features in S1 and S2 experiments

<i>Composition granulométrique (%)</i>	S1	S2
sable grossier (0,2 mm à 2 mm)	5	55
sable fin (0,05 mm à 0,2 mm)	75	6
limon grossier (0,02 mm à 0,05 mm)	7	18
limon fin (0,002 mm à 0,02 mm)	4	13
argile (< 0,002 mm)	7	6
matière organique	1,6	1,5

RÉSULTATS

Développement de G. rostochiensis

Les données ont été analysées à chaque date au moyen du test non-paramétrique 2 Ő de Kullbach, rapporté par Arbonnier (1966). Le seuil de signification était $p = 0,05$.

L'effet sur l'éclosion des larves et leur pénétration dans les racines est donné à la Figure 1.

A 6 mg/l, le bénomyl a légèrement stimulé l'éclosion tout au long de l'essai (+ 15 % en moyenne). A 17 mg/l, il l'a réduite de plus de 60 % pendant 2 mois, puis l'éclosion a repris à la dernière date de l'analyse. A 52 mg/l, la réduction a varié de 72 % à près de 100 % selon les dates.

L'effet sur la pénétration a pu être apprécié aux deux premières doses pour lesquelles les effectifs éclos étaient suffisants. L'étude du rapport du nombre de larves recensées dans le sol au nombre de larves écloses montre que le bénomyl a retardé la pénétration en proportion de la dose. L'inhibition a cessé après deux

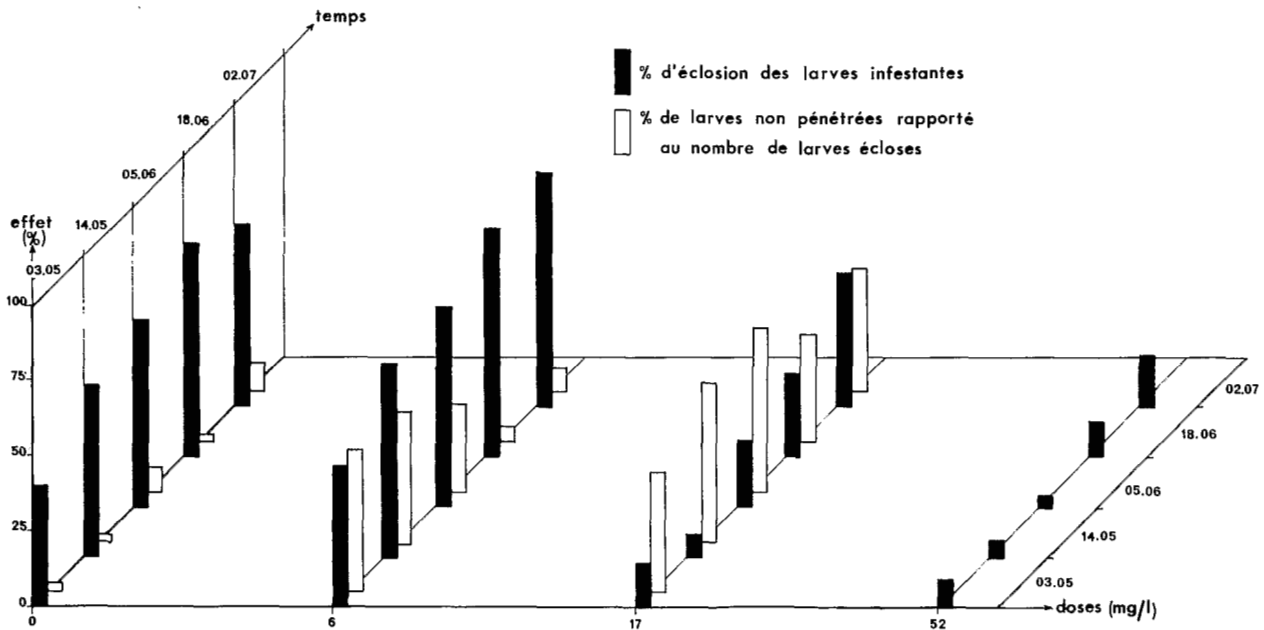


Fig. 1. Effet du bénomyl à diverses concentrations sur l'éclosion *in vivo* des larves de *G. rostochiensis* et sur leur pénétration dans les racines de pomme de terre en fonction du temps.

Effect of benomyl at various concentrations on hatching in vivo of G. rostochiensis larvae and on their penetration into potato roots according to time.

— axes 1 : effet - 2 : concentrations - 3 : time.

