



HAL
open science

Évaluation des possibilités de lutte biologique à l'aide de nématodes entomopathogènes pour le contrôle du charançon du bananier en Guadeloupe

Hervé Mauléon, Sophie Panoma, Philippe Constant, Laurent Marchay, David Fraipont, . Unité de Recherche Productions Végétales, . Agence de Guyane-Martinique-Guadeloupe

► To cite this version:

Hervé Mauléon, Sophie Panoma, Philippe Constant, Laurent Marchay, David Fraipont, et al.. Évaluation des possibilités de lutte biologique à l'aide de nématodes entomopathogènes pour le contrôle du charançon du bananier en Guadeloupe. [Contrat] 1997. hal-02842662

HAL Id: hal-02842662

<https://hal.inrae.fr/hal-02842662>

Submitted on 7 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Evaluation des possibilités de lutte biologique à l'aide de nématodes entomopathogènes pour le contrôle du *charançon du bananier* en Guadeloupe



Rapport

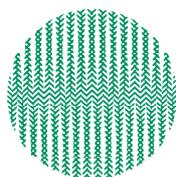
Convention d'aide à l'Innovation
n° A 95 03 007 Y AT (1995-1997)

H. Mauléon, S. Panoma, Ph. Constant, L. Marchay, D. Fraipont

Décembre 1997

INRA Antilles-Guyane
Unité de Recherche en Productions Végétales
Laboratoire des Nématodes Parasites d'Insectes
Domaine Duclos 97170 Petit Bourg

ANVAR
Guyane-Martinique-Guadeloupe
D.R.I.R.E.-19, rue de la Chapelle



INRA

Institut National de la Recherche Agronomique



Les dégâts occasionnés par le charançon *Cosmopolites sordidus* dans les plantations bananières de la région Guadeloupe constituent un problème majeur de protection des cultures.

La thématique générale engagée par l'INRA de Guadeloupe concerne le contrôle biologique des insectes ravageurs tropicaux à l'aide des nématodes entomopathogènes. Sur la base des résultats accumulés par l'INRA (URPV dirigée par Alain KERMARREC) depuis quelques années, un programme d'aide au transfert financé par l'ANVAR régionale a été mis en place pour lutter contre le charançon de la banane.

Ce programme vise à l'optimisation du complexe nématode-bactérie en vue d'une utilisation pratique, c'est à dire la mise au point d'un insecticide biologique, efficace et respectueux de l'environnement.

Le présent travail est réalisé, avec la coordination de la Direction des Relations Industrielles et de la Valorisation (L. Bordais) , par le Laboratoire des Nématodes Entomopathogènes de l'INRA Antilles Guyane (H. Mauleon, S. Panoma, Ph. Constant, L. Marchay, D. Fraipont) en collaboration avec le Laboratoire de Biologie des Invertébrés d'Antibes (C. Laumond, E. Bonifassi, A. Desplanches) et le Laboratoire de Pathologie Comparée de Montpellier (N. Boemare, M. Fischer -Le Saux).

Table des Matières

Résumé

Introduction

PREMIERE PARTIE : Rappels Bibliographiques

I. Les types de sols en Guadeloupe	1
I.1. Les vertisols (sols vertiques).....	1
I.2. Les oxysols (sols ferrallitiques).....	1
II. Le Charançon de la banane : <i>Cosmopolites sordidus</i> Germar	2
II.1. Origines.....	2
II.2. Biologie.....	2
II.3. Moyens de lutte.....	2
II.3.1. Le piégeage.....	2
II.3.2. La lutte chimique.....	5
II.3.3. La lutte génétique par utilisation de variétés résistantes.....	5
II.3.4. La lutte biologique.....	5
III. Les nématodes entomopathogènes : Steinernematidae et Heterorhabditidae	7
III.1. Systématique.....	9
III.2. Cycles.....	9
III.3. Modalités générales du parasitisme.....	10

DEUXIEME PARTIE : Expérimentations en laboratoire

I. Origine du matériel utilisé	11
I.1. Les Nématodes.....	11
I.2. Les Charançons.....	11
II. Sensibilité de <i>C. sordidus</i> aux nématodes Steinernematidae et Heterorhabditidae	12
III. Etude de la survie des L3 dans le rhizome	14
IV. Action des nématodes entomopathogènes sur les principaux arthropodes de bananeraies	15
V. Compatibilité avec les pesticides utilisés en bananeraie	18
V.1. Survie à différents temps d'exposition aux insecticides.....	19
V.2. Pouvoir pathogène des nématodes ayant été préalablement en contact avec les insecticides.....	23

VI. Synergie insecticides/nématodes	24
VI.1. Sélection de l'insecticide synergique.....	24
VI.2. Synergie entre le pyrimiphos-éthyl et différentes espèces de nématodes.....	26
VII. Migration des nématodes dans le sol	28
VIII. Survie des nématodes dans les sols	30
IX. Effet des cations Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ et K⁺	33
X. Effet de la structure du sol et des facteurs climatiques	36
XI. Les facteurs biotiques.....	38
XII. Evaluation de la pathogénicité des souches (TL₅₀).....	41

TROISIEME PARTIE : Expérimentations préliminaires aux essais terrain

I. Evaluation de la taille minimale d'échantillonnage	43
II. Infestation supplémentaire des parcelles	44
III. Matériel de traitement	47

QUATRIEME PARTIE : Essais terrain

I. Protocole des essais 1 et 2.....	50
II. Essai 1 : Saint Sauveur	51
III. Essai 2 : Neuf Château	53
IV. Essai 3 ☐ La Glacière-Vernou :	55
V. Conclusion.....	70

Bibliographie

Annexes

Résumé

Le présent rapport a pour objet d'établir la situation à l'achèvement de la première phase de la convention d'aide à l'Innovation n° A 95 03 007 Y AT établie entre l'ANVAR Guyane-Martinique-Guadeloupe et l'INRA. Il s'agit d'un programme de transfert de technologie ayant pour objet le «*Pré-développement d'une méthode de lutte biologique contre le charançon de la banane*» selon deux phases□

- Mise au point de la méthode de lutte au moyen de nématodes par des essais de validation sur le terrain,
- Réalisation d'un pilote de production de ces nématodes.

Les conditions exigées pour accomplir la 1^{ère} phase étaient les suivantes□

- Sélection d'une souche de nématode utilisée dans chaque essai,
- Sélection de la méthode d'infestation valable pour les 3 essais,
- Sélection du traitement et analyse de l'efficacité.

Les travaux qui ont été menés afin de remplir ces trois tâches remplissent largement la mission qui avait été confiée à l'INRA. Des souches de nématodes testées pour leur haute pathogénicité vis-à-vis du charançon de la banane ont été reconnues, puis choisies pour leur compatibilité avec les exigences de l'environnement de la culture de la banane. La technique d'épandage a été mise au point et les traitements ont été effectués.

Au cours de cette 1^{ère} phase, il a été montré que les nématodes entomopathogènes peuvent réduire les populations de *Cosmopolites sordidus* adultes en plein champ malgré des accidents climatiques (cyclone Luis, sécheresse de 1997). Les efficacités enregistrées lors des deux 1^{er} essais ne sont pas imputables aux mêmes souches et mettent en évidence la nécessité d'expérimentations complémentaires. Le recul nécessaire pour pouvoir tirer des conclusions à moyen terme va au-delà de la clause des 2 années exigées par la dite convention. On verra au cours de cet exposé, les avancées agronomiques qui ont été acquises et qui permettent d'envisager la poursuite du programme en phase 2.

Cette phase 2 concernera une optimisation de la production dans des conditions économiquement viables : élaboration d'un pilote de production sur *Galleria* (insectes produits industriellement), amélioration du milieu nutritif adapté aux nématodes et aux insectes, cryopréservation et conditionnement des envois pour la commercialisation.

La perspective d'une telle méthode pourrait être développée sur d'autres cibles intéressant la demande socio-économique régionale : pyrales des Cucurbitaceae, charançons des agrumes, termites.

Introduction

Le bananier est une plante herbacée, pérenne, monocotylédone, appartenant à la famille des *Musaceae*. Il se multiplie de manière végétative. Les différents cultivars trouvent leur origine dans deux espèces sauvages, *Musa acuminata* et *M. balbisiana* du Sud-Est asiatique. Les hybrides triploïdes obtenus à partir de *M. acuminata*, produisant des fruits parthénocarpiques, forment les cultivars utilisés dans l'industrie bananière. Les variétés avec un fort taux de sucre sont mangées en dessert, alors que les variétés riches en amidon sont utilisées pour la cuisine ou pour la fabrication de la bière. Même si le bananier est maintenant cultivé dans la plupart des régions tropicales et subtropicales, c'est avant tout une culture tropicale, préférant les sols fertiles et bien drainés. Il ne tolère pas le gel et est très sensible aux vents.

La tige, bulbe ou rhizome est souterraine et produit de nombreux yeux qui évolueront en rejet. C'est du bulbe que s'initient toutes les racines, souvent très superficielles et avec une très faible capacité de pénétration. La partie aérienne de la plante n'est pas une tige mais un pseudotrunc constitué des gaines foliaires fortement imbriquées. Les feuilles fanent après quelques mois, alors que de nouvelles apparaissent au sommet du pseudotrunc et se déroulent ensuite. Après avoir produit une trentaine de feuilles fonctionnelles l'inflorescence apparaît au centre du bouquet foliaire. Dès sa sortie hors du pseudotrunc l'inflorescence se recourbe rapidement vers le sol. Le long de celle-ci, en disposition hélicoïdale, se trouvent des spathes violettes, couvrant un groupe de fleurs ou main. Les premières fleurs à se différencier, sont des fleurs femelles dont l'ovaire se transformera en banane. Le nombre de ces mains est fonction des variétés et des conditions environnementales. Durant le développement de l'inflorescence il est extrêmement important de contrôler les attaques des ravageurs, car le développement racinaire et foliaire est stoppé. La récolte marque la dernière étape du cycle du bananier, le pseudotrunc est sectionné et le cycle continue sur les rejets déjà initiés.

Le bananier est une culture économiquement très importante dans toute la zone intertropicale, la banane étant un aliment de base dans de nombreux pays.

Deux types de production coexistent; l'une destinée à l'exportation (culture intensive en grandes plantations), et l'autre destinée aux marchés intérieurs ou à l'autoconsommation (petites parcelles, menées parfois en association avec d'autres cultures).

Quelles que soient les zones et les modes de production, les différentes variétés de bananiers cultivées subissent de fortes pressions de maladies et de ravageurs. Parmi ces derniers, le charançon *Cosmopolites sordidus* peut être considéré comme majeur car on le rencontre dans toutes les zones de production. En l'absence de traitements phytosanitaires, la productivité chute fortement en raison de perturbations physiologiques et d'une verse importante. Si les systèmes de cultures intensives peuvent bénéficier de traitements insecticides efficaces, il n'en est pas de même pour les petites parcelles qui concernent plus de 85 % de la production mondiale.

Aux Antilles, le coût des traitements insecticides contre ce ravageur est estimé à plus de 23 millions de francs par an pour la Guadeloupe et la Martinique. L'impact environnemental est également très lourd : plus de 72 tonnes de matière active insecticide sont épandues annuellement sur les deux départements. Le lessivage de cette matière active pose des problèmes évidents de pollution des rivières et de la zone littorale.

La culture de la banane, tout comme celle de la canne à sucre, revet une importance considérable en Guadeloupe. Ces deux cultures représentaient à elles seules 69% de la surface agricole utile en 1994. La banane avec ces 5706 ha cultivés, représente la première production agricole guadeloupéenne avec 30% de la valeur de la production agricole et 40% du montant des exportations. En 1996, 65 426 tonnes de bananes ont été exportées.

Ces aspects économiques et environnementaux incitent donc fortement à rechercher des solutions alternatives visant à limiter l'emploi des insecticides.

PREMIERE PARTIE

Rappels Bibliographiques



I. Les types de sols en Guadeloupe

En Guadeloupe, la culture bananière représente un peu moins de 6000 ha plantés. La majorité des plantations se trouvent au Sud de la Basse-Terre (andosols et sols à halloysite). Toutefois, cette culture se développe également depuis quelques années au Nord de la Basse-Terre (oxysol) et plus récemment a gagné la Grande-Terre (vertisol) (cf. Cartes 1 & 2).

Les caractéristiques de ces différents types de sols sont présentées dans le tableau 1.

Tab. 1. Caractéristiques des sols de Guadeloupe.

	Oxysol	Halloysite	Andosol	Vertisol
pH eau	5,7	5,7	5,3	7,9
pH KCl	4,9	5,1	5	6,9
Azote total en %	1,8	1,7	6,3	2,4
Carbone en %	18	15,3	36,9	30,8
C/N	10,0	9,0	5,9	12,8
Bases échangeables (m.éq./100g)				
Ca ²⁺	6,4	6,1	5,1	54,7
Mg ²⁺	2,2	0,6	1,8	5
Na ⁺	0,1	0,1	0,2	0,3
K ⁺	1,2	0,1	1,2	1

L'étude de la survie des nématodes entomopathogènes sera comparée sur les sols dont les caractéristiques sont les plus marquées : les vertisols et les oxysols.

I.1. Les vertisols (sols vertiques)

A l'origine, ce sont les mornes dont les sols pierreux (et squelettiques) se sont modifiés pour donner naissance aux vertisols.

La montmorillonite, présente en proportion dominante, confère à ces sols leur compacité, leur adhérence, le "toucher gras" et leur capacité de gonflement et de rétraction. Elle est la cause de larges fissures visibles en période de sécheresse. Les vertisols sont susceptibles d'emmagasiner de grandes quantités d'eau qui s'infiltrent dans les fissures. Ce passage de l'eau cesse totalement dès que le gonflement est achevé, obstruant toutes les cavités.

L'abondance de Ca²⁺ dans le complexe d'échange (90 %) contribue au maintien de la friabilité et de la bonne structure de l'horizon humifère superficiel, finement grumeleux.

Ces argiles se trouvent surtout en Grande-Terre.

I.2. Les oxysols (sols ferrallitiques)

Ce sont des sols profonds, fortement argilisés sur une grande épaisseur. La plupart des minéraux primaires altérables ont disparu. La fraction argileuse, 60 à 80% du sol, est constituée d'argiles kaolinitiques avec une importante proportion d'hydroxyde de fer. Ce type d'argile confère à ces sols une

certaine friabilité et perméabilité, surtout dans les niveaux profonds qui s'émiettent en petites particules argileuses. Les niveaux superficiels sont faciles à travailler. La réserve en eau utile (R.U.) est peu importante et la dessiccation en période sèche est rapide. L'état de saturation des bases échangeables, essentiellement le calcium, est lié à la pluviométrie. Lorsque cette dernière augmente, la teneur en calcium diminue

II. Le Charançon de la banane : *Cosmopolites sordidus* Germar

II.1. Origines

Le charançon *Cosmopolites sordidus* est originaire du Sud-Est asiatique, probablement de Malaisie et d'Indonésie, Java et Bornéo (Treverrow, 1985) où sont présents ses ennemis naturels : *Plaesius javanus* Erichson (Coleoptera : Histeridae), *Chrysopila ferruginosa* Wied (Leptidae), *Dactylosternum hydrophiloïdes* Macleay (Coleoptera : Hydrophilidae) et autres Histeridae et Staphylinidae (Coleoptera) prédateurs. Cette aire d'origine est similaire à celle du bananier.

Il a ensuite progressivement envahi les plantations des différentes contrées tropicales. Sa dispersion à travers le monde aurait eu lieu principalement entre 1836 et 1906, période des plus grands transports de souches de bananiers à partir des Indes néerlandaises, de Malaisie et d'Indochine, en direction des pays vers lesquels l'industrie bananière s'implantait petit à petit, notamment l'Afrique et l'Amérique tropicale (Cuillé & Vilardebo, 1963).

Sa présence est rapportée dans les zones tropicales et sub-tropicales (de 31° Sud à 30° Nord) que ce soit en Amérique, en Afrique, en Australie, en Asie ou en Océanie (Cuillé, 1950; Treverrow, 1985). Knowles & Jepson (Cuillé, 1950) l'ont notée dès 1912 dans les îles du Pacifique et Hustache dès 1929 dans les Antilles françaises.

II.2. Biologie

Les adultes qui mesurent de 9 à 16 mm de long vivent essentiellement dans les bananeraies, au niveau du sol et de détritux végétaux. Leur durée de vie a été estimée à 1 à 2 ans par Froggatt (1925) et de 12 à 18 mois par Vilardebo (1973) (Fig. 1).

Les femelles pondent leurs œufs au niveau du collet du bananier. L'œuf, blanc nacré, est de forme ovale allongée, d'environ 2 mm de long. Sa durée moyenne d'incubation a été estimée à 6,9 jours par Viswanath (1977). La fréquence mensuelle de ponte par femelle est de cinq à huit œufs.

Les larves qui ont une durée de développement d'environ 2 mois causent des dégâts, par les galeries qu'elles creusent dans le bulbe pour se nourrir. Ces galeries provoquent des perturbations physiologiques et fragilisent la plante vis-à-vis du vent.

La nymphose, qui dure de 4 à 22 jours, s'effectue généralement à la périphérie de la souche. La nymphe est blanche et mesure environ 12 mm de long (Treverrow, 1985).

II.3. Moyens de lutte

II.3.1. Le piégeage

Ce fût le premier procédé de lutte utilisé pour réduire les infestations. Deux types de pièges sont testés à partir de pseudo-tronc de bananier : les pièges longitudinaux de forme demi-cylindrique, la face coupée étant placée contre le sol (Fig. 2), et les pièges transversaux constitués d'une rondelle de pseudo-tronc posée sur la base préalablement coupée à quelques centimètres du sol d'un pseudo-tronc sur pied (Ogenga-Latigo & Bakyalire, 1991). Après quelques heures et pendant plusieurs jours, les charançons viennent se réfugier sous la partie coupée du piège et sont collectés manuellement.

Un test de laboratoire destiné à quantifier l'efficacité de composés chimiques ou de mélanges de composés pour l'attraction des adultes a été mis au point (Lemaire, 1996) et permet d'envisager l'utilisation des phéromones produites par les mâles ainsi que des substances émises par le bananier pour réaliser des pièges plus efficaces.

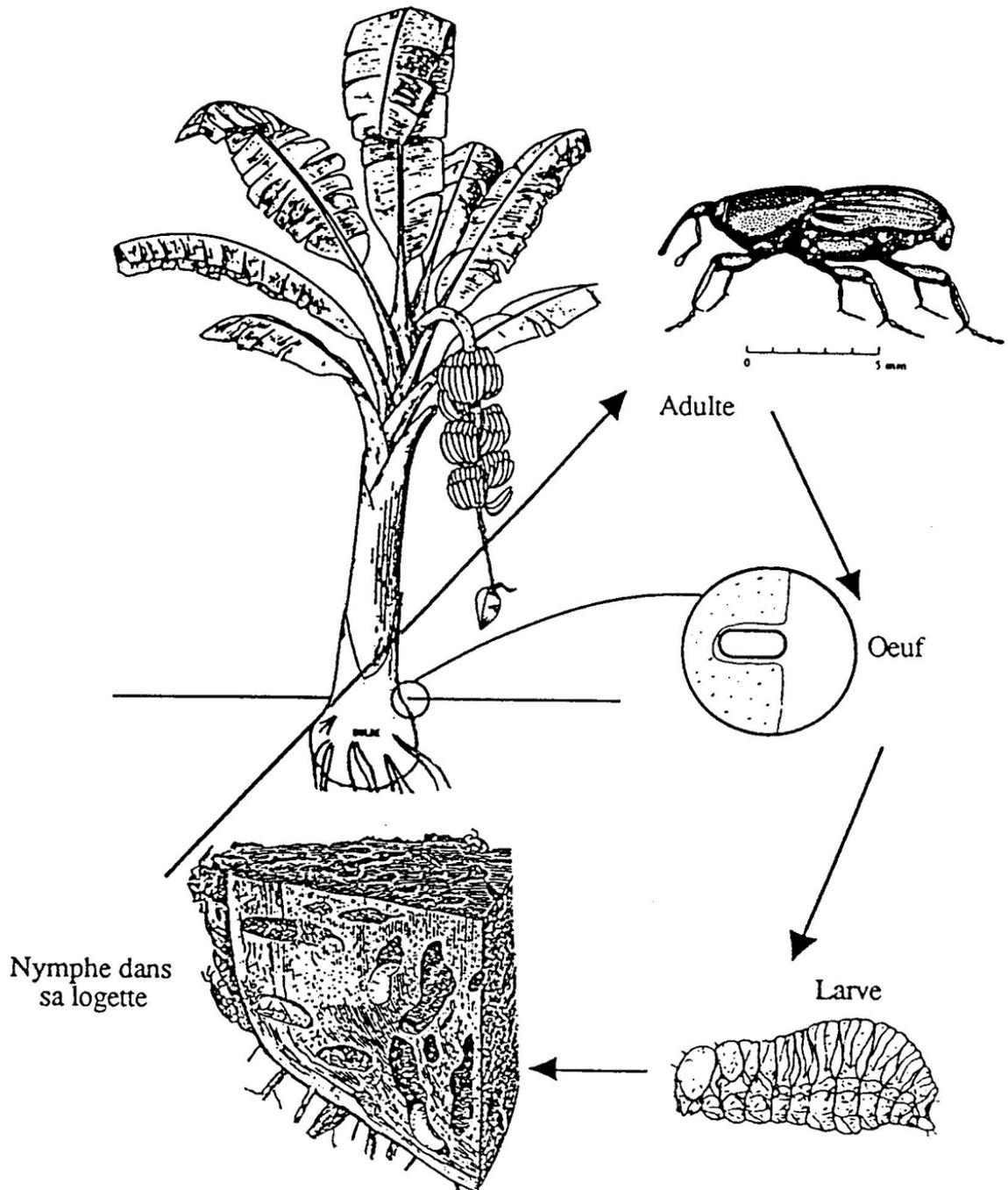


Fig. 1. Cycle biologique du charançon *Cosmopolites sordidus*.



Fig. 2. Apperçu d'une parcelle dans laquelle les charançons sont piégés à l'aide de pseudo-troncs déposés à terre.

II.3.2. La lutte chimique

La lutte chimique devint intensive dès 1951 avec l'apparition d'un insecticide de contact, l'HCH (hexachlorocyclohexane). En 1970, un nouvel insecticide, à longue rémanence, de la famille des organochlorés fut utilisé : le chlordecone (commercialisé sous le nom de Kepone puis de Curlone, en 1982). A cette même époque, certains insecticides organophosphorés (prothiophos, isophenphos...) furent aussi homologués (Simon, 1994). En 1987, le premier pesticide systémique à action également nématicide apparût dans les Antilles françaises : l'aldicarbe (nom commercial Temik, de la famille des carbamates) (Simon, 1994).

En Guadeloupe, six produits sont actuellement homologués et distribués. Mais deux problèmes se posent :

- de nombreux cas de résistance aux différents insecticides ont été constatés (Edge, 1974; Shanahan & Goodyer, 1974; Edge *et al.*, 1975; Mello *et al.*, 1979; Swaine & Corcoran, 1973; Swaine *et al.*, 1980; Sampaio *et al.*, 1982).
- des risques environnementaux majeurs ont été mis en évidence de par la rémanence des produits et le fort taux de lessivage des matières actives dans les zones à fortes précipitations. Ils ont entraîné dans de nombreux pays la proscription de ces insecticides ou des restrictions à leur application

Toutes ces raisons et le coût élevé des traitements chimiques expliquent la recherche de nouvelles matières efficaces, naturelles et non polluantes, destinées à la réalisation d'une stratégie de lutte alternative ou intégrée.

II.3.3. La lutte génétique par utilisation de variétés résistantes

Les différents cultivars de bananiers présentent une grande variabilité quant à leur sensibilité aux charançons. Des sources de résistance ont été trouvées (Pavis & Minost, 1993) et les principaux mécanismes étudiés. Les variétés à bulbe dur sont le plus souvent résistantes.

II.3.4. La lutte biologique

Un récapitulatif des ennemis naturels de *C. sordidus* permettant un contrôle des populations du ravageur dans les Caraïbes a été réalisé par Sirjusingh *et al.* (1992). Cette liste inclut des prédateurs, des parasites, des parasitoïdes et divers pathogènes dont, pour la plupart, l'impact sur les populations de *Cosmopolites* n'a pas encore été évalué. Leur efficacité en tant qu'agents de lutte biologique reste donc à démontrer.

- les parasitoïdes

Il semble intéressant de souligner l'absence d'information sur l'existence de parasitoïdes oophages de *C. sordidus*. Leur présence n'est pas impossible; en effet Hawkins (1990) indique qu'en milieu tropical on trouve très fréquemment des parasitoïdes dans les stades pré-imaginaux d'insecte qui évoluent cachés dans les tissus végétaux. On sait toutefois que les oeufs de Curculionidae peuvent être parasités par des micro-hyménoptères de la famille des Mymaridae (Huber, 1986; Schauff, 1987), des Eulophidae (Boivin, 1991; Schauff, 1987), des Trichogrammatidae et des Platygastriidae (Schauff, 1987).

Des tentatives d'infestation d'oeufs de *C. sordidus* ont été réalisées avec succès en laboratoire avec des femelles d'*Anaphes* n.sp. provenant du N.E. de l'Amérique du Nord dont l'hôte naturel est le charançon de la carotte *Listronotus oregonensis* Le Conte (Boivin, 1991). Avant d'introduire ce parasitoïde dans les régions où *C. sordidus* est présent, il faudra vérifier que les femelles puissent efficacement localiser et parasiter les oeufs sur les plants de bananier. Toutefois, il est peu probable qu'un tel parasitoïde puisse contrôler à lui seul les populations de *C. sordidus* (Boivin, 1991). Il pourrait être cependant introduit dans un programme de lutte intégrée.

- les prédateurs

Les nombreux échecs dans le domaine des introductions d'insectes prédateurs des larves (Roche & Abreu, 1983; Neuenschwander, 1988; Allard *et al.*, 1991) peuvent s'expliquer d'une part en raison du régime généraliste des prédateurs insuffisamment étudiés avant leur introduction, d'une difficulté d'acclimatation aux nouvelles contrées (Sirjusingh *et al.*, 1992), d'une compétition avec d'autres espèces autochtones, et d'autre part en raison d'une connaissance insuffisante de la biologie du ravageur lui-même (Traoré *et al.*, 1991).

Dans l'ouest du Kenya, Koppenhöfer (1991) établit une liste des prédateurs potentiels de *Cosmopolites*, tous polyphages, après divers essais au laboratoire. La prédation concerne essentiellement les oeufs et les larves de *C. sordidus*. Le Coléoptère Hydrophilidae *Dactylosternum abdominale* Fabricius élimine 40 à 50 % des oeufs de *C. sordidus*, ce qui n'est pas négligeable si l'on considère la faible fécondité de ce ravageur.

A Cuba, les fourmis prédatrices *Pheidole megacephala* (Fabricius) et *Tetramorium guineense* (Mayr) se révèlent efficaces selon Castiñeiras *et al.* (1991) et Roche & Abreu (1983). Cette dernière espèce, en particulier, est responsable de 67 % de la mortalité larvaire dans les zones très infestées et de 83 % de la mortalité larvaire dans les zones peu infestées.

En Guadeloupe, les espèces généralistes *Azteca* spp., *Solenopsis geminata* (Fabricius), *Wasmannia auropunctata* (Roger) et *Pheidole fallax* pourraient déjà contribuer partiellement au contrôle naturel de *C. sordidus* (Sirjusingh *et al.*, 1992) si les bananeraies n'étaient pas traitées chimiquement.

Les essais de lutte biologique tentés à la Jamaïque et aux îles Fidji à l'aide d'un vertébré, le crapaud *Bufo marinus* L. peuvent être mentionnés à titre indicatif. Cette espèce, très vorace d'insectes, consommerait un grand nombre de charançons selon Cuillé (1950).

- les champignons

En 1978, les essais de lutte biologique en conditions de laboratoire (Delattre & Jean-Bart) ont été prometteurs contre les adultes et les larves de *Cosmopolites* avec les champignons entomopathogènes *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin et *Metarrhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin. Par contre, l'effet de traitements dans des conditions d'expérimentation plus proches de la pratique (élevage des insectes sur terre infectée, essais en cuves ou en bananeraies avec des spores appliquées par aspersion au pied des bananiers) s'est révélé faible ou nul. Il se produirait, entre autre, des phénomènes d'inhibition de la mycose dûs à certains facteurs du milieu (Delattre & Jean-Bart, 1978). Il serait nécessaire de déterminer la localisation précise des insectes et de traiter les débris végétaux qui sont les plus attractifs pour les adultes (Delattre & Jean-Bart, 1978).

Des essais réalisés par notre laboratoire et consistant à enfouir des spores de *Beauveria bassiana* (N°32) dans le sol sous forme de poudre ou à l'aide de grains de riz mycosés ne se sont pas révélés efficaces.

- les nématodes

Selon Sirjusingh (1990) et Peña *et al.* (1991) les nématodes entomoparasites des familles des Heterorhabditidae (*Heterorhabditis bacteriophora* Poinar et *H. heliothidis* Khan, Brooks & Hirschmann) et des Steinernematidae (*Steinernema carpocapsae* (Weiser), *S. feltiae* (Filipjev), *S. glaseri* (Steiner) et *S. bibionis* Bovien) sont très efficaces contre les stades larvaires mais moins efficaces contre les adultes qui seraient pourtant la cible privilégiée lors d'infestations sur le terrain. Treverrow & Bedding (1990) ont réussi à réduire de 70 % les populations larvaires en appliquant *S. carpocapsae* dans des encoches pratiquées dans le rhizome. Actuellement, les résultats les plus intéressants contre les adultes et les larves ont été obtenus avec *Heterorhabditis* sp. et *S. carpocapsae* (Peña & Duncan, 1991).

