HAL open science

Alternatives aux intrants chimiques en culture bananière

M. Dorel, P. Tixier, S. Zanoletti

To cite this version:

M. Dorel, P. Tixier, S. Zanoletti. Alternatives aux intrants chimiques en culture bananière. Innovations Agronomiques, 2011, 16, pp.1-11. 10.17180/n6j4-3s77 . hal-02647340

HAL Id: hal-02647340

https://hal.inrae.fr/hal-02647340v1

Submitted on 29 May 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.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Alternatives aux intrants chimiques en culture bananière

Dorel M.[1], Tixier P.[1], Dural D.[2], Zanoletti S.[3]

[1] : CIRAD, UPR 26 Systèmes de culture bananiers, plantains et ananas

[2] : Institut Technique Tropical (IT²)

[3] : Union des Groupements de Producteurs de Bananes des Antilles, Bois Rouge, 97224 Ducos

Correspondance : marc.dorel@cirad.fr

Résumé

Les producteurs de banane antillais sont engagés en partenariat avec l'Institut Technique Tropical et le CIRAD dans une démarche de réduction de l'emploi des intrants chimiques. Les innovations accompagnant cette démarche reposent principalement sur des techniques alternatives à la lutte chimique pour le contrôle des nématodes phyto-parasites et du charançon du bananier. Ces techniques font appel à l'intégration dans le système de culture de plantes de service afin de restaurer des mécanismes de régulation biologique des bio-agresseurs, à un contrôle de l'assainissement des parcelles par des tests biologiques, à l'utilisation de matériel végétal sain (vitroplants) pour la replantation des bananeraies et à la mise en place de pièges attractifs à phéromones pour la capture du charançon du bananier. Ces techniques sont intégrés dans des prototypes de systèmes de culture mis au point et testés en milieu réel dans le cadre d'une démarche de conception et d'évaluation participative impliquant les producteurs, les services techniques et la recherche.

Mots clés : Banane, nématode, charançon, plante de service, piégeage, système de culture

Abstract: Alternative practices to chemical inputs in banana production

Banana growers in French West Indies are committed with IT² (Institut Technique Tropical) and CIRAD to reduce the use of pesticides. To this end, technical innovations are developed as alternative to pesticides, targeting the control of plant-parasitic nematodes and banana weevils. In this paper, we present the most promising innovations to control plant-parasitic nematodes and banana weevils. These innovations are based on the use of cover crops to restore ecological services and enhance biological control of pests. Innovative practices also rely on the verification of the effectiveness of field sanitation and on the use of pheromone mass trapping of banana weevils. All these techniques are integrated in prototypes of cropping systems and evaluated with a participative approach associating growers, technical services, and research institutes, formerly, Sustainable Banana Plan.

Keywords: Banana, nematode, weevil, cover crop, mass trapping, cropping system

Introduction

Les producteurs de banane des Antilles françaises se sont engagés depuis plusieurs années dans une démarche de réduction de l'utilisation des intrants chimiques en mettant en œuvre des innovations issues des dernières avancées de la recherche. Nous présentons ici les innovations les plus prometteuses en termes de réduction des pesticides utilisés pour le contrôle des nématodes phyto-parasites et du charançon du bananier. Ces innovations sont le fruit de recherches participatives conduites dans le cadre du Plan Banane Durable qui réunit l'Institut Technique Tropical, le CIRAD et l'Union des Producteurs de banane des Antilles.

I - L'intégration de plantes de service dans les systèmes de culture bananiers

L'agronomie et l'écologie sont deux disciplines scientifiques qui se sont longtemps ignorées. Les processus écologiques se déroulant au sein du champ cultivé sont les principaux leviers pour concevoir une agriculture performante et respectueuse de l'environnement (Rosset et Altieri, 1997). Il est donc nécessaire de mobiliser des concepts, des méthodes et des outils issus de l'écologie pour étudier, comprendre et manipuler ces processus. Parmi les processus mobilisés pour concevoir une agriculture durable, les interactions entre communautés permettant de contrôler les bioagresseurs et de renforcer les différentes composantes de la fertilité des sols sont centrales. Le double enjeu de production et de préservation de l'environnement est particulièrement prégnant dans le cas de la culture de la banane aux Antilles Françaises. Afin de développer ces systèmes de culture, il s'agit de comprendre les mécanismes écologiques à mobiliser, identifier des moyens pour les manipuler et les optimiser, et enfin les assembler dans des systèmes de culture adaptés aux différents types d'agriculture et aux conditions de sol et de climat.