— legend : % hatched larvae

% non-penetrated larvae in regard to hatched larvae

mois à 6 mg/l, mais s'est maintenue jusqu'à la fin de l'essai à 17 mg/l. Dans ce cas la réduction était de 97 % en moyenne.

L'effet sur le développement endoradriculaire des nématodes est donné à la Figure 2.

Les effectifs ayant pénétré étaient suffisants pour étudier cet effet à 6 mg/l. Le développement des larves des différents stades a été clairement retardé tout au long de l'essai. Après 2,5 mois, le taux de femelles formées n'atteignait encore que 71 % de celui des femelles formées dans le témoin.

En résumé, le bénomyl a agi sur l'éclosion de *G. rostochiensis*, soit en la stimulant, soit en la retardant de façon plus ou moins sévère selon la dose. Il a inhibé sa pénétration fortement et plus ou moins durablement selon la concentration, et provoqué un retard de son développement endoradriculaire à la dose la plus faible. Cependant la conception de l'essai ne permettait pas de préciser si ce dernier effet reflétait simplement la conséquence du retard à la pénétration ou bien une action directe du bénomyl sur les divers stades endoradiculaires.

Évolution des populations de *G. pallida*

Les données ont fait l'objet d'une analyse de variance paramétrique de Fischer suivie éventuellement du test de comparaisons multiples de Newman-Keuls ($p = 0,05$).

Tous les traitements ont réduit significativement le nombre de kystes néoformés (Tab. 2), sans différence entre les doses. La réduction moyenne a été de 73 % dans S 1 et 92 % dans S 2. Les données du tableau laissent néanmoins apparaître une tendance à un effet-dose, masquée à l'analyse par la grande variabilité entre les répétitions. Le bénomyl a sévèrement réduit la production d'œufs par les femelles néoformées dans le sol S 1 à partir de 5 mg/l (- 82 % en moyenne), mais pas du tout dans le sol S 2.

Rapportées aux témoins, les populations finales de larves par gramme de sol ont été diminuées de 63 % à 80 % en moyenne dans S 1 et S 2 respectivement. Rapportées à la population infestante initiale ($5\,320 \pm 527$ larves par traitement en moyenne), elles sont affectées des facteurs d'accroissement présentés au Tableau 3.

