

# *Heterodera carotae* Jones, 1950.

## 4. Intérêts et limites de la lutte chimique

Michel BOSSIS\*, Alain CAVELIER\*\* et Didier MUGNIÉRY\*

\* Laboratoire de Recherches de la Chaire de Zoologie et \*\* Service de Recherches Intégrées pour la Production Végétale, INRA, B.P. 29, 35650 Le Rheu, France.

### RÉSUMÉ

Les traitements effectués contre *Heterodera carotae* conduisent, quand il s'agit de fumigants, à une augmentation très importante du rendement commercial. Cet effet est dû essentiellement à une augmentation du pourcentage de carottes commercialisables à laquelle s'ajoute, en cas de forte infestation, une action sur le poids moyen des carottes commercialisables et, dans une faible mesure, sur le nombre de carottes développées. Après récolte, les populations sont plus élevées qu'avant culture si la population initiale était moyenne à forte, moins élevées qu'avant culture si la population initiale était faible. En l'absence de cultivars résistants et étant donné l'inefficacité observée de *Paecilomyces lilacinus* et du carbofuran, l'usage de fumigants constitue actuellement le seul moyen de lutte disponible et économique.

### SUMMARY

*Heterodera carotae* Jones, 1950. 4. Advantages and limits of the chemical control

The fumigants used against *Heterodera carotae* led to a very strong increase of the marketable yield. This effect was generally observed with fumigants, DD and DB, but not with carbofuran, whatever the dosage used. This effect is mainly due to an increase of the proportion of marketable carrots. In case of high infestations, it was possible to observe also an effect on the number of developed carrots and especially on the average weight of the marketable carrots. The only tested non-fumigant nematicide was less efficient than the fumigants used. After harvest, the soil populations were always higher than before sowing when the initial population was high. In the case of light infestations, the final populations were always lower than before. The use of *Paecilomyces lilacinus* as biological agent did not give any results on the yield and on the population. As there is no resistant varieties, the use of fumigant appears to be actually the only economical control method against *H. carotae*.

La présence d'*Heterodera carotae* dans les zones de culture de carottes de l'ouest de la France entraîne l'application fréquente de traitements nématicides fumigants. Dix à 20 % des surfaces destinées à cette culture sont traitées annuellement. En pratique, très peu d'analyses nématologiques de sol sont réalisées avant application, la présence du parasite n'étant que soupçonnée, à tort parfois. Après avoir éclairci un certain nombre de points de biologie d'*H. carotae* (Mugniéry & Bossis, 1988), sa dynamique de population et sa nuisibilité (Bossis & Mugniéry, 1988, 1989 a), nous avons étudié l'impact des traitements nématicides sur la culture de carotte et sur les populations de nématodes, tout en essayant de déterminer l'effet phytostimulant des fumigants sur la plante même, en l'absence de tout parasite. Dans un souci de recherche de remèdes alternatifs, nous avons testé un agent biologique — champignon — parasite des œufs d'Heteroderidae, *Paecilomyces lilacinus*.

Un certain nombre de renseignements concerne les fumigations de sol avant semis de carottes, mais ils ont pour la plupart été acquis en Italie (Greco, Lamberti & Inserra, 1974; Greco & Lamberti, 1976), dans des conditions écologiques très différentes de celles de

l'ouest de la France où les données collectées sont insuffisantes (Oudinet *et al.*, 1962).

### Effet de formulations chimiques et biologiques sur la carotte

#### MATÉRIEL ET MÉTHODES

Tous les essais ont été réalisés dans le département de la Manche en 1982, 1983 et 1984.

#### Essai 1

En 1982, deux blocs de Fisher à cinq répétitions sont implantés à Créances, sur sol sableux. L'un est installé sur une zone faiblement à moyennement infestée (15,3 J2/g), l'autre sur une zone très proche plus infestée (35,2 J2/g). Trois doses de dichloropropane-dichloropropène (DD) sont utilisées : 180, 315, 450 l/ha. La surface de chaque parcelle est de 9 m<sup>2</sup>.

Les carottes cv. Nandor sont semées en juin, un mois après traitement. Le rendement est estimé fin novembre par récolte de 6 m linéaires par parcelle.

#### Essai 2

Sur une parcelle sablo-limoneuse infestée à Les Pieux, on réalise un traitement au DD sur deux bandes

de 3,2 m de large à deux doses : 250 et 325 l/ha. Une bande témoin est conservée. Dix-neuf parcelles de 2,7 m de long sont matérialisées sur chaque bande. Dix sont ensemencées en carotte cv. Nandor en juin 1982. Les neuf autres, cultivées en poireau en 1982, sont ensemencées en carotte cv. Nandor en juin 1983. Le rendement est estimé, comme précédemment, en décembre.

*Essai 3*

En 1982, à Les Pieux, dans la même parcelle que précédemment, dix parcelles sont matérialisées sur une bande dont la moitié est traitée au DD à la dose de 400 l/ha. Le semis et la récolte sont effectués comme précédemment.