L'intégration dans le système de culture de plantes capables de fournir certains services éco-systémiques est un moyen pour limiter le recours aux intrants chimiques tout en maintenant la productivité de la bananeraie (Moonen et Bàrberi, 2008). Divers services peuvent être attendus de l'intégration de plantes de service dans l'agro-système.

Les services écosystémiques

Le contrôle des phytoparasites

Les plantes de services peuvent permettre le contrôle des phytoparasites à travers certaines de leurs propriétés. Le statut d'hôte vis-à-vis des parasites inféodés au bananier est tout d'abord une propriété d'intérêt majeur pour une plante de service. En effet, la culture d'une plante non-hôte en phase d'interculture permet d'empêcher la multiplication des phyto-parasites inféodés au bananier. Une plante de service peut également contribuer à contrôler les phyto-parasites par la libération de substances biocides (effets allélopathiques, Bais et al., 2006). Enfin, les restitutions organiques des plantes de service contribuent, en augmentant la diversité des ressources primaires pour la chaîne trophique, à augmenter la diversité des organismes vivants et à favoriser le développement de certains organismes régulant les phytoparasites.

Le contrôle de la flore adventice

Le contrôle de la flore adventice des bananeraies peut s'effectuer sans herbicide par la mise en place de plantes de couverture qui empêchent la croissance des adventices en interceptant la lumière ou qui produisent des substances chimiques inhibant la germination et la croissance des adventices (effet allélopathique, Doré et al., 2004).

La création de porosité et entretien de la structure du sol

Une structure du sol stable et favorable à l'installation des racines du bananier peut être obtenue par une plante de service sans travail du sol par l'action directe de ses racines sur le sol ou indirectement par les ressources et les habitats pour les ingénieurs (vers de terre, fourmis, lombrics,..) du sol qu'elle constitue.

Le recyclage des éléments nutritifs

L'intégration de légumineuses dans le système de culture permet par la fixation d'N_2 atmosphérique d'augmenter le stock d'azote biodisponible. L'utilisation de plantes de service à enracinement profond permet de capturer des nutriments inaccessibles pour le bananier et de les restituer en surface après dégradation des litières. Ces deux actions contribuent à limiter les besoins en engrais

Une collection d'une centaine de plantes de service caractérisées par leurs traits fonctionnels a été constituée en Martinique et en Guadeloupe dans le cadre d'un projet en partenariat UGPBAN-IT[2]-CIRAD. Elle constitue la base technique principale pour la conception de systèmes de culture innovants à bas niveau d'intrants chimiques.

Quels traits fonctionnels mesure-t-on ?

Les traits mesurés sont des caractères simples et faciles à mesurer en rapport avec les services attendus (Violle et al., 2009) (Figure 1).

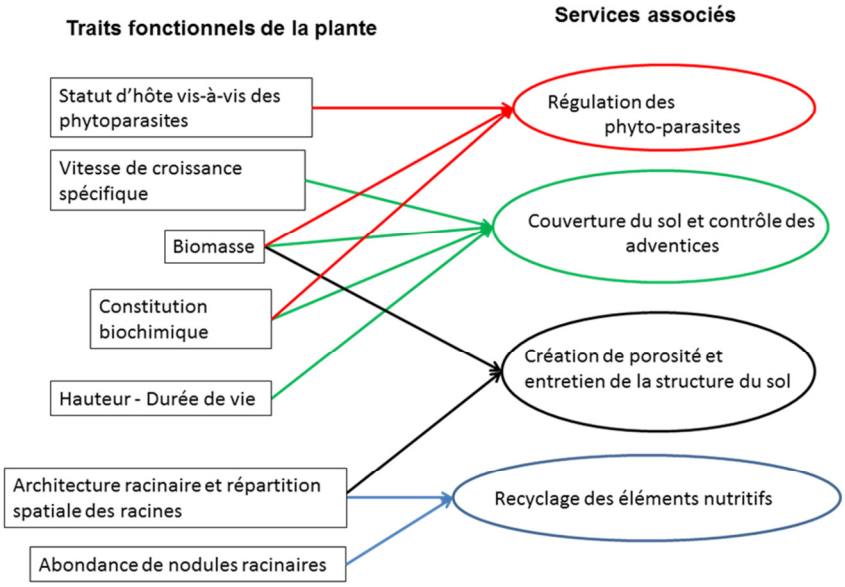

Figure 1. Traits fonctionnels et services éco-systémiques associés

Comment utilise-t-on les traits fonctionnels pour la conception de système de culture innovants?