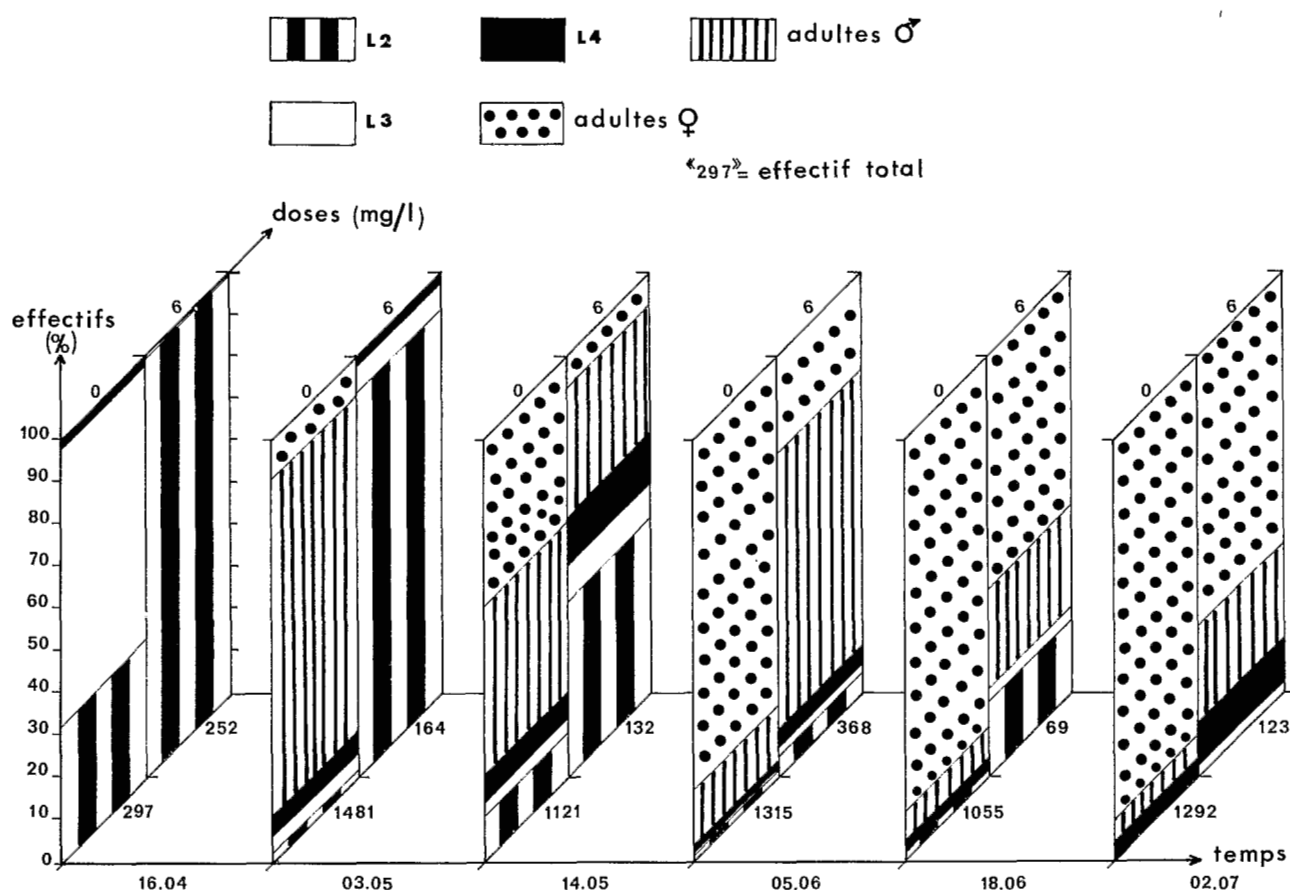


Fig. 2. Effet du bénomyl à 6 mg/l sur le développement endoradiculaire de *G. rostochiensis* dans la pomme de terre en fonction du temps. Les L4 mâles, très peu nombreuses ont été rassemblées avec les mâles adultes.

Effect of benomyl at 6 mg/l on the development of *G. rostochiensis* inside potato roots according to time. L4 are gathered with male adults.

— axes 1 : proportion of nematode stages - 2 : time - 3 : concentrations

— legend : " 297 " = total number

Dès 1 mg/l, l'accroissement des populations de nématodes dans le sol a été sévèrement freiné et, à partir de 5 mg/l, il s'agissait d'une réduction de populations qui s'affirmait avec la dose, jusqu'à devenir une suppression quasi totale à 25 mg/l dans S 1.

Il est remarquable de constater que finalement les réductions étaient assez comparables dans les deux sols, bien que leurs comportements aient été différents vis-à-vis de la production des femelles et de la production d'œufs par les femelles. Les compositions des sols ne permettent guère d'expliquer ce phénomène par les causes connues (adsorption) puisque les taux de fractions adsorbantes (argile + matière organique) sont très proches, les différences portant plutôt sur la répartition des sables et des limons.

Essais *in vitro*

In vitro, nous avons étudié d'une part l'effet du

bénomyl et du carbendazime sur l'éclosion des larves de *G. rostochiensis* et d'autre part l'activité du bénomyl vis-à-vis de la pénétration et du développement endoradiculaire de *G. rostochiensis* ou *G. pallida* selon le cas, au moyen d'expositions par contact et par voie endothermique. Les structures de populations ont été comparées au moyen du test 2 I.

EFFET DU BÉNOMYL ET DU CARBENDAZIME SUR L'ÉCLOSION DE *G. ROSTOCHIENSIS*

Vingt kystes par traitement ont été mis à éclore dans de l'exsudat radiculaire de pomme de terre cv. Bintje en présence de différentes concentrations de l'un ou l'autre des toxiques (0, 0,1, 1, et 10 mg/l). Les éclosiers étaient maintenus à l'obscurité à la température ambiante (18 à 20°). Chaque semaine, les larves écloses ont été dénombrées et les solutions toxiques, renouvelées : il s'agissait

Tableau 2

Effet du bénomyl à diverses concentrations sur l'évolution des populations de *G. pallida* en culture de pomme de terre dans deux types de sols

Effect of benomyl at various concentrations on the evolution of G. pallida populations in potato in two types of soils

doses (mg/l)		0		1		5		5BR		25	
critères	sols	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
kystes/plante	S1	552		244		104		115		123	
	S2		449		70		30		31		5
larves/kyste	S1	106		84		8		9		2	
	S2		87		113		93		170		83
larves/g. sol	S1	73		26		1		1		0	
	S2		85		10		3		3		1

donc d'une exposition continue à partir de concentrations initiales connues. En fin d'expérience, les kystes ont été broyés pour apprécier leur contenu résiduel en larves viables et calculer leur contenu initial. Les résultats apparaissent à la Figure 3. En dépit d'un faible taux d'éclosion dans le témoin (33 %), les différences entre les traitements, confirmées à la dernière date par un test 2 $\bar{1}$ au seuil de $p = 0,05$, étaient très nettes. Le bénomyl et le carbendazime ont eu un effet dépressif similaire sur l'éclosion, tantôt faible (- 20 % à 0,1 mg/l), tantôt plus marqué (- 57 % à 10 mg/l). A 1 mg/l au contraire, une stimulation a eu lieu, timide avec le carbendazime (+ 6 %), mais spectaculaire avec le bénomyl (+ 79 %).