III. Les nématodes entomopathogènes : Steinernematidae et Heterorhabditidae

Depuis une décennie, les nématodes entomoparasites des genres *Steinernema* et *Heterorhabditis* ont fait l'objet de nombreuses études ayant pour objectif final le contrôle des populations d'insectes édaphiques ravageurs des cultures. A l'heure actuelle, quelques entreprises commencent à commercialiser ces nématodes : on peut citer Ecogen aux USA, Koppert, Andermatt et Biobest en Europe. Les traitements ont surtout concerné les cultures maraîchères et ornementales, les pépinières, les vergers et golfs, cultures où la forte valeur ajoutée du produit ou du service compense le prix des traitements. Les cibles visées à ce jour sont des Coléoptères du sol : Scarabaeides et Curculionides.

Dans les années à venir, l'utilisation des nématodes entomoparasites devrait augmenter en raison, d'une part, des nouvelles législations concernant l'emploi des pesticides et, d'autre part, des risques liés à l'utilisation de produits chimiques : coût élevé, déséquilibres faunistiques par appauvrissement de populations d'auxiliaires, induction de populations de ravageurs résistants, accumulation de résidus dans les sols et dans les organismes au travers des chaînes trophiques. Cette lutte chimique s'avère par ailleurs souvent peu efficace contre les insectes vivants dans le sol.

Dans l'arc Caraïbe et en Amérique Latine, le potentiel commercial d'utilisation de ces nématodes n'est pas négligeable (Georgis & Hom, 1992), et leur application pourrait éviter de graves déséquilibres écologiques. En effet, plus de 72 tonnes de matière active insecticide sont épandues annuellement sur les deux départements de Guadeloupe et de Martinique. Le lessivage de cette matière active pose des problèmes évidents de pollution des rivières et de la zone littorale. De plus le coût des traitements insecticides contre les attaques du charançon noir *Cosmopolites sordidus* est estimé à plus de 23 millions de francs par an pour les deux îles.

Deux familles présentent un réel intérêt en lutte biologique : les Heterorhabditidae et les Steinernematidae. Ces nématodes, inoffensifs pour les animaux à sang chaud, les plantes et l'homme, sont parasites d'arthropodes et plus spécialement d'insectes. Ils ont un spectre d'hôtes relativement large, un cycle court, et sont plus prolifiques. Ils peuvent être élevés sur milieu artificiel et être utilisés en appât, en aspersion ou en micro-irrigation.

Les larves infestantes vivent dans le sol et ont la particularité de posséder une double cuticule qui les protège des agressions extérieures (Fig. 3). Elles ne se nourrissent pas, vivent sur leurs réserves et sont attirées par le CO₂ dégagé par les insectes. Ces deux familles possèdent une bactérie symbiotique (*Xenorhabdus* pour les *Steinernema* et *Photorhabdus* pour les *Heterorhabditis*) (Fig. 4).



Fig. 3. Larve infestante avec sa double cuticule.



Fig. 4. *Steinernema* avec sa vésicule bactérienne.

III.1. Systématique

Phylum : Nematoda Chitwood, 1950
Classe : Secernentea Von Linstom, 1905
Ordre : Rhabditida (Oerly, 1880) Chitwood, 1933
Sous- ordre : Rhabditina (Oerly, 1880) Travassos, 1920
Super- famille : Rhabditoidea (Oerly 1880) Travassos, 1920
Famille : Heterorhabditidae, genre *Heterorhabditis*
Steinernematidae, genre *Steinernema*

A ce jour huit espèces d'*Heterorhabditis* et quinze espèces de *Steinernema* sont décrites (Nguyen et Smart, 1996).

III.2. Cycles

Le mode de reproduction et la durée du cycle varie suivant les genres de nématodes. Le cycle est d'environ 7 jours chez les Steinernematidae (Fig. 5) et 10 à 12 jours chez les Heterorhabditidae (Fig. 6).

Le pouvoir infestant de ces nématodes est dépendant de l'espèce, de la souche et de l'inoculum, mais le nombre de larves infestantes produit par insecte (environ 250 000) reste équivalent.

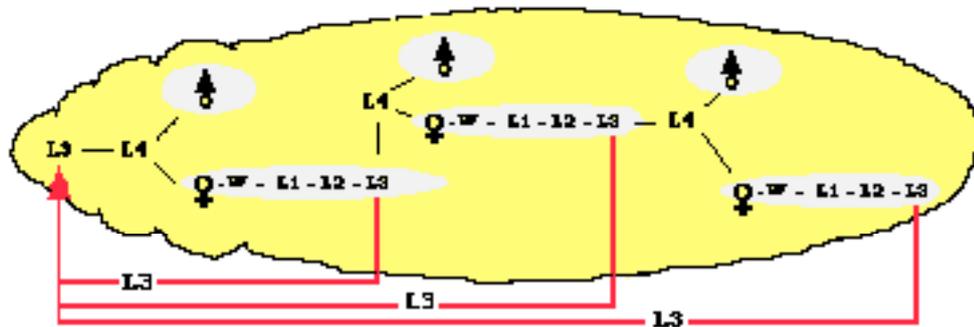


Fig. 5. Cycle biologique de *Steinernema*

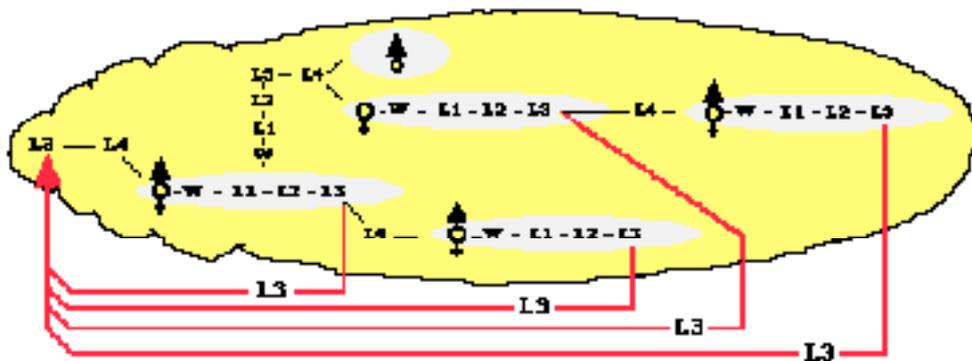


Fig. 6. Cycle biologique d'*Heterorhabditis*.

III.3. Modalités générales du parasitisme

On donne ici un schéma général du parasitisme qui est différent, dans les détails, selon les espèces de nématodes et de bactéries symbiotiques. L'hôte est généralement une larve endogée. Les voies de pénétration empruntées par le nématode sont les orifices naturels de l'insecte tels que la bouche, les ostioles (orifices respiratoires) ou l'anus. Elles sont préférentiellement choisies selon la morphologie de l'hôte et son stade de développement. La larve infestante L3 ayant pénétré dans le tube digestif, perd sa cuticule (issue du stade L2). La sécrétion d'une protéase l'aiderait à traverser la membrane intestinale. Cependant une pénétration mécanique directe par le tégument de l'insecte a été rapportée, principalement dans le cas des *Heterorhabditis*.

Quel que soit le mode de pénétration, par le tégument ou l'intestin, la larve se retrouve dans l'hémocoèle de l'insecte. La larve infestante n'est pas reconnue par l'insecte (sauf chez les Diptères). De ce fait, les hémocytes ne l'encapsulent pas. Cependant en pénétrant dans le milieu intérieur de l'insecte, son tégument est naturellement contaminé. L'insecte reconnaît, au moins pour une part, ces germes étrangers et fabrique des protéines antibactériennes (cécropines, attacines, etc.). Ce mécanisme, plus celui de la phagocytose, permettent en fait à l'hémolymphe de retrouver sa stérilité.

Pendant ce temps le nématode, qui est parvenu au stade L4, sécrète une toxine protéique (70 Kd) et un facteur immunodépresseur neutralisant les cécropines (peptides antibactériens). Ces actions ont pour objet d'abolir les défenses immunitaires de l'insecte. L'intérêt probable du facteur immuno-dépresseur est de protéger la libération prochaine des bactéries symbiotiques qui pourraient être sensibles aux protéines immunes.

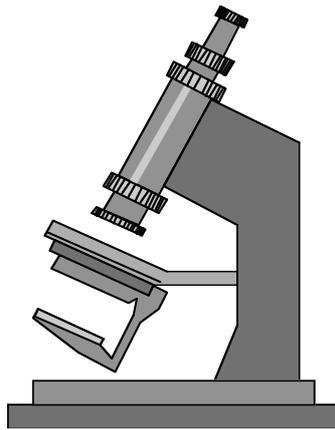
Le nématode agit alors comme une seringue vivante : il inocule ses bactéries symbiotiques dans le milieu intérieur de l'insecte. Ces dernières vont commencer à se multiplier et vont sécréter des facteurs qui inhibent aussi le système de reconnaissance (système phénoloxydase) de l'insecte qui déclenche normalement la phagocytose. D'autre part l'existence d'une toxine sécrétée par les symbiotes est pressentie et serait à l'origine d'une toxémie engendrant la mort chez certains insectes. Qu'il y ait une toxémie bactérienne préalable, ou pas, la mort de l'insecte survient en 48 heures, concomitante d'une septicémie à *Xenorhabdus* ou *Photorhabdus*. Cette septicémie a pour effet de transformer le milieu intérieur de l'insecte en milieu nutritif favorable au développement du nématode, et de sécréter des antibiotiques à large spectre qui ont pour but de prévenir l'envahissement des micro-organismes étrangers, notamment ceux originaires de l'intestin de l'insecte mort. Les *Photorhabdus* et les *Xenorhabdus* sécrètent aussi des antibiotiques à spectre beaucoup plus étroit, les bactériocines, destinés à éliminer les genres bactériens proches non encore atteints comme les éventuelles autres espèces de *Photorhabdus* ou *Xenorhabdus* hétérologues (probablement dans le but de préserver l'association monoxénique en place).

Les conditions sont alors réunies pour que le développement des nématodes s'organise dans la dépouille de l'insecte. Les adultes hermaphrodites (*Heterorhabditis*) ou sexués (*Steinernema*) se reproduisent. Plusieurs générations vont se multiplier aux dépens de la biomasse bactérienne et des tissus de l'insecte bioconvertis par le métabolisme bactérien. Les larves infestantes quittent le cadavre de l'insecte en récupérant des symbiotes dans leur intestin assurant ainsi la transmission verticale de l'association bactério-helminthique. La larve infestante ou L3 garde la cuticule de la L2. Cette cuticule supplémentaire la protège des agressions extérieures. A ce stade, la larve ne se nourrit pas (elle vit sur ses réserves) et n'a aucun échange avec le milieu extérieur. Ce sont ces larves infestantes que l'on piège avec des insectes dans le sol. Elles sont mobiles ou à l'affût, à la recherche d'une proie, en vue d'engager un nouveau cycle parasitaire dans une larve ou un adulte d'un insecte présent dans le sol.

Les *Steinernema* sont plutôt des nématodes de pays froids ou tempérés, alors que les *Heterorhabditis* sont en majorité isolés dans les pays chauds.

DEUXIEME PARTIE

Expérimentations en Laboratoire



I. Origine du matériel utilisé

I.1. Les Nématodes

Les nématodes entomopathogènes Heterorhabditidae et Steinernematidae utilisés dans cette étude ont été, soit isolés avec des pièges à insecte dans différents pays de la Caraïbe (Carte 3), soit fournis par le Laboratoire de Biologie des Invertébrés (INRA, Antibes). Ils sont conservés dans du liquide physiologique à 10 et 19°C, selon les souches, et sont multipliés sur l'insecte *Galleria mellonella*. La mort de l'insecte survient au bout de 24-48 heures. Le parasite entre en phase de multiplication dans le cadavre de la chenille. Sept à douze jours après l'infestation, les cadavres sont placés sur un dispositif de récolte. Les larves infestantes sont récupérées chaque jour, tamisées, et stockées à l'obscurité dans du liquide physiologique à 24°C.

I.2. Les Charançons

Les charançons (adultes et larves) sont capturés dans la nature. Les adultes (Fig. 7) sont piégés à l'aide de pseudo-tronc tandis que les larves sont récupérées par décorticage du rhizome. Avant expérimentation ils sont conservés sur des pseudo-troncs dans des boîtes en plastique à 25°C.



Fig. 7. *Cosmopolites sordidus* adulte sur un morceau de pseudo-tronc.

II. Sensibilité de *C. sordidus* aux nématodes de la famille des Steinernematidae et des Heterorhabditidae

La 1^{ère} question posée, bien évidemment, est de savoir si les charançons de la banane sont sensibles aux nématodes entomophages. Dans un 1^{er} temps nous nous sommes limité à 5 espèces différentes de nématode que nous avons mis en présence des *C. sordidus* récoltés dans la nature.

Matériel et Méthodes

Cinq espèces de nématodes sont utilisés dans cette expérimentation : *H. bacteriophora*, *H. indicus*, *S. carpocapsae*, *S. glaseri* et *S. feltiae*.

Action sur les adultes de *C. sordidus*. Dans chaque essai, les insectes sont placés par 10 dans des boîtes de Petri (diamètre 90 mm). Les nématodes (40 000/ml) sont apportés dans une solution de Ringer et déposés sur une rondelle de papier filtre recouvrant le fond de la boîte. Les dispositifs expérimentaux (3 répétitions par essai) sont placés à l'obscurité dans une enceinte à 28°C. Les mortalités sont évaluées chaque jour.

Action sur les larves de *C. sordidus*. Les essais sont réalisés dans des boîtes en plastique (2 x 2 x 1 cm). Chaque boîte reçoit une larve de *C. sordidus* de 4^{ème} ou 5^{ème} stade. Les nématodes (100 larves infestantes/100 µl) sont déposés sur un papier filtre recouvrant le fond de la boîte. Dix répétitions sont effectuées par souche. Les boîtes sont ensuite placées en incubateur à 28°C. La mortalité est relevée journalièrement. Les larves sont disséquées 3 jours après la mort pour vérification du parasitisme.

Résultats

Le charançon de la banane est sensible aux nématodes entomopathogènes de la famille des Heterorhabditidae et des Steinernematidae.

La mortalité est beaucoup plus rapide sur larves que sur adultes (24 heures contre 10 à 12 jours). L'efficacité est fonction du stade des charançons, du genre, de l'espèce et de la souche utilisée de nématodes (Fig. 8).

Des expériences complémentaires ont montré que :

- les nématodes pénètrent dans les larves de charançons par voie buccale, anale ou par les ostioles.
- chez les adultes la pénétration des nématodes se fait principalement par voie buccale. Les larves infestantes pénètrent par le rostre, passent dans le jabot et l'intestin. Ce n'est qu'à ce niveau que la pénétration dans l'hémocoèle a lieu, et ce n'est que dans l'hémocoèle que la L3 se transforme en L4.
- dans le cas des Steinernematidae, la production de L3 de première génération est plus importante sur les mâles de *C. sordidus* que sur les femelles.
- d'autres nématodes peuvent pénétrer dans des insectes déjà infestés, mais seulement 4 jours après la mort. Cependant les cadavres de charançons adultes ne permettent plus le développement des larves infestantes, ni même leur survie.
- des insectes préalablement infestés par des micro-organismes (virus, bactéries, champignons) ne permettent pas le développement des nématodes entomopathogènes.

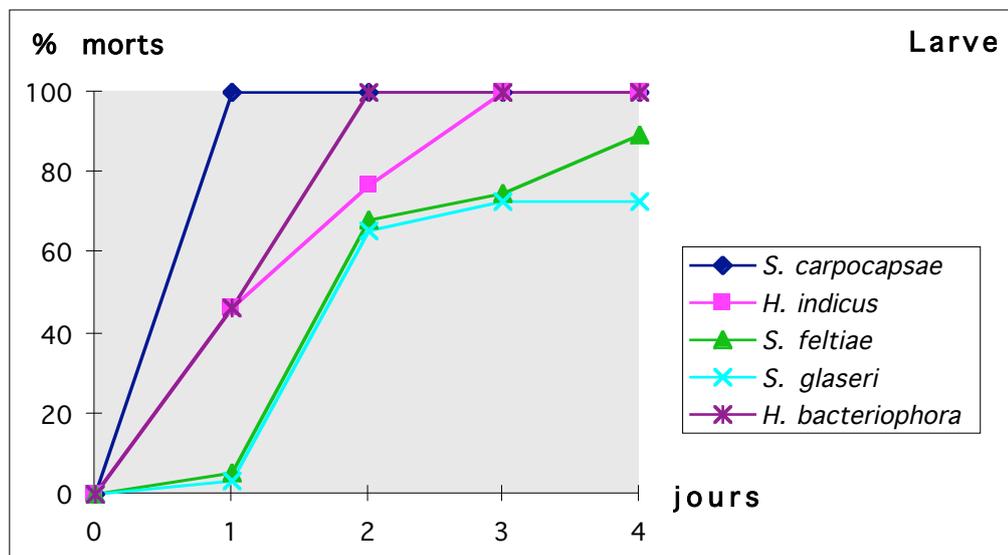
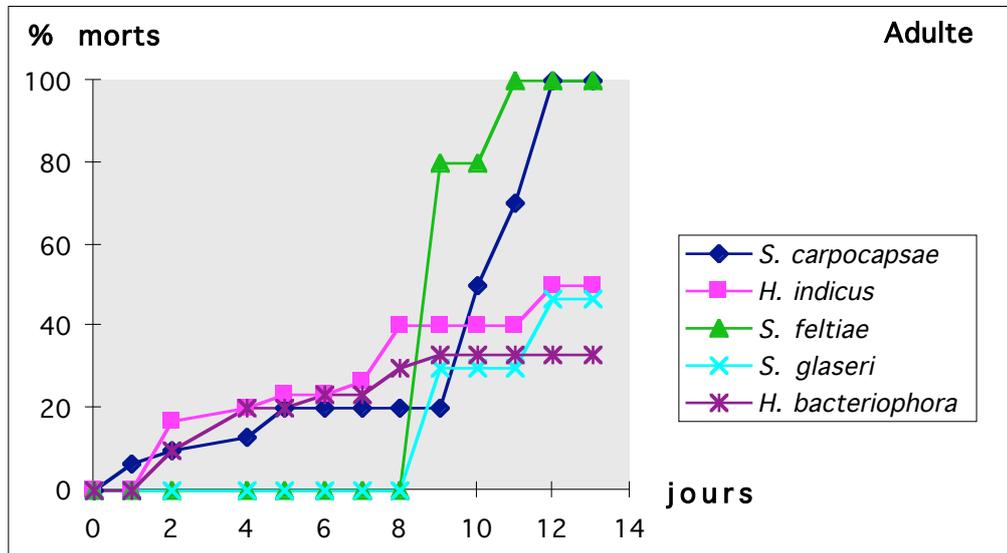


Fig. 8. Efficacité des nématodes entomopathogènes sur les adultes et les larves de *C. sordidus*.

III. Etude de la survie des L3 dans le rhizome

Afin de s'assurer que les nématodes puissent survivre dans les galeries des insectes ravageurs, nous avons testé cette capacité au laboratoire en essayant de nous rapprocher au mieux des conditions du champ.

En effet la survie des nématodes dans les galeries larvaires de *C. sordidus* dépend de plusieurs facteurs (substances chimiques provenant de la décomposition du rhizome et des excréments des larves, présence de prédateurs, etc...).

Matériel et Méthodes

Pour apprécier la survie des nématodes dans les galeries, des morceaux de rhizomes infestés (5cm x 5cm x 2cm) sont inoculés avec 1 ml de solution de Ringer contenant 2000 larves infestantes. Pour chaque espèce testée (*H. bacteriophora*, *H. indicus*, *S. carpocapsae*, *S. glaseri* et *S. feltiae*), 5 répétitions sont mises en place.

Les morceaux de rhizome sont déposés individuellement dans des boîtes en plastique contenant du papier filtre imbibé d'eau et placés en incubateur à 26°C. Quarante huit heures plus tard, les nématodes sont extraits par la méthode de Baermann (Baermann, 1917) et sont comptés.

Résultats

Les 5 espèces testées ne réagissent pas de la même manière. *S. glaseri* et *H. bacteriophora* sont plus tolérantes que *S. feltiae* et *H. indicus*. *S. carpocapsae* se situe entre ces deux catégories (Fig. 9).

Ces résultats montrent que les galeries larvaires de *C. sordidus* ne renferment pas une substance toxique à court terme pour les nématodes. Ils doivent cependant être interprétés avec prudence car la différence existante entre les espèces peut être directement liée à leur mobilité.

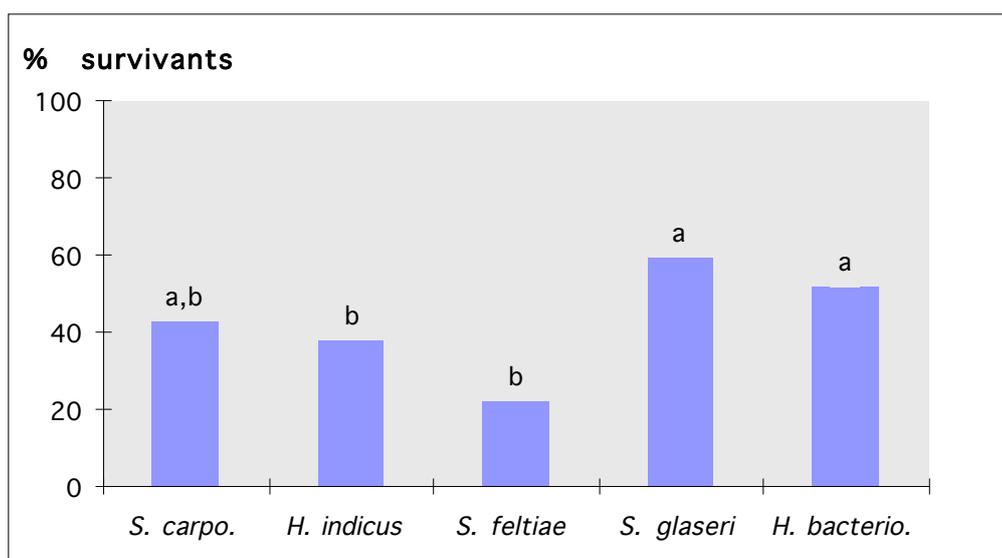


Fig. 9. Survie des larves infestantes dans le rhizome (les histogrammes avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différents; $P < 0,05$; Mann et Whitney test U).

IV. Action des nématodes entomopathogènes sur les principaux arthropodes de bananeraies

Dans une perspective de lutte biologique en bananeraies, il y a lieu de se préoccuper des retentissements que pourraient avoir un traitement avec nématodes sur le reste de l'entomofaune et, en particulier, l'entomofaune utile. La zoocénose de la bananeraie subit depuis de nombreuses années l'emploi systématique de divers pesticides, et le niveau occupé par les arthropodes est pauvre en espèces et en individus. Nous avons toutefois tenté d'évaluer l'impact des nématodes entomopathogènes sur les principaux arthropodes rencontrés.

Matériel et Méthodes

Les essais sont réalisés en boîte de Petri (diamètre 90 mm) dont le fond est recouvert de papier filtre. Les nématodes sont apportés à la dose de 10 000/ml dans une solution de Ringer. La mortalité est contrôlée journalièrement. Les arthropodes morts sont disséqués pour vérification du parasitisme.

Résultats (Tab. 2)

Dans les conditions de laboratoire, la majorité des insectes testés sont sensibles aux nématodes entomopathogènes. On notera cependant la résistance de certains Diptères, quelques Coléoptères, un Formicidae et les Myriapodes. Il faut cependant noter que la coïncidence spatio-temporelle est ici réalisée artificiellement. Les barrières écologiques sont donc levées et le spectre d'hôtes tend à devenir illimité si d'autres blocages propres à l'hôte, de nature mécanique ou physiologique, ne se manifestent pas. La température ambiante et l'état d'hygrométrie du milieu dans lequel évoluent les larves infestantes de nématodes influent grandement sur leur activité, donc sur leur capacité de recherche et de pénétration dans l'hôte. Il n'est donc pas du tout certain que des insectes, réceptifs dans les conditions de laboratoire puissent être atteints dans les conditions naturelles.

Dans la nature, les nématodes ont une capacité d'infestation qui dépend de leur mode de transmission et de leur circulation dans les différentes biocénoses considérées. Ils sont capables d'infester des hôtes très variés mais sont limités par des barrières écologiques plus ou moins strictes.

Tab. 2. Sensibilité des arthropodes de bananeraies aux nématodes entomopathogènes.

Hôtes	Stades	<i>Steinernema</i>			<i>Heterorhabditis</i>	
		<i>glaseri</i>	<i>feltiae</i>	<i>carpo</i>	<i>indicus</i>	<i>bacterio</i>
INSECTES						
<u>Odonates</u>						
<i>Anax junius</i> Drury (Aeschnidae)	Ad.	nt	nt	+	+	+
<u>Orthoptères</u>						
<i>Gryllus assimilis</i> Fabr. (Gryllidae)	Ad.	nt	nt	+	+	+
<i>Neocurtilla hexadactyla</i> Perty (Gryllotalpidae)	Ad.	nt	nt	+	nt	nt
<u>Diptères</u>						
<i>Drosophila melanogaster</i> Mg. (Drosophilidae)	La	-	-	-	-	-
	Ad.	nt	nt	+	+	+
<i>Musca domestica</i> L. (Muscidae)	La	-	-	-	-	-
	Ad.	nt	nt	+	nt	nt
<i>Ornidia obesa</i> (Fabr.) (Calliphoridae)	Ad.	nt	nt	-	nt	nt
<u>Coléoptères</u>						
<i>Chalcolepidium obscurus</i> Lap. (Elateridae)	La	+	+	+	+	+
<i>Cosmopolites sordidus</i> Germ. (Curculionidae)	La	+	+	+	+	+
	Ad.	+	+	+	+	+
<i>Cyclocephala insulicola</i> AR. (Scarabaeidae)	La	+	nt	+	nt	nt
<i>Diaprepes famelicus</i> Olivier (Curculionidae)	La	+	+	+	+	+
	Ad.	+	+	+	+	+
<i>Omalodes</i> sp.	Ad.	nt	-	-	-	-
<i>Dynastes hercules</i> L. (Scarabaeidae)	Ad.	-	-	-	-	-
<i>Ligyris cuniculus</i> Fabr. (Scarabaeidae)	Ad.	+	nt	-	nt	nt
<i>Metamasius hemipterus</i> L. (Curculionidae)	Ad.	nt	nt	+	+	+
	La	+	+	+	+	+
<i>Phyllophaga patrueloides</i> Paulian (Scarabaeidae)	Ad.	+	nt	nt	nt	nt
	La	+	+	+	+	+
<i>Phyllophaga pleei</i> Blanchard (Scarabaeidae)	Ad.	+	nt	nt	nt	nt

La. : larve **Ad.** : adulte **+** : infesté **-** : non infesté **nt** : non testé

V. Compatibilité avec les pesticides utilisés en bananeraie

Afin d'évaluer l'effet des pesticides utilisés en bananeraie sur les larves infestantes des deux familles de nématodes, des essais de survie ont été réalisés en les mettant en présence de solutions de pesticides et en évaluant leur capacité d'infestation après de tels traitements.

Les produits chimiques utilisés sont présentés ci-dessous :

Matière active	Mode d'action et formulation	Nom commercial	Dose	Toxicité DL 50/Rat
<u>Organophosphorés</u>				
Ethoprophos- 10%	Contact, ingestion GR, I- N	Mocap	45g/l	0.01mg/kg
Isophenphos- 5%	Contact, ingestion GR, I- N	Oftanol	30g/l	38.7mg/kg
Cadusaphos- 10% Ebufos- 2%	Contact, ingestion GR, I- N	Rugby	30 g/l	- - - -
Phenamiphos- 5%	Contact, ingestion GR, I- N	Némacur	60g/l	15.5mg/kg
Pyrimiphos- éthyl- 5%	Contact L, I	Bullit	8ml/l	144- 200 mg/kg
<u>Carbamates</u>				
Aldicarbe- 5%	Systémique P, I- N	Temik	40g/l	1mg/kg
Benomyl- 50%	Systémique P, F	Benlate	1g/l	>10000mg/kg
<u>Ammoniums Quaternaires</u>				
Paraquat- 40g/l	Contact L, H	R'Bix	30 ml/l	157mg/kg
Nouveau produit	Contact, ingestion GR, I- N	Mat 7484	30g/l	- - - -

(GR- granulés, L- liquide, P- poudre, F- fongicide, H- herbicide, I- N- insecticide- nematicide)

V.1. Survie à différents temps d'exposition aux insecticides

Enregistrement de la mortalité des nématodes en présence de pesticides

Les essais sont réalisés dans des plaques à micro-titration (Elisa 96 puits de 250 μ l). Les produits commerciaux sous forme de granulés sont dissous dans de l'eau distillée, placés en agitation (300 rpm pendant 30 min) puis filtrés sous vide (taille des pores : 2 μ m). Les doses testées correspondent aux doses utilisées sur le terrain. Chaque puits reçoit 200 μ l de solution à tester et 10 larves infestantes. Dix répétitions par produit sont réalisées. Les relevés sont effectués 2, 4, 6, 8, 24, 48, 72 et 96 heures après dépôt des nématodes. La mortalité est évaluée sous une loupe binoculaire. Tout nématode ne réagissant pas à une stimulation mécanique au niveau de l'anneau nerveux est considéré comme mort.

Résultats

Les larves infestantes de nématodes entomopathogènes de la famille des Steinernematidae sont généralement moins affectées par les pesticides utilisés en bananeraie que les Heterorhabditidae. Les mortalités des larves infestantes de *S. carpocapsae*, *S. feltiae* et *S. glaseri* dues aux insecticides (phenamiphos, isophenphos, aldicarbe, Mat 7484) sont équivalentes et ne dépassent pas 10% après un séjour de 96 heures dans les produits. Ces trois espèces sont plus sensibles aux cadusaphos, ethoprophos et pyrimiphos-éthyl. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Das & Divakar (1987) qui rapportent que les larves infestantes de *S. carpocapsae* (DD136) peuvent survivre 72 heures dans des organochlorés ou des organophosphorés.