*Essai 4*

En 1983, à Saint-Germain-sur-Ay, sur une parcelle sableuse, un essai à double dispositif est implanté en zone infestée. Le premier comporte un traitement au carbofuran à raison de 3, 5, 7,5 et 10 kg m.a./ha. Le second, identique au premier, est traité préalablement au DD à 300 l/ha. Trois blocs sont réalisés avec des parcelles de 5 m<sup>2</sup>. Les carottes cv. Nandor sont semées en juin. La récolte est effectuée en décembre sur la totalité du dispositif.

*Essai 5*

En 1984, à Courtils, sur sol sableux, huit bandes de quinze parcelles chacune de 9 m<sup>2</sup> sont matérialisées. Par bande, on réalise les traitements suivants : *P. lilacinus* à 0,2 - 2 et 20 g/m<sup>2</sup> d'une préparation « ORSAN » titrant  $4,5 \times 10^{10}$  propagules/g, dibromoéthane (DB) à 220 l/ha, traitement mixte DB et *P. lilacinus* aux trois doses précédentes. Une bande est laissée sans traitement. Les carottes cv. Nanco sont semées en juin et récoltées en février sur 6 m linéaire par parcelle.

Dans tous ces essais, la protection contre la mouche de la carotte, *Psila rosae*, a été assurée avec du fonophos. Les essais 1 et 5 sont irrigués.

Les carottes récoltées sont divisées en carottes commercialisables et non commercialisables, dénombrées et pesées. Sont considérées comme commercialisables les carottes non déformées, d'une longueur minimale de 12 cm, de forme générale cylindrique et d'un diamètre minimum de 1,8 cm.

Les populations du nématode dans le sol, mesurées en J2/g, sont estimées avant traitement et après récolte par prélèvement de 40 prises élémentaires de sol par parcelle, réalisé à l'aide de gouges de 20 cm de long. Un échantillon de 300 g de sol est analysé à l'élu triateur de Kort; les kystes sont dénombrés et écrasés pour en évaluer le contenu.

RÉSULTATS

Pour tous les essais, les critères de récolte retenus et analysés sont : rendement commercial et rendement total en t/ha, nombre de carottes commercialisables et

totales par parcelle, poids moyen des carottes commercialisables. De plus, le pourcentage en poids et en nombre de carottes commercialisables est pris en compte après transformation Arc sin  $\sqrt{\quad}$ .

Les essais 1 et 4 sont soumis à l'analyse de variance. Les essais 2 et 5 sont analysés par comparaison de moyennes d'échantillons indépendants. L'essai 3 est analysé par comparaison de moyenne d'échantillons appariés.

Avant toute analyse, on a cherché à voir s'il y avait une liaison entre populations initiales transformées en log et l'un quelconque des critères de récolte.

*Liaison populations initiales/critères de récolte*

*Essai 1* : cette liaison n'existe que pour les parcelles témoins. Les corrélations sont hautement significatives pour tous les critères de récoltes étudiés (Figs 1 et 2), sauf pour le nombre total de carottes développées.

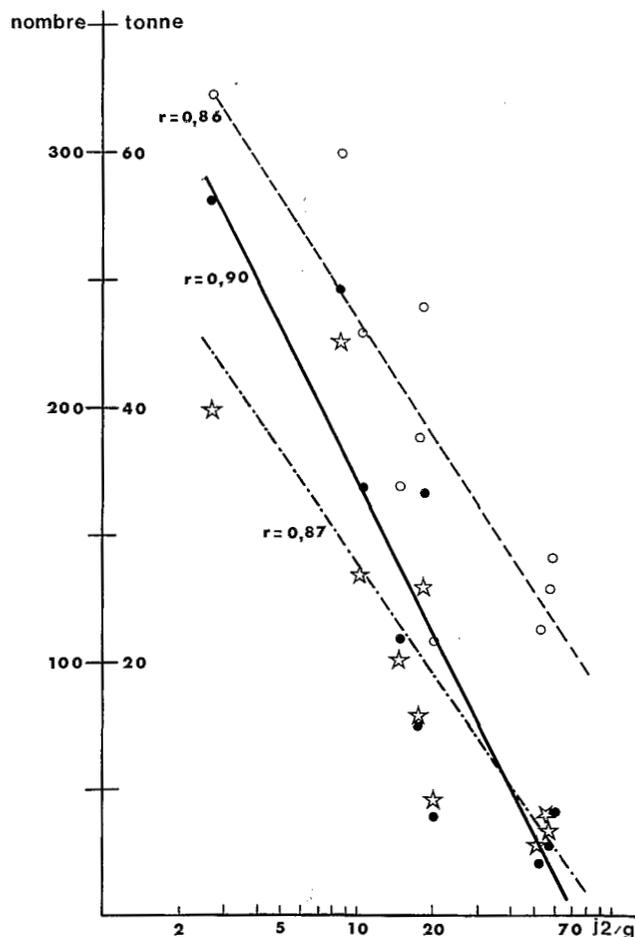


Fig. 1. Influence d'*Heterodera carotae* sur le rendement total et commercial (Essai 1). ● = tonnage commercial par hectare; ○ = tonnage total par hectare; ☆ = nombre de carottes commercialisables par ligne de 6 m.

