



Christian CHABRIER ¹,
Hélène MBOLIDI-BARON ²,
Emmanuel WICKER ¹,

¹ PRAM-Cirad
² CTCS

Techniques de lutte alternative

Dans les zones tropicales humides, les cultures sont soumises aux attaques de nombreux parasites et ravageurs qui peuvent sérieusement réduire la récolte en quantité comme en qualité, voir rendre la culture impossible. En Martinique, sur les principales grandes cultures (bananiers, ananas) mais aussi sur les cultures maraîchères, les agriculteurs ont longtemps utilisé des quantités importantes de produits phytosanitaires : en 1996, près de 1.600 tonnes de produits phytosanitaires à usage agricole ont été commercialisés (Chabrier *et al.*, 2005). Seule la canne à sucre était cultivée avec des volumes restreints de pesticides.

D'autres méthodes de lutte permettent de lutter contre les parasites et ravageurs. Utilisées seules ou combinées entre elles, elles permettent de réduire l'utilisation des pesticides, voire de les rendre inutiles.

MÉTHODES DE LUTTE CULTURALES

Les pratiques culturales peuvent influencer la croissance et le développement des parasites de plusieurs façons. Elles peuvent :

- modifier les conditions édaphiques et climatiques. L'une des principales maladies de l'ananas est la pourriture à *Phytophthora* (*P. cinnamomi* et *P. nicotianae*). Ces champignons attaquent aussi bien le système racinaire, les tiges et les bourgeons terminaux et peuvent détruire jusqu'à 80 % de la récolte. La culture sur billons élevés, associée à la création d'un réseau de drainage, permet de diminuer fortement l'humidité autour des racines et du collet, gênant ainsi à la fois la croissance et la dissémination du champignon. En Martinique, dans la région de Basse Pointe, cette méthode permet à elle seule de contrôler la maladie.



Plantation d'ananas.
Noter les billons qui, en modifiant les conditions d'humidité autour des racines, favorisent la prévention de la pourriture à *Phytophthora*.

- réduire, voire détruire les populations de parasites. L'assèchement et l'exposition du sol au soleil, liés à des passages répétés d'outils en conditions sèches, réduisent notablement les populations de nématodes et de certains champignons. Cet effet peut être direct ou indirect : le travail du sol détruisant les repousses de cultures et les plantes réservoirs de parasites et ravageurs. Ainsi, les planteurs de banane détruisent les souches de bananiers morts dans les jachères pour limiter les populations de charançons à la replantation.
- favoriser la croissance de la plante qui sera capable de mieux résister aux bioagresseurs. Un bon drainage diminue les risques d'anoxie et un travail de sol adapté favorise la croissance des racines. La combinaison des deux pratiques peut suffire à compenser les pertes liées à la présence de bioagresseurs. Par exemple, les agrumes greffés sur *Citrus macrophylla* ou citrange troyer, plantés à plat après un passage de rotobèche à 40 cm de profondeur, ne souffrent plus des attaques de *Diaprepes abbreviatus*, alors que ce charançon, responsable du dépérissement des agrumes, a entraîné la destruction de nombreux vergers de limettiers entre 1980 et 1988.

Ces effets sont ainsi étroitement liés à la biologie du parasite visé (capacité de survie, besoins en eau...) comme à celle de la plante cultivée.

ADAPTATION DES SYSTÈMES DE CULTURES : ROTATIONS ET JACHÈRES

La jachère est utilisée depuis très longtemps pour lutter contre de nombreux parasites du sol sur des cultures annuelles multipliées par graines. Elle consiste à interrompre le cycle infectieux en supprimant la culture hôte.

La réussite de la jachère dépend de la capacité de survie du parasite visé : de quelques mois pour le nématode du bananier *Radopholus similis*, à quelques années (6-10 ans) pour les nématodes à kystes de la pomme de terre *Globodera pallida* et *G. rostochiensis*. Dans les Andes, région d'origine de la pomme de terre, les systèmes de culture traditionnels doivent ainsi faire appel à des rotations longues, sans retour de cette culture avant 10 ans voire plus. A contrario, dans les anciennes bananeraies

martiniquaises, il est possible de réduire considérablement les populations de *R. similis* après seulement 10 à 12 mois de jachère.

La réussite de la jachère dépend également de la capacité de dispersion du ravageur. De faible intérêt contre des insectes bons voiliers comme *Oryctes rhinoceros*, le scarabée ravageur du cocotier et des palmiers, la jachère donne des résultats souvent intéressants contre les nématodes, microorganismes relativement peu mobiles.