Les producteurs n'ont pas tous les mêmes objectifs en termes de réductions des intrants et n'attendent pas les mêmes services de la part des plantes. D'autre part, la plante « miracle » apportant dans toutes les conditions une combinaison de tous les services n'existe pas. La conception de systèmes de culture performants à bas niveau d'intrants chimique passe par une combinaison dans l'espace et dans le temps de différentes plantes de service. Cette combinaison est déterminée en fonction des traits des plantes. Une base de données des traits fonctionnels constituent l'outil de base pour sélectionner les plantes de service adaptées à la stratégie de chaque type d'exploitation et pour définir l'arrangement spatio-temporel des plantes dans l'agro système.

L'utilisation de plantes de service pour le contrôle des nématodes phytoparasites

La stratégie de contrôle des nématodes phytoparasites par des plantes de services repose sur (i) la mise en place de plantes non-hôte en phase d'interculture (ii) la restauration des régulations biologiques au sein de l'agrosystème (Côte et al., 2009).

Le contrôle des nématodes phytoparasites du bananier par la mise en place de plantes non-hôte en phase d'interculture.

Après destruction de l'ancienne bananeraie, l'installation d'une plante non-hôte en phase d'interculture permet de supprimer les ressources et des habitats pour nématodes phytoparasites inféodés au bananier et provoque ainsi leur disparition (Chabrier et Queneherve, 2003). Le statut d'hôte des plantes de service est évalué par le taux de multiplication par la plante à tester d'un inoculum initial de nématodes phyto-parasites (Tableau 1).

Tableau 1 : Taux de multiplication du nématode phytoparasite du bananier *Radopholus similis* par diverses les plantes de service

Taux de multiplication > 10	Taux de multiplication 1 à 10	Taux de multiplication < 1
. Niébés (5 espèces) . Sarrazin . Sorgho (3 espèces)	. Arachis P. . Dolichos L. . Macroptilium atr. . Macroptilium l. . Maïs . Mil (3 espèces) . Niébés (1 espèce) . Sésame . Sesbania ser. . Stylosanthes guianensis	. Brachiaria decumbens . Cajanus cajan . Cynodon dactylon . Paspalum notatum . Crotalaires (4 espèces) . Giricidia sepium . Pueraria phas. . Ricin . Riz (5 espèces) . Sésame (2 espèces) . Tagetes

Parmi les plantes sélectionnées pour leur capacité à réduire la multiplication des nématodes phyto-parasites, les Crotalaires apparaissent comme un genre particulièrement intéressant pour effectuer un assainissement nématologique du sol en phase d'interculture en raison leurs effets bénéfiques sur la fertilité des sols liés notamment à leur aptitude à fixer l'azote atmosphérique (Photo 1).

Photo 1. Couvert de Crotalaires en phase d'inter-culture du bananier. © Jean-Michel Risède, CIRAD, France.

L'assainissement vis-à-vis des nématodes phytoparasites obtenu grâce à l'implantation d'une plante de service en phase d'interculture est évalué par des tests biologiques en pots réalisés au laboratoire de nématologie. Ces tests sont un outil d'aide à la décision qui est utilisé pour évaluer l'avancement du processus d'assainissement nématologique avant de replanter une nouvelle bananeraie. Le principe de base est de capturer et de multiplier les populations de nématodes résiduelles présentes dans des échantillons du sol de la parcelle à tester en utilisant des plants issus de culture in vitro d'une variété de bananier sensible aux nématodes. Après deux mois de croissance en pot, le système racinaire de chaque plant de bananier est analysé afin de déterminer le pourcentage de plants infestés par les nématodes