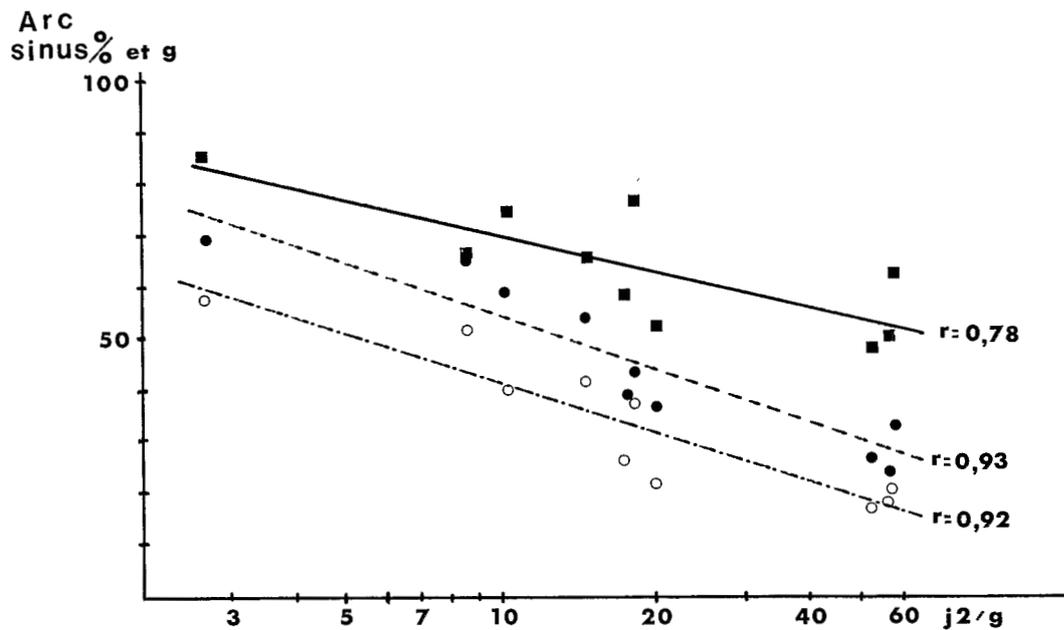


Fig. 2. Influence d'*Heterodera carotae* sur le rendement total et commercial (Essai 1). ■ = poids moyen (g) des carottes commercialisables; ● = pourcentage commercialisable, en poids; ○ = pourcentage commercialisable en nombre.

*Essais 2 et 3* : avec ou sans traitement, il n'y a pas de corrélation entre populations initiales et un quelconque critère de rendement. Cela peut être dû à l'étroitesse de la gamme d'infestation initiale, 22 à 81 J2/g pour l'essai 2 en 1982, 22 à 60 J2/g pour l'essai 3, contre 3 à 83 J2/g pour l'essai 1.

*Essai 4* : le faible nombre de répétitions interdit de procéder à une telle recherche de corrélation.

*Essai 5* : compte tenu des résultats obtenus en comparaison de moyennes, les parcelles sont regroupées selon qu'elles ont reçu ou non du DB. En l'absence de traitement au DB, tous les critères de récolte hors le poids moyen par carotte commercialisable sont en corrélations négatives significatives à hautement significatives avec la densité de population initiale. Pour les parcelles traitées, seul le poids moyen par carotte commercialisable est corrélé négativement et de manière hautement significative avec la densité de population initiale.

#### Efficacité proprement dite des traitements

*Essai 1* : en zone peu infestée, les traitements au DD n'ont aucun effet sur la récolte. Dans le bloc plus infesté, le DD, quelle que soit la dose utilisée, entraîne une forte augmentation du rendement commercial due surtout à une très forte production du nombre de carottes commercialisables. Cette augmentation est sans commune mesure avec celle enregistrée sur le nombre total de carottes produites. Avec le DD, davantage de carottes se développent à l'hectare et une proportion très impor-

tes d'entre elles sont commercialisables. Il faut atteindre la dose la plus élevée de fumigant pour augmenter le poids moyen par carotte commercialisable de manière significative (Fig. 3 A, 3 B).

*Essai 2* : que le traitement ait été effectué juste avant le semis (récolte 1982) ou un an avant (récolte 1983), l'effet du traitement sur le rendement est tout aussi net que précédemment, bien que les rendements soient très différents d'une année à l'autre : en effet, les conditions climatiques ont été très défavorables lors du semis 1983. Là encore, s'il est aisé de distinguer les parcelles témoins des parcelles traitées, l'effet dose est extrêmement difficile à cerner (Fig. 3 A, B).

*Essai 3* : la comparaison de moyennes d'échantillons appariés montre que tous les critères de récolte sont significativement différents, la plus faible différence venant du nombre total de carottes produites (Fig. 3 A, 3 B).