Par contre leur mortalité dans le fongicide ou dans l'herbicide utilisés en bananeraie est importante : elle atteint 40% en 96heures.

Les Heterorhabditidae sont nettement plus sensibles que les Steinernematidae à tous les pesticides. Il n'y a pas de différence marquée entre *H. indicus* et *H. bacteriophora* (Fig. 10, 11 et 12).

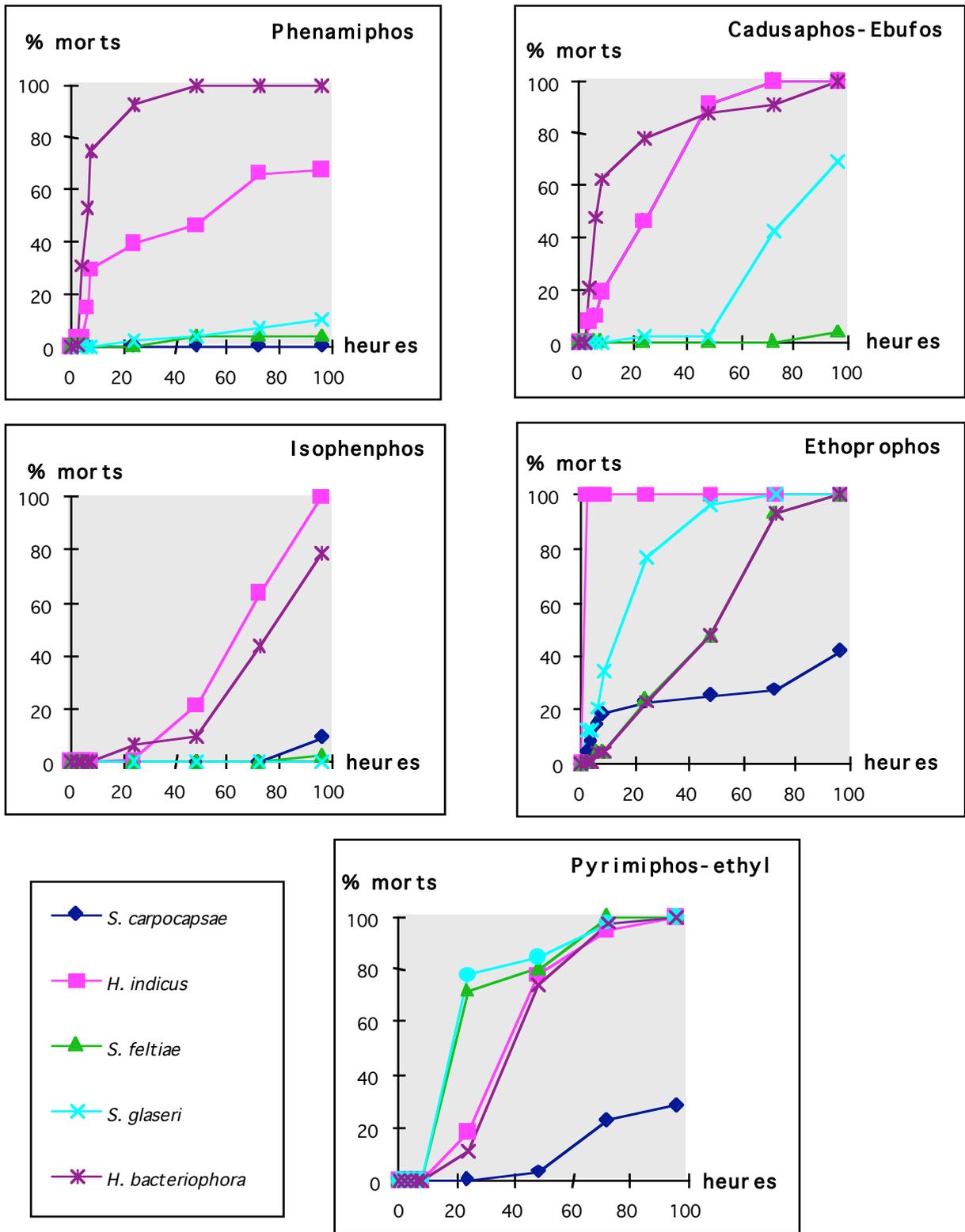


Fig. 10. Effets des organophosphorés sur les nématodes entomopathogènes.

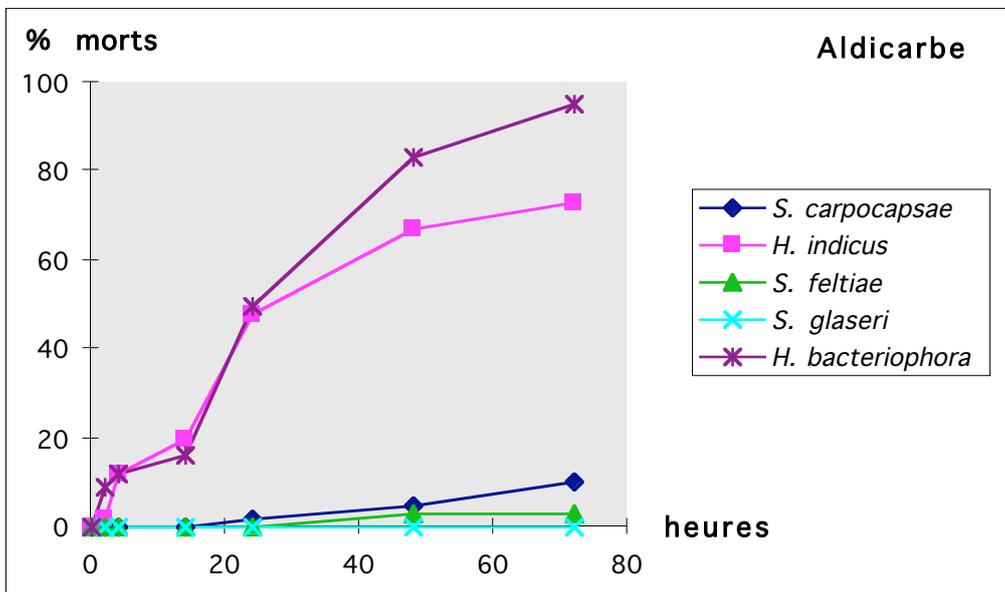
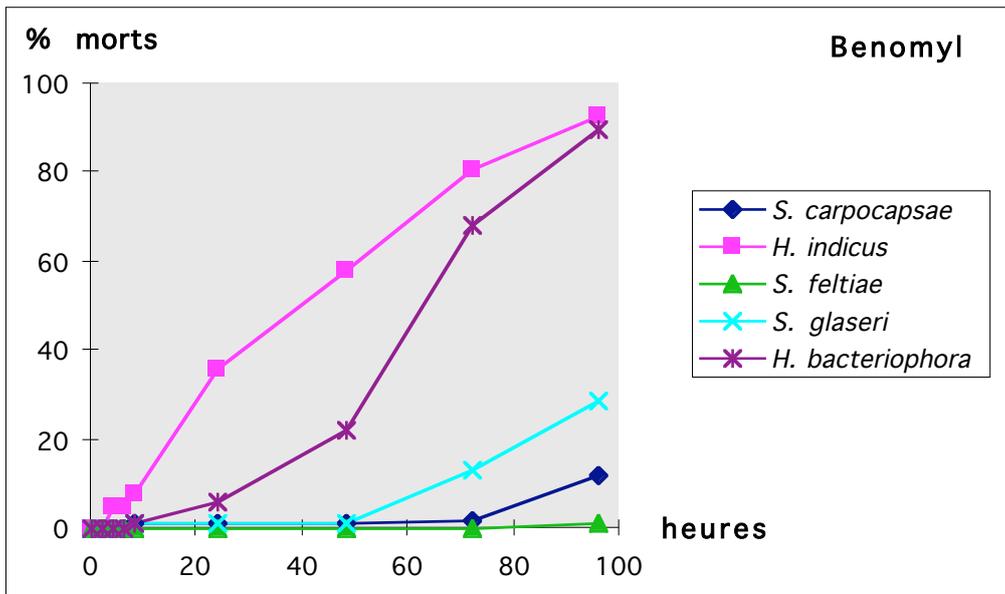


Fig. 11. Effets des **carbamates** sur les nématodes entomopathogènes.

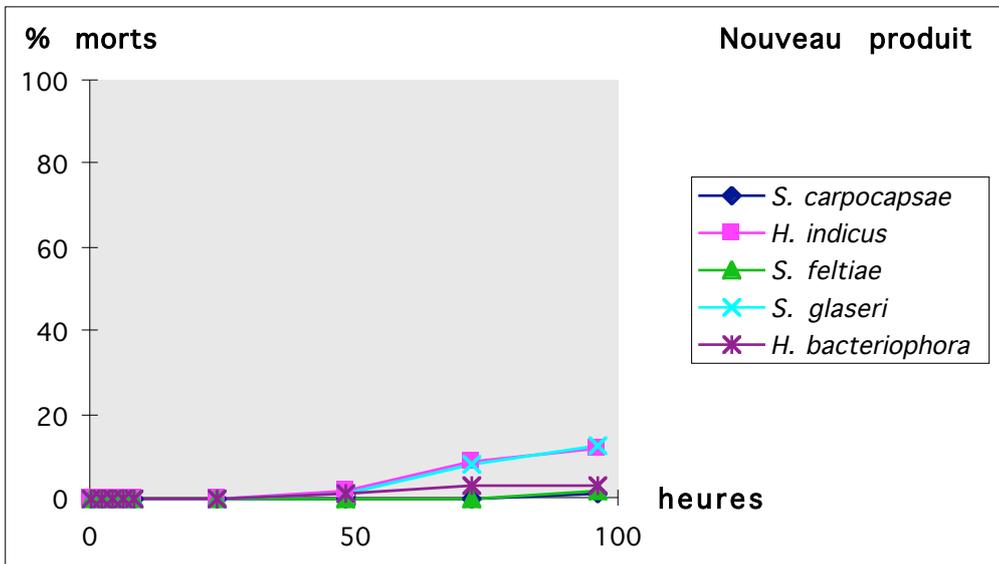
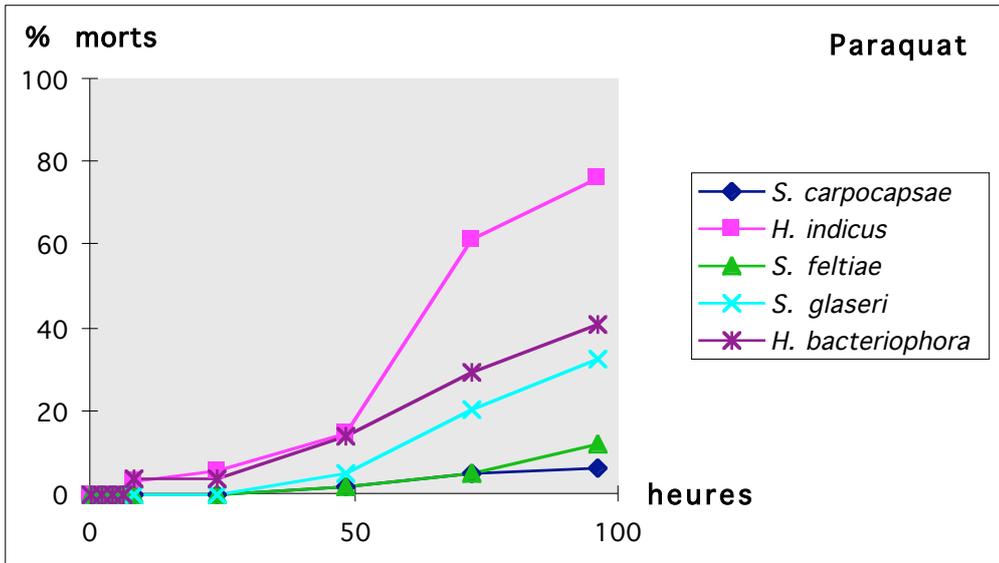


Fig. 12. Effets des ammoniums quaternaires sur les nématodes entomopathogènes.

V.2. Pouvoir entomopathogène des nématodes ayant été préalablement en contact avec les insecticides

Le pouvoir pathogène des nématodes ayant séjourné 24 heures dans les solutions de pesticides est testé sur *Galleria mellonella*. La multiplication des nématodes dans les larves d'insecte est dénombrée par la méthode à la digestion pepsique (Mauléon et *al.*, 1991).

Résultats (Tab. 3)

Les résultats corroborent ceux obtenus lors de l'étude de la survie et mettent en évidence, une nouvelle fois, que les *Steinernema* sont nettement moins affectés que les *Heterorhabditis* par les pesticides utilisés en bananeraie.

Notons cependant qu'en pratique, les nématodes ne trouveront jamais de telles concentrations de produits dans les sols. Les concentrations de matières actives décroissent très rapidement du fait de l'adsorption par les particules de sol, par photolyse, hydrolyse et dégradation biologique.

L'utilisation de nématodes entomopathogènes contre *C. sordidus* en bananeraie est donc envisageable dans un programme de lutte raisonnée.

Tab. 3. Pourcentage de développement des larves infestantes de nématodes ayant séjourné 24 heures dans les différentes solutions, comparé au témoin.

	<i>S. carpocapsae</i>	<i>S. feltiae</i>	<i>S. glaseri</i>	<i>H. bacteriphora</i>	<i>H. indicus</i>
Organophosphorés					
Phénamiphos	13%	50%	100%	0%	0%
Cadusaphos- Ebufos	50%	50%	100%	0%	0%
Isophenphos	60%	100%	100%	23%	0%
Ethoprophos	55%	100%	80%	--	--
Pyrimiphos-éthyl	40%	0%	0%	0%	0%
Carbamates					
Benomil	100%	--	100%	20%	25%
Aldicarbe	20%	25%	100%	0%	0%
Ammoniums quaternaires					
Paraquat	100%	--	100%	18%	0%
Nouveau produit	55%	80%	100%	55%	5%

VI. Synergie insecticides/nématodes

Dans le cadre d'une lutte raisonnée, un 1^{er} objectif est de rechercher la possibilité d'une simultanéité possible de produits chimiques avec des auxiliaires biologiques comme cela vient d'être établi. Un 2^{ème} consiste à établir si des synergies ne peuvent pas concourir à une réduction des populations de ravageurs en réduisant les concentrations habituelles des pesticides lorsqu'ils sont utilisés seuls (recherche d'une synergie possible).

VI.1. Sélection de l'insecticide synergique

Les produits chimiques en combinaison avec les nématodes, qui ont fait l'objet de cette étude, sont les suivants :

Produits	Concentrations	Nématodes (40 000)
Temik	4 g/l, 0.4 g/l, 0.04 g/l	<i>Steinernema, Heterorhabditis</i>
Rugby	3 g/l, 0.3 g/l, 0.03 g/l	<i>Steinernema, Heterorhabditis</i>
Oftanol	3 g/l, 0.3 g/l, 0.03 g/l	<i>Steinernema, Heterorhabditis</i>
Mat 7484	3 g/l, 0.3 g/l, 0.03 g/l	<i>Steinernema, Heterorhabditis</i>
Bullit	0,8 g/l, 0,08 g/l, 0,04 g/l	<i>Steinernema, Heterorhabditis</i>

Les essais ont été réalisés en boîte de Petri (90 mm de diamètre), dont le fond recouvert de papier filtre reçoit 500 μ l d'eau contenant 40 000 larves infestantes de nématodes plus 500 μ l de pesticide à tester et 10 charançons adultes. Cinq répétitions sont mises en place par concentration testée. Le témoin nématode est préparé de la même manière mais ne reçoit que 40 000 nématodes en suspension dans 1ml d'eau. Les témoins (insecticide seul) sont préparés avec 1 ml de produit pour chaque concentration testée. Toutes les boîtes sont scellées au papier adhésif et placées en incubateur à 28°C. Les relevés de mortalité sont effectués chaque jour.

Résultats

La combinaison des nématodes avec deux matières actives (Aldicarbe et Pyrimiphos-éthyl), utilisées au centième des doses prescrites pour leur efficacité au champ, montre un effet synergique intéressant (Fig. 13). Utilisées seules, les faibles doses d'insecticide ou de nématodes provoquent peu de mortalité chez les charançons. Par contre lorsqu'ils sont combinés, la mortalité qui en résulte est multipliée par 4 et est beaucoup plus rapide (90% en deux jours au lieu de sept). Ceci démontre l'effet de synergie qui existe entre ces deux types de traitements.

Des résultats similaires (Kermarrec & Mauléon, 1989) avaient été obtenus en associant *S. carpocapsae* avec le Curlone (chlordécone).

L'aldicarbe n'étant plus autorisé de vente, nous avons focalisé nos travaux sur le pyrimiphos-éthyl.

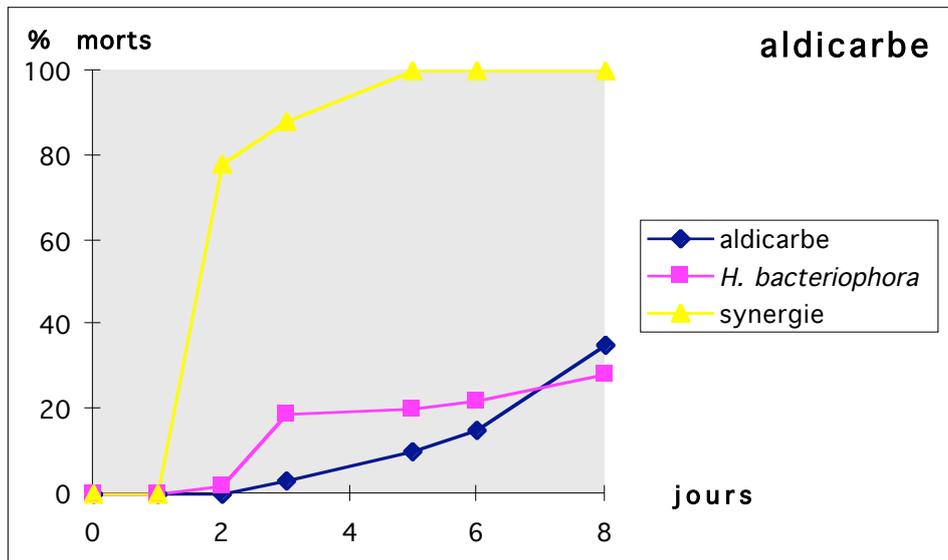
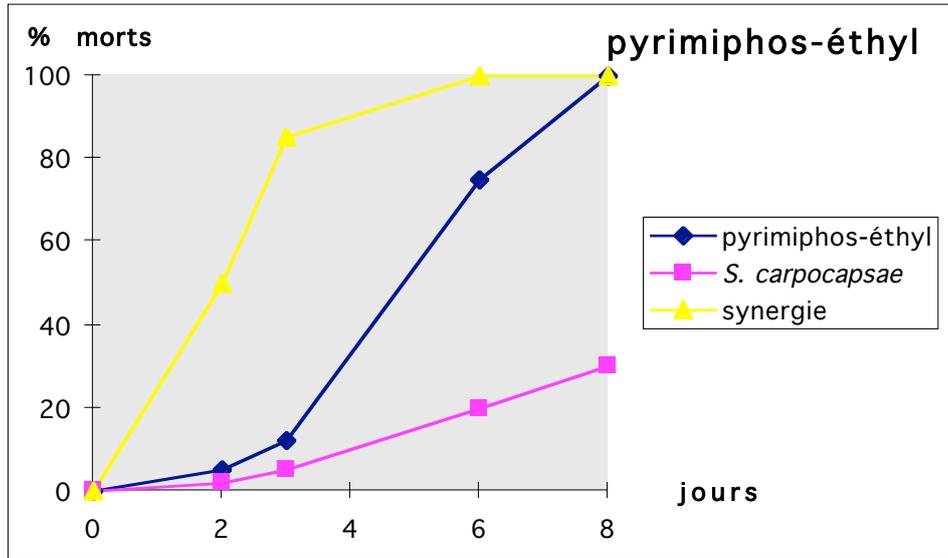


Fig. 13. Effet synergique insecticides/nématodes entomopathogènes.

VI.2. Synergie entre le pyrimiphos-éthyl et différentes espèces de nématodes

Les essais ont été réalisés sur 7 souches de nématodes (3 *Steinernema* et 4 *Heterorhabditis*) selon la méthode précédente. Les cadavres de charançons ont ensuite été mis en incubateur, les larves infestantes issues de ces cadavres ont été récoltées et leur pouvoir pathogène vérifié sur de nouveaux insectes.

Résultats

La Figure 14 montre l'efficacité comparée, du nématode seul et de l'association nématode/pyrimiphos-éthyl. Les larves infestantes récupérées des cadavres de *C. sordidus*, sont viables et aptes à parasiter de nouveaux insectes.

Les sept souches de nématodes testées montrent un effet synergique avec le pyrimiphos-éthyl.

Des expérimentations complémentaires ont montré que le pyrimiphos-éthyl n'agit pas sur les nématodes (en augmentant leur activité par exemple), mais qu'il affaiblit les insectes.

Trois souches (CS66, FRG3 et FR27) où l'association nématode/insecticide provoque une mortalité de 100% en 48 heures ont été choisies pour les essais terrain.

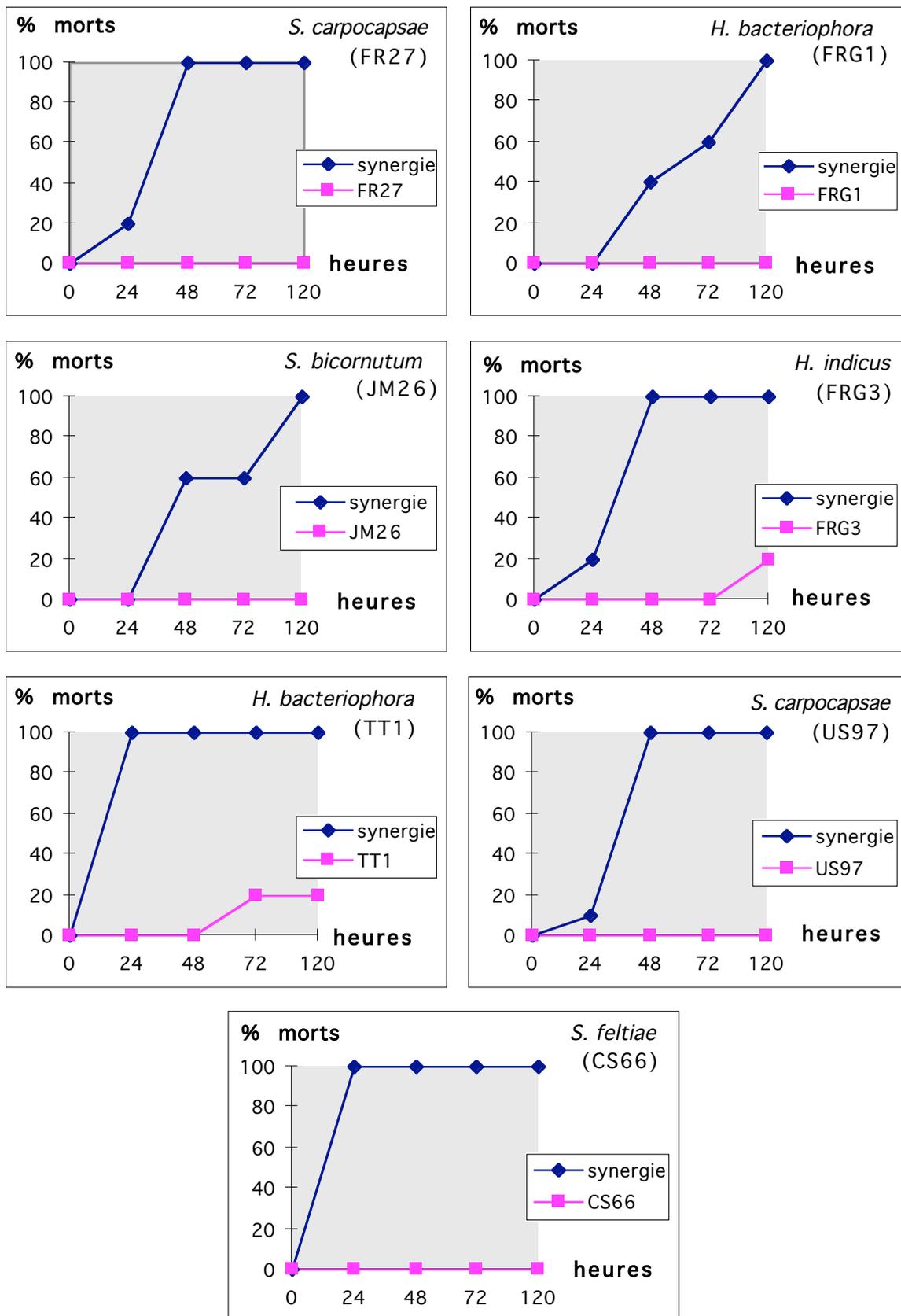


Fig. 14. Effet synergique pyrimiphos-éthyl/nématodes.

VII. Migration des nématodes dans le sol

En vue d'une application au champ, une autre préoccupation essentielle est de connaître l'aptitude des nématodes à se mouvoir dans les sols utilisés pour la culture de la banane. Ces sols ont été choisis comme équivalents à ceux de l'aire de répartition de la banane en Guadeloupe et ont été analysés du point de vue de leur composition et de leur structure.

Matériels et Méthodes

Echantillons de sols

Le vertisol est prélevé sur l'ancien domaine expérimental de l'INRA, à Saint François (Grande-Terre). De la prairie permanente constitue la couverture végétale avec un antécédent maïs.

L'oxysol provient du verger de l'INRA à Petit Bourg (Basse-Terre).

Ces 2 parcelles n'ont pas été traitées, aucun amendement ou fertilisant n'ont été apporté depuis 3 ans.

Dans chacune des parcelles, la terre a été prélevée au hasard, à différents endroits, sur une profondeur de 20 cm.

Une fois prélevés, les sols sont mis à sécher au soleil pendant 4 jours. Le dessèchement résultant de cette exposition permet l'émiettement des gros blocs de vertisols très difficiles à manipuler autrement. Par ailleurs, il est possible de considérer que la pédofaune, contenue initialement dans les échantillons de sols n'a pas résisté à ce traitement.

Cerner le rôle des facteurs physico-chimiques nécessite de faire abstraction de la structure des sols. Pour cela, nous travaillons sur de la solution de sol.

Migration

Du vertisol et de l'oxysol sont mis en pots (9 x 9 x 9,5 cm). Pour chaque type de sol, cinq doses de 1 ml de solution, contenant l'une des 5 souches de nématodes étudiées, sont inoculées à des concentrations de 100, 500, 1000, 5000 et 10 000 nématodes/ml. Pour chaque concentration, 5 répétitions sont effectuées. Le contenu des pots est passé à l'extracteur de Baermann 24 heures après l'inoculation.

La mise en place du témoin s'effectue comme suit :

Un papier filtre du diamètre d'une boîte de Pétri (55 mm) est imbibé d'1 ml d'une solution de nématodes à 10 000 nématodes/ml, puis déposé sur le fond (côté externe) d'une boîte de Pétri de même diamètre recouvert de "sopalin" humidifié. L'ensemble est disposé dans un récipient contenant suffisamment d'eau pour qu'il y ait contact avec le "sopalin". Les nématodes, attirés par le liquide, migrent sur le "sopalin" et sont recueillis dans l'eau puis, dénombrés. Pour chacune des souches, cinq témoins sont effectués.

Deux types d'expérimentations sont réalisés. Dans le premier, la structure demeure fixe et dans l'autre, elle est sujette à des modifications

Résultats

Les migrations des larves infestantes semblent, pour toutes les espèces testées, plus aisées dans le vertisol que dans l'oxysol. Toutefois la différence observée entre ces deux types de sol n'est pas très importante. La mobilité des nématodes est beaucoup plus dépendante des espèces que des sols. Les nématodes de petites tailles (500-600 μm) comme *H. bacteriophora*, *H. indicus* et *S. carpocapsae*, sont plus mobiles que les nématodes de grandes tailles (*S. feltiae* et *S. glaseri*) (Fig. 15).

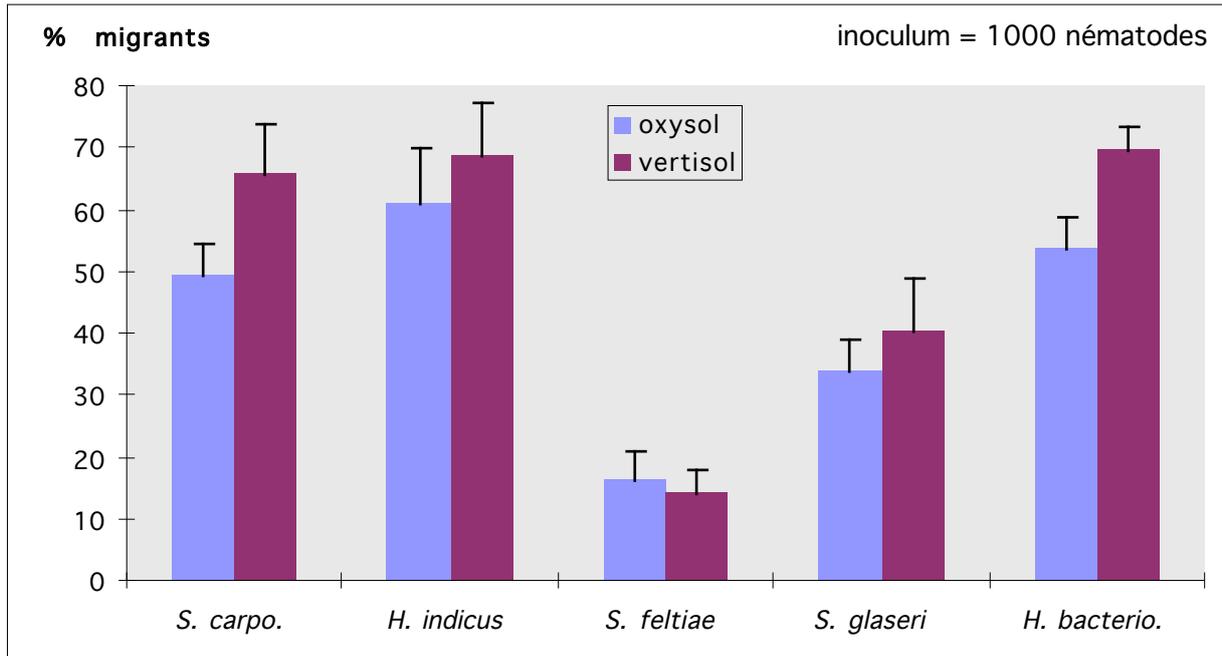


Fig. 15. Migration des nématodes entomopathogènes dans l'oxysol et le vertisol.