Sur les plantes multipliées par voies végétatives (marcottes, boutures, rejets...), l'utilisation de la jachère s'est longtemps heurtée à l'absence de matériel végétal indemne. Dans le cas du bananier, le matériel végétal traditionnel (rejet baïonnette, souche) était généralement contaminé par les nématodes et le charançon *Cosmopolites sordidus*. L'intérêt de l'assainissement du sol était alors réduit : les populations de nématodes se reconstituaient dans des délais très courts, obligeant l'agriculteur à appliquer dès la première année des nématicides.

A partir des années 90, le développement de la culture *in-vitro* a permis de mettre à la disposition des agriculteurs des plants indemnes de nématodes. Après une phase de mise au point nécessaire pour :

- maîtriser la qualité des plants, en particulier leur conformité (suppression des variants) ;
- adapter les pratiques horticoles (mode de plantation, oeillement...)
- améliorer l'assainissement procuré par la jachère : méthode de destruction des plants, gestion des adventices hôtes de nématodes.

De nouveaux systèmes de cultures, combinant ce type de plant et l'assainissement des sols par jachères et rotations culturales se sont développés.

Ces pratiques ont permis en seulement quelques années de diminuer considérablement les populations de *R. similis*. De nombreuses parcelles sont maintenant assainies et conduites sans application de nématicide durant trois voire quatre années. Ainsi, les producteurs martiniquais de banane ont pu réduire leur consommation de nématicides de plus de 60 % entre 1996 et 2004 (passant de 80 tonnes de matières actives en 1996 à moins de 30 tonnes aujourd'hui) !

MÉTHODES DE LUTTE PHYSIQUE

Désinfection des sols à la vapeur

La désinfection des sols à la vapeur consiste à

faire passer un flux de vapeur d'eau sur un substrat (sol, terreau...) pour détruire les organismes vivants à détruire : ravageurs, champignons, bactéries, virus ou adventices (semences, bulbes et rhizomes). La vapeur est issue d'un générateur à fuel et est distribuée dans le sol par des tuyaux perforés, en surface sous une bâche ou une cloche en coffre. La durée d'exposition varie selon les parasites visés et la profondeur à désinfecter et le type de sol (les sols sableux se prêtent mieux à ce type de désinfection).

Outre la destruction des organismes vivants, on obtient des effets secondaires sur le sol :

- décomposition d'une partie de la matière organique avec formation d'ammoniaque ;
- solubilisation des éléments minéraux du sol ;
- augmentation du taux de manganèse assimilable (ce dernier point peut être rédhibitoire : certaines plantes étant très sensible à l'excès de manganèse) ;
- modification de la structure par fragmentation des agrégats ;
- et dans le cas des allophanes, modification irréversible du matériau.

En France métropolitaine, la désinfection des sols à la vapeur était couramment pratiquée jusqu'au premier choc pétrolier de 1974 puis largement remplacée par la suite par l'usage des pesticides. Cette pratique jouit d'un certain regain d'intérêt en maraîchage et est souvent indispensable en pépinière. Elle peut être utilisée en Agriculture biologique.

Solarisation des sols

La solarisation est une méthode d'assainissement des sols obtenus par élévation de la température du sol grâce à l'énergie solaire. En pratique, le sol est recouvert par un film plastique transparent qui capte l'énergie et accumule la chaleur. Près de la surface, la température du sol peut atteindre des niveaux létaux pour de nombreux pathogènes. De plus, la solarisation peut modifier les caractéristiques physiques et chimiques du sol, défavorisant indirectement certains pathogènes.

En Israël, où cette méthode a été mise au point sur sols sableux, il est possible de détruire certains pathogènes jusqu'à des profondeurs de 45 voire 60 cm (Gamliel *et al.*, 2000). En Martinique, les effets observés sur les nématodes sont plus modestes : dans les sols récents à allophanes de la région de Macouba, la des-



Pose de bâche plastique pour lutter contre les parasites du sol (nématodes...) par solarisation. Les fossés sont destinés à fixer la bâche en recouvrant sa bordure de terre.

truction des populations de *Rotylenchulus reniformis* n'est vraiment effective que sur les dix premiers centimètres ; toutefois, cette méthode a entraîné une réduction superficielle des populations de *R. similis* dans les sols infestés.