*Essai 4* : le dispositif expérimental ne permet pas d'analyser globalement les résultats. Ceux-ci sont analysés selon qu'il y a ou non couverture par le DD (Fig. 4 A, 4 B).

Sans couverture par le DD, l'effet dose du carbofuran se manifeste clairement sur les divers critères de récolte. Le carbofuran agit d'abord mais faiblement sur le nombre total de carottes produites, ensuite et plus fortement sur la qualité de celles-ci. Le poids moyen des carottes commercialisables n'est pas affecté.

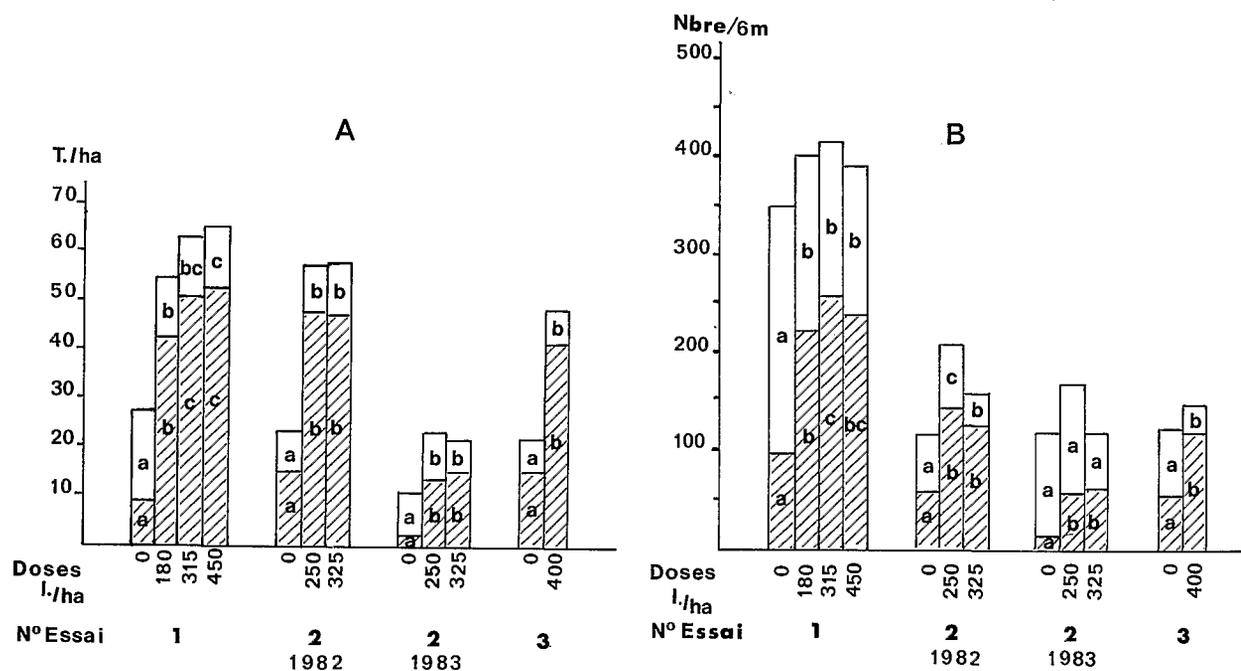


Fig. 3. Effet du DD sur le rendement total (blanc) et commercial (hachuré) (Essais 1, 2, 3); A : en tonnes par hectare; B : en nombre de carottes par ligne de 6 m (a, b, c correspondent à des différences significatives à 5 %).

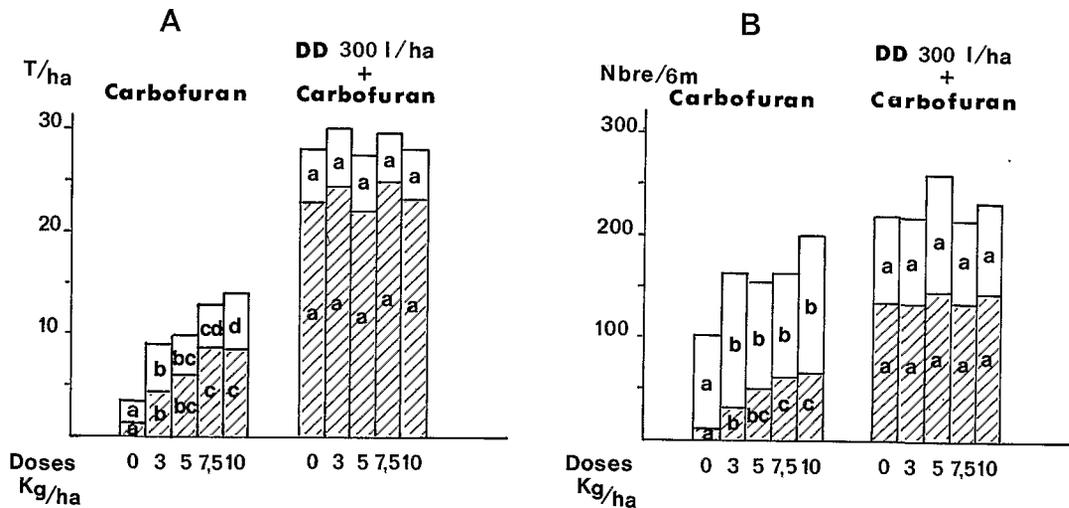


Fig. 4. Effet du carbofuran seul et associé au DD sur le rendement total (blanc) et commercial (hachuré) (Essai 4); A : en tonnes par hectare; B : en nombre de carottes par ligne de 6 m (a, b, c et d correspondent à des différences significatives à 5 %).