Tableau 3

Facteurs de multiplication des populations de *G. pallida* dans deux sols à cinq doses de bénomyl (5 BR = traitement par brassage)

Multiplicating factors of G. pallida populations in two soils at 5 doses of benomyl (5 BR = mixing treatment)

Doses Sols	0	1	5	5 BR	25
S1	× 11	× 3,2	× 0,16	× 0,20	× 0,05
S2	× 12	× 1,5	× 0,52	× 0,16	× 0,48

EFFET DU BÉNOMYL SUR LA PÉNÉTRATION DES LARVES DANS LES RACINES ET LEUR DÉVELOPPEMENT ENDORADICULAIRE

L'étude a porté sur :

- un essai de toxicité globale,
- un essai de toxicité par contact,
- deux essais de toxicité par voie endotherapique,
- un essai de toxicité différée par voie endotherapique.

Matériel et méthode

Dérivée de la méthode d'élevage des nématodes sur gélose en boîtes de Petri décrite par Mugniery et Person précédemment (Cavelier, Mugniery & Manson, 1985; Cavelier, Mugniery & Le Garjean, 1986). Les concentrations sont exprimées en mg de matière active par kg de milieu gélosé.

Résultats

a) *Toxicité globale* (*G. pallida*, tomate cv. St Pierre) (Tab. 4)

Le bénomyl a réduit la pénétration de 71 % par rapport au témoin. Il a ensuite totalement bloqué le développement endoradiculaire des larves ayant pénétré. Les concentrations de 3 et 9 mg/kg, non rapportées dans le tableau, ont produit le même effet.