VIII. Survie des nématodes dans les sols

Matériels et Méthodes

Extraction de la solution de sol

Chaque échantillon de sol est amené au point de liquidité par addition d'eau distillée. Dans les conditions naturelles, cela correspond au point de saturation; le sol ne peut plus absorber d'eau. Il faut veiller à obtenir une pâte lisse et homogène. Ainsi préparé, l'échantillon est introduit dans une presse à membrane, soumis à une pression. Comme l'eau est retenue dans les pores par une tension superficielle plus ou moins grande, en appliquant une pression élevée ou non, il est possible de vider des pores dont le diamètre varie.

Avec une pression de 1 bar, l'eau contenue dans les fissures et les pores pouvant atteindre $2,9 \mu\text{m}$ est extraite. Vu le diamètre de ces pores et celui des nématodes (20 à $30 \mu\text{m}$), nous pensons que cette eau contient tout ce qui leur est accessible, dans les conditions naturelles.

La pression est maintenue sur l'échantillon de sol jusqu'à obtenir l'équilibre. Celui-ci est atteint lorsqu'au bout de 24 heures, la quantité de solution extraite n'a pas augmenté.

Ces solutions peuvent être considérées comme stériles puisque, volontairement, nous avons choisi de les filtrer à travers une membrane cellulosique dont le diamètre des pores est de 12 Angström.

Etude de la survie

Les essais sont réalisés dans des plaques de micro-titration (test Elisa). Les puits sont remplis avec $200 \mu\text{l}$ de solution (oxysol et vertisol pressés à 1bar). Chacun des puits contient 10 nématodes au stade infestant. Pour chaque traitement, nous avons fait 10 répétitions. Les plaques sont conservées à l'obscurité, à 26°C , dans une atmosphère saturée d'humidité. Le dénombrement des nématodes vivants se fait à T+3, T+9, T+27, T+71 et T+213 heures. Un nématode est considéré vivant lorsqu'il réagit à une stimulation mécanique de la cuticule, au niveau de l'anneau nerveux.

Evaluation du pouvoir pathogène

Le pouvoir pathogène des nématodes est évalué après trempage dans les solutions pendant 24 heures, sur *G. mellonella* au stade pré-chrysalide.

Les tests sont effectués dans des boîtes (2 cm x 2 cm) dont le fond, recouvert de papier filtre imbibé par une solution de nématodes (100 nématodes/ $100 \mu\text{l}$) reçoit une chenille. Par traitement, 10 répétitions sont effectuées en plus du témoin.

Les boîtes contenant les chenilles infestées sont conservées à 28°C . Les mortalités sont relevées chaque jour. Deux jours après la mort, les cadavres de *G. mellonella* sont mis en digestion pepsique, et les nématodes adultes dénombrés.

Résultats

Sur la survie (Fig. 16 et 17)

Quelle que soit la souche, le taux de mortalité ne dépasse pas 15 % sauf pour *S. carpocapsae* qui montre jusqu'à 20-25 % de mortalité. Dans la majorité des cas, la mortalité maximale est atteinte au bout de 3 jours. Il n'apparaît pas une nette différence entre les 2 genres *Heterorhabditis* et *Steinernema*.

S. glaseri se comporte comme la souche la plus résistante, avec une mortalité maximale de 10 %.

Sur le développement

Les solutions de sols n'ont aucun effet sur le développement des nématodes du genre *Steinernema*. Il n'en est pas de même pour *H. indicus* ou aucun développement n'a été observé sur les nématodes ayant séjournés dans du jus extrait de vertisol. Sachant qu'à cette pression, les ions accessibles aux nématodes dans le sol sont récupérés dans les solutions extraites, vu la concentration 10 fois supérieure en Ca^{2+} dans le vertisol, nous pouvons considérer que c'est ce cation qui a affecté le développement de ce nématode dans la solution de vertisol 1 bar.

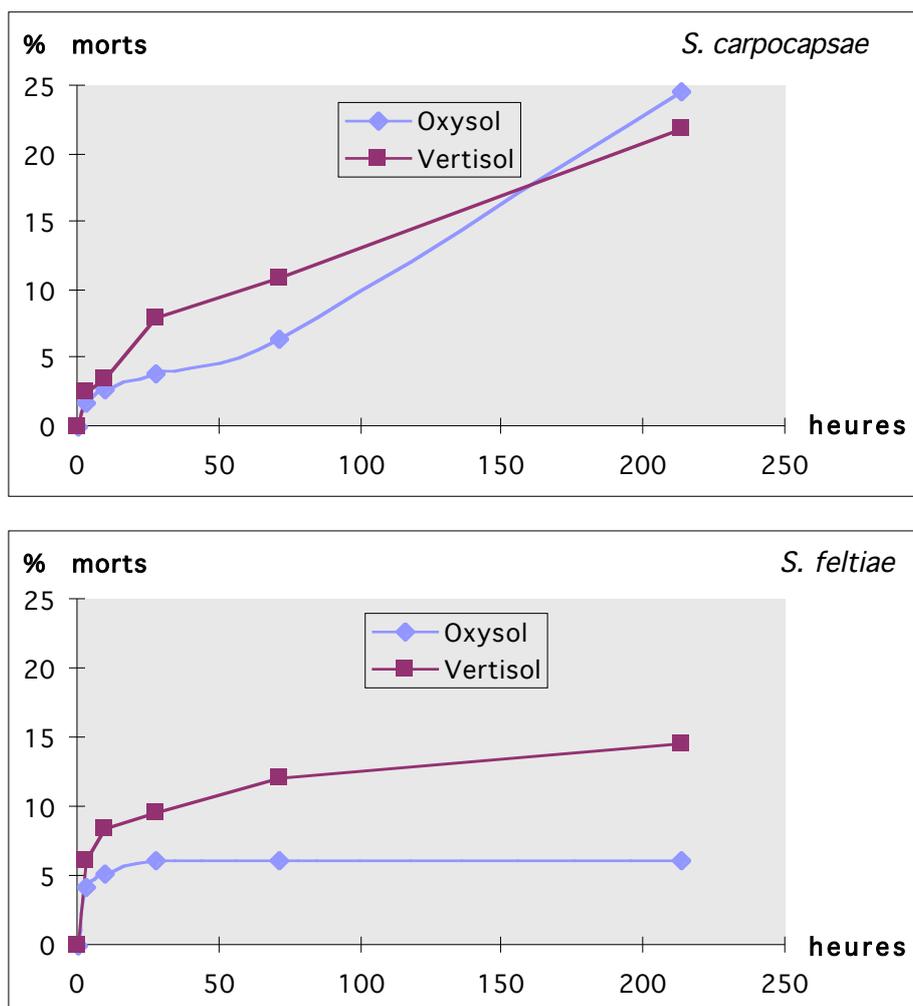


Fig. 16. Survie des nématodes entomopathogènes dans la solution de sol.

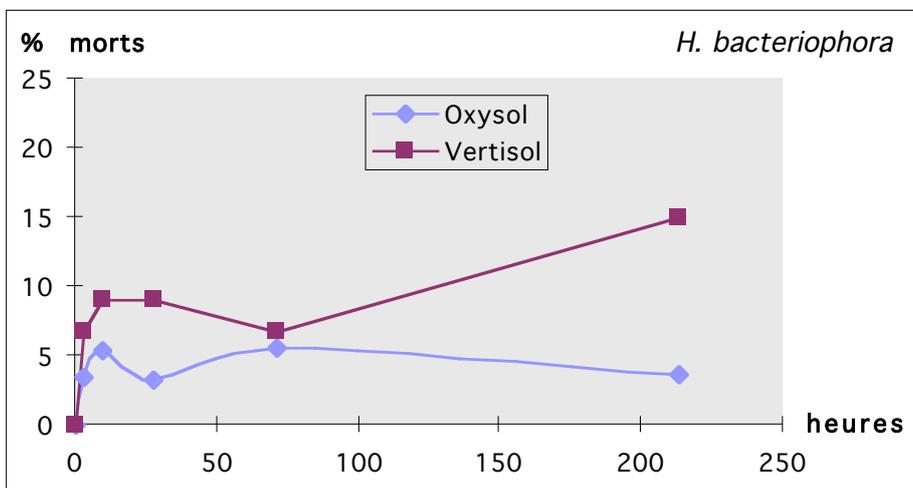
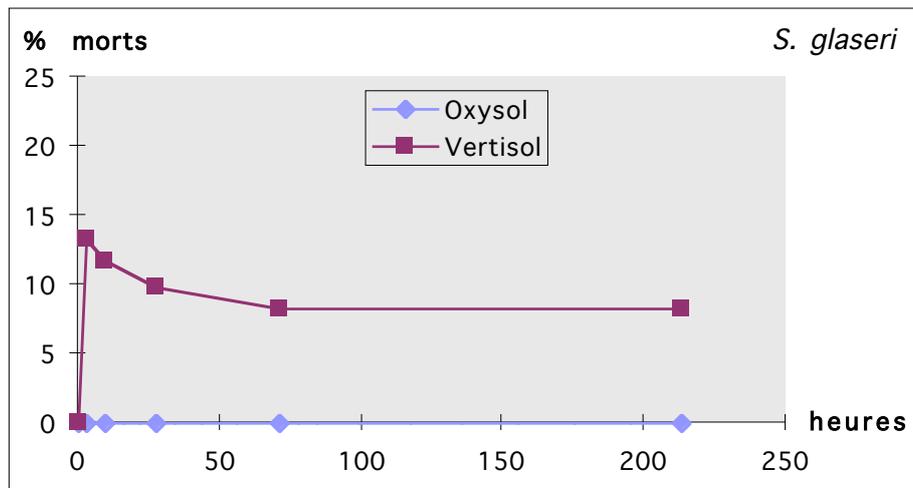
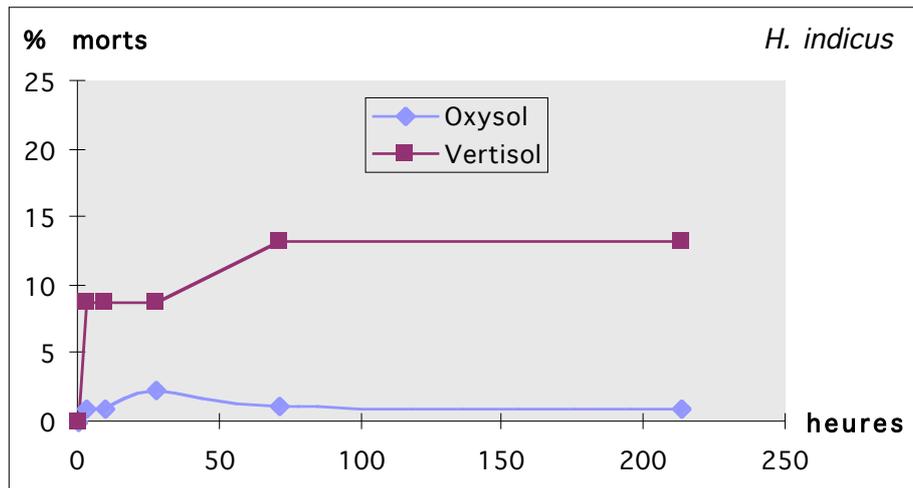


Fig. 17. Survie des nématodes entomopathogènes dans la solution de sol.

IX. Effet des cations Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+

Les résultats précédents ont orienté nos travaux vers une investigation des effets de certains cations sur la survie des nématodes, afin de vérifier si de tels ions pouvaient être rendus responsables d'une certaine hostilité des sols vis-à-vis de l'introduction de nos auxiliaires.

Matériel et Méthodes

Pour évaluer la sensibilité des nématodes à différents cations, des solutions de chlorures de même pression (1125 milliOsmoles) et de pH identique (entre 5 et 6) ont été préparées à l'aide de CaCl_2 , NaCl , MgCl_2 et KCl .

L'effet des cations et celui dû à la pression osmotique est différencié par l'utilisation d'une solution de saccharose à 1125 mOsm.

Etude de la survie

Les essais sont réalisés dans des plaques de micro-titration (test Elisa). Les puits sont remplis avec 200 μl de solution (solution de CaCl_2 , NaCl , MgCl_2 ou KCl à 1125 mOsm). Chacun des puits contient 10 nématodes au stade infestant. Pour chaque traitement, nous avons fait 10 répétitions. Les plaques sont conservées à l'obscurité, à 26°C, dans une atmosphère saturée d'humidité. Le dénombrement des nématodes vivants se fait à T+3, T+9, T+27, T+71 et T+213 heures. Un nématode est considéré comme vivant lorsqu'il réagit à une stimulation mécanique de la cuticule, au niveau de l'anneau nerveux.

Résultats (Fig. 18)

Seuls *S. glaseri* et *H. indicus* montrent une très grande sensibilité aux cations Ca^{2+} . Dès T+3 h, nous observons 100 % de mortalité.

A l'exception de *S. feltiae*, toutes les souches sont sensibles à Na^+ , le taux de mortalité (ABBOTT) étant compris entre 60 et 90 %.

Les cations K^+ et Mg^{2+} sont sans effets sur les nématodes, sauf pour *S. feltiae* chez qui ils montreraient une toxicité, quoique faible (20 à 40 % de morts respectivement).

Le pH des solutions de sol varie entre 5,5 et 6,5 et celui de nos solutions ioniques entre 5 et 6. Ces petites variations de 0,5 à 1 unité de pH ne suffisent donc pas à expliquer la différence dans la survie des nématodes.

Dans le vertisol, la quantité de Ca^{2+} échangeable est environ 10 fois supérieure à celle rencontrée dans l'oxysol. Les solutions de sol obtenues à 1 bar contiennent toutes les bases échangeables (Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} et K^+).

Par ailleurs, les solutions de sol étant stériles (avec cependant d'éventuelles toxines libérées par des champignons, bactéries ou virus), nous pouvons supposer que la mortalité résulte de la forte concentration du cation Ca^{2+} , dans les solutions de vertisol.

Si *H. indicus* et *S. glaseri* se montrent les plus sensibles à composition ionique des solutions de sol et dans la mesure où leur mortalité atteint 100 % dès T+3 h, il est légitime d'émettre l'hypothèse selon laquelle Ca^{2+} joue un rôle prépondérant dans la survie des nématodes.

Le même raisonnement peut être tenu pour Na^+ , même si celui-ci présente une toxicité moindre.

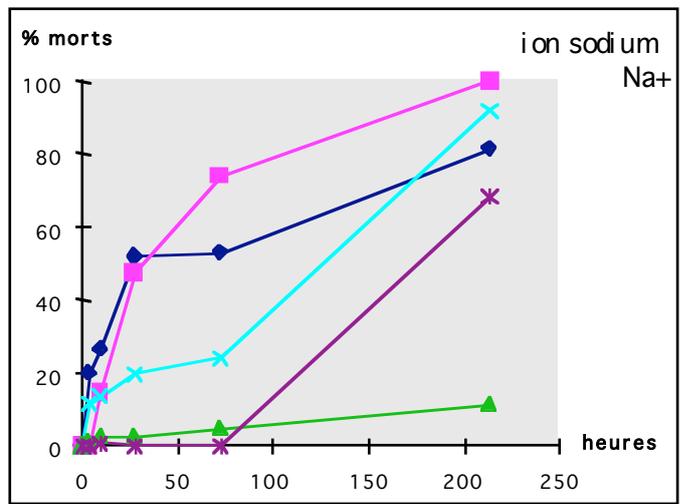
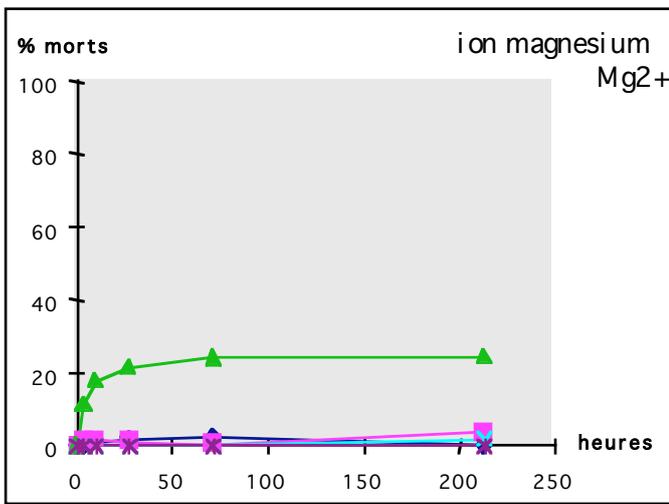
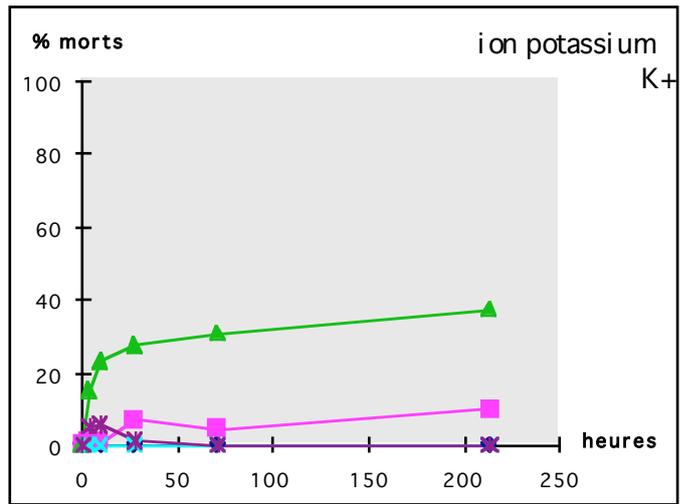
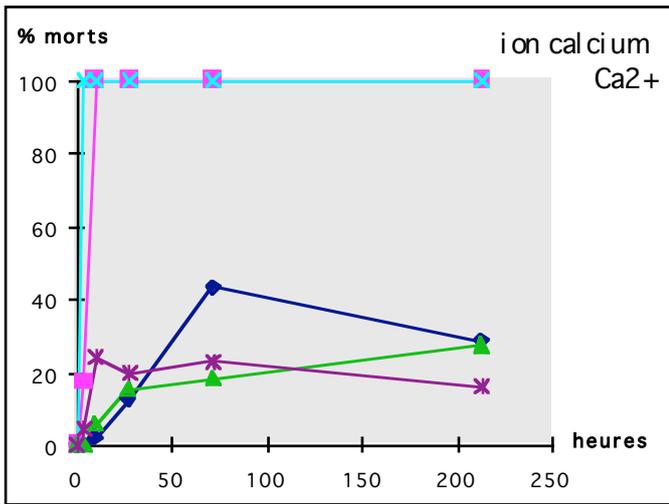


Fig. 18. Effet des cations sur la survie des nématodes entomopathogènes.

Evaluation du pouvoir pathogène

Le pouvoir pathogène des nématodes est évalué après trempage dans les solutions de cations pendant 24 heures, sur *G. mellonella* au stade pré-chrysalide.

Les tests sont effectués dans des boîtes (2 cm x 2 cm) dont le fond, recouvert de papier filtre imbibé par une solution de nématodes (100 nématodes/100 μ l) reçoit une chenille. Par traitement, 10 répétitions sont effectuées en plus du témoin.

Les boîtes contenant les chenilles infestées sont conservées à 28°C. Les mortalités sont relevées chaque jour. Deux jours après la mort, les nématodes adultes sont dénombrés dans les cadavres de *G. mellonella* par la méthode de digestion pepsique.

Résultats (Fig. 19)

En présence de cations, les souches se développent différemment. Seul le Ca^{2+} provoque une réduction du développement chez 3 nématodes. A un degré moindre le Na^{+} agit dans le même sens. Mg^{2+} et K^{+} semblent neutres à cet égard. *H. bacteriophora* est la seule espèce dont le développement est très fortement diminué par les 4 cations.

La survie et le développement dépendent des mêmes facteurs. Les nématodes affectés par un ion auront un développement perturbé par le même ion. Chez *H. indicus*, une mortalité de 100 % est atteinte dès T+3 h en présence de Ca^{2+} et son développement est très affaibli dans cette solution ionique.

Ces résultats confirment ceux obtenus avec *Meloidogyne javanica*, nématode parasite de la tomate (MAQBOOL *et al.*, 1988), chez lequel le Ca^{2+} et le Na^{+} , à un degré moindre, ont un effet sur l'éclosion et le pouvoir infestant des nématodes. Plus ces cations se trouvent en forte concentration, plus ces paramètres biologiques déclinent. Les helminthes possèdent une paire de glandes sécrétrices d'enzymes (leucine-amino-peptidase, estérases, protéases et acétylcholinestérase) dont le fonctionnement dépend de la concentration des ions. Certaines de ces enzymes interviennent dans la digestion des tissus de l'hôte (LEE, 1970). Pour d'autres, la transmission de l'influx nerveux est Ca^{2+} , Na^{+} et K^{+} dépendantes. Il est loisible de penser que de tels dysfonctionnements soient à l'origine d'une diminution de la survie et du développement des nématodes.

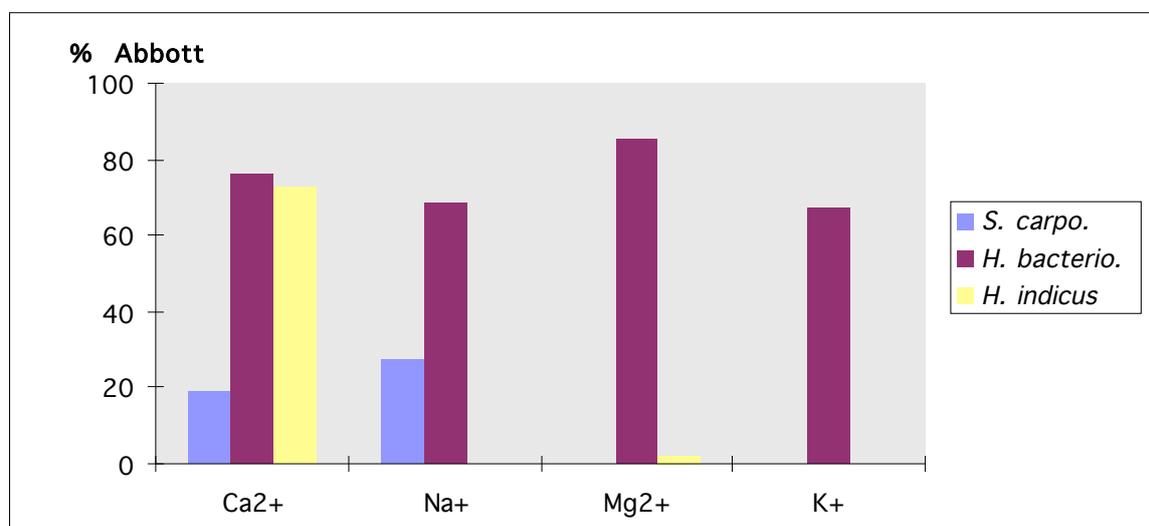


Fig. 19. Effet des cations sur le développement des nématodes entomopathogènes.

X. Effet de la structure du sol et des facteurs climatiques

Au-delà de la composition chimique des sols, nous signalions qu'il y avait intérêt aussi à considérer l'effet de leur structure. Les expérimentations réalisées au domaine de l'INRA (Duclos, Petit Bourg) sont mises en place conjointement en laboratoire, sous serre, et sur le terrain.

Structure fixe, température fixe

Vertisol et oxysol, provenant de l'échantillonnage sur le terrain, sont mis en pots (9 x 9 x 9,5 cm) séparément et inoculés avec *Heterorhabditis indicus* et *Steinernema carpocapsae*. Le contenu des pots est maintenu à la capacité au champ par un arrosage régulier (système de goutte à goutte). Le débit est calculé de façon à éviter un ruissellement qui pourrait être à l'origine d'une perte de nématodes, entraînés par l'eau de lessivage.

Un ml d'une solution contenant 10 000 nématodes est inoculé par pot. Pour chaque sol et chaque souche, 6 contrôles sont effectués (à J+3, J+7, J+15, J+28, J+42 et J+56 jours ; J étant la date d'inoculation) à raison de 6 répétitions par contrôle. Les nématodes vivants sont dénombrés après extraction avec l'appareil de Baermann, et le pouvoir pathogène des nématodes est évalué.

L'expérience est conduite en laboratoire à une température de 24°C avec une alternance jour- nuit.

Structure fixe, température variable

L'expérimentation est mise en place comme indiqué ci-dessus. Elle est réalisée sous serre. Une ombrière évite un ensoleillement excessif mais l'alternance jour-nuit et les variations de température (23 à 35°C) sont maintenues.

Structure variable, température variable

Dans les conditions naturelles, le sol est soumis à des variations journalières de température (23 à 35°C) et d'hygrométrie (60 à 100%). Ainsi, lorsque le sol s'humidifie, les particules qui le constituent augmentent de volume et la structure change.

Sur chacune des 2 parcelles (l'une en Grande-Terre et l'autre en Basse-Terre) où nous avons prélevé le sol pour en extraire les solutions, des tuyaux de PVC (hauteur 100 mm, diamètre 100 mm) sont implantés au hasard. Dans l'aire délimitée par le tube, 1 ml d'une solution contenant 10 000 nématodes est versé. L'étude porte sur *H. indicus* et *S. carpocapsae*. Un tirage aléatoire donne la répartition des inoculations. A J+3, J+7, J+15, J+28, J+42 et J+56 jours, le contenu des tuyaux est prélevé et passé à l'extracteur de Baermann. Pour chaque date, il y a 6 répétitions. Les nématodes récupérés sont comptés et servent à infester les *G. mellonella* .

Résultats (Fig. 20)

La survie et le développement ont été suivis pendant 56 jours, mais les résultats offrant un réel intérêt disparaissent après 28 jours. Donc, seuls ceux obtenus avant cette date sont pris en considération.

La survie et le développement des deux genres testés ne sont pas significativement différents. Le vertisol semble un peu plus permissif que l'oxysol, mais les résultats obtenus ne sont pas non plus significatifs.

A température et humidité constante, 50% des nématodes sont retrouvés trois jours après inoculation, et 19% après 28 jours.

Sous serre, le nombre de nématodes récupérés après trois jours est équivalent à celui retrouvé en laboratoire, mais chute rapidement par la suite pour atteindre 3% à 28 jours.

Sur le terrain, le nombre de nématodes retrouvés après trois jours n'est que de 3%. Il est inférieur à 1% au bout de 28 jours.

Les nématodes sont sensibles à la texture du sol elle-même dépendante du type de sol et des conditions climatiques.

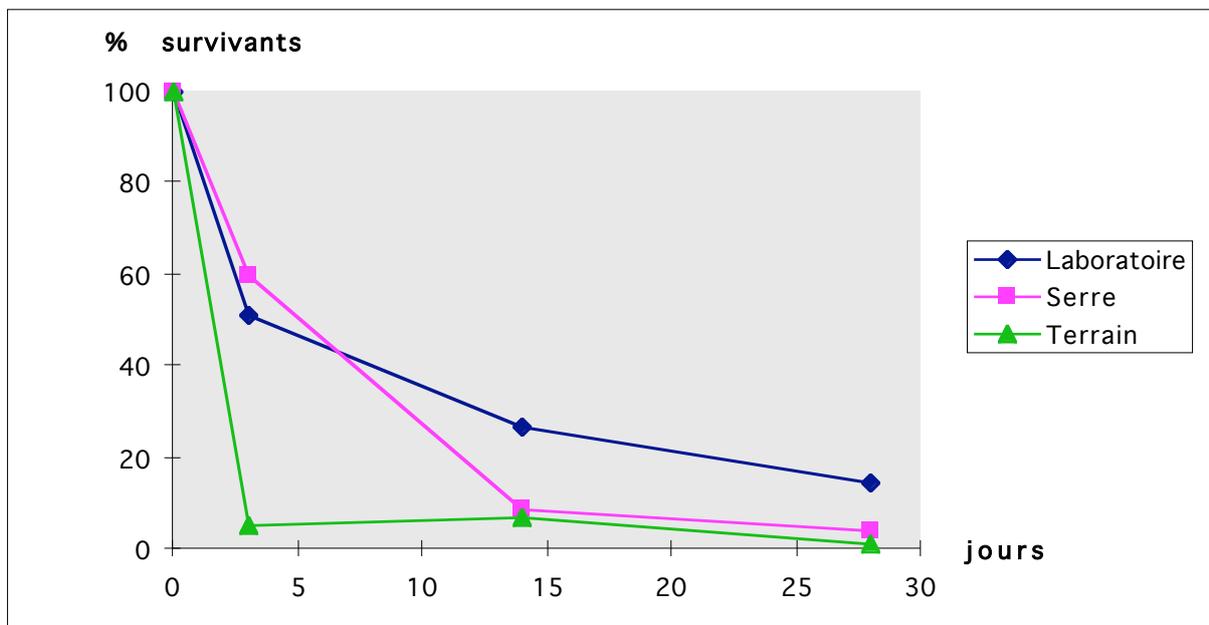


Fig. 20. Effets des facteurs climatiques et de la structure du sol sur la survie des nématodes.