Avec la couverture DD, tous les effets du carbofuran sont masqués. Aucun critère de récolte ne présente de différence significative. Bien qu'une analyse statistique globale ne soit pas valide, il est clair que dès lors qu'il y a application de DD sur les parcelles traitées ou non

au carbofuran, tous les critères de récolte sont très largement supérieurs. Un effet purement phytostimulant du fumigant est possible (Bossis & Mugniéry, 1989 b).

Essai 5 : seules les parcelles traitées au DB présentent des différences hautement significatives pour tous les critères de récolte, à l'exception du poids moyen de carottes commercialisables (Fig. 5 A, 5 B). La comparai-

son de moyennes d'échantillons indépendants montre que le traitement biologique n'a eu aucun effet sur les rendements ni sur les nématodes (Fig. 6).

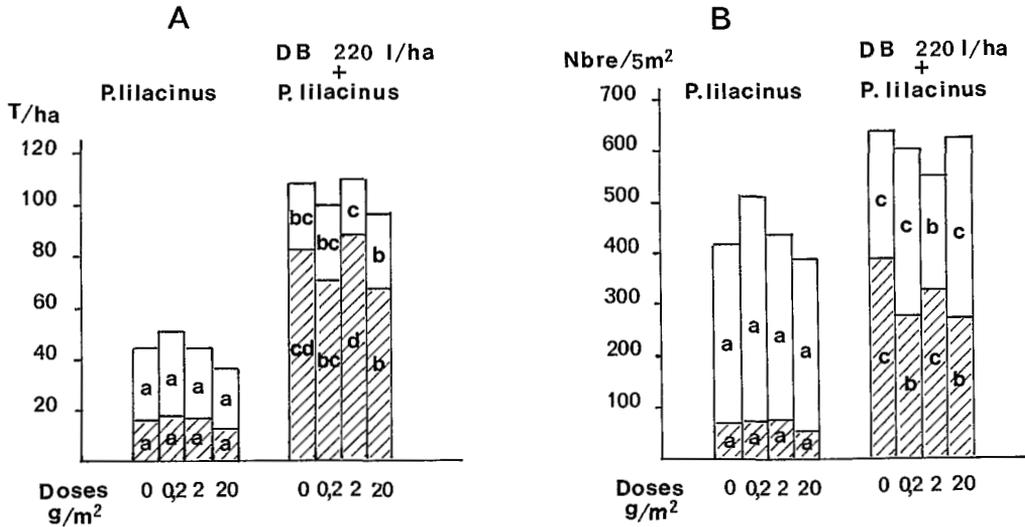


Fig. 5. Effet de *Paecilomyces lilacinus* seul et associé au DB sur le rendement total (blanc) et commercial (hachuré) (Essai 5); A : en tonnes par hectare; B : en nombre de carottes par ligne de 6 m (a, b, c et d correspondent à des différences significatives à 5 %).