APPORT DE MATIÈRE ORGANIQUE

De manière générale, les apports de matières organiques (fumiers, fientes, lisiers, composts), modifient la structure du sol et ses caractéristiques chimiques, améliorent la nutrition des plantes et stimulent l'activité biologique globale.

Les amendements organiques modifient également la structure des peuplements de nématodes. Plusieurs facteurs interviennent dans ce phénomène :

- Emission de composés toxiques. Les matières organiques à carbone-azote de rapport C/N inférieur à 15, dégageant de fortes quantités d'ammoniac et de produits dérivés sont les plus intéressants car ce gaz affecte sérieusement la survie de certains nématodes (en particulier les *Meloidogyne*) et la germination de certains champignons (notamment les champignons à sclérotés : *Verticillium spp*, *Sclerotium rolfsi*, *Sclerotinia spp*, *Rhizoctonia spp...*). L'acide nitreux (HNO₂), autre produit de dégradation de la matière organique, tue les microsclérotés de *Verticillium dahliae*. Toutefois, ces matières organiques riches en carbone peuvent, elles aussi, avoir un effet suppressif sur certains nématodes et champignons grâce aux composés phénoliques et aux tannins qu'elles contiennent (Kokalis-Burelle & Rodríguez-Kabana, 1994).
- Augmentation de la température du sol lors de la minéralisation de la matière organique. Cet effet peut améliorer l'efficacité des traitements par solarisation.

L'effet suppressif des composts sur les champignons telluriques a été montré essentiellement en mélanges en pot (culture sous abri). Leur efficacité est souvent liée à des apports très importants. Cependant des effets positifs ont été observés au champ, même à faible dose (Villenave *et al.*, 2003).

LA BIOFUMIGATION

Les Brassicacées (moutarde, colza fourrager, choux...) renferment des glucosinolates, dont la dégradation par la myrosinase produit dans le sol des isothiocyanates, très toxiques pour les champignons et nématodes. Ces substances sont voisines de certains fumigants comme le metham-sodium. D'où le nom de biofumigation qui a été donné à l'enfouissement de résidus de Brassicacées.

De nombreuses expérimentations mettent en évidence une bonne efficacité potentielle. Malheureusement, l'application au champ est rarement réussie : il y a encore beaucoup de travaux à conduire sur les modalités d'enfouissement de ces cultures (*Brassica juncea*, *B. napus*, *Raphanus sativus*) pour optimiser l'efficacité de la biofumigation.

Cependant, en favorisant l'accumulation de gaz en sub-surface, la solarisation améliorerait fortement l'efficacité de la biofumigation ; la combinaison de ces techniques a donné d'excellents résultats en Israël contre des champignons (*Verticillium*, *Fusarium*) et des bactéries du sol (Gamliel *et al.*, 2000).

Enfin des résultats prometteurs ont été obtenus avec des amendements provenant d'autres familles botaniques comme les Astéracées (des *Artemisia spp* peuvent supprimer la croissance de *Fusarium oxysporum*), les Lamiacées et les Rutacées. Diverses huiles essentielles ont été testées avec succès contre des bactéries (huiles de palmarosa et de thymol testées en Floride contre le flétrissement bactérien) et des nématodes (des combinaisons d'huiles essentielles de *Plectranthus* et d'*Haplohyllum* ont un effet larvicide sur *Meloidogyne javanica*).

LUTTE BIOLOGIQUE

La lutte biologique consiste à utiliser un auxiliaire, qui peut être prédateur ou parasite (on parle de parasitoïde pour les insectes prédateurs d'autres arthropodes) du ravageur ou du pathogène à détruire.

Insectes prédateurs et parasitoïdes

Contre les ravageurs qui s'attaquent au système aérien, plusieurs auxiliaires sont souvent disponibles. Aux Antilles, des programmes de lutte biologique ont été lancés dès les années 60 contre le principal ravageur de la canne à sucre, les foreurs, "borers", de la canne à sucre *Diatraea spp.* par introduction successive de quatre parasitoïdes, deux hyménoptères : *Trichogramma fasciatum* et *Apanteles flavipes* ainsi que deux diptères : *Lixophaga diatraea* et *Metagonistylum minense* (Boulet, 1986). L'introduction de *T. fasciatum*, en 1960, a entraîné la destruction de 60 à 70 % des œufs. Entre 1961 et 1965, l'introduction de *L. diatraea* et de *M. minense* a réduit de 50 % la proportion d'entre-nœuds attaqués et un gain de 25 % du rendement en sucre à la récolte. Enfin le dernier parasitoïde *A. flavipes* a été introduit d'Asie en 1977. A la fin des années 80, le taux d'infestation avait ainsi été ramené à moins de 6 %, taux jugé économiquement acceptable. Les contrôles effectués par le CTCS au milieu des années 90 ont permis de vérifier la présence des parasites du borer. En 2005, de nouvelles études en collaboration avec la FREDON ont conduit aux mêmes conclusions en matière de pérennisation des parasitoïdes. Ces travaux ont par ailleurs montré que l'équilibre biologique s'est non seulement maintenu, mais que le taux d'infestation est descendu en dessous de 3 %. Depuis près de 30 ans, la lutte biologique s'est ainsi montrée particulièrement efficace pour contrôler ce groupe de ravageurs.