XI. Les facteurs biotiques

Après avoir examiné l'importance des facteurs abiotiques du milieu, il convenait de surcroît de s'intéresser à l'incidence des autres biocénoses édaphiques susceptibles d'entrer en compétition et pouvant rendre compte également de l'hostilité des sols vis-à-vis de nos auxiliaires. Les sols hébergent de nombreux ennemis des nématodes entomoparasites, tels des micro-arthropodes (Tardigrades, Acariens, Gamasides, Collembolés et Staphylins) ou des champignons prédateurs. Si la diversité et l'abondance des micro-arthropodes varient en fonction du type de sol et pourraient intervenir sur la survie des nématodes (Tab. 4) il ne semble pas en être de même pour les champignons prédateurs de nématodes (Fig. 21). Rappelons qu'à l'heure actuelle, même les spécialistes ne peuvent recenser avec précision la faune du sol. Aussi, dans un premier temps, notre étude vise simplement à mettre en évidence (de façon très globale) un éventuel impact des facteurs biotiques sur la survie des nématodes entomoparasites.

Tab. 4. Population moyenne en micro-arthropodes pour un demi litre de sol.

	Oxysol	Vertisol
INSECTES		
Collembolés**	19	2
Staphylins*	1	1
Trips	28	4
Fourmis*	0	1
Diptères	3	6
Hémiptères	0	1
Homoptères	0	0
Coléoptères (larves)	3	1
ACARIENS		
Gamasides**	13	3
Oribates	7	2
Uropodes	2	0

* micro-arthropodes à action prédatrice certaine sur les nématodes

** micro-arthropodes à action prédatrice à la limite de l'époécie

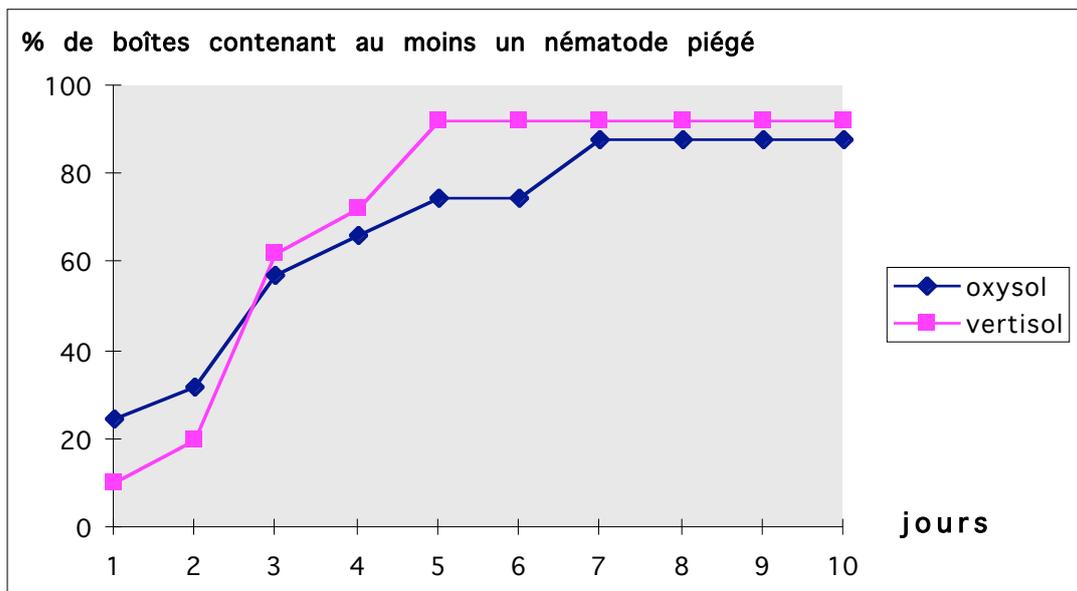


Fig. 21. Action de champignons prédateurs de nématodes dans 2 types de sol.

Matériel et Méthodes

Le sol est autoclavé 2 fois à 120°C pendant 30 minutes. Un mélange est ensuite effectué entre sol stérilisé (S) et sol non stérilisé (NS), pour le vertisol et pour l'oxysol, dans les proportions suivantes :

- S seul
- 2/3 S + 1/3 NS
- 1/3 S + 2/3 NS
- NS seul

Chacune des quatre catégories est mise en pot. L'inoculation se fait avec *H. indicus* et *S. carpocapsae* à raison de 1 ml d'une solution contenant 10 000 nématodes/ml. Pour chaque traitement, il y a six répétitions. Deux semaines après, le contenu des pots est passé à l'extracteur de Baermann. Les nématodes sont dénombrés et leur pouvoir pathogène évalué.

Résultats (Fig. 22 et 23)

Les facteurs biotiques n'ont pas le même impact sur les 2 genres. Globalement, l'absence de facteurs biotiques n'a aucun effet sur la survie de *H. indicus*. Cependant, elle provoque une perte en pouvoir de développement de ce nématode. Comparer ces résultats et ceux obtenus dans les solutions de sol (considérées comme stériles) des expériences précédentes pourrait montrer l'impact de la structure sur la survie et la pathogénie des 2 souches. Cependant, l'autoclavage ayant déstructuré le sol, les enseignements que l'on peut en tirer sont difficilement appréciables.

L'inventaire de la pédofaune extraite par l'appareil de Berlese-Tullgren révèle que la composition moyenne en micro-arthropodes du vertisol diffère de celle de l'oxysol. Le vertisol rassemble un plus grand nombre de groupes mais moins d'individus par groupe (Weissenberger, 1989). Ces groupes contiennent des prédateurs de nématodes. Comme l'autoclavage a détruit cette population, la probabilité de survie des nématodes a pu augmenter.

Mais il semblerait également que la chaleur ait agi sur des molécules bioactives thermolabiles telles des enzymes, des toxines, des analogues hormonaux, ou des neuromédiateurs. Ces molécules détruites ou inhibées, la survie des nématodes se trouverait favorisée. Si de telles occurrences ont lieu, on en déduirait que *Steinernema* est plus sensible à ces molécules ou que la capacité de détoxification d'*Heterorhabditis* est meilleure.

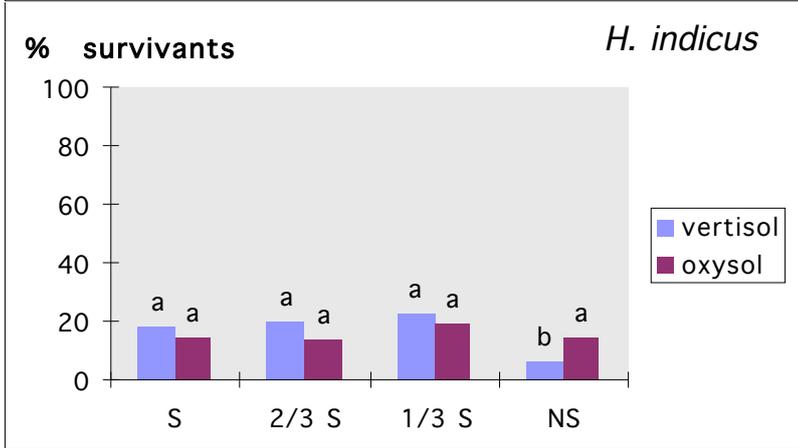
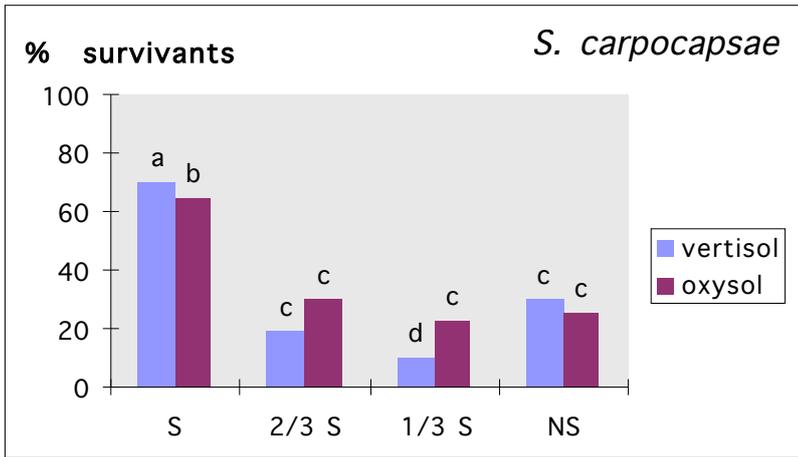


Fig. 22. Effets des facteurs biotiques sur la survie des nématodes.

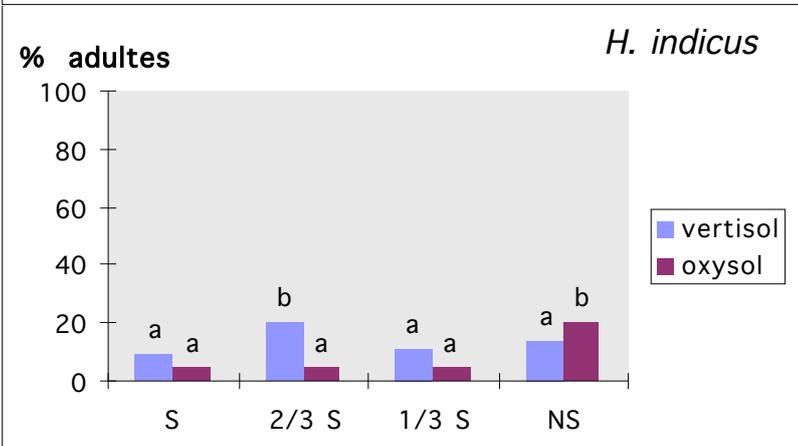
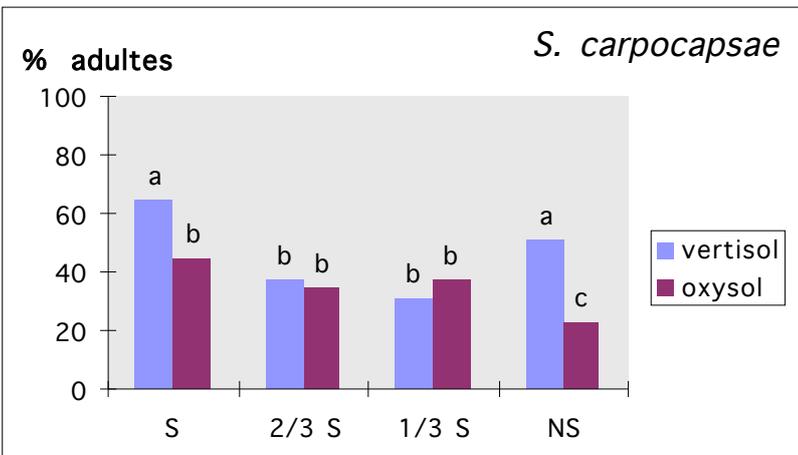


Fig. 23. Effets des facteurs biotiques sur le développement des nématodes.

XII. Evaluation de la pathogénicité des souches (TL₅₀)

Après avoir montré le spectre d'entomopathogénicité des *Steinernema* et des *Heterorhabditis*, il fallait identifier la pathogénicité de l'ensemble de nos souches vis-à-vis de la cible objet de cette étude □ *C. sordidus*.

Matériel et Méthodes

Les essais sont réalisés dans des boîtes de P_tri (diamètre 90 mm) dont le fond est recouvert de papier filtre. Chaque boîte reçoit 10 *C. sordidus* adultes. Une solution de 1 ml de Ringer contenant 10 000 L3 est déposée sur le papier filtre. Pour chaque souche de nématode testée, 3 répétitions sont effectuées. Les dispositifs sont placés en incubateur à 26°C. La mortalité est relevée chaque jour. Le TL₅₀ est calculé au moyen du logiciel Toxicologie (Febvay et Rhabé, 1992).

Résultats

Le tableau 5 présente le temps létal 50 des différentes souches de nématodes testées, classées par ordre croissant.

Tab. 5. TL₅₀ des souches étudiées.

Isolat	Origine géographique	Genre, espèce	TL 50 (en heures)
PR5	Porto-Rico	<i>H. indicus</i>	114
PR8	Porto-Rico	<i>H. sp.</i>	191
PR17	Porto-Rico	<i>H. indicus</i>	191
PR38	Porto-Rico	<i>H. indicus</i>	208
PR60	Porto-Rico	<i>H. sp.</i>	211
PR20-B	Porto-Rico	<i>H. indicus</i>	222
JM5	Jamaïque	<i>H. sp.</i>	236
FR27	France	<i>S. carpocapsae</i>	238
TT1	Trinidad	<i>H. bacteriophora</i>	241
TT3	Trinidad	<i>H. bacteriophora</i>	241
US97	USA	<i>S. carpocapsae</i>	241
PR20-A	Porto-Rico	<i>H. indicus</i>	247
PR18	Porto-Rico	<i>H. indicus</i>	270
DO10	République Dominicaine	<i>H. sp.</i>	274
CU20	Cuba	<i>H. indicus</i>	288
JM10	Jamaïque	<i>H. sp.</i>	288
FRG3	Guadeloupe, F.W.I.	<i>H. indicus</i>	288
PR14	Porto-Rico	<i>H. indicus</i>	289
EG17	Egypte	<i>H. indicus</i>	303
JM26	Jamaïque	<i>S. bicornutum.</i>	324
DO6	République Dominicaine	<i>H. sp.</i>	326

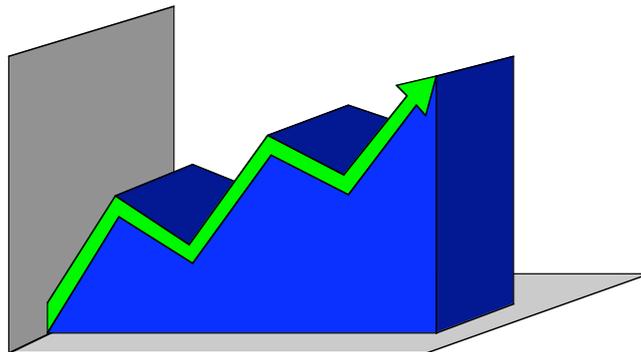
PR22	Porto-Rico	<i>H. indicus</i>	349
DO1	République Dominicaine	<i>H. bacteriophora</i>	351
JM12	Jamaïque	<i>H. indicus</i>	353
DO2	République Dominicaine	<i>H. indicus</i>	354
PR2-B	Porto-Rico	<i>H. indicus</i>	354
RU87	Angleterre	<i>S. anomali</i>	360
DO16	République Dominicaine	<i>H. indicus</i>	364
DO7	République Dominicaine	<i>H. bacteriophora</i>	379
JM2	Jamaïque	<i>H. sp.</i>	388
PR1	Porto-Rico	<i>H. sp.</i>	398
CS66	Tchécoslovaquie	<i>S. feltiae</i>	442
PR19	Porto-Rico	<i>H. indicus</i>	443
DO4	République Dominicaine	<i>H. indicus</i>	446
FRG2	Guadeloupe, F.W.I.	<i>H. bacteriophora</i>	446
USUT22	USA	<i>H. bacteriophora</i>	505
FRG1	Guadeloupe, F.W.I.	<i>H. bacteriophora</i>	508
US72	Floride, USA	<i>S. glaseri</i>	520
PR27-B	Porto-Rico	<i>H. indicus</i>	553
AR90	Argentine	<i>S. rara</i>	584
PR63	Porto-Rico	<i>H. indicus</i>	624
PR2-A	Porto-Rico	<i>H. bacteriophora</i>	639
PR62	Porto-Rico	<i>H. sp.</i>	640
PR54	Porto-Rico	<i>H. indicus</i>	689
DO3	République Dominicaine	<i>H. indicus</i>	1065
PR27-A	Porto-Rico	<i>H. indicus</i>	1775

Conclusion

Le temps léthal varie de 114 à 1775 heures et met en évidence l'importance du choix d'une souche qui doit tenir compte également des sensibilités antérieures mises en évidence. Parmi *H. indicus*, certaines souches portoricaines sont particulièrement virulentes et la souche guadeloupéenne FRG3 fait partie des candidats potentiellement intéressants. FR27 est une souche de *S. carpocapsae* très virulente.

TROISIEME PARTIE

Expérimentations préliminaires aux essais terrain



I. Evaluation de la taille minimale d'échantillonnage

Les moyens humain et le matériel du laboratoire ne permettant pas de réaliser des expérimentations sur de très grandes surfaces nous avons recherché (par la méthode des moyennes cumulées) le nombre minimum de bananiers à échantillonner nécessaire pour quantifier la population de *C. sordidus* dans une parcelle.

Matériel et Méthodes

Les expérimentations ont été réalisées soit, sur 16 petites parcelles (1000 m²) à Capesterre-St Sauveur, soit sur une grande parcelle (0,5 Ha) à Capesterre-Neuf Château.

Dans chaque cas, le piège, constitué par un morceau de pseudo tronc (50 cm) coupé dans le sens de la longueur et posé au pied de chaque bananier, est relevé après 24 heures. Les insectes sont ensuite dénombrés.

Résultats

La figure 24 montre que le plateau est atteint aux alentours de 20 bananiers. L'échantillonnage de plants supplémentaires n'améliore guère la précision de la mesure, et ce, quel que soit le degré d'infestation (de 2 à 6 charançons/plant). Les résultats obtenus sont identiques dans les différentes parcelles des deux lieux échantillonnés.

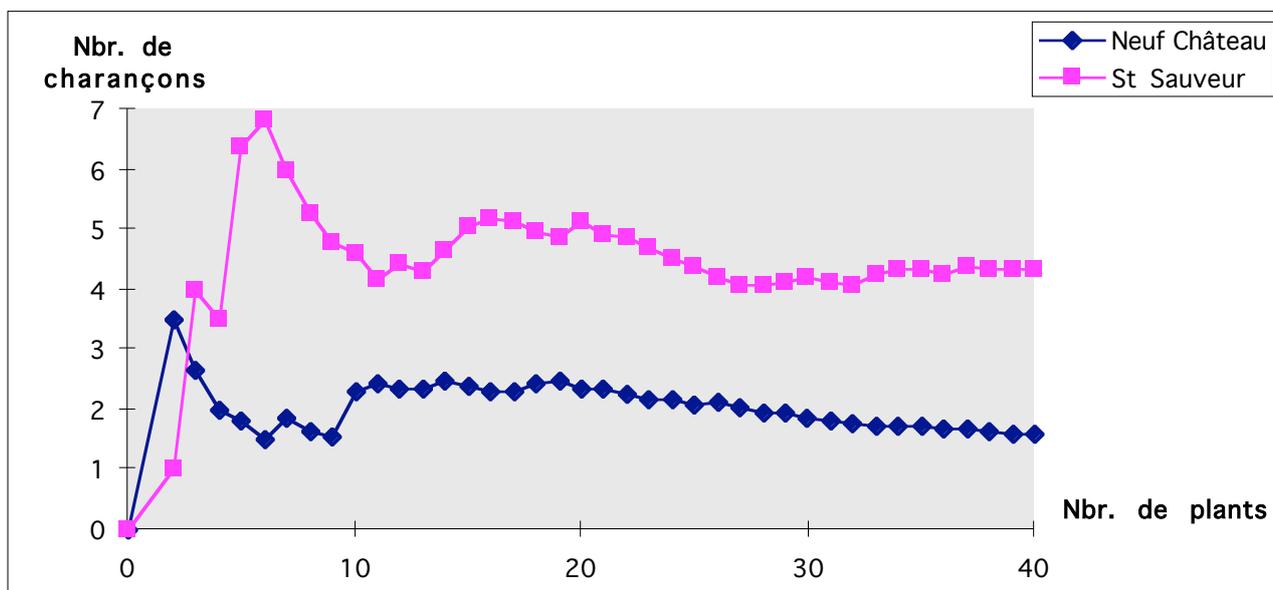


Fig. 24. Moyenne du nombre de charançons trouvés en fonction du nombre de plants piégés.

II. Infestation supplémentaire des parcelles

Une moyenne de cinq charançons/plant représente une forte infestation et est un fait exceptionnel. Toutefois, il est difficile d'évaluer l'effet d'un traitement sur de si faibles effectifs. Des essais d'implantation de *C. sordidus* dans les parcelles ont été entrepris.

Matériel et Méthodes

Les essais ont été conduits au domaine du CIRAD, à Capesterre-Neuf Château, sur 8 micro-parcelles de 42 bananiers (20 centraux et 22 bananiers de bordure) ainsi qu'au Jardin de St Sauveur.

Dans chacune de ces micro-parcelles la population naturelle a été évaluée par piégeage et trente charançons adultes, marqués par ablation de tarse, ont été relâchés au pied de chacun des 20 bananiers centraux.

Le suivi des populations naturelles et implantées, sur tous les bananiers, a été réalisé par piégeage, 2, 6, 15, 30 et 37 jours après le dépôt des insectes marqués.

Seuls les résultats du CIRAD sont présentés ci-dessous.

Résultats

Dans toutes les parcelles, le nombre de charançons marqués chute rapidement pour se stabiliser le quinzième jour au niveau de la population naturelle (Fig. 25). Le pourcentage de migration des charançons marqués, des bananiers centraux vers les bananiers de bordure est faible et équivalent d'une parcelle à l'autre (2% en quinze jours). Il ne peut expliquer la disparition des insectes. La population naturelle reste stable durant l'essai. Il existe une hétérogénéité entre micro-parcelles et entre les plants d'une même micro-parcelle (Fig. 26).

L'apport de charançons ne permet donc que de doubler les populations naturelles.

A partir du 15^{ème} jour les populations implantées réagissent comme les populations naturelles (coefficient de corrélation égal à 0,76; significatif à 1%).

Des résultats similaires ont été obtenus à St Sauveur (coefficient de corrélation égal à 0,32; significatif à 1%).

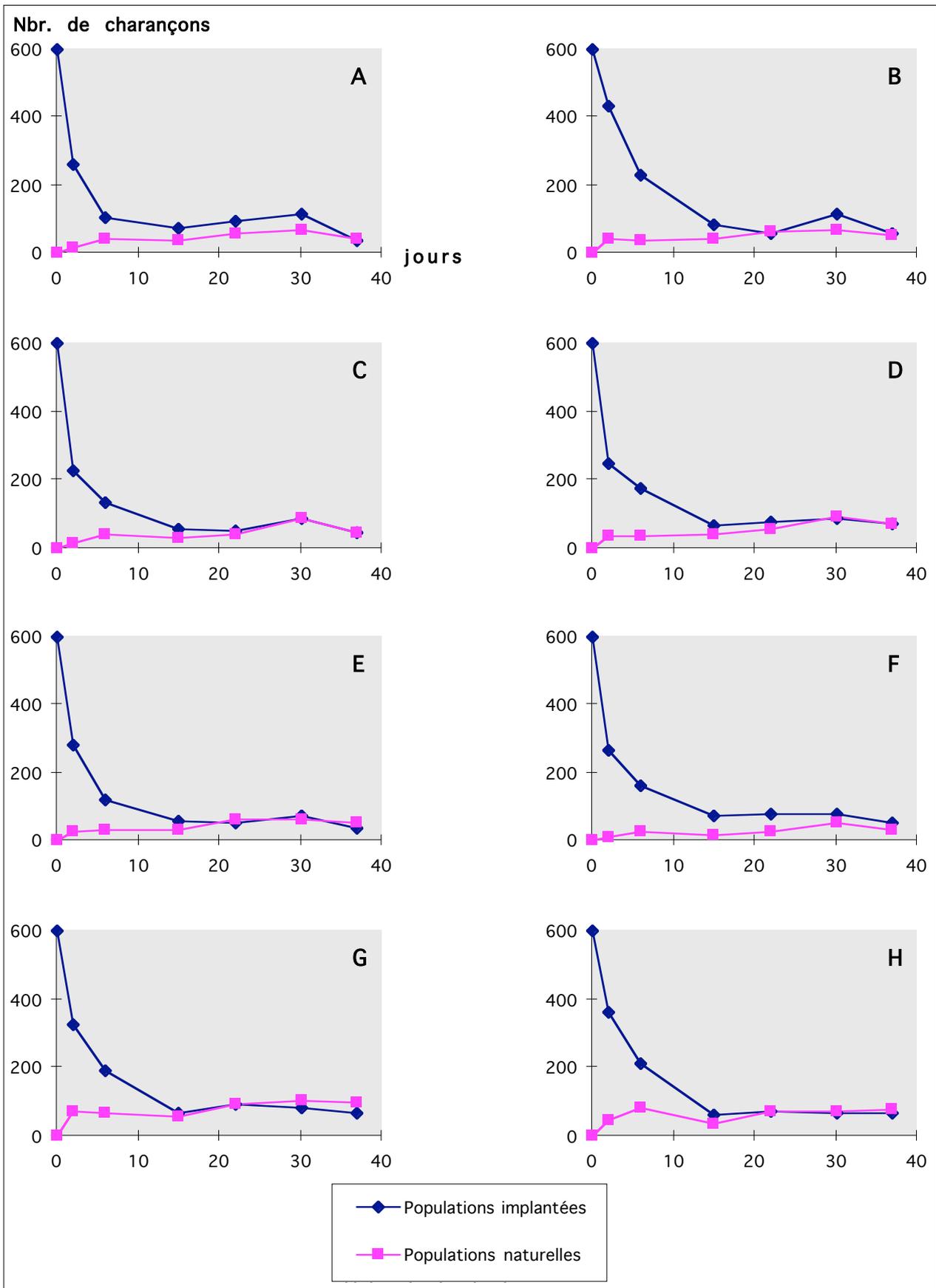


Fig. 25. Evolution des populations naturelles et implantées au cours du temps dans les micro-parcelles du CIRAD

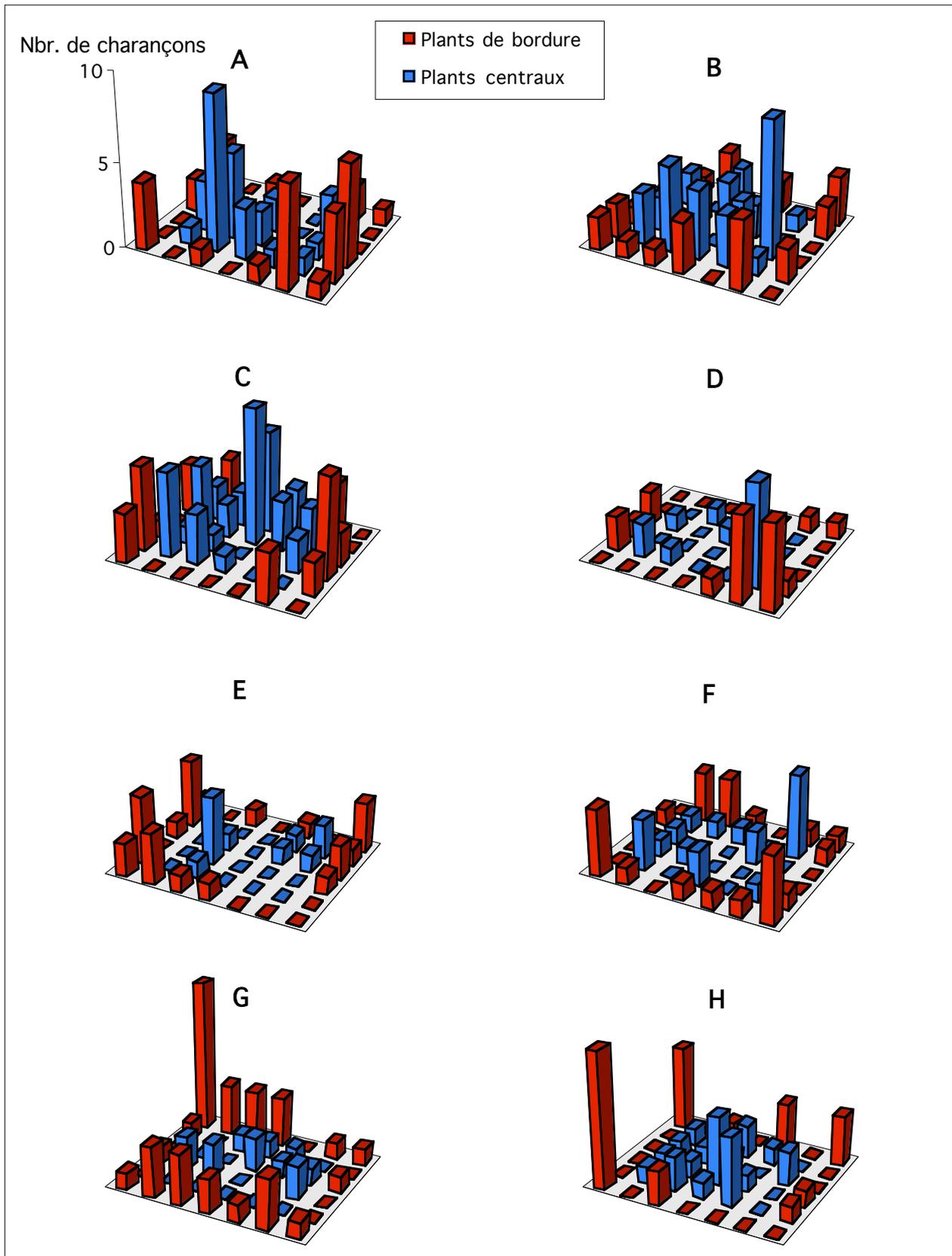


Fig. 26. Répartition hétérogène des charançons dans les différentes micro-parcelles du CIRAD.

III. Matériel de traitement

Les appareils de traitement utilisés sont des pulvérisateurs Hardi d'une contenance de 8 litres équipés de buses délivrant 0,8 l/min. La pression maximale est de 4 bars; la pression normale d'utilisation étant de 3 bars.

Matériel et Méthodes

Effet des pulvérisateurs sur la survie des nématodes

Pour chaque souche, 10 comptages sont réalisés avant et après passage dans le pulvérisateur. La moyenne et l'intervalle de confiance sont calculés. Le test de Mann et Whitney réalisé sur les chiffres bruts permet de voir si les différences sont significatives au seuil de 5%.

Effet des pulvérisateurs sur le pouvoir pathogène des nématodes

Afin d'évaluer l'impact sur le pouvoir pathogène, pour chaque souche, dix larves de *Galleria* sont mises en infestation individuelle en boîte de Pétri avec 200 nématodes avant et après passage dans le pulvérisateur. Trois jours après la mort des insectes on réalise le dénombrement des nématodes par la technique de la digestion pepsique.