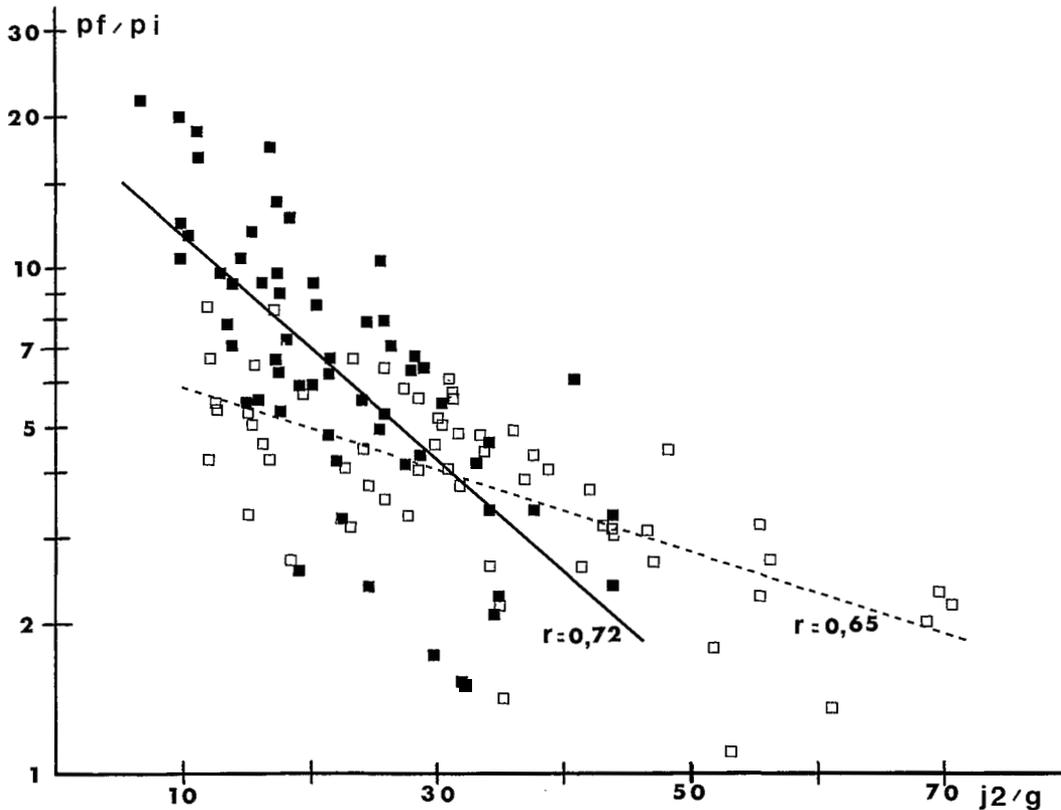


Fig. 6. Influence de la population initiale sur le taux de multiplication Pf/Pi avec ou sans traitement au DB (Essai 5). ■ = sans traitement DB; □ = avec traitement DB.

## DISCUSSION

Au travers de ces essais apparaît une constante : l'utilisation de fumigants améliore le rendement. Ce gain est quantitatif et qualitatif : davantage de carottes produites à l'hectare, et de meilleure qualité, ce dernier effet étant de beaucoup le plus important. En comparaison, le carbofuran et *P. lilacinus* se sont montrés peu ou pas du tout efficaces dans les conditions où ils ont été utilisés.

Que l'effet des fumigants ne soit que la conséquence de leurs propriétés nématicides n'est pas évident : aux doses utilisées, le carbofuran devrait être plus nématicide que le DD; les rendements sont cependant inverses. Par contre, l'analyse de l'essai 1 montrerait plutôt que seul l'effet nématicide a joué, dans la mesure où aucune différence de rendement n'apparaît entre les parcelles témoins et traitées dans le cas d'une faible infestation initiale. La mise en évidence de l'effet indirect du DD est envisagée dans une note séparée (Bossis & Mugniéry, 1989 b).

### Évolution des populations d'*H. carotae* en fonction des traitements

## RÉSULTATS

Les évolutions de population sont analysées selon le modèle de développement des populations étudié par Mugniéry (1976) pour *Globodera pallida* :

$$\log(\text{taux de multiplication}) = a \times Pi + b$$

où  $Pi$  correspond à la population initiale exprimée en J2/g.

Chaque fois que les coefficients de corrélation seront significatifs, nous admettrons la linéarité des régressions et nous comparerons les parcelles traitées et les traitements entre eux par l'analyse de covariance.

*Essai 1*

Les données relatives aux deux ensembles, faiblement et fortement infestés, sont analysées ensemble. Pour les parcelles témoins, la corrélation entre population initiale et taux de multiplication est hautement significative ( $r = -0,879$  pour 8 ddl). Par contre, l'application du DD fait disparaître toute corrélation et ceci quelle que soit la dose utilisée. L'analyse de variance sur les taux de multiplication bruts ou transformés en log montre que seules les données relatives à la zone peu infestée présentent une différence significative entre parcelles témoins et traitées (Tab. 1).

*Essai 2*

L'analyse des populations n'a été réalisée que pour le semis effectué en 1982. Toutes les corrélations sont significatives. L'analyse de covariance montre qu'il n'y a aucune différence de variance, de pente, d'ordonnée à l'origine entre parcelles témoins et traitées (Fig. 7).

*Essai 4*

Compte tenu du nombre de répétitions, seule l'analyse de variance relative aux taux de multiplication, bruts ou transformés en log, est possible. Cette analyse est faite par blocs séparés, traités ou non au DD (Tab. 2). L'effet du carbofuran seul n'est décelable qu'en traitement mixte avec le DD, exception faite de la dose la plus faible. Nous noterons cependant que les taux de multiplication sont en général plus forts après application de l'un et l'autre nématicides. Comme les rendements observés sont la résultante de l'état général de la culture, ce résultat n'est pas contradictoire.