A gauche :
Dégât de borer
Diatraea sp.
sur canne à sucre.

A droite :
Larve de borer.

De la même façon, plusieurs auxiliaires ont été identifiés pour lutter contre la cochenille rose de l'hibiscus, *Maconellicoccus hirsutus*. L'introduction de la coccinelle prédatrice *Cryptolaemus montrouzieri* et de l'hyménoptère parasitoïde *Anagyrus kamali*, lâchés en masse,

ont permis un contrôle satisfaisant de ce ravageur en Guadeloupe. Contre les aleurodes, principaux ravageurs de la tomate, plusieurs hyménoptères et diptères parasitoïdes ont également donné des résultats satisfaisants.

A contrario, l'usage inconsidéré d'insecticides destinés à la lutte contre un ravageur donné peut, suite à la destruction des auxiliaires naturels, entraîner des pullulations d'un autre ravageur. Ainsi, la destruction des coccinelles du genre *Stethorus spp.* et des staphylins prédateurs par les insecticides peut entraîner de fortes attaques d'acariens.

Les milieux insulaires, milieux fermés où les migrations d'insectes sont plus faciles à contrôler que dans les milieux continentaux, semblent bien se prêter aux programmes de lutte biologique. Cette méthode de lutte est séduisante car elle permet d'éviter les applications d'insecticides et, dans certains cas, de lutter de manière durable et écologiquement pour un faible coût économique.

Cependant, la lutte biologique par introduction d'un organisme exogène n'est pas toujours sans danger : un prédateur introduit peut s'attaquer à des espèces autres que le ravageur visé et entraîner une diminution de la biodiversité. Ainsi, l'escargot prédateur *Euglandina rosea*, introduit à Tahiti pour lutter contre *Achatina fullica*, a entraîné la disparition de plusieurs dizaines d'espèces de gastéropodes (escargots)



endémiques des îles du Pacifique.

Les effets sur les organismes non-cibles doivent donc être évalués avant de réaliser une introduction. Deux facteurs doivent être pris en compte : la sélectivité de l'auxiliaire (un parasi-



toïde hautement spécialisé risque moins de poser des problèmes qu'un insecte capable de s'attaquer à une vaste gamme d'espèces) et ses capacités de dispersion. On évitera ainsi d'introduire un prédateur ou un parasitoïde généraliste et apte à voler loin au profit soit d'auxiliaires très spécifiques, soit d'organismes à faible capacité de dispersion.

Agents pathogènes d'insectes

Pour les insectes vivant dans le sol, la lutte biologique est plus délicate : l'insecte est plus difficile à atteindre par un prédateur ou un parasitoïde. Il est également plus difficile à observer ; il est ainsi souvent moins bien connu que les ravageurs aériens, ses ennemis naturels aussi.

Dans le cas du charançon du bananier, *Cosmopolites sordidus*, œufs, larves et nymphes vivent dans le bulbe des bananiers et sont ainsi abrités. Les adultes, qui vivent généralement enfouis dans les bulbes de bananiers, la litière ou le sol, ne se déplacent que sur des distances restreintes. Ils se prêtent donc mal à la lutte biologique par parasitoïdes et prédateurs : ainsi, les tentatives de contrôle avec le prédateur *Plaesius javanus* ou le parasitoïde *Chrysopila ferruginosa* n'ont donné que des résultats décevants. Leurs principaux prédateurs sont des insectivores généralistes comme le merle *Quiqualis lugubris* ou le crapaud *Bufo marinus* ; leurs effets sur les populations de charançons du bananier sont probablement négligeables. De même, les tentatives d'utilisation d'insectes entomophages contre le ver blanc ravageur de la canne (*Hoplochelus marginalis*) se sont soldées par des échecs à la Réunion.