Résultats

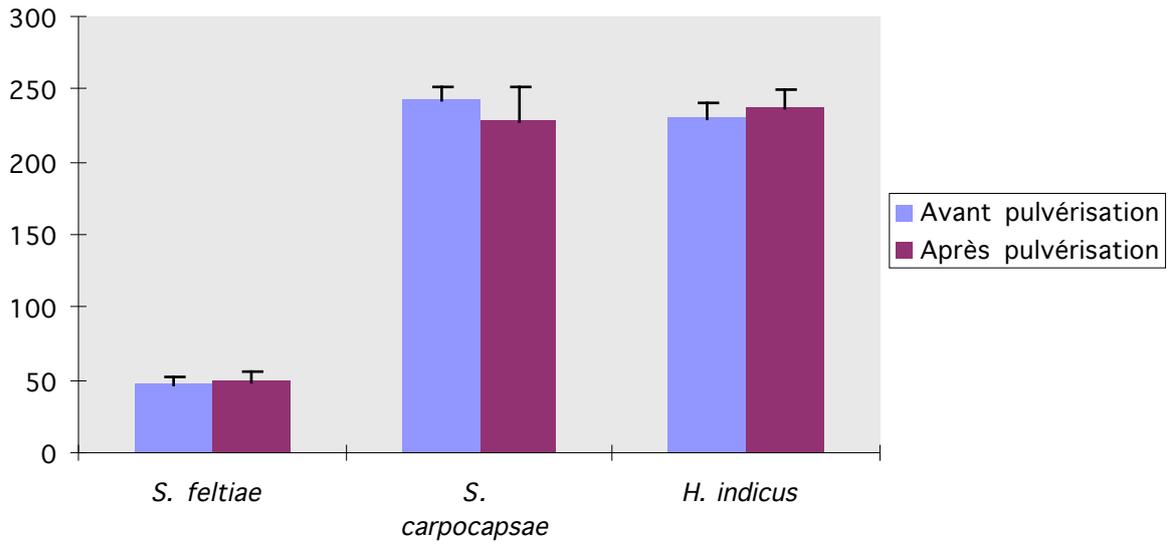
Sur la survie (Fig. 27)

Les nématodes ne semblent pas affectés par le passage dans le pulvérisateur. Que ce soit pour *S. feltiae*, *S. carpocapsae* et *H. indicus*, il n'y a pas de différence significative avant et après passage dans le pulvérisateur (respectivement la valeur de p est de : 0,468; 0,149 et 0,291).

Sur le pouvoir pathogène (Fig. 28)

Il n'y a aucune différence significative de pouvoir pathogène entre les nématodes avant et après passage dans l'appareil de traitement. Pour *S. feltiae*, *S. carpocapsae* et *H. indicus* la valeur de p est respectivement égale à : 0,438; 0,433 et 0,294.

moyenne du nbr. de nématodes



moyenne du nbr. d'adultes

Fig. 27. Effet du pulvérisateur sur la survie des nématodes.

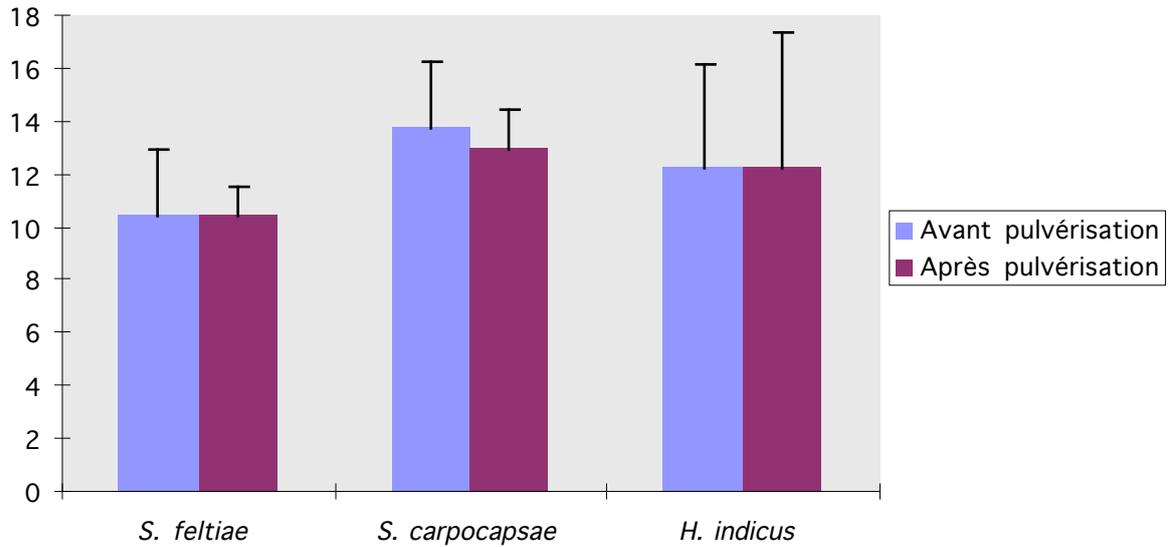


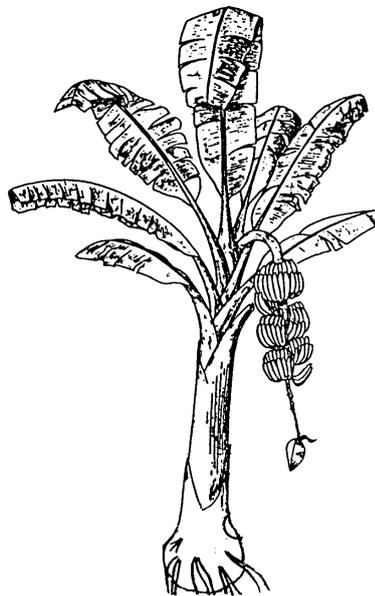
Fig. 28. Effet du pulvérisateur sur le développement des nématodes.

Munis des enseignements biologiques recueillis au chapitre 2 et des expérimentations préliminaires décrites au chapitre 3, les expériences en vraie grandeur ont été entreprises dans des plantations de bananiers de Guadeloupe pour remplir la mission assignée par le programme ANVAR correspondant aux dispositions dites de la phase 1 de la convention. Cette phase devait être accomplie dans 3 sites différents correspondant aux 3 essais décrits ci-après. Le protocole des essais 1 et 2 étant le même, il sera décrit tout d'abord, avant l'analyse des résultats de chacun d'entre eux. Nous nous réserverons une analyse plus détaillée pour l'essai 3 qui sera séparé des deux précédents car son interprétation a été utilisée à d'autres fins que le simple contrôle biologique.

Il faut signaler tout de suite que les conditions climatiques des Antilles, qui ont été celles de la période de ces essais, ont particulièrement perturbé nos travaux de telle sorte qu'aujourd'hui encore une conclusion définitive ne peut être donnée. Le 2^{ème} essai a été ravagé par le cyclone Luis, le 3^{ème} essai par une sécheresse exceptionnelle.

QUATRIEME PARTIE

Essais Terrain



I. Protocole des essais 1 et 2

Les expérimentations sont réalisées respectivement en Mai et Juillet 1995, au Jardin de Saint Sauveur à Capesterre Belle-Eau (Sol : Halloysite, Altitude : 100 m, Pluviométrie moyenne annuelle : 300 mm) et au CIRAD-FLHOR à Neuf Château (Sol : Andosol, Altitude : 250 m, Pluviométrie moyenne annuelle : 400 mm), dans des bananeraies de 0,5 Ha, n'ayant subi aucun traitement depuis deux mois, sur des bananiers (Grande Naine; sous-groupe Cavendish) de 1^{er} cycle âgés de 11 mois. Chaque essai comporte 8 parcelles. La parcelle expérimentale type est composée de 42 bananiers : 20 bananiers centraux, 22 bananiers de bordure. Chaque bananier est numéroté.

Le Bullit est utilisé à la dose de 1,6 l pour 20 l d'eau. Les nématodes seuls sont apportés à la dose de 150 000 L3/bananier, alors que l'association nématodes/Bullit correspond à 150 000 nématodes dans une solution de Bullit à 0,5% de la dose préconisée normalement pour un traitement chimique seul. Chaque bananier traité reçoit 100 cm³ de produit et les bananiers témoins 100 cm³ d'eau. L'appareil de traitement utilisé est un pulvérisateur Hardi d'une capacité de 8 l équipé d'une buse délivrant 0,8 l/min. La pression maximale est de 4 bars; la pression normale d'utilisation étant de 3 bars.

Les populations naturelles de chaque parcelle sont évaluées par piégeage. Ce procédé mis au point en Australie par Froggatt (1923) consiste à déposer au pied de chaque bananier un fragment de pseudo-tronc coupé en deux longitudinalement et disposé à plat sur le sol. Moins de 24 heures après la pose de ces pièges, des charançons sont retrouvés sur la face intérieure du pseudo-tronc. Ces pièges sont changés régulièrement.

Sur chaque parcelle des échantillons de sol (800 g/parcelle) sont prélevés au pied de chaque bananier pour s'assurer de l'absence de nématodes entomopathogènes autochtones.

Afin d'améliorer la précision de l'efficacité 600 *C. sordidus* adultes sont ramenés dans chaque parcelle et déposés à raison de 30 charançons/bananier sur les 20 plants centraux. Ces charançons sont marqués par ablation des tarsi. Ils sont implantés en fin de journée. Les traitements sont effectués 24 heures plus tard, également en fin de journée.

Les relevés se font par piégeage à l'aide de pseudo-tronc. Après comptage des charançons marqués et non marqués, ces derniers sont déposés à nouveau sur les plants correspondants à leur lieu de capture. Les charançons marqués retrouvés sur les plants de bordure sont déplacés à nouveau au centre de la parcelle.

Les relevés après traitements sont effectués à : T0 + 2, 3, 4, 7, 9, 14, 16, 22, 28, 35, 42, 49 et 55 jours; T0 étant le jour de traitement.

Absence de nématodes autochtones - Niveau des populations de charançons

Les échantillonnages de sol réalisés dans les bananeraies avant la mise en place des essais n'ont pas révélé la présence de nématodes entomopathogènes autochtones.

Dans les deux zones les populations naturelles de *C. sordidus* sont stables dans les parcelles témoins durant la durée de l'expérimentation.

II. Essai 1 : Saint Sauveur

Au cours de cet essai la pluviométrie a été continue et régulière (mis à part le 8 Juin). Il n'y a pas de corrélation entre le nombre de charançons piégés et la pluviométrie (Fig. 29).

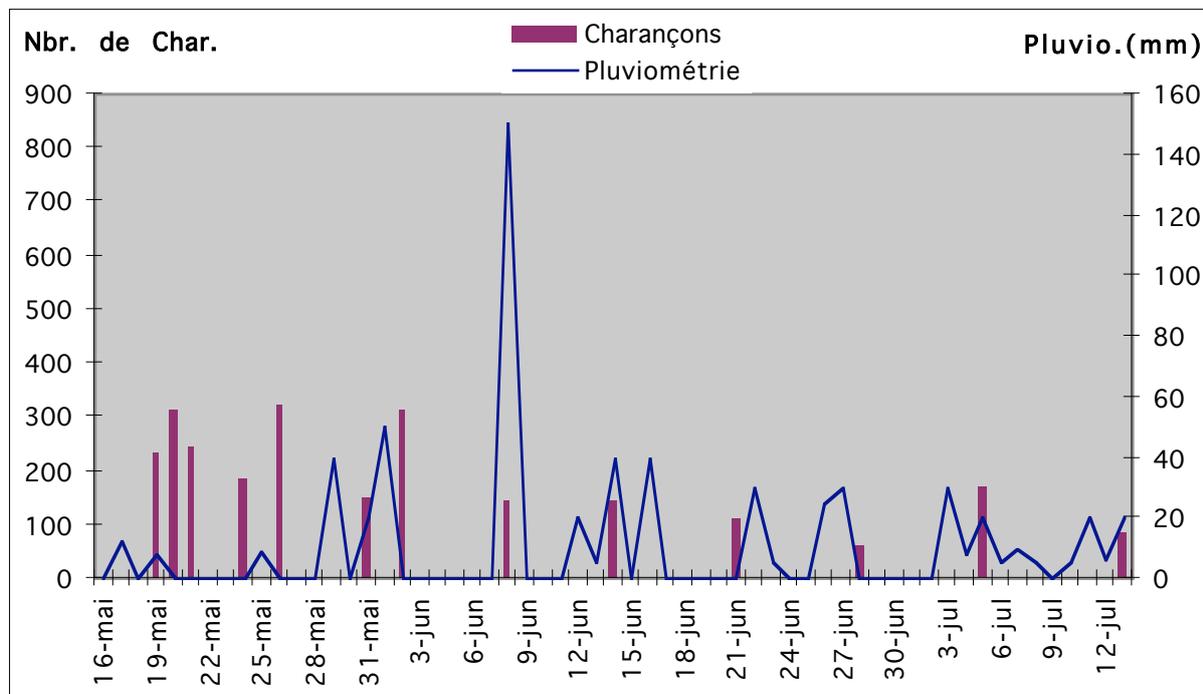


Fig. 29. Pluviométrie et nombre de charançons piégés sur les bordures au cours de l'essai 1.

La figure 30 présente le pourcentage (Abbott) d'efficacité des traitements tout au long de l'essai.

Résultats

L'efficacité du Bullit est supérieure à 90% dès le début du traitement et perdue jusqu'à la fin de l'expérimentation.

L'association Bullit-FRG3, provoque 40% de mortalité dès les premiers relevés, et se stabilise à 50% vers le 15^{ème} jour. Avec FR27, l'effet synergique est moindre (20%). Il est inexistant avec CS66.

Les nématodes seuls ne provoquent aucune mortalité, quelle que soit la souche utilisée.

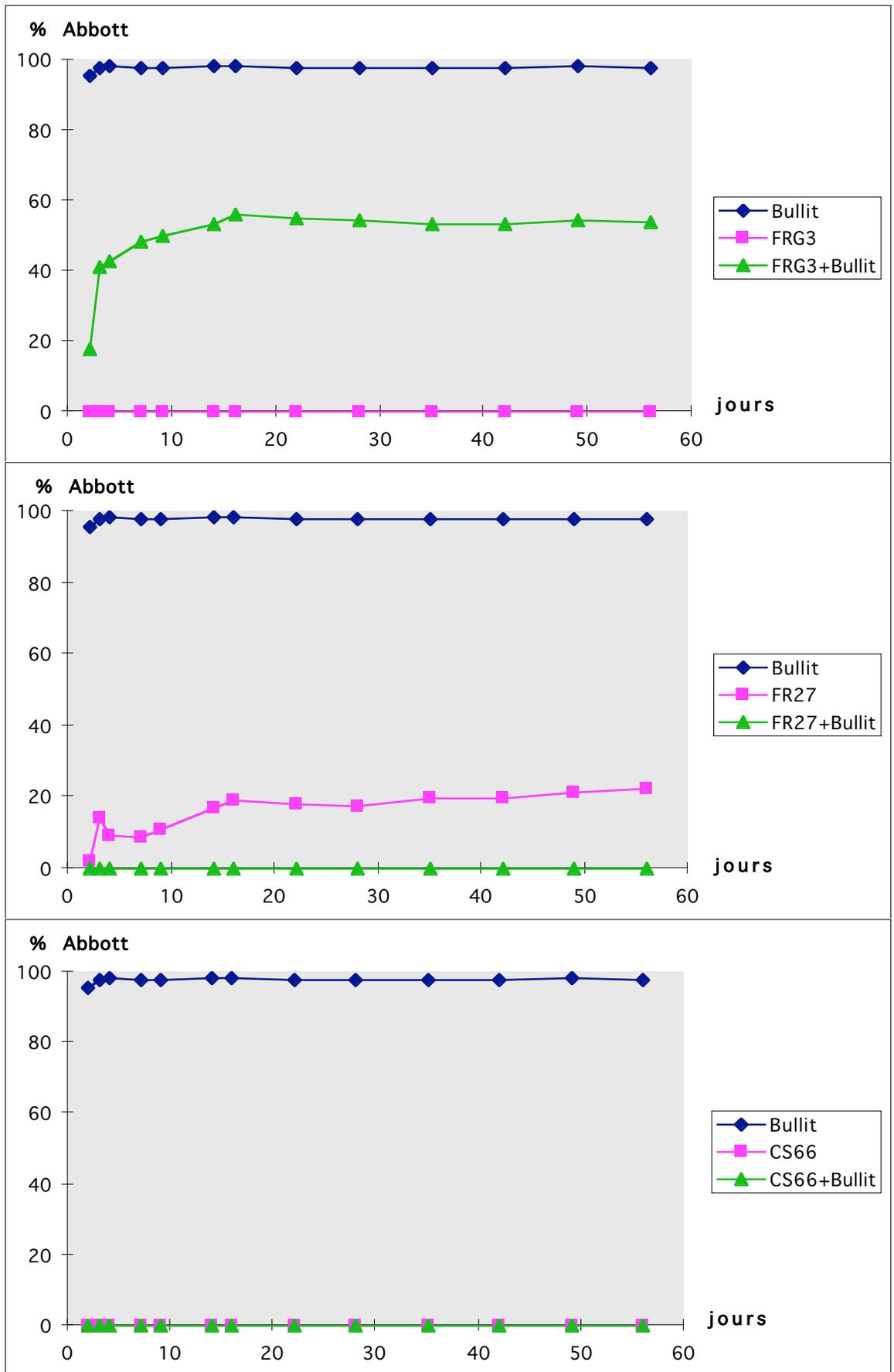


Fig. 30. Efficacité des traitements sur les parcelles de St Sauveur.

III. Essai 2 : Neuf Château

Au cours de cet essai, les données pluviométriques cumulées nous donnent 220 mm pour le mois de Juillet et 300 mm pour le mois d'Août.

L'expérimentation a été écourtée par le passage du cyclone Luis (Fig. 31). Les relevés n'ont pu être effectués que jusqu'au 42^{ème} jour après traitement.



Fig. 31. Dégats occasionnés par le passage du cyclone Luis sur la parcelle du CIRAD.

La figure 32 présente le pourcentage (Abbott) d'efficacité des traitements tout au long de l'essai au CIRAD- FHLOR Neuf Château.

Résultats

Dans les conditions expérimentales, le Bullit, à la dose d'utilisation au champ, provoque entre 80 et 90% de mortalité dès le traitement. Son action se maintient durant les 42 jours de contrôle.

L'association des nématodes avec le Bullit faiblement dosé (0,5% de la dose au champ) provoque une mortalité de l'ordre de 60%, 6 jours après le traitement. L'efficacité se maintient avec les souches FRG3 et FR27 alors qu'elle diminue dès le 8^{ème} jour pour CS66. L'effet synergique mis en évidence au laboratoire ne se retrouve pas pour cette souche sur le terrain.

L'efficacité des nématodes seuls est de 40% pour les souches FRG3 et FR27 alors qu'elle est équivalente au Bullit (80%) pour la souche CS66. Son action se manifeste dès les premiers relevés et reste stable tout au long de l'essai.

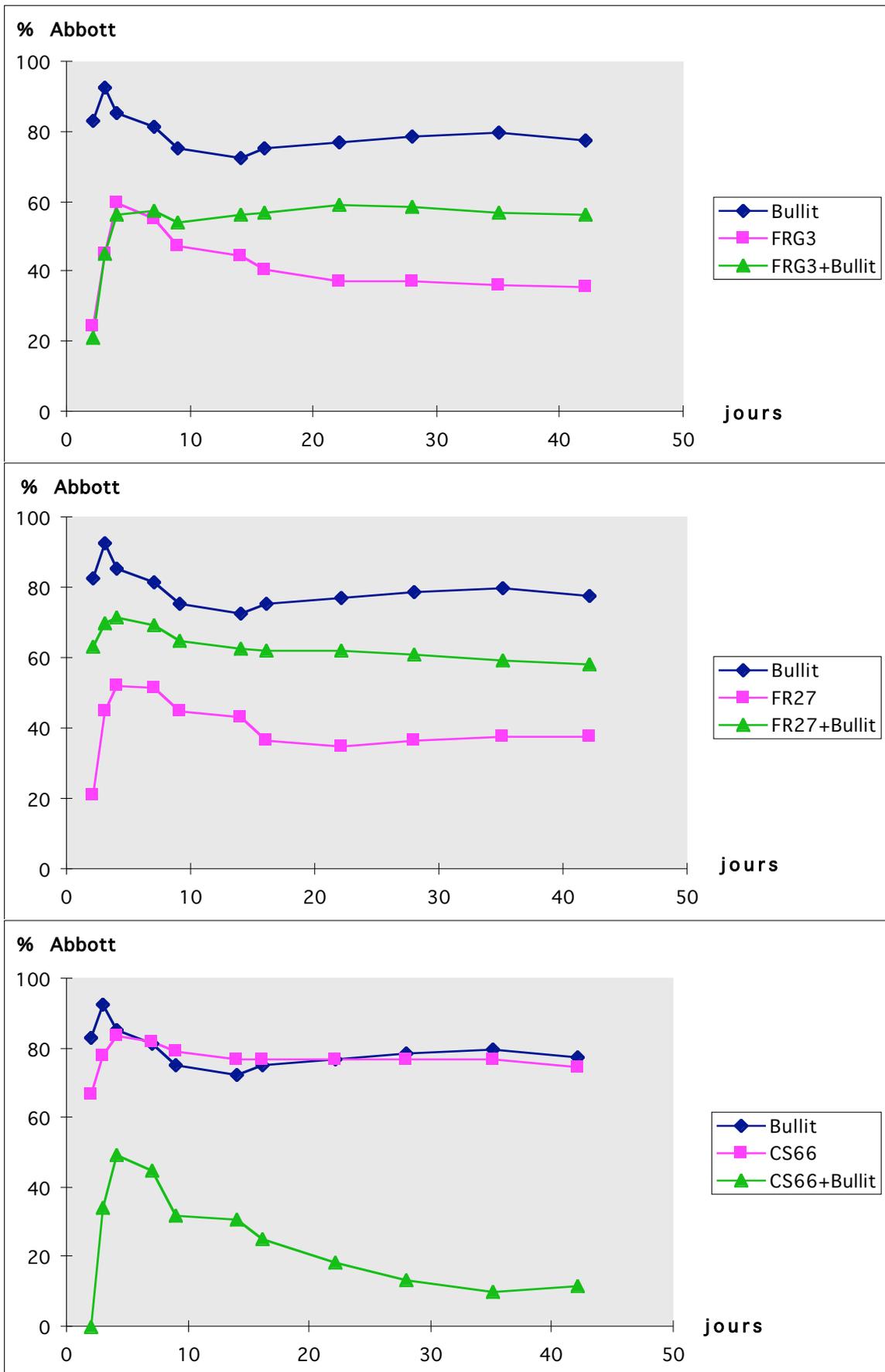


Fig. 32. Efficacité des traitements sur les parcelles de Neuf Château.

IV. Essai 3 ☐ La Glacière-Vernou

Dispositif expérimental

Le 3^{ème} essai s'est déroulé du 11 Mars 1997 au 30 Mai 1997 sur l'exploitation CABRE, située à La Glacière-Vernou, sur la commune de Petit-Bourg (Sol : Oxysol, Altitude : 250 m, Pluviométrie moyenne annuelle : 2000 mm) sur une parcelle de 0,7 hectare n'ayant subi aucun traitement depuis deux mois. Les bananiers de 3^{ème} cycle (Grande Naine, sous-groupe Cavendish), âgés de 11 mois sont plantés sur un terrain en pente (environ 5 m entre le haut et le bas de la parcelle).

La parcelle est divisée en 6 blocs du haut vers le bas. Dans chaque bloc 8 micro-parcelles (correspondant aux 6 traitements et aux 2 témoins) de 6 bananiers sont réparties aléatoirement. Les blocs comme les micro-parcelles sont séparés par 2 rangées de bananiers. Trois rangées font office de bordure de parcelle (voir schéma page 56).

Six prélèvements de 800 grammes de sol, effectués dans la bananeraie, avant la mise en place de l'essai, montrent l'absence de nématodes entomopathogènes dans la parcelle.

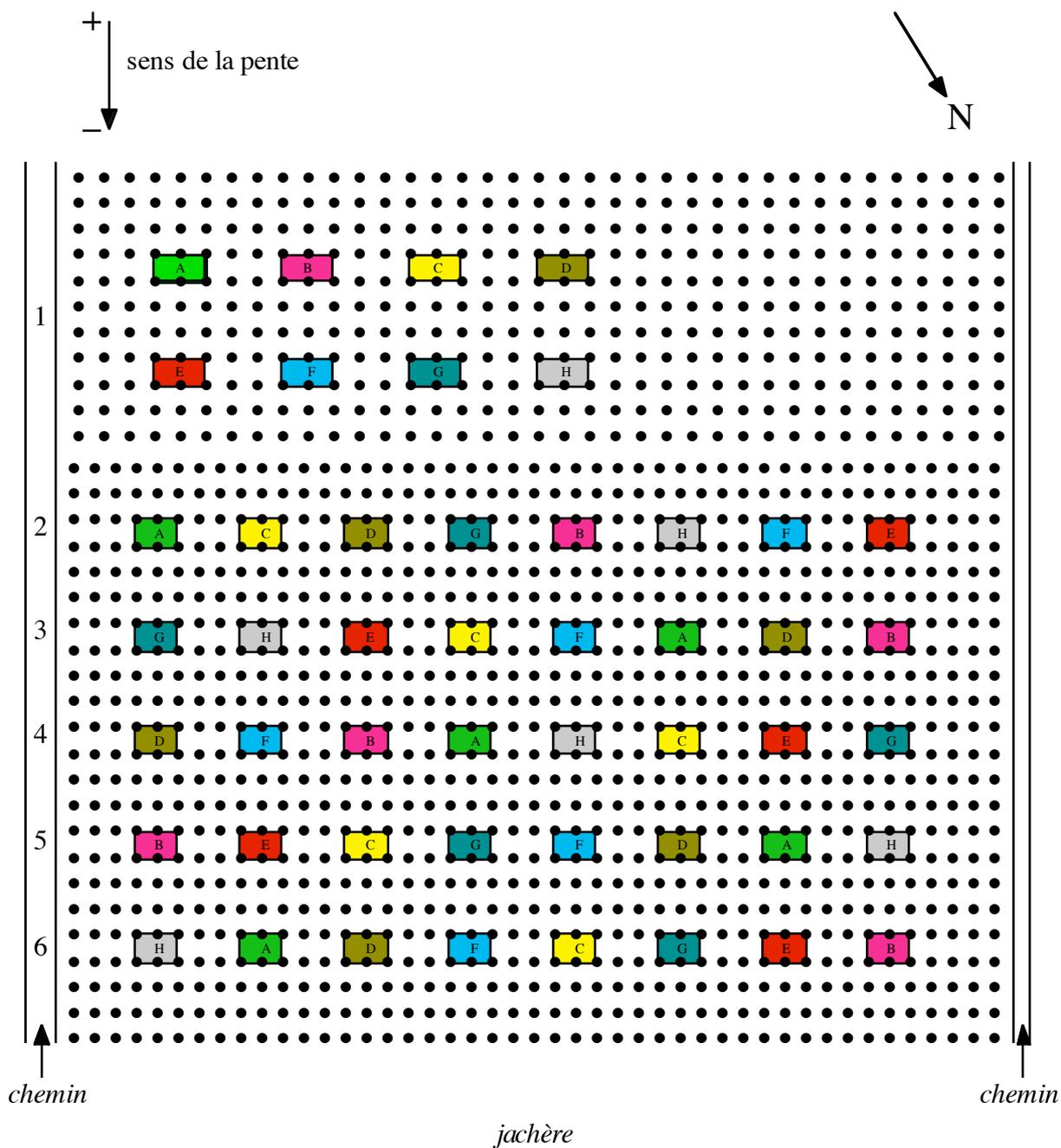
Les populations naturelles de chaque micro-parcelle sont évaluées par piégeage à l'aide de pseudo-tronc.

Dans cet essai 10 charançons ont été implantés (en fin de journée) au pied de chacun des 6 bananiers de toutes les micro-parcelles. Les traitements sont appliqués 24 heures plus tard, en fin de journée, avec un pulvérisateur manuel à dos (Hardi) à la dose de 150 000 larves infestantes/plant (J). Le piégeage des charançons se fait comme dans les expérimentations précédentes à l'aide de morceaux de pseudo-tronc frais déposés à terre. Les pièges sont relevés 4 jours après leur mise en place, à J + 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 et 56 jours.

Les différents traitements sont les suivants :

A : FRG3	B : FRG3 + Bullit 0,5%
C : FR27	D : FR27+Bullit 0,5%
E : Témoin Bullit	F : Témoin eau
G : CS66	H : CS66 + Bullit 0,5%

Parcelle CABRE (La Glacière-Vernou)



1 : numéro du bloc

 : micro-parcelle (le chiffre et la couleur correspondent à un des 8 traitements)

• : plant de bananier

La figure 33 présente le pourcentage (Abbott) d'efficacité des traitements tout au long de l'essai à La Glacière-Vernou.

Résultats

Dans les conditions expérimentales de cet essai, l'efficacité du Bullit à la dose au champ est faible jusqu'à J+14 (60%), puis atteint son maximum à J+28 pour se maintenir au cours de l'essai (Abbott = 70%).

Les nématodes seuls n'ont aucun effet tout au long de l'essai mis à part un pourcentage Abbott voisin de 20% pour FR27.

L'association nématodes/Bullit n'a pas donné un meilleur résultat.