Tableau 1

Évolution d'*H. carotae* après carottes protégées par du DD, selon le niveau d'infestation

	Taux de multiplication	
	Zone très infestée	Zone peu infestée
Témoin	1,97 a	4,91 a
DD 180 l/ha	1,82 a	2,19 b
DD 315 l/ha	1,33 a	1,74 b
DD 450 l/ha	0,90 a	1,38 b

Tableau 2

Évolution d'*H. carotae* après carottes protégées par du Carbofuran seul ou combiné au DD

		Taux de multiplication
DD 300 l/ha +		
Carbofuran	0 kg/Ma/ha	1,86 a
	3 kg/Ma/ha	2,00 a
	5 kg/Ma/ha	1,24 b
	7,5 kg/Ma/ha	1,29 b
	10 kg/Ma/ha	1,31 b
Carbofuran	0 kg/Ma/ha	0,68 a
	3 kg/Ma/ha	0,55 a
	5 kg/Ma/ha	1,13 a
	7,5 kg/Ma/ha	1,32 a
	10 kg/Ma/ha	0,97 a

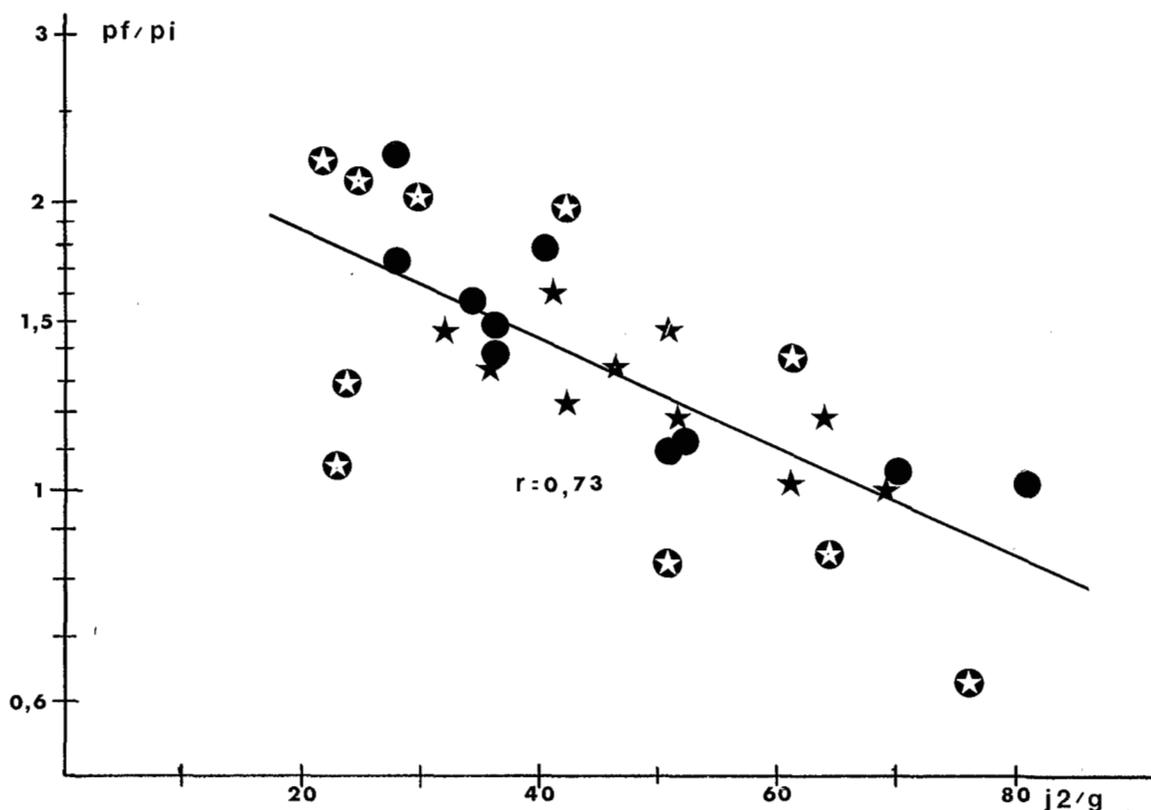


Fig. 7. Influence de la population initiale sur le taux de multiplication Pf/Pi avec ou sans traitement au DD (Essai 2). ● = sans traitement DD; ★ = avec traitement DD : 250 l/ha; ☆ = avec traitement DD : 325 l/ha.

#### Essai 5

Chaque traitement est analysé séparément. Toutes les corrélations sont significatives. L'analyse de covariance ne permet pas de distinguer de différence de variance, de pente et d'ordonnée à l'origine d'une part entre les parcelles traitées au DB et d'autre part entre les parcelles non traitées au DB. Par contre, elle montre que les pentes et les ordonnées à l'origine sont significativement différentes selon qu'il y a eu ou non traitement au DB (Fig. 6). Ceci montre qu'à faible population initiale, il y a, après culture, moins de nématodes dans les parcelles traitées au DB que dans les parcelles témoins. Par contre, à forte population initiale, la pratique du traitement conduit à laisser après culture un sol plus infesté qu'il ne l'aurait été sans traitement.

#### DISCUSSION

L'effet du fumigant n'est notable après culture de carottes que si le traitement a été effectué sur un sol peu infesté. Cela est clair pour les essais 1 et 5 où l'on avait affaire à une gamme de populations relativement étendue.

Quand l'infestation initiale est forte, elle induit des dégâts importants et le faible développement du végétal conduit à un taux de multiplication réduit des nématodes. Quand la plante est protégée par un fumigant, son développement végétatif est bon, ce qui entraîne une multiplication importante des nématodes survivant au traitement. Le sol est, après culture, plus infesté qu'il ne l'était avant culture, et plus qu'en l'absence de traitement.