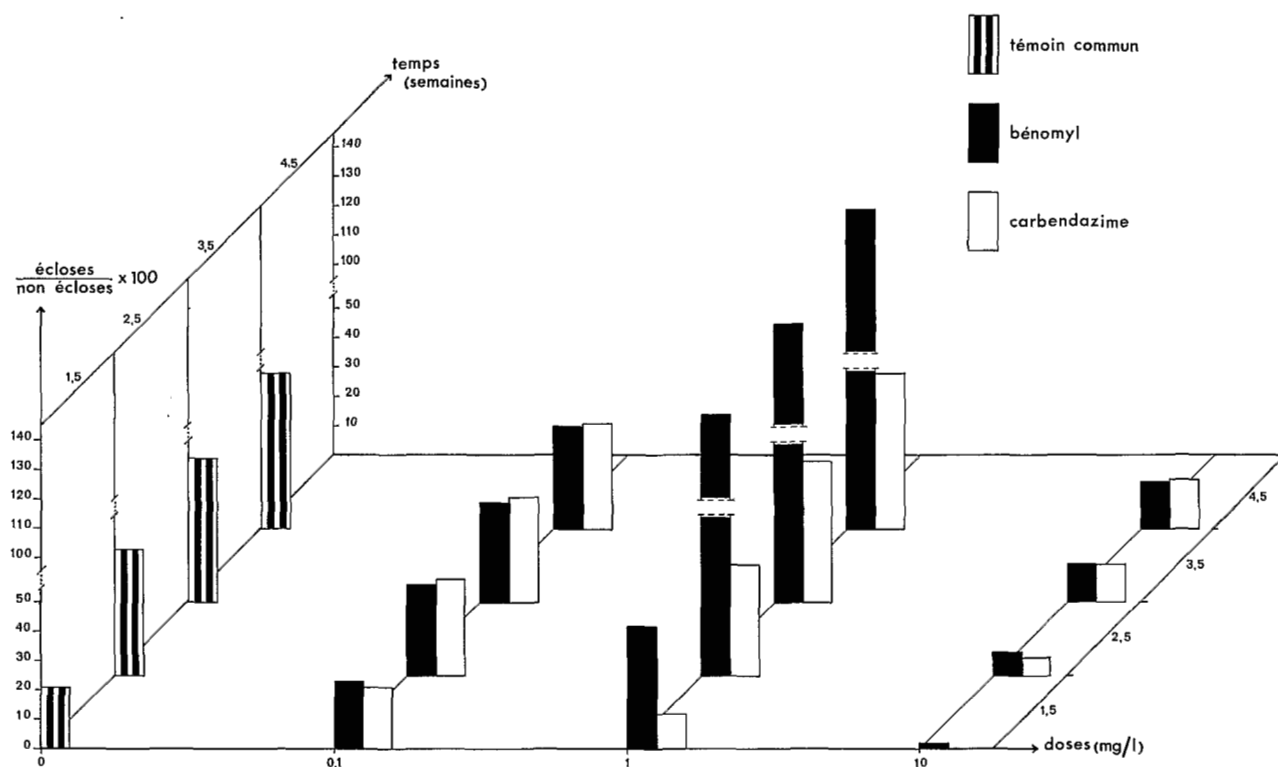


Fig. 3. Effet du benomyl et du carbendazime à diverses concentrations sur l'éclosion *in vitro* de *G. rostochiensis* en fonction du temps.

Effect of benomyl and carbendazim at various concentrations on hatching *in vitro* of *G. rostochiensis* according to time.

— axes 1 : concentrations - 2 : $\frac{\text{hatched larvae}}{\text{non-hatched larvae}} \times 100$ - 3 : time (weeks)

— legend : common control
benomyl
carbendazim.

b) Toxicité par contact (*G. rostochiensis*, tomate cv. St Pierre) (Tab. 5)

La pénétration du nématode a été affectée fortement par le benomyl. Toutes les concentrations du toxique ont interféré avec le développement endoradiculaire des animaux. Une partie importante du blocage commençait dès le stade L2; 98 % des animaux n'ont pas atteint le stade adulte à 100 mg de benomyl par kg. La réduction finale de la formation des femelles a été très forte, totale même à la plus haute dose. L'effet sur la ségrégation des sexes n'a pu être observé à cause de l'insuffisance des effectifs adultes dans les objets traités.

c) Toxicité endotherapique (*G. pallida*, tomate cv. St Pierre) (Tab. 6 et 7)

Appliqué aux stades des larves de deuxième ou troisième stade endoradiculaires, le benomyl a commencé à exercer une action de blocage du développement des animaux dès la concentration de 0,1 mg/kg. Environ 75 % des nématodes n'avaient pas accédé au stade adulte

dans les trois essais à cette dose. A 0,3 mg/kg, le blocage était total au deuxième stade pour l'exposition précoce, presque total au troisième stade pour l'exposition tardive. Là encore l'effet sur la ségrégation des sexes ne pouvait être observé.

Récapitulation des essais *in vitro*

Le benomyl a présenté une activité marquée sur chacune des principales séquences du cycle biologique des nématodes du genre *Globodera*. Les concentrations nécessaires ont varié selon l'effet recherché de 0,1 à 100 mg/l ou par kg. La réduction de l'éclosion et de la pénétration étaient réelles mais demandaient des doses élevées, supérieures à 10 mg/l ou kg. Par contre l'activité endotherapique a été remarquable, à des concentrations très basses puisque inférieures à 0,5 mg/kg.

Conclusion

Bien que les conditions expérimentales fussent très

Tableau 4

Effet du bénomyl, appliqué à partir de 1 mg/kg globalement sur larves de *G. pallida* et plantules de tomates, sur la pénétration et le développement endoradiculaire du nématode (inoculation de cinq larves par plantule; une plantule par boîte; 45 boîtes par traitement)

Effect of benomyl, globally applied on G. pallida larvae and tomato plantlets, on the penetration of the nematode and its development inside the roots (5 larvae on 1 plantlet; 1 plantlet in 1 dish; 45 dishes per treatment)

Concentrations en mg/kg	% d'animaux n'ayant pas pénétré	Répartition des stades endoradiculaires en % de leur total			
		L2	L3	mâle	femelle
0	32	4	8	8	80
1	80	100	0	0	0

différentes *in vivo* et *in vitro*, il est ressorti une bonne concordance des résultats obtenus :

a) Stimulation par le bénomyl et le carbendazime de l'éclosion des larves infestantes à faible dose, inhibition plus ou moins durable à concentrations élevées.

b) Inhibition importante de la pénétration des larves dans les racines, d'autant plus durable que la dose est élevée.