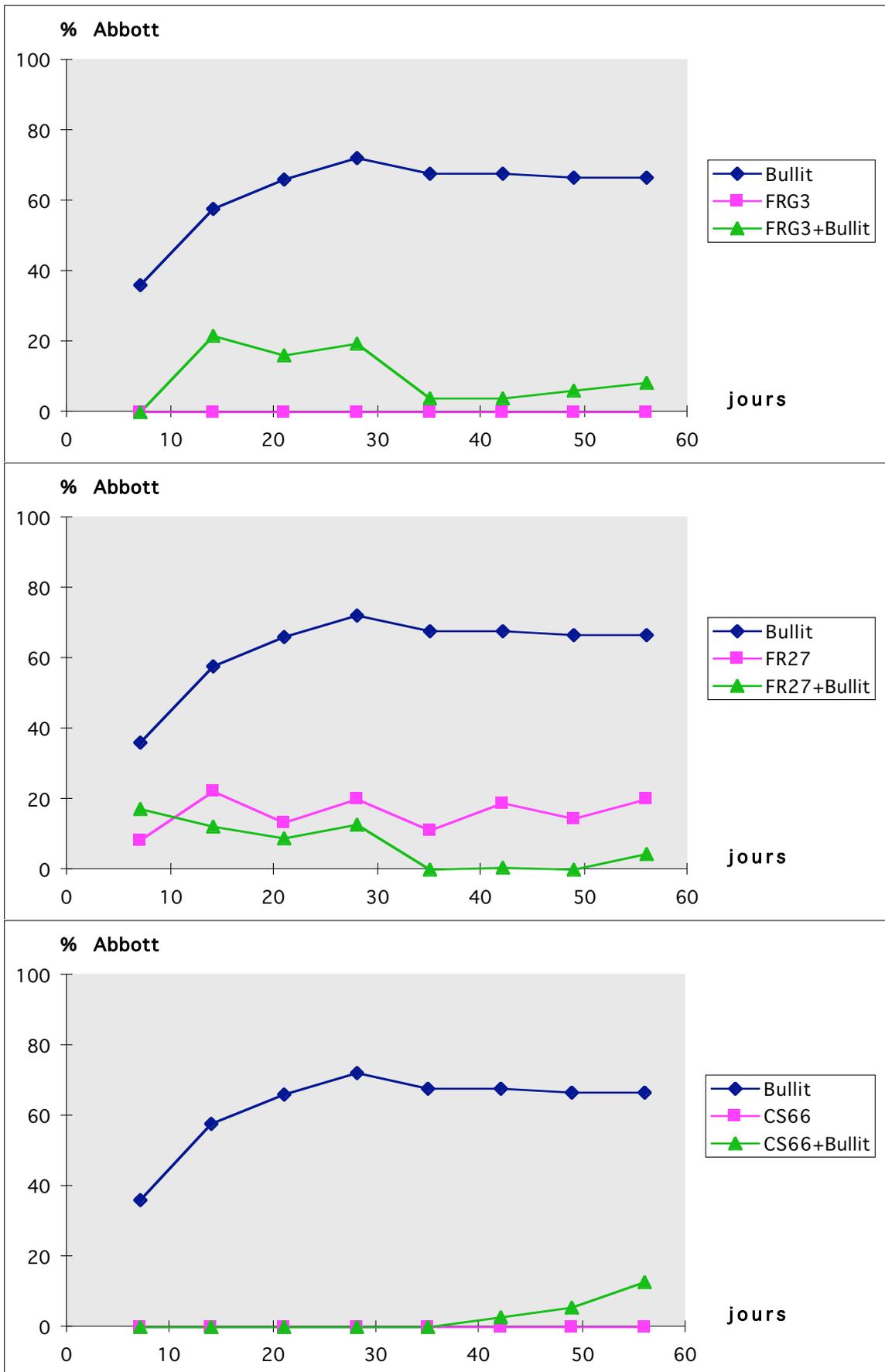


Fig. 33. Efficacité des traitements sur la parcelle de La Glacière-Vernou.

Ces résultats peu encourageants par rapport à ceux des essais 1 et 2 nous ont amené à tenter de mieux comprendre l'évolution de la population en charançons de la parcelle et les facteurs pouvant l'influencer. Compte tenu que cet essai a subi des conditions exceptionnelles de sécheresse, une analyse plus fine de la population des ravageurs s'imposait. Les analyses statistiques suivantes tentent d'expliquer la dynamique de cette biocénose durant la période considérée afin de préciser des notions qui de toute évidence sont encore inconnues et introuvables dans la littérature touchant à la biologie des populations de *Cosmopolites sordidus*.

Analyse statistique

Analyse de l'homogénéité des variances des piégeages de charançons (Test de Hartley)

Quelle que soit la date du relevé des piégeages (de J+7 à J+56) il n'y a pas d'homogénéité des variances parmi les groupes Traitements et Blocs au seuil de 5%. Il y a une exception, lorsque l'analyse de l'homogénéité des variances est effectuée pour les groupes Bloc, à la date J+21, cas pour lequel l'homogénéité des variances est vérifiée au seuil de 5%.

Compte tenu de cette non homogénéité des variances, une transformation mathématique des données de relevé de piégeage s'impose. Une transformation logarithmique a été choisie, transformation classique dans l'analyse de données de population d'insectes. Notre variable Charançon qui donnait le nombre de charançons trouvés sur un piège, à une date, un traitement et un bloc donnés devient la variable transformée issue du calcul suivant :

$$\text{Transformée} = \log (\text{Charançon} + 1)$$

Après application de cette transformation mathématique des données, quelle que soit la date du relevé des piégeages (de J+7 à J+56), on observe une homogénéité des variances parmi les groupes Traitements et Blocs au seuil de 5%. Il y a une exception, lorsque l'analyse est effectuée pour les groupes Traitements, à la date J+28, cas pour lequel, malgré la transformation logarithmique l'homogénéité des variances n'est toujours pas vérifiée au seuil de 5%. Cependant comme la valeur du Hobs n'est pas très éloignée de la valeur $H_{0,95}$ issue de la table, nous considérerons par la suite que l'homogénéité des variances est vérifiée au seuil de 5%.

L'homogénéité des variances ayant été ainsi obtenue nous pouvons passer à l'analyse de la variance proprement dite.

Analyse de la variance (ANOVA) à deux critères de classification (Traitement et Bloc), selon un modèle fixe et pour la variable dépendante transformée

Le modèle fixe d'analyse de la variance étant peu sensible à la non normalité des populations considérées, tant en ce qui concerne le niveau de signification qu'en ce qui concerne la puissance du test, Etant en présence d'échantillons aléatoires, simples, indépendants et de même variance, nous pouvons réaliser les ANOVA sur nos différentes dates de relevé de piégeages et sur notre variable transformée.

Effet Traitement

Pour les dates de relevé de piégeages J+7, 21, 28, 35, 48 et 56 l'effet Traitement est hautement significatif (seuil de 1‰), alors que pour les dates J+14 et 42 il n'est que significatif (seuil de 5%) (Annexe 1).

Il existe des différences entre traitements qui seront étudiées ultérieurement.

Effet Bloc

Pour les dates de relevé de piégeages J+7, 14, 28, 35, 42, 48 et 56 l'effet Bloc est hautement significatif (seuil de 1‰), alors que pour la date J+21 il n'est pas significatif (Annexe 1).

Le dispositif en bloc aléatoire complet était donc justifié. Les différences entre blocs seront analysés par la suite.

Effet Interaction Traitement * Bloc

Pour les dates de relevé de piégeages J+7, 14, 21 et 28 l'effet Interaction est non significatif, pour la date J+35 l'effet Interaction est significatif (au seuil de 5%) et pour les dates J+42, 48 et 56 il est hautement significatif (au seuil de 1‰) (Annexe 1).

L'absence d'interaction signifie que les différences entre traitements aux dates J+7, 14, 21 et 28 sont indépendantes des blocs. Par contre la présence de termes d'interaction non nuls indique que les différences entre traitements aux dates J+35, 42, 48 et 56 dépendent des blocs considérés.

Il est curieux de constater que l'effet Interaction devient de plus en plus fort avec le temps, de J+35, date de son apparition à J+56, dernière date de relevé.

Comparaison a posteriori des moyennes Bloc et Traitement (New multiple range test de Duncan)

Effet Bloc

La comparaison des moyennes Bloc effectuée toutes dates confondues (de J+7 à J+56) met en évidence un groupe constitué des blocs 4, 3 et 2 qui semblent se comporter de manière identique. Les blocs 6, 5 et 1 forment trois groupes élémentaires se comportant de manière différente entre eux et par rapport au groupe précédemment cité (Annexe 1 et Fig. 34).

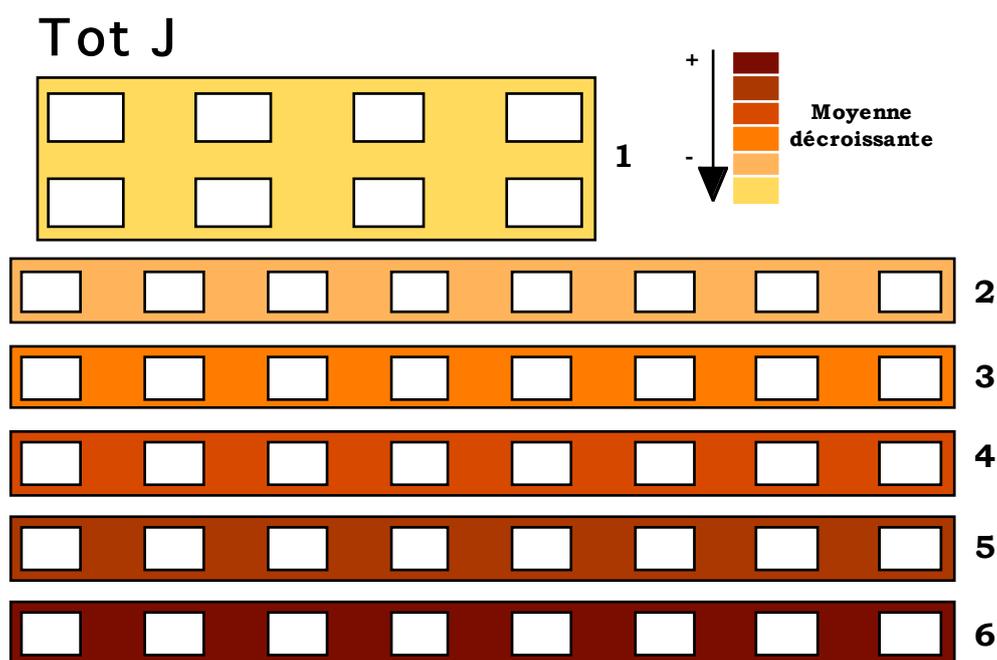


Fig. 34. Représentation de l'effet bloc sur la répartition moyenne des charançons tout au long de l'essai 3.

Les comparaisons des moyennes Bloc effectuées par date de relevés de piégeage conduisent aux remarques suivantes :

- Sur les 8 dates de relevé après traitement le bloc 6 apparaît 6 fois avec la moyenne la plus forte (75% des dates) et forme 5 fois un groupe seul (62,5% des dates). Quelle que soit la date il appartient systématiquement au groupe des moyennes les plus fortes (100% des dates).
- Sur les 8 dates de relevé après traitement le bloc 1 apparaît 5 fois avec la moyenne la plus faible (62,5% des dates) et appartient systématiquement au groupe des moyennes les plus faibles (100% des dates)
- Sur les 8 dates de relevé après traitement les blocs 4, 3 et 2 apparaissent 6 fois dans le même groupe de moyenne (75% des dates).
- Le bloc 5 a, quant à lui, une situation intermédiaire entre le bloc 6 et le groupe des blocs 4, 3 et 2.

L'analyse des rangs moyens des blocs sur l'ensemble des dates de relevé après traitement conduit au classement des blocs de 1 à 6 (bloc 1 avec le rang moyen le plus fort et la moyenne la plus faible).

Le comportement différent des blocs semble étroitement corrélé à leur disposition spatiale au sein de la parcelle travaillée. En effet les blocs sont disposés perpendiculairement à une pente décroissante. Le bloc 6, en bas de pente, est donc le plus humide et le bloc 1 le plus sec. Si le nombre de charançons retrouvé par bloc suit également cette disposition spatiale, on en déduit que le charançon du bananier préfère les lieux humides.

Effet Traitement

Les comparaisons des moyennes Traitement effectuées par date de relevé de piégeages conduisent aux remarques suivantes (Annexe 3) :

- Sur les 8 dates de relevé après traitement, celui au Bullit apparaît 8 fois avec la moyenne la plus faible (100% des dates) et forme 5 fois un groupe seul (62,5% des dates).
- Sur les 8 dates de relevé après traitement, le témoin (eau) n'apparaît qu'une seule fois avec la moyenne la plus forte (12,5% des dates).
- Tous les autres traitements ne semblent pas se désolidariser et forment dans 50% des dates un unique groupe de moyenne avec le témoin.
- Le traitement FRG3 et le traitement FRG3+Bullit apparaissent dans 7 dates sur 8 (87,5% des dates) dans le même groupe de moyenne alors que les traitements FR27 et FR27+Bullit d'une part et CS66 et CS66+Bullit d'autre part apparaissent systématiquement dans les mêmes groupes de moyenne (100% des dates).
- Dans seulement 3 dates sur 8 des traitements à base de nématodes ont des moyennes équivalentes au traitement Bullit seul.

L'analyse des rangs moyens des traitements sur l'ensemble des dates de relevé après traitement conduit au classement suivant des traitements : Bullit, FR27, CS66+Bullit, FRG3+Bullit, FR27+Bullit, Témoin, K66 et FRG3 (Bullit avec le rang moyen le plus fort et la moyenne la plus faible).

Conclusion

De cette analyse il ressort que :

- Le traitement chimique à base de Bullit à parfaitement rempli son rôle de témoin positif.
- Il n'y a pas de différence significative entre les traitements à base de nématodes et le traitement Témoin.
- Il n'y a pas de différence significative entre les traitements à base de nématodes seuls et les traitements à base de nématode et de Bullit.

Analyse de la population naturelle avant traitement (Annexe 4)

Les mêmes analyses que pour les dates de relevés de J+7 à J+56 ont été effectuées sur les données du piégeage effectué avant le traitement. La même transformation logarithmique a été appliquée à ces données afin d'obtenir une homogénéité des variances indispensable aux calculs qui ont suivi.

ANOVA à deux critères de classification (Traitement et Bloc), selon un modèle fixe et pour la variable dépendante transformée.

L'effet Traitement n'est pas significatif, l'effet Bloc est hautement significatif (au seuil de 1%) et l'effet Interaction est significatif (au seuil de 5%).

Si l'absence d'effet traitement et la présence d'un effet Bloc sont justifiées par l'absence de traitement et la présence de la pente, l'effet Interaction ne semble pas compréhensible. Toutefois un deuxième effet Bloc, ou la disposition particulière du bloc 1, pourraient induire des différences significatives pour certains blocs, sans que ces différences soient significatives dans l'ensemble. L'espacement des bananiers du bloc 1 et l'âge de ces mêmes bananiers étant différents de ceux des autres blocs, ce sont probablement les causes de ces différences.

Comparaison a posteriori des moyennes Bloc (New multiple range test de Duncan)

La comparaison et le classement des moyennes Bloc fait apparaître les mêmes différences que lors de l'analyse sur les dates de relevé de J+7 à J+56. Le bloc 1 a la moyenne la plus faible et le bloc 6 la moyenne la plus forte.

Conclusion

De l'analyse de la population naturelle on peut déduire une infestation relativement homogène de la parcelle étudiée selon les blocs mais pas tout bloc confondu.

Analyse des données de piégeage selon les séries chronologiques

Remarques préliminaires

Malgré l'infestation hétérogène de la parcelle, nous avons considéré une infestation moyenne pour la population naturelle.

Pour chacun des traitements et pour chacune des dates de relevés, les calculs des variances et des moyennes ont été effectués sur les données des dates J+7 à la date considérée. Ceci a pour but de minimiser les fluctuations non contrôlées de l'expérimentation. Un test F d'égalité des variances entre la variance globale et la variance d'un traitement à une date considérée a été effectué. L'égalité des variances n'étant pas toujours vérifiée, on ne peut utiliser un test t de Student d'égalité des moyennes, le test u de Student- Fisher a donc été appliqué.

Comparaison des moyennes des traitements selon les séries chronologiques avec la moyenne de la population naturelle

Les moyennes des traitements FRG3, Bullit et CS66+Bullit sont, quelle que soit la date de relevé, significativement différentes (seuil de 5%) de la moyenne de la population naturelle.

Les moyennes des traitements FRG2+Bullit et CS66 ne deviennent significativement différentes (seuil de 5%) de la moyenne de la population naturelle qu'à partir de la date de relevé J+14, alors que les moyennes des traitements FR27 et FR27+Bullit ne le deviennent qu'à partir de la date de relevé J+28.

Ces résultats devraient nous laisser penser que tous les traitements ont eu un effet sur la population de charançons de la parcelle d'essai. Cependant la moyenne du traitement témoin devenant également significativement différente (seuil de 5%) de la moyenne de la population naturelle à partir de la date J+28 il est plus vraisemblable que ces variations ne soient pas dues à un effet traitement dans le temps mais à une évolution quantitative de la population de charançon dans la parcelle au cours du temps.

Le fait que le traitement témoin ne devienne significativement différent de la population naturelle qu'à partir de la date de relevé J+28 indique également que l'apport massif de charançons sur chacun des pieds de bananier avant traitement n'a eu aucune incidence.

Conclusion

La question de savoir ce qu'est devenu l'ensemble des charançons apportés sur la parcelle avant traitement reste entière. Le faible déplacement des charançons interdit de penser à une fuite massive de ces charançons hors de la parcelle. Une mortalité massive due au choc brutal du passage des conditions d'élevage en laboratoire au champ est possible. Une autre possibilité résiderait dans un enfouissement massif de ces charançons qui resurgiraient a posteriori. Ces sorties du sol pourraient alors induire les fluctuations de population observées.

L'analyse chronologique conduit à tempérer l'ensemble de cette analyse du fait des fluctuations de notre population. Bien que la comparaison des moyennes par bloc en nombre de charançon au cours du temps ne révèle pas de différence significative au seuil de 5% il apparaît nécessaire d'effectuer une analyse de la population au cours du temps.

Structure de la population de charançon

Hypothèse de départ

Compte tenu du fait que le bloc 1 de l'essai semble induire des différences sur nos analyses statistiques et que l'absence d'effet traitement des nématodes entomopathogènes seuls ou en combinaison avec du Bullit ait été démontrée, l'ensemble des analyses qui vont suivre sera effectuée sur les blocs 2, 3, 4, 5 et 6. Le bloc 1 est volontairement délaissé. Nous conserverons cependant les données issues des micro-parcelles traitées au Bullit.

Type de population (Fig. 35)

L'évolution de la population totale a été estimée à l'aide d'une équation du type : $P(t)=P(0)*\exp(rt)$ où $P(t)$ est l'effectif au temps t et r le taux instantané d'accroissement. La régression exponentielle sur nos relevés bruts et sur l'ensemble de nos dates de relevés conduit à l'équation : $P(t)=401,06*\exp(0,0082*t)$ avec un coefficient de détermination de 0,505. On en déduit un taux d'accroissement journalier $\lambda_j=1,008$ soit un taux d'accroissement hebdomadaire de $\lambda_h=1,05$. r étant peu différent de 0 (ou λ peu différent de 1) la population est presque stationnaire sur les trois mois de notre étude (taux de natalité et taux de mortalité constants et égaux).

Il est cependant particulièrement difficile de raccrocher ce taux d'accroissement journalier à un phénomène biologique. En effet ce paramètre intègre aussi bien la durée du développement, la fécondité que la mortalité et nous ne connaissons pas l'influence de l'apport de 2880 charançons au temps 0.

L'évolution quantitative et hebdomadaire de la population de charançons, ou plus exactement de nos relevés de piégeage, est significativement corrélée au seuil de 5% avec la pluviométrie du deuxième jour avant piégeage (Pearson de 0,75) et corrélée au seuil de 1% avec la pluviométrie du cinquième jour avant piégeage (Pearson de 0,81). L'incidence de la pluviométrie peut être vue de deux manières : soit elle agit sur le piège en le rendant plus attractif (conservation de son état frais, accélération de la dégradation, etc...), soit les charançons sortent et se déplacent par temps humide (mouvement horizontaux et/ou verticaux) (Fig. 36).

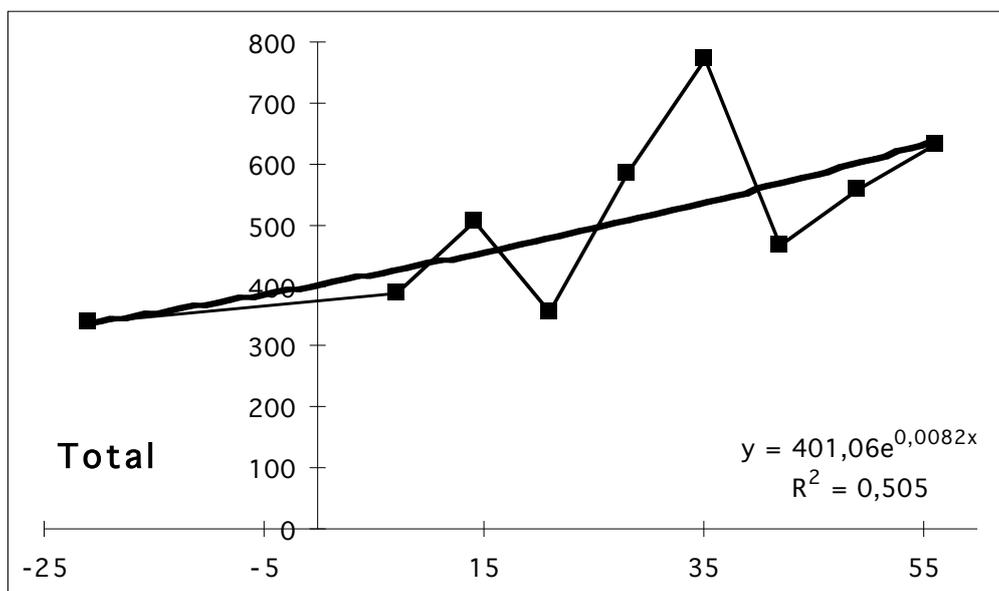


Fig. 35. Evolution de la population totale en charançons au cours de l'essai 3.

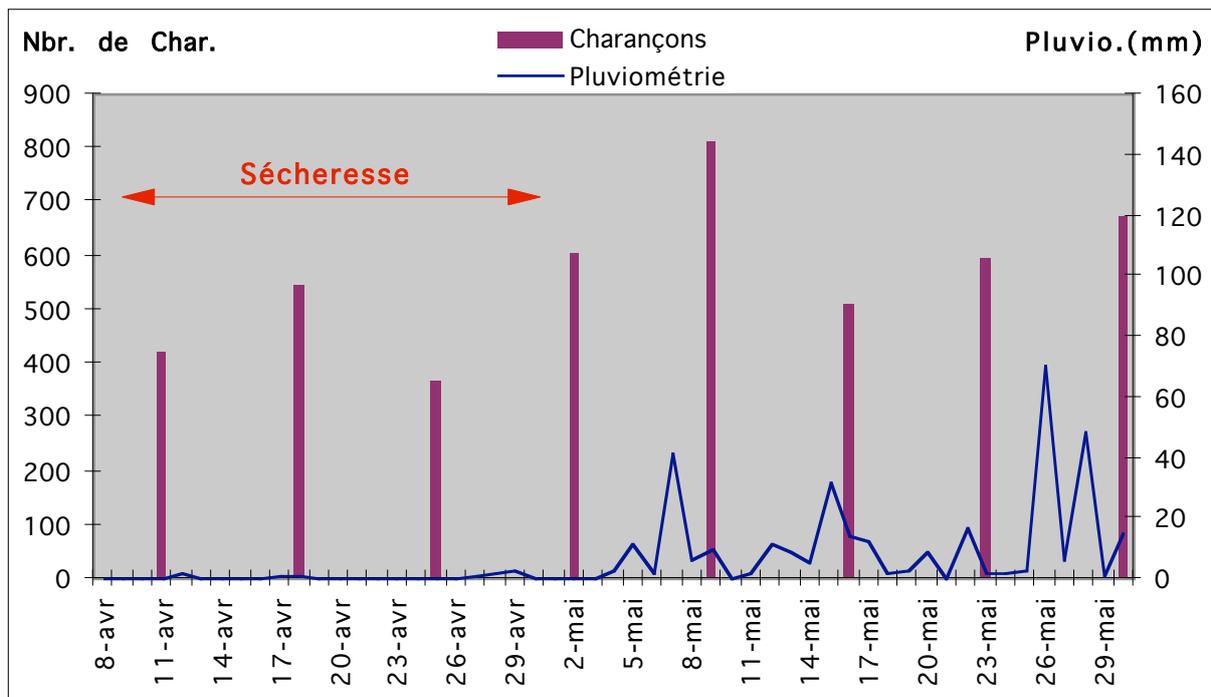


Fig. 36. Corrélation entre la pluviométrie et le piégeage des charançons.

Type de répartition

Pour ce faire l'index d'agrégation b , issu de la « Taylor's power law », a été calculé. Il s'agit en fait d'un paramètre estimé par la régression linéaire de la formule reliant la variance à la moyenne $\ln(\text{variance}) = \ln(a) + b \cdot \ln(\text{moyenne})$. Cette régression aboutit à l'obtention de la droite : $\ln(\text{variance}) = 0,7006 + 1,604 \cdot \ln(\text{moyenne})$ avec un coefficient de détermination de 0,8631. La comparaison du coefficient b avec la valeur 1 permet de dire si la population est répartie de manière régulière, au hasard ou agrégative. Le coefficient b est ici de 1,604 ce qui permet de conclure à une population de type agrégative sur l'ensemble des dates de relevé (Fig. 37).

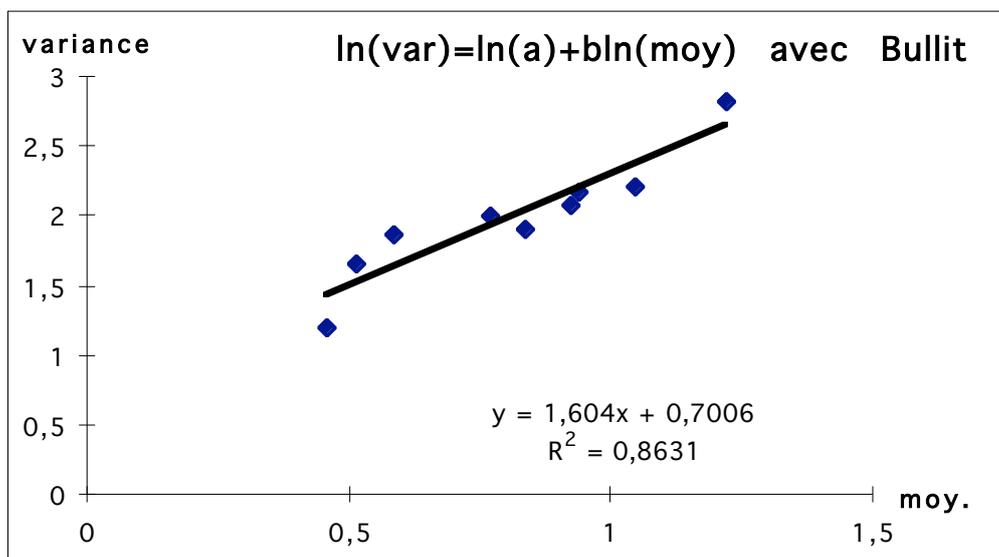


Fig. 37. Calcul de l'index d'agrégation b .

Une autre méthode consiste à calculer le «Lloyd's index of patchiness» ou LIP à chaque date de relevé. Ce coefficient est calculé comme suit :

$$LIP = (\text{moyenne} + \text{variance} / \text{moyenne} - 1) / (\text{moyenne})$$

Ce coefficient s'interprète de la même manière que le coefficient b par rapport à la valeur 1. Quelle que soit la date de relevé, le LIP est ici supérieur à 1 (valeur de 1,71 à 2,44) (Tab. 6), ce qui revient à dire que la population de charançons au sein de la parcelle d'essai reste agrégative tout au long de l'essai. Les tentatives de corrélation (coefficient de Pearson) du LIP avec la pluviométrie ne se sont pas révélés significatives. Les fluctuations du LIP au cours du temps ne sont pas corrélées avec la pluviométrie des jours précédents, ni avec les sommes de la pluviométrie des jours précédents (valeurs brutes et transformées logarithmiquement).

Tab. 6. Evolution du L.I.P. au cours de l'essai 3

	Pop 0	J+7	J+14	J+21	J+28	J+35	J+42	J+49	J+56
LIP	2,31	2,44	1,84	1,71	1,95	2,19	2,14	1,88	1,79
Char.	388	420	545	367	605	809	507	595	675

Malheureusement la structure en bloc de l'essai interdit d'aller plus loin et de calculer les tailles de ces agrégats par la méthode des quadrats.

Répartition spatio-temporelle

La cartographie spatiale des micro-parcelles avec leurs effectifs en charançons aux différentes dates de piégeage, fait apparaître des déplacements des forts effectifs et des faibles. Cependant cette représentation ne permet pas d'appréhender les mouvements horizontaux et verticaux (Annexe 5).

Une tentative de visualisation a été tentée par le calcul du barycentre des effectifs en charançons. Ce dernier devrait être interprété comme le "preferendum" écologique ou centre de gravité. Sa position au cours du temps ne semble pas varier malgré la faible évolution quantitative de la population (Fig. 38).

La moyenne de déplacement du barycentre d'une date à une autre est de 1,988 m.