Dans le cas d'infestation faible, ne limitant pas trop le développement du végétal, les taux de multiplication sur la carotte sont élevés, qu'il y ait eu ou non traitement chimique. Mais dans ce dernier cas, cette multiplication ne parvient pas à compenser la mortalité induite par le traitement et le sol se retrouve moins infesté que sur les parcelles témoins.

Le carbofuran, malgré ses qualités nématicides connues, s'avère très inférieur au DD. Il provoque des augmentations de rendements très inférieures à celles consécutives à un fumigant. Par contre, la population après culture est plus forte après fumigation, mais il s'agit comme précédemment d'une résultante globale dont l'état végétatif de la carotte est la principale cause.

*P. lilacinus*, tel qu'il a été utilisé, s'est montré décevant n'ayant aucune action notable sur le rendement ou sur l'évolution des populations. Les essais d'isolement du champignon en cours de culture ont montré que s'il avait colonisé le sol, il avait été incapable de contaminer les masses d'œufs pondus par les femelles de première génération.

### Conclusion générale

La pratique courante des traitements de sol à l'aide de fumigants pour lutter contre *H. carotae* paraît se justifier pour des raisons économiques. En présence d'*H. carotae*, les baisses de rendement peuvent être très importantes et, dans certains cas, conduire à un rendement en carottes commercialisables nul. Les autres moyens de lutte essayés, carbofuran (homologué sur carotte à la dose la plus faible) et *P. lilacinus*, procurent, au mieux, des augmentations de rendement dérisoires si on les compare à celles consécutives aux fumigants. Même à très forte dose, le carbofuran est très en dessous du DD appliqué à dose normale, et ceci compte non tenu du prix de revient comparatif du carbofuran, et des résidus trouvés dans les carottes. Cette « efficacité » du DD pourrait être due à ses propriétés phytostimulantes (Bossis & Mugniéry, 1989 b). L'effet du fumigant conduit à une augmentation du nombre de carottes développées et, pour celles-ci, à une augmentation très importante de la proportion de carottes commercialisables. A forte dose, on note une augmentation du poids moyen par carotte commercialisable.

Par contre, l'effet global, traitement nématicide à l'aide d'un fumigant ou du carbofuran, et culture de carotte, plante multiplicatrice, montre qu'il ne faut pas compter sur cette mesure pour assainir les sols. Paradoxalement, ceci est particulièrement évident en cas de forte infestation où le niveau d'infestation après récolte est plus important que s'il n'y avait pas eu de traitement. Par contre, en sol légèrement infesté, le traitement réduit considérablement le taux d'évolution des populations

par rapport au témoin. C'est cependant dans ce cas que le traitement est le moins nécessaire, si le seul objectif est le rendement commercial.

Ceci signifie qu'en l'état actuel de nos connaissances, la fumigation des sols constitue le seul moyen disponible au niveau agricole pour des régions spécialisées dans la culture de la carotte et pour des agriculteurs qui ne veulent pas respecter de trop longues rotations. L'absence de variétés résistantes et la perspective de limitation de l'utilisation des produits fumigants, chlorés ou bromés, laisseront les producteurs de carottes démunis devant *H. carotae*.

### RÉFÉRENCES

- BOSSIS, M. & MUGNIÉRY, D. (1988). *Heterodera carotae* Jones, 1950. 2. Dynamique des populations dans l'ouest de la France. *Revue Nématol.*, 11 : 315-320.
- BOSSIS, M. & MUGNIÉRY, D. (1989 a). *Heterodera carotae* Jones, 1950. 3. Nuisibilité en conditions de culture de l'ouest de la France. *Revue Nématol.*, 12 : 177-180.
- BOSSIS, M. & MUGNIÉRY, D. (1989 b). *Heterodera carotae* Jones, 1950. 5. Effet phytostimulant du DD. *Revue Nématol.*, 12 : 432-434.
- GRECO, N. & LAMBERTI, F. (1976). La lotta chimica contro *Heterodera carotae* in Puglia. *Nematol. medit.*, 4 : 133-137.
- GRECO, N., LAMBERTI, F. & INSERRA, R. (1974). Prova di lotta chimica contro *Heterodera carotae* Jones in Puglia. *Nematol. medit.*, 2 : 13-20.
- MUGNIÉRY, D. (1976). Établissement d'un modèle de dynamique de populations d'*Heterodera pallida* Stone. Applications à un cas pratique de lutte intégrée. *Annls Zool. Écol. anim.*, 8 : 315-329.
- MUGNIÉRY, D. & BOSSIS, M. (1988). *Heterodera carotae* Jones, 1950. 1. Gammes d'hôtes, vitesse de développement, cycle. *Revue Nématol.*, 11 : 307-313.
- UDINET, R., CHERBLANC, G., SCHNEIDER, J. & DELOUSTAL, J. (1962). Quatre années d'essais de traitements contre le nématode de la carotte. *Phytoma*, 135 : 11-15.
- Accepté pour publication le 16 décembre 1988.