Aux concentrations qui autorisent la pénétration, puissante inhibition endotherapique du développement des stades endoradiculaires, notamment les larves des deuxième et troisième stades.

d) Conséquence de ce qui précède, le bénomyl a été capable de réduire fortement la formation des femelles, donc des kystes.

e) Il n'est pas impossible que le bénomyl soit potentiellement capable d'influencer la ségrégation des sexes. Cependant, comme nous l'avions déjà constaté avec le carbendazime (Cavelier, Mugniéry & Le Garjean, 1986), les autres effets décrits étaient trop prépondérants pour que les effectifs des adultes fussent suffisants pour mettre cette influence en évidence.

f) La fertilité des femelles a semblé affectée dans certaines conditions de sol. Cependant cet effet peut être une conséquence d'une inhibition de l'activité des mâles due à des concentrations résiduelles du bénomyl dans la solution du sol, ou encore celle d'un effet sur l'attraction des mâles par les femelles (phéromones). Dans ce cas il se serait agi plutôt d'une entrave à la fécondation. On pourrait sans doute éclaircir ce point par une adaptation des techniques *in vitro*, par exemple au moyen d'élevages monolarvaires.

g) En tout état de cause la simultanéité des différents types d'action du bénomyl a permis de réduire fortement l'accroissement des populations de *Globodera* sp. sur pomme de terre. La réduction a été telle en conditions d'expériences favorables que l'importance de l'infestation du sol diminuait aussi.

Les mêmes effets ont été obtenus *in vivo* à des concentrations du bénomyl très supérieures à celles nécessaires *in vitro*. L'interférence du facteur sol était ici évidente, et s'est confirmée par les différences du comportement du toxique en sols variés. Il nous paraît envisageable d'expérimenter le bénomyl au champ

Tableau 5

Effet du bénomyl à diverses concentrations, appliqué par contact, sur la pénétration et le développement endoradiculaire de *G. rostochiensis* sur plantules de tomate (inoculation de cinq larves par plantule; une plantule par boîte; 40 boîtes par traitement)
Les résultats marqués de la même lettre ne sont pas significativement différents

Effect of benomyl at various concentrations, applied by contact on G. rostochiensis larvae, on the penetration of the nematode and its development inside the tomato roots (5 larvae on 1 plantlet; 1 plantlet in 1 dish; 40 dishes per treatment)
Results bearing the same letter are not significantly different

Concentrations en mg/kg	% d'animaux n'ayant pas pénétré	Répartition des stades endoradiculaires en % de leur total			
		L ₂	L ₃	mâle	femelle
0	16 a	4 a	10 a	14	72 a
1	42 b	61 b	24 b	2	13 b
10	58 c	84 c	9 bc	0	6 c
100	76 d	77 bc	21 c	2	0 d

Tableau 6

Effet du bénomyl à diverses concentrations, appliqué par voie endotherapique au stade L₂, sur le développement endoradicaire de *G. pallida* sur plantules de tomate (inoculation de huit larves par plantule; une plantule par boîte; 40 boîtes (essai 1) et cinq boîtes (essai 2) par traitement). Les résultats portant la même lettre ne sont pas significativement différents

Effect of benomyl at various concentrations, applied systemically at the L₂ stage, on the development of G. pallida inside tomato roots (8 larvae on 1 plantlet; 1 plantlet in 1 dish; 40 dishes (experiment 1) and 5 dishes (experiment 2) per treatment Results bearing the same letter are not significantly different

Concentrations en mg/kg		Répartition des stades endoradicairens en % de leur total				
		L ₂	L ₃	L ₂ + L ₃	Mâle	Femelle
1 ^{er} essai	0	3 a	1	a	4	92 a
	0,025	0 a	0	a	7	93 a
	0,05	9 b	6	b	3	82 b
	0,1	62 c	16	c	3	19 c
2 ^e essai	0	0 a	8	a	3	89 a
	0,1	39 b	35	b	0	26 b
	0,3	100 c	0	c	0	0 c

Tableau 7

Effet du bénomyl à diverses concentrations, appliqué par voie endotherapique au stade L₃, sur le développement endoradicaire de *G. rostochiensis* sur plantules de tomate (inoculation de huit larves par plantule; une plantule par boîte; sept boîtes par traitement) Les L₂ présentes sont le fait du retard naturel de développement d'une partie des nématodes Les résultats portant la même lettre ne sont pas significativement différents

Effect of benomyl at various concentrations, applied systemically at the L₃ stage, on the development of G. rostochiensis inside tomato roots (8 larvae on 1 plantlet; 1 plantlet in 1 dish; 7 dishes per treatment) Present L₂ express the natural delay of development of a part of the nematodes Results bearing the same letter are not significantly different

Concentrations en mg/kg		Répartition des stades endoradicairens en % de leur total				
		L ₂	L ₃	L ₂ + L ₃	Mâle	Femelle
	0	10	0 a	a	4	86 a
	0,1	17	35 b	b	10	38 b
	0,3	7	86 c	c	0	7 c
	0,9	9	91 c	c	0	0 c

contre les nématodes à kystes de la pomme de terre en conditions de milieu favorables (sols peu adsorbants et peu sensibles aux effets négatifs des benzimidazoles au plan environnemental).