En revanche, plusieurs agents pathogènes d'insectes ont été étudiés : des champignons (*Beauveria*, *Verticillium* et *Metarhizium...*), des nématodes entomopathogènes (*Steinernema*

spp. et *Heterorhabditis* spp.) et des virus (comme les *baculovirus*, aujourd'hui développés contre les carpocapses ou des noctuelles). Ces pathogènes d'insectes se rencontrent naturellement dans les sols et les cadavres d'insectes infectés.

Signalons enfin des bactéries comme *Bacillus thuringiensis*. Cet agent pathogène sert aujourd'hui de base à des préparations insecticides (bio-insecticides) dont certaines sont largement utilisées. Ces produits sont principalement utilisés contre les insectes aériens.

Contre le charançon du bananier, l'évaluation en laboratoire de nématodes entomopathogènes a donné des résultats prometteurs. Les tentatives de lutte au champ n'ont cependant pas donné les résultats escomptés, tant en Australie, où des nématodes étaient injectés dans des trous réalisés à la base des faux-troncs, qu'en Guadeloupe, où les pathogènes étaient épanchés au sol autour des souches. Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces échecs, comme la sensibilité des nématodes aux conditions de milieu (température et surtout humidité) ou aux produits phytosanitaires, mais surtout la faible capacité de dispersion des auxiliaires sélectionnés ; *C. sordidus* étant un charançon sédentaire, ce point est limitant. L'utilisation d'entomopathogènes doit être alors combinée avec d'autres méthodes destinées à attirer une partie de la population pour la contaminer.

A l'opposé, à la Réunion, le champignon *Beauveria tenella* permet depuis 12 ans de contrôler efficacement le hanneton *H. marginalis* ravageur de la canne à sucre qui se déplace dans le sol.

Contre les maladies fongiques et les nématodes

Suite à de nombreuses années de recherche, un certain nombre de formulations d'agents de lutte biologique sont produites à l'échelle industrielle et mises sur le marché. Huit produits à base de bactéries (formulations de *Bacillus* spp., *Streptomyces* spp., *Coniothyrium minitans*) sont homologués en cultures maraîchères par l'Environmental Protection Agency aux Etats-Unis pour combattre des maladies fongiques (*Pythium*, *Rhizoctonia*, *Fusarium*, *Sclerotinia*). Pour contrôler les nématodes, et parmi les nombreux microorganismes antagonistes (employant le parasitisme ou la prédation) testés in vitro, seules quelques espèces



Femelle de *Steinernema carpocapsae* extraite de l'hémolymphe d'un charançon noir du bananier.

telles l'actinomycète *Pasteuria penetrans*, mais aussi *Bacillus thuringiensis* et *Streptomyces avermitilius*, ont donné des résultats encourageants en conditions réelles.

A ces bactéries il faut ajouter des champignons tels que *Paecilomyces lilacinus*, *Trichoderma harzianum*, *Arthrobotrys irregularis*, *Hirsutella rhossiliensis* et *Verticillium chlamyosporium* ou *V. lamellicola* et quelques nématodes nématophages tels que *Seinura sp.* et *Odontopharynx sp.*

UTILISATION DE MÉDIATEURS CHIMIQUES (PHÉROMONES, INDUCTEURS DE RÉSISTANCES ...)

De nombreux insectes utilisent des substances chimiques pour communiquer. Attractives ou répulsives, certaines sont utilisées pour attirer un partenaire sexuel (phéromone sexuelle) ou des congénères (phéromone d'agrégation). Certaines d'entre elles sont spécifiques à une espèce donnée, d'autres non.

Synthétisées par l'homme, ces substances peuvent être utilisées pour lutter contre des insectes. Plusieurs stratégies sont possibles. On peut citer :

- la confusion sexuelle : en diffusant des quantités importantes de phéromone sexuelle dans le champ, l'agriculteur gêne considérablement l'insecte visé dans sa recherche de partenaires sexuels ; ce dernier se reproduit ainsi difficilement et ses populations restent en deçà du seuil de nuisibilité ;
- le piégeage de masse : des diffuseurs fixés dans des pièges attirent les insectes d'un sexe (phéromone sexuelle) ou des deux (phéromone d'agrégation). Des pièges à sordidine, phéromone d'agrégation émise par les mâles de *C. sordidus* mais qui attirent les individus des deux sexes, sont commercialisés depuis six ans en Martinique. Ils sont constitués d'un diffuseur surplombant un bac d'eau dans lesquels les individus attirés se noient. Cette méthode de lutte permet de retarder la contamination d'une parcelle et de contrôler les attaques lorsque les populations sont faibles ou moyennes. Cette méthode marche encore mieux contre *O. rhinoceros*, scarabée ravageur des cocotiers, qui est beaucoup plus mobile ;
- le piégeage de contamination : au lieu de tuer directement les individus capturés, ces pièges mettent en contact l'insecte avec une préparation contenant un agent pathogène