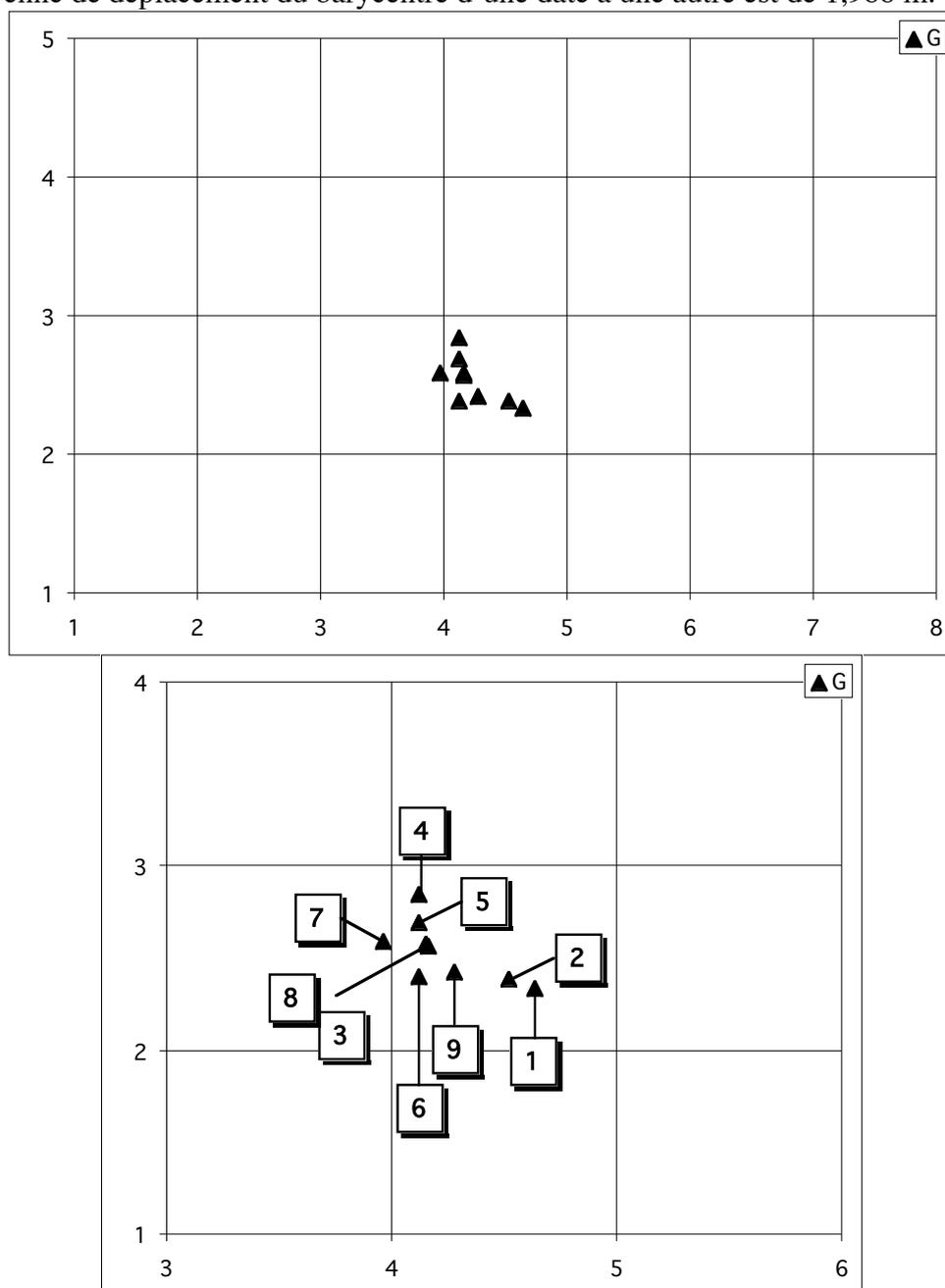


Fig. 38. Evolution du barycentre au cours de l'essai 3. Dans le schéma du bas les numéros 1 à 9 correspondent respectivement aux dates Pop.0 à J+56. Dans le schéma du haut les points d'intersection sont les micro-parcelles, le bloc 1 n'étant pas pris en compte.

Ce calcul a été fait également pour la micro-parcelle témoin des essais 1 et 2, en ce qui concerne les populations naturelles et implantées (Fig. 39). Le déplacement du barycentre de la population naturelle à St Sauveur est important à cause du nombre très faibles de charançons piégés (1 à 3 pour les 20 bananiers centraux tout au long de l'essai).

Comme l'indique Delatre (1980) les charançons adultes ne se déplacent pas beaucoup à l'intérieur d'une même parcelle. Seules des migrations verticales, causées par l'état hydrique du sol peuvent expliquer les faibles variations d'effectifs enregistrés.

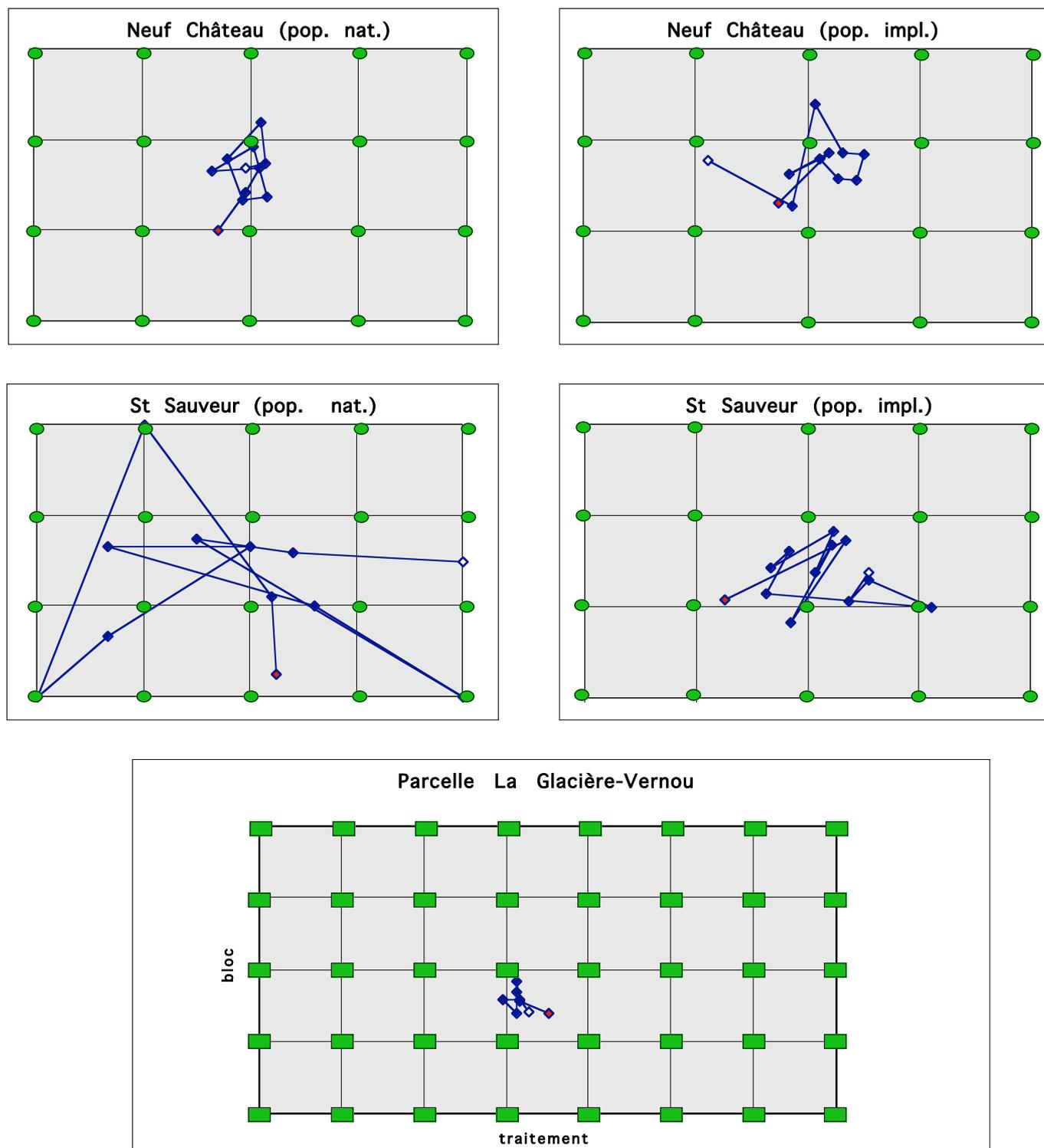
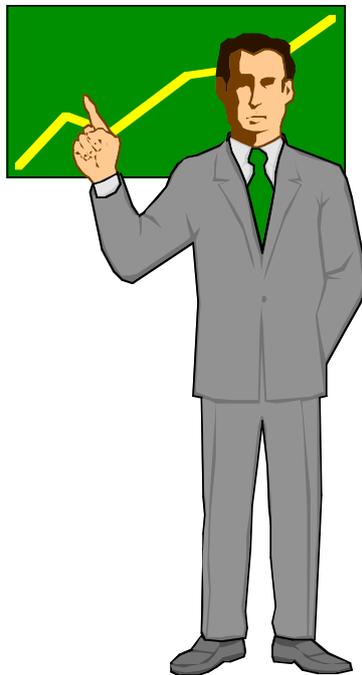


Fig. 39. Evolution du barycentre au cours des essais 1, 2 et 3.

Conclusion



V. Conclusion

L'objectif de ce travail, à finalité essentiellement agronomique, était d'évaluer les possibilités d'utilisation des nématodes entomopathogènes (Steinernematidae et Heterorhabditidae) contre un des principaux ravageurs du bananier : *Cosmopolites sordidus*.

La première partie de notre étude (2^{ème} partie de ce rapport) s'est donc attachée à vérifier la sensibilité de l'insecte cible aux nématodes, à évaluer l'effet des facteurs biotiques et abiotiques du milieu sur la mobilité, la survie et le développement de ces agents biologiques et à estimer l'impact de ces auxiliaires sur l'entomofaune des bananeraies.

Il ressort de ce travail que :

1 - les larves et les adultes de *C. sordidus* peuvent être parasités, en laboratoire, par les nématodes entomopathogènes. D'une manière générale, les larves sont nettement plus sensibles que les adultes. La mortalité intervient dans les 2 jours pour les larves alors qu'il faut 9 à 12 jours pour les adultes. La pénétration des larves infestantes dans les insectes s'effectue en règle générale par les orifices naturels (bouche, anus, ostioles), mais peut avoir lieu, pour certaines espèces par perforation cuticulaire. Les larves infestantes de nématodes peuvent pénétrer dans des insectes morts mais ne se développent pas dans des cadavres de plus de 3 jours. Les nématodes sont également incapables de se multiplier dans des insectes préalablement infestés par des micro-organismes (virus, bactéries, champignons). Enfin, l'efficacité dépend de l'espèce et/ou de la souche utilisée. Des différences notoires ont été constatées en termes de TL₅₀.

2 - les larves infestantes de nématodes peuvent pénétrer et survivre dans les galeries larvaires de *C. sordidus*.

3 - la mobilité des larves infestantes, plus aisée dans les vertisols que dans les oxysols, est surtout dépendante de l'espèce. Les nématodes de grande taille (*S. glaseri* et *S. feltiae*) se déplacent moins dans ces types de sol que les nématodes de petite taille (*S. carpocapsae*, *H. indicus* et *H. bacteriophora*). Toutefois, il ne faut pas oublier que les résultats obtenus peuvent également dépendre des techniques de chasse de l'espèce helminthique (''chasse à l'affût ou chasse à coudre'').

4 - le type de sol de part sa composition chimique, sa structure et la pédofaune qu'il héberge peut influencer la survie et/ou le pouvoir infestant des nématodes. Nous avons mis en évidence que parmi les substances chimiques, les bases échangeables (Ca²⁺ et Na⁺) peuvent être des facteurs limitants la survie et le développement des nématodes entomopathogènes. La sensibilité des nématodes à ces cations dépend des espèces. A l'exception de *S. feltiae*, la survie de tous les nématodes testés est affectée par Na⁺. Le développement de *H. bacteriophora* est pratiquement inhibé par tous les cations testés.

La comparaison d'essais réalisés simultanément au laboratoire (température, teneur en eau et structure fixes), sous serre (teneur en eau et structure fixes, température variable) et sur le terrain (température, teneur en eau et structure variables) nous indique que la texture du sol est, pour toutes les espèces testées et quel que soit le type de sol, moins importante que les variations de température ou

d'humidité du sol. Mais les nématodes sont sensibles à la structure du sol, elle même dépendante du type de sol et des conditions climatiques.

Ce point est à mettre en rapport avec des études menées parallèlement dans toute la Caraïbe qui ont montré que la distribution géographique des espèces de nématodes entomophages autochtones correspondait à des espèces tolérant des températures élevées, les unes strictement limitées à la zone tropicale, les autres étant ubiquistes, et donc réparties dans le monde entier, se satisfaisant de conditions climatiques beaucoup plus variées (températures fortes et tempérées). Un défaut d'humidité semble avoir un caractère très limitant, ce qui explique par ailleurs l'échec de l'essai N° 3.

La flore et la faune hébergées dans les sols sont également, de part leur composition et/ou leur abondance, directement ou indirectement (toxines..) responsables du maintien des nématodes dans les sols. Dans ce cas l'effet souche semble prépondérant par rapport à l'effet sol (oxysol et vertisol).

La survie des nématodes en plein champ est faible (< à 1% au bout d'un mois). Nous confirmons ainsi que leur utilisation ne peut être envisagée que par lâchés inondatifs. C'est un fait bien connu et qui explique d'ailleurs l'intérêt porté par les industriels à ce type d'auxiliaires qui ne peut être introduit de manière pérenne. L'intérêt pour l'industriel est double : nécessité d'une production périodique, absence de rémanence pouvant impliquer des bouleversements dans l'environnement.

5 - les pesticides utilisés en bananeraie sont généralement plus nocifs pour les *Heterorhabditidae* que pour les *Steinernematidae* (quelle que soit leur matière active et donc leur mode d'action). Les mortalités observées après 96 heures dans les produits aux doses d'utilisation au champ ne dépassent pas 40% quelle que soit l'espèce de *Steinernema* alors qu'elle atteint souvent 100% pour les *Heterorhabditis*. Il n'existe pas de différence marquée entre *H. indicus* et *H. bacteriophora* de ce point de vue.

Un effet synergique avec différentes souches de nématodes (comprenant des *Heterorhabditis* et des *Steinernema*) et le pyrimiphos-éthyl faiblement dosé (1/200^{ème}) a été mis en évidence au laboratoire. L'association nématodes/pyrimiphos-éthyl provoque une mortalité des charançons en 24/48 heures, au lieu des 9/12 jours requis avec les nématodes seuls. Le pyrimiphos-éthyl faiblement dosé n'agit pas sur les nématodes mais affaiblit les *Cosmopolites*. Les larves infestantes associées à l'insecticide et leurs descendants sont viables. Leur pouvoir pathogène n'est en rien affecté. Nous n'avons malheureusement que peu retrouvé cet effet synergique dans les plantations.

6 - Un certain nombre d'arthropodes vivants en bananeraie sont des hôtes potentiels pour les nématodes entomopathogènes. Toutefois la coïncidence spatio-temporelle entre nématodes et arthropodes sensibles, combinée à la non implantation de ces auxiliaires dans les sols étudiés, ne font pas courir de risque sérieux à la faune sympatrique de *C. sordidus*.

C'est l'ensemble de ces faits expérimentaux recueillis au laboratoire qui a suscité notre engouement pour tenter une expérimentation à grande échelle. Les résultats permettaient d'envisager l'utilisation des nématodes entomopathogènes pour le contrôle de *C. sordidus*. Les résultats sont décrits dans la 3^{ème} et 4^{ème} parties de ce rapport.

Trois souches, choisies en fonction de leur efficacité et de leur adéquation au milieu bananier, ont été retenues (2 *Steinernema* : FR27, CS66 et 1 *Heterorhabditis* : FRG3). Ces souches ont été employées seules ou en association avec un insecticide faiblement dosé dans les bananeraies de Saint Sauveur, Neuf Château et La Glacière-Vernou.

Des essais préliminaires nous ont permis :

- d'estimer le nombre minimum de bananiers (20) nécessaires à l'évaluation précise des populations naturelles.

- de mettre en évidence que lors de ré-infestation de parcelle par un apport supplémentaire de charançons adultes (30/plant), les populations implantées diminuaient rapidement pour rejoindre, en 15 jours, le niveau des populations naturelles. Cette disparition ne peut être expliquée par des migrations horizontales.

- de choisir et de calibrer l'appareil de traitement.

Les protocoles de traitement ont par conséquent été édifiés sur la base de cette première approche. Nous avons choisis des lieux tenant compte de la panoplie des conditions écologiques offertes par les sites d'implantation de la banane en Guadeloupe. L'intérêt reposait en particulier sur le fait qu'aucun nématode entomophage autochtone n'y a été observé; la situation était vierge de ce point de vue. L'efficacité des différents traitements à base de nématodes et d'insecticide seul ou combiné au champ peut se résumer par une activité moyenne des nématodes seuls de l'ordre de 55%, et une synergie remarquable avec l'insecticide Bullit de l'ordre de 80% en fonction de la souche de nématodes. Donc les résultats obtenus lors de ces essais montrent que les nématodes entomopathogènes peuvent réduire les populations de charançons à un niveau économiquement acceptable.

Cette phase 1 montre clairement l'intérêt d'un tel moyen de lutte biologique pour répondre à un problème socio-économique de la région Guadeloupe : le choix d'une lutte contre ce ravageur répond à une politique clairement affichée pour soutenir la production bananière locale et préserver l'emploi. Le programme doit donc être poursuivi dans sa phase 2 afin d'aboutir à un transfert de technologie vers une entreprise créatrice d'emplois.

Notre expérience peut se reporter sur d'autres cultures tropicales, notamment les charançons des agrumes, des ignames, etc., bien que ces derniers n'intéressent pas directement les productions des Antilles françaises en termes de pression économique, puisqu'il ne s'agit dans ce cas que de cultures vivrières.

Bibliographie



BIBLIOGRAPHIE

ALLARD, G. B., NANKINGA, C. & OGENGA-LATIGO, M., 1991. The Potential of Indigenous Fungal Pathogens as a Component of Integrated Management of the Banana Weevil, *Cosmopolites sordidus* in Uganda : A New Research Project. *in* : Biological and Integrated Control of Highland Banana and Plantain Pests and Diseases. *Proceedings of a Research Coordination Meeting*. C. S. Gold & B. Gemmill Eds. Cotonou, Bénin. 118-123pp.

BAERMANN, G., 1917. Eine einfache Methode zur Auffindung von Ankilostum (Nematoden), Larven in Erdproben. *Med. Geneesk. Lab. Weltevr.* 41-47pp.

BOIVIN, G., 1991. Les parasitoïdes des oeufs de Curculionidae. *in* : Biological and Integrated Control of Highland Banana and Plantain Pests and Diseases. *Proceedings of a Research Coordination Meeting*. C. S. Gold & B. Gemmill Eds. Cotonou, Bénin. 97-106pp.

CASTINEIRAS, A., CABRERA, T., CALDERON, A., LOPEZ, M. & LUJAN, M., 1991. Lucha biologica contra *Cosmopolites sordidus* (Germar). *Proc. of Caribbean Meetings on Biological Control*. 5-7 Nov. Guadeloupe, F. W. I. 423-428 pp.

CUILLE, J., 1950. Recherches sur le charançon du bananier *Cosmopolites sordidus*, Germar : Monographie de l'insecte et recherche de ses chimiotropismes. Paris. IFAC *Série Technique* 4. 225 pp.

CUILLE, J. & VILARDEBO, A., 1963. Les Calandrini nuisibles au Bananier. *in* : Balachochowsky, A. S.; Entomologie appliquée à l'agriculture. *Traité I* (2). Masson : 1098-1114pp.

DAS, J. N. & DIVAKAR, B. J., 1987. Compatibility of certain pesticides with DD136 nematode. *Plant Protection Bulletin I. India*. 39(1-2) : 20-22.

DELATTRE, P., 1980. Recherche d'une méthode d'estimation des populations du charançon du bananier, *Cosmopolites sordidus* Germar (Coleoptera : Curculionidae). *Acta Oecol. Appl.* 1(1) : 83-92.

DELATTRE, P. & JEAN-BART, A., 1978. Activités des champignons entomopathogènes (*Fungi imperfecti*) sur les adultes de *Cosmopolites sordidus* Germ. (Coleoptera : Curculionidae). *Turrialba*. 28(4) : 287-293.

EDGE, V. E., 1974. Cyclodiene BHC resistance in *Cosmopolites sordidus* (Germ.) (Coleoptera : Curculionidae) in New South Wales. *Australia. Bull. ent. Res.* 64 : 1-7.

EDGE, V. E., WRIGHT, W & GODYER, G., 1975. *J. Aust. ent. Soc.* 14 : 165-169.

FEBVAY, G. et RAHBE, Y., 1992. «Toxicologie», un programme pour l'analyse des courbes de mortalité par la méthode des probits sur Macintosh. *Cah. Techn. INRA*. 27 : 77-78.

FROGGATT, J.L., 1925. The banana weevil borer (*Cosmopolites sordidus* Chev.) *Queensland Agr. Journal*. 24 : 558-593.

GEORGIS, R. & HOM, A., 1992. Introduction of entomopathogenic nematode product into Latin America and the Caribbean. *Nematropica*. 22 : 81-98.

HAWKINS, B. A., 1990. Global patterns of parasitoid assemblage size. *J. anim.. Ecol.* 59 : 57-72.

- HEDIN, P. A. 1977. A study of factors that control biosynthesis of the compounds which comprise the boll weevil pheromone. *J. chem. Ecol.* 3 : 279-289.
- HUBER, J. T., 1986. Systematics, biology, and hosts of the Mymaridae and Mymarommatidae (Insecta : Hymenoptera). *Entomophaga* . 4 : 185-243
- HUSTACHE, A., 1929. Les Curculionides de la Guadeloupe. Paris.
- KERMARREC, A. & MAULEON, H., 1975. Contrôle biologique expérimental de *Cosmopolites sordidus* par le Rhabditide *Neoaplectana carpocapsae* (Nematoda : Neoaplectanidae). 8th Congress de OTAN, St. Lucia, 4-5 August.
- KERMARREC, A. & MAULEON, H., 1989. Synergie entre le chlordécone et *Neoaplectane carpocapsae* Weiser (Nematoda : Steinernematidae) pour le contrôle de *Cosmopolites sordidus* (Coleoptera : Curculionidae). *Revue Nématol.* 12(3) : 324-325.
- KOPPENHOFER, A. M., 1991. Search and Evaluation of Natural Enemies of the Banana Weevil. in : Biological and Integrated Control of Highland Banana and Plantain Pests and Diseases. *Proceedings of a Research Coordination Meeting*. C. S. Gold & B. Gemmill Eds. Cotonou, Bénin. 87-96pp.
- LEE, D.L., 1970. The fine structure of the excretory system in adult *Nippostrongylus brasiliensis* (Nematoda) and a suggested function of the Excretory glands. *Tissue and cells.* 2 : 225-231.
- LEMAIRE, L., 1996. Les relations sémiouchimiques chez le charançon *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Coleoptera : Curculionidae) et la résistance de sa plante hôte, le bananier. Thèse, Université de Montpellier II. 268 pp.
- MAQBOOL, M. A., GHAZALA, P. & BELGUM, S., 1988. Influence of salts on the hatchability and infectivity of *Meloidogyne javanica* juveniles on tomato. *Pakistan Journal of Nematology.* 5(2) : 99-102.
- MAULEON, H., BRIAND, S., LAUMOND, C. & BONIFASSI, E., 1993. Utilisation d'enzymes digestives pour l'étude du parasitisme des *Steinernema* et des *Heterorhabditis* envers les larves d'insectes. *Fundam. Appl. Nematol.* 16(2) : 185-191.
- MELLO, E., DE MELLO, R. & SAMPAIO, A., 1979. *Biologico.* 45:249-254.
- NEUENSCHWANDER, P., 1988. Prospects and proposals for biological control of *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Coleoptera : Curculionidae) in Africa. in : Nematodes and the borer weevil in bananas. Present status of research and outlook. *Proc. of a workshop in Bujumbura*, Burundi. 7-11 Dec. 1987.
- NGUYEN, K. B. & SMART Jr, G. C., 1996. Identification of entomopathogenic nematodes in the Steinernematidae and Heterorhabditidae (Nematoda : Rhabditida). *J. Nematol.* 28(3) : 286-300.
- OGENGA-LATIGO, M. W. & BAKYALIRE, R., 1991. Some considerations on Strategies for Evaluating Infestation and Damage of Bananas by *Cosmopolites sordidus*. in : Biological and Integrated Control of Highland Banana and Plantain Pests and Diseases. *Proceedings of a Research Coordination Meeting*. C. S. Gold & B. Gemmill Eds. Cotonou, Bénin. 107-117pp.
- PAVIS, C., 1989. Rythme d'activité et comportement agrégatif chez le charançon du bananier *Cosmopolites sordidus* Germar (Coleoptera : Curculionidae). Colloque annuel IRFA, Montpellier.
- PAVIS, C. & MINOST, C., 1993. Banana Resistance to the Banana Weevil Borer *Cosmopolites sordidus*

: Role of Pseudostem Attractivity and Physical Properties of the Rhizome. *in* : Breeding Banana and Plantain for Resistance to Diseases and Pests. *Proceedings of the International Symposium on Genetic Improvement of Bananas for Resistance to Diseases and Pests*, organized by CIRAD-FLHOR. Montpellier, France, 7-9 September 1992. 129-142pp.

PEÑA, J. E. & DUNCAN, R., 1991. Preliminary results on biological control of *Cosmopolites sordidus* in Florida. *Rencontres Caraïbes en Lutte biologique*, C. Pavis & A. Kermarrec édés., coll. *les Colloques de l'INRA*, 58 : 351-358.

PEÑA, J. E., DUNCAN, R. & MARTIN, R., 1991. Biological Control of *Cosmopolites sordidus* in Florida. *in* : Biological and Integrated Control of Highland Banana and Plantain Pests and Diseases. *Proceedings of a Research Coordination Meeting*. C. S. Gold & B. Gemmill Eds. Cotonou, Bénin. 124-139pp.

ROCHE, R. & ABREU, S., 1983. Control del picudo negro del platano (*Cosmopolites sordidus*) por la hormiga *Tetramorium guineense*. *Ciencias de la Agricultura*. 17 : 41-49.

SAMPAIO, A. S., MYAZAKI, I., SUPPLY FILHO, N. & OLIVEIRA, D. A., 1982. Broca da bananeira -*Cosmopolites sordidus* (Germ, 1824) (Coleoptera; Curculionidae) resistente ao aldrin e seu controle com insecticidas sistemicos aplicados no solo. *Biologico*. 48(4) : 91-98.

SCHAUFF, M.E., 1987. Taxonomy and identification of the egg parasites (Hymenoptera : Platygasteridae, Trichogrammatidae, Mymaridae and Eulophidae) of citrus weevils (Coleoptera : Curculionidae). *Proc.entomol. Soc. Wash.* 89 (1) : 31-42.

SHANAHAN, G. & GOODYER, G., 1974. Dieldrin Resistance in *Cosmopolites sordidus* in New South Wales, Australia. *J. econ. Entomol.* 67 : 446-447.

SIMON, S., 1994. La lutte intégrée contre le charançon noir des bananiers, *Cosmopolites sordidus*. *Fruits* 49(2):151-162.

SIRJUSINGH, C., 1990. The use of entomopathogenic nematodes for the control of *Cosmopolites sordidus* Germar (Coleoptera:Curculionidae). Master of Philosophy, Thesis. 44 pp.

SIRJUSINGH, C., MAULEON, H. & KERMARREC, A., 1990. Compatibility and synergism between entomopathogenic nematodes and pesticides for control of *Cosmopolites sordidus* Germar. *Rencontres Caraïbes en Lutte biologique*, Guadeloupe, 5-7 Novembre. Ed. INRA, Paris 1991 (Les Colloques 58). 183-192.

SIRJUSINGH, C., KERMARREC, A., MAULEON, H., PAVIS, C. & ETIENNE, J., 1992. Biological control of weevils and whitegrubs on bananas and sugarcane in the caribbean. *Fla. Entomol.* 75(4) : 548-562.

SWAINE, G. & CORCORAN, R. J., 1973. Laboratory tests against banana weevil borer suspected of being resistant to dieldrin. *Queensl. J. agric.. animal. Sci.* 30 : 73-77.

SWAINE, G., PINESE, B. & CORNOVAN, R., 1980. *Queensl. J. agric.. animal. Sci.* 37 : 35-37.

TRAORE, L., BOIVIN, G., GOLD, C. & PILON, J-G., 1991. Evaluation de l'efficacité des parasitoïdes indigènes des oeufs et des "nouvelles associations" pour la lutte biologique contre le charançon noir du bananier, *Cosmopolites sordidus* en Afrique de l'Ouest : Protocole de Recherches. *in* : Biological and Integrated Control of Highland Banana and Plantain Pests and Diseases. *Proceedings of a Research Coordination Meeting*. C. S. Gold & B. Gemmill Eds. Cotonou, Bénin. 417-426pp.

TREVERROW, N., 1985. Banana weevil borer. Agfacts H6.AE.1, 2de édition : 1-3pp.

TREVERROW, N. & BEDDING, R., 1990. Control of the banana weevil borer, *Cosmopolites sordidus* (Germar) with entomopathogenic nematodes. 233 pp. in : *Proceedings and Abstracts of the Vth International Colloquium of Invertebrate Pathology and Microbial Control*. Adelaide, Australia, August 20-24, 1990.

VILARDEBO, A., 1973. Le coefficient d'infestation, critère d'évaluation du degré d'attaques des bananeraies par *Cosmopolites sordidus* Germ. le charançon noir du bananier. *Fruits*. 28(6) : 417-426.

VISWANATH, B. N., 1977. Studies on the biology, varietal response and control of banana rhizome weevil, *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Coleoptera : Curculionidae). *Mysore Journal of Agriculture*. 11(4) : 597-598.

WEISSENBERGER, A., 1989. Comparaison de la résistance des sols antillais à l'inoculation contrôlée du nématode des galles racinaires (*Meloidogyne incognita*). Mémoire ENITA Bordeaux. 61pp.