Au plan biochimique, l'activité antimétabolique prépondérante des benzimidazoles, décrite par divers auteurs sur les némathelminthes parasites des animaux (Borgers *et al.*, 1975; Comley, 1980; Friedman & Platzer, 1980;

Köhler & Bachmann, 1981; Dawson, Gutteridge & Gull, 1984) et les champignons (Davidse & Flach, 1977; Davidse, 1982) ne nous paraît pas expliquer tous les aspects de l'activité biologique du bénomyl rencontrés ici. En particulier les inhibitions temporaires de l'éclosion des larves et de leur pénétration dans les racines semblent peu en rapport avec la dégénérescence des tissus en croissance des nématodes, en particulier de

l'intestin, alors que le blocage du développement endoradiculaire peut l'être. D'autres hypothèses ont toutefois été proposées : interaction avec le métabolisme bioénergétique des nématodes sur diverses cibles enzymatiques (Comley & Wright, 1981; Boczon, Olba & Olaszek, 1984) ou avec les systèmes acétylcholinestérasiques (Rapson, Lee & Watts, 1981). On ne peut écarter l'hypothèse que l'une ou l'autre de ces activités biochimiques se superposent selon les concentrations mises en œuvre et la séquence du développement des nématodes considérés, ou encore agissent de concert.