Une fois la disparition des nématodes phytoparasites constatée, la replantation de bananiers sur la parcelle peut être programmée. Il est cependant essentiel pour valoriser le potentiel du sol assaini, de planter un matériel végétal sain. Il est avéré que les souches et les rejets de bananiers utilisés pour la replantation des parcelles ont longtemps été la source majeure de dissémination des nématodes entre les parcelles, les exploitations, les pays et les continents. Aujourd'hui, les plants de bananiers issus de culture in vitro constituent une opportunité pour mettre en place des plants sains (Photo 2). Cependant, l'absence de nématodes dans ce type de matériel végétal doit périodiquement être contrôlée. L'eau utilisée dans les pépinières pendant les phases de sevrage et d'endurcissement des plants issus de culture *in vitro* doit également régulièrement être contrôlée afin de vérifier qu'elle n'est pas contaminée par les nématodes. Les nématodes peuvent être transportés par les eaux de rivière et introduits dans les pépinières lors du pompage de ces eaux. Il est donc nécessaire d'équiper les installations de pompage de filtres pour éviter la contamination de l'eau d'irrigation

Photo 2. Plants de bananiers sains issus de culture in vitro (Crédit : Jean-Michel Risède, CIRAD, France).

L'effet de plantes de services sur la régulation biologique des nématodes phyto-parasites

Nous avons étudié un dispositif expérimental composé de six traitements comprenant un traitement avec le sol maintenu nu par l'application d'herbicide et de cinq traitements comprenant une couverture spontanée botaniquement variée (mélange de graminées) et quatre espèces de couverture : *Paspalum notatum*, *Neonotonia wightii*, *Pueraria phaseoloides*, *Stylosanthes guyanensis*. Chaque placette de 75 m² a été répétée trois fois. La bananeraie et les plantes de couvertures étaient plantées depuis deux ans au moment des mesures. Sur chaque placette, nous avons mesuré l'abondance des nématodes libres du sol (appartenant aux groupes des phytophages, prédateurs, omnivores et détritivores) et les nématodes phytoparasites des racines de bananiers.

Nous avons mesuré plus de nématodes prédateurs dans le sol pour les traitements avec plantes de couverture que pour le traitement avec le sol nu (Figure 1). Les nématodes prédateurs étaient plus abondants pour les couvertures de *Neonotonia wightii*, *Pueraria phaseoloides* et *Stylosanthes guyanensis*. De manière similaire, nous avons mesuré plus de nématodes omnivores dans les traitements avec plantes de couverture que dans le traitement avec du sol nu. Par contre, ce sont la

couverture spontanée et la plante de couverture *Paspalum notatum qui* ont permis le développement des populations les plus importantes de nématodes omnivores. Nous avons mesuré plus de nématodes phytoparasites dans les traitements avec les plantes de couverture *Pueraria phaseoloides* et *Stylosanthes guyanensis* que dans le traitement avec le sol nu. Inversement, nous avons mesuré moins de nématodes phytoparasites dans les traitements avec la couverture spontanée et la plante de couverture *Paspalum notatum* que dans le traitement avec le sol nu. Il n'y a pas eu de différence entre le traitement sol nu et le traitement avec la plante de couverture *Neonotonia wightii*.