d'insecte. Contre le charançon des bananiers, insecte sédentaire généralement réparti en agrégats dans les parcelles, cette stratégie a donné des résultats très prometteurs. Nous avons rempli des pièges de sable (au lieu d'eau savonneuse) dans lesquels nous avons apporté chaque semaine des larves de *Steinernema carpocapsae* ; l'objectif était d'infester les charançons piégés afin qu'ils servent de vecteur au nématode pour contaminer leurs congénères. A la Martinique, nous avons réussi à diminuer sérieusement les dégâts de *C. sordidus* dans des champs fortement infestés.

Contre les ravageurs, mais aussi contre les maladies des plantes, des inducteurs de résistance peuvent également être utilisés. Il s'agit de composés qui initient les réactions de défense de la plante et la résistance systémique acquise. Parmi eux, citons l'acibenzolar-S-méthyl (analogue structural de l'acide acétyl-salicylique), d'efficacité moyenne sur flétrissement bactérien, mais également la protéine hrpN d'*Erwinia amylovora*, qui aurait un bon effet contre *R. solanacearum*.

UTILISATION DE VARIÉTÉS TOLÉRANTES ET RÉSISTANTES

Utilisée depuis la nuit des temps, cette méthode est parfois la seule utilisable. Nous citons cette méthode pour mémoire, un article lui étant consacré.

CONCLUSION

De nombreuses méthodes de lutte alternatives ont été étudiées et mises en œuvre. Utilisées seules ou associées entre elles, ces méthodes ont obtenus de grands succès, résolvant parfois de façon pérenne le problème posé par certains ravageurs majeurs comme les borers de la canne à sucre en Martinique.

Elles nécessitent cependant :

- une bonne connaissance du parasite considéré pour trouver les points faibles de son cycle biologique et les exploiter ;
- une bonne technicité pour être développées, surtout quand la solution pour contrôler un cortège parasitaire réside dans la mise en œuvre coordonnée de plusieurs stratégies ;
- plus de rigueur que les simples traitements pesticides systématiques ; ainsi, le piégeage de masse nécessite un suivi constant dans le temps comme dans l'espace ;



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Chabrier C., Mauléon H., Bertrand P., Lassoudière A. & Quénehervé P., 2005. Evolution des systèmes de culture de la banane aux Antilles : alternatives à la lutte chimique afin de réduire l'utilisation des pesticides en bananeraies, Phytoma, 584 : 12-16.

Boulet, A., 1986. Lutte biologique contre les borers de la canne à sucre. En Martinique, exemple d'une intervention bien menée, L'approche des solutions à des problèmes phytosanitaires des cultures des Antilles et de la Guyane, Bulletin technique d'information, N°409-411, Avril-Juin 1986 : 363-374.

Gamliel A., Austerweil M. & Kritzman G., 2000. Non-chemical approach to soilborne pest management - organic amendments, Crop Protection, 19 : 847-853.

Kokalis-Burelle N. & Rodríguez-Kábana R., 1994. Changes in populations of soil microorganisms, nematodes, enzyme activity associated with application of powdered pine bark, Plant and Soil, 162 (2) : 169-175.

Villenave C., Bongers T., Ekschmitt K., Fernandes P. & Oliver R., 2003. Changes in nematode communities in millet farmers' fields in Senegal after enrichment by manuring, Nematology 5, 351-358.

- des investissements parfois lourds (achat de vitro-plants par exemple) ;

Certaines stratégies nécessitent des actions coordonnées entre planteurs pour prévenir la dissémination des parasites ou abaisser la pression parasitaire d'ensemble. Les systèmes de cultures qui font appel aux rotations sont difficiles à appliquer chez les agriculteurs qui ne bénéficient pas de surfaces suffisantes ou qui

occupent des terres de façon temporaire. Se passer des pesticides est souvent possible, mais cela implique des recherches d'appui, des investissements, des innovations techniques mais surtout une implication humaine importante (formation des agriculteurs, mise en place de structures de coordination et de contrôle...). Toutes ces actions nécessitent des aides gouvernementales.