RÉFÉRENCES

- ARBONNIER, P. (1966). L'analyse de l'information. Aperçu théorique et application à la loi multinomiale. *Ann. Sci. for.*, 23 : 950-1017.
- BOCZON, K., OLBA, W. & OLASZEK, M. (1984). The influence of some anthelmintics on bioenergetic metabolism of *Trichinella spiralis* and *Trichinella pseudospiralis*. *Biochem. & Pharmacol.*, 33 : 2523-2525.
- BORGERS, M., DE NOLLIN, S., DE BRABANDER, M. & DE THIENPONT, D. (1975). Influence of the anthelmintic mebendazole on microtubules and intracellular organelle movement in nematode intestinal cells. *Am. J. veter. Res.*, 36 : 1153-1166.
- CAVELIER, A., BORDENAVE, P. & KOUAMÉ, K. (1983). Essais d'amélioration des méthodes d'étude de l'effet des nématicides non fumigants. *Phytiatr.-Phytopharm.*, 32 : 47-56.
- CAVELIER, A., MUGNIÉRY, D. & MANSOUR, A. (1985). Mode d'action du bénomyl sur les nématodes à kystes du genre *Globodera*. *Coll. commémor. Centenaire Bouillie bordelaise, Bordeaux, sept. 1985. Brit. Crop Protect. Council Monogr.*, 31 : 263-266.
- CAVELIER, A., MUGNIÉRY, D. & LE GARJEAN, N. (1986). Mise en évidence de l'activité par contact et endothérapie du carbendazime sur la pénétration et le développement endoradiculaire des nématodes à kystes de la pomme de terre, *Globodera rostochiensis* Woll. et *Globodera pallida* Stone. *C.r. hebdomadaire. Seanc. Acad. Sci., Paris*, 303 : 97-100.
- COMLEY, J. C. W. (1980). Ultrastructure of the intestinal cells of *Aspicularis tetraptera* after *in-vivo* treatment of mice with mebendazole and thiabendazole. *Int. J. Parasitol.*, 10 : 143-150.
- COMLEY, J. C. W. & WRIGHT, D. J. (1981). Succinate dehydrogenase and fumarate reductase activity in *Aspicularis tetraptera* and *Ascaris suum* and the effect of the anthelmintics carbendazole, thiabendazole and levamisole. *Int. J. Parasitol.*, 11 : 79-84.
- COOK, R. & YORK, P. A. (1972). Effects of benomyl on *Heterodera avenae* on barley. *Pl. Dis. Repr.*, 56 : 261-264.
- COURTILLOT, M. & ALLARD, C. (1967). Action du thiabendazole sur une helminthose de la luzerne. *Phytiatr.-Phytopharm.*, 16 : 51-55.
- DAVIDSE, L. C. (1982). Benzimidazole compounds : selectivity and resistance. In : Dekker, J. & Georgopoulos, S. G. (Eds). *Fungicide resistance in crop protection*. Wageningen, Netherland Center Agric. Publish. Doc : 60-69.
- DAVIDSE, L. C. & FLACH, W. (1977). Differential binding of methyl-2-yl-carbamate to fungal tubulin as a mechanism of resistance to this antimetabolic agent in mutant strains of *Aspergillus nidulans*. *J. Cell Biol.*, 72 : 174-193.
- DAWSON, P. J., GUTTERIDGE, W. E. & GULL, K. (1984). A comparison of the interaction of anthelmintic benzimidazoles with tubulin isolated from mammalian tissue and the parasitic nematode *Ascaridia galli*. *Biochem. & Pharmacol.*, 33 : 1069-1074.
- FRIEDMAN, P. A. & PLATZER, E. G. (1980). Interaction of anthelmintic benzimidazoles with *Ascaris suum* embryonic tubulin. *Biochem. biophys. Acta*, 630 : 271-278.
- FRIEDMAN, P. A. & PLATZER, E. G. (1980). The molecular mechanism of action of benzimidazoles in embryos of *Ascaris suum*. *Proc. 3rd int. Symp. Biochem. Paras. and Host-parasite Relationsh., Beerse, Belgium, June 30-Jul. 3* : 595-604.
- HIDE, G. A. & CORBETT, D. C. M. (1974). Control of *Verticillium dahliae* and *Heterodera rostochiensis* on potatoes. *Annls appl. Biol.*, 78 : 295-307.
- HOESTRA, H. (1976). Effect of benomyl on the potato cyst nematode, *Heterodera rostochiensis*. *Neth. J. Pl. Pathol.*, 82 : 17-23.
- LAUGHLIN, C. W. & VARGAS, J. M. JR. (1972). Influence of benomyl on the control of *Tylenchorhynchus dubius* with selected non-fumigant nematocides. *Pl. Dis. Repr.*, 56 : 546-548.
- MCGUIRE, J. M. & GOODE, M. J. (1970). Effect of benomyl on *Xiphinema americanum* and tobacco ringspot virus infection. *Phytopathology*, 60 : 1150-1151.
- MCLEOD, R. W. (1973). Suppression of *Aphelenchoides composticola* and *Ditylenchus myceliophagus* on *Agaricus bisporus* by thiabendazole and benomyl. *Nematologica*, 19 : 236-241.
- MCLEOD, R. W. (1972). Effectiveness of thiabendazole, methomyl and aldicarb for control of root knot nematodes. *Agric. Gaz. N.S.W.*, 83 : 32-33.
- MCLEOD, R. W. & KHAIR, G. I. (1975). Effect of oximecarbamate, organophosphate and benzimidazole nematocides on life stages of root-knot nematodes *Meloidogyne* spp. *Annls appl. Biol.*, 79 : 329-342.
- MILLER, P. M. (1969). Benomyl and thiabendazole suppress root invasion by larvae of *Heterodera tabacum*. *Phytopathology*, 59 : 1040-1041.
- MILLER, P. M. & TAYLOR, G. S. (1970). Effects of several nematocides and benomyl on the incidence of wheather fleck of tobacco. *Pl. Dis. Repr.*, 54 : 672-674.
- MILLER, P. M. & TAYLOR, G. S. (1970). Nematicidal control of *Heterodera tabacum*. *Phytopathology*, 60 : 411-414.

- MUGNIÉRY, D. & PERSON, F. (1975). Méthode d'élevage de quelques nématodes à kystes du genre *Heterodera*. *Sci. agron. Rennes*, 1976 : 217-220.
- PRICE, T. V. (1971). Invasion of wheat by *Heterodera avenae* in the presence of benomyl. *Pl. Dis. Repr*, 55 : 67-68.
- RAPSON, E., LEE, D. L. & WATTS, S. D. M. (1981). Changes in the acetylcholinesterase activity of the nematode *Nippostrongylus brasiliensis* following treatment with benzimidazoles *in vivo*. *Molec. biochem. Parasitol.*, 4 : 9-15.
- STRIDER, D. L. (1973). Control of *Aphelenchoides fragariae* of Rieger Begonias. *Pl. Dis. Repr*, 57 : 1015-1019.
- TEMPLETON, G. E., JOHNSTON, T. H. & DANIEL, J. T. (1971). Benomyl controls rice white tip disease. *Phytopathology*, 61 : 1522-1523.

Accepté pour publication le 3 octobre 1986.