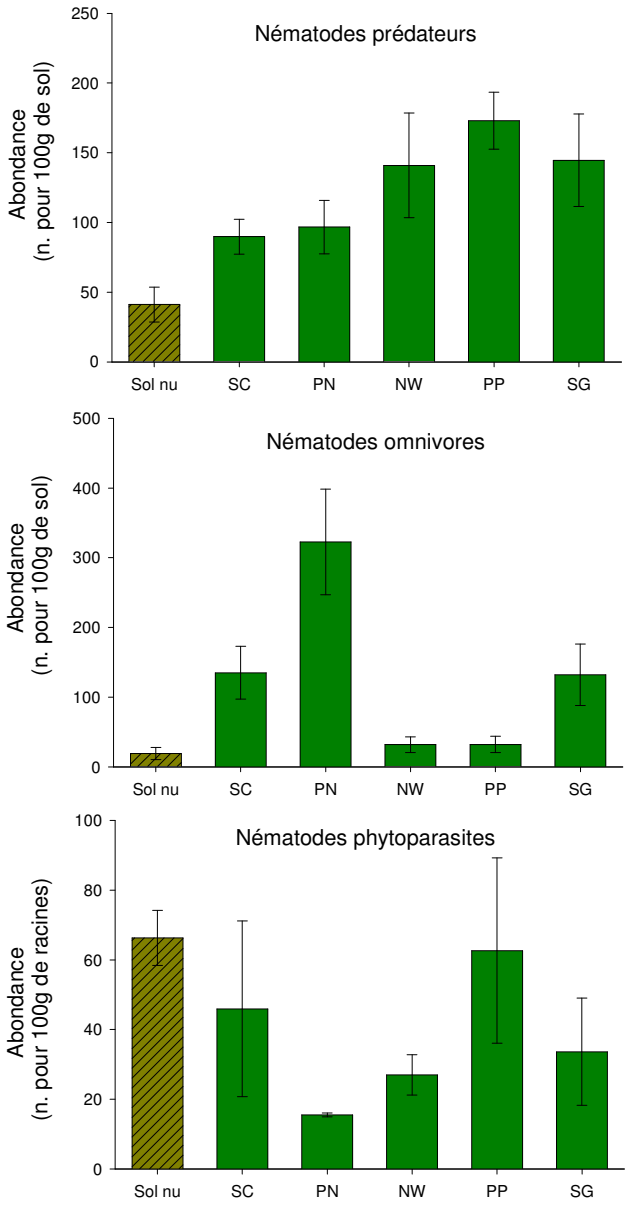

Figure 1. Abondance (moyenne ± erreur standard) des nématodes prédateurs, omnivores et des nématodes phytophages (ravageurs) dans des traitements sans plantes de couverture (sol nu) et avec plantes de couvertures (SC : couverture spontanée, PN : *Paspalum notatum*, NW : *Neonotonia wightii*, PP : *Pueraria phaseoloides*, SG : *Stylosanthes guyanensis*). (Crédit : Djibril Djigal, CIRAD).

Ces résultats nous montrent que l'ajout d'une plante de couverture enrichit le milieu et permet de soutenir un réseau trophique plus abondant (prédateurs et omnivores). Par contre, l'effet sur la régulation des nématodes phytoparasites dépend de l'espèce de la plante de couverture. En effet, la meilleure régulation a été obtenue pour la couverture spontanée et pour la plante de couverture *Paspalum notatum*. Nous pouvons supposer que la régulation ne dépend pas seulement de l'augmentation de l'abondance des nématodes prédateurs mais aussi de la structuration globale du réseau trophique, avec notamment un rôle important pour les nématodes omnivores. Nos résultats suggèrent que les plantes de la famille des graminées sont plus favorables à la régulation des

nématodes phytoparasites que celles de la famille des légumineuses. Le rapport carbone/azote des tissus des plantes de couverture est peut-être un facteur qui explique cette différence (ce rapport est plus élevé pour les graminées).

II – Alternative à la lutte chimique pour le contrôle du charançon du bananier

Le contrôle du charançon du bananier par l'agencement spatio-temporel des agrosystèmes

La lutte contre le charançon du bananier *Cosmopolites sordidus* est possible en modifiant l'aménagement spatio-temporel des agrosystèmes et en déployant de manière optimisée des pièges d'interception utilisant des phéromones. Pour cela, il est important de réfléchir à la disposition des parcelles cultivées, et de prendre en compte les espaces non cultivés. Le charançon du bananier est un insecte ayant une faible fécondité (quelques œufs pondus par semaine par femelle (Koppenhofer, 1993)), mais ayant une grande longévité (plus de deux ans (Froggatt, 1925)). Le charançon du bananier est d'instinct grégaire avec un mode de vie nocturne et essentiellement fouisseur. Sa dispersion se fait principalement par la marche et semble limitée et lente. Bien que l'adulte dispose d'ailes fonctionnelles, il a été quasiment jamais observé en vol (Lemaire, 1996).

La mise en jachère des parcelles infestées est une étape clé de la gestion des populations de charançons. En effet, la destruction des bananiers entraîne une baisse de la ressource pour les charançons, entraînant à son tour un déplacement massif des charançons adultes (Figure 2). Ces déplacements se mesurent avec des pics de capture sur les parcelles en jachère entre 10 et 20 semaines après la mise en jachère (Rhino *et al.*, 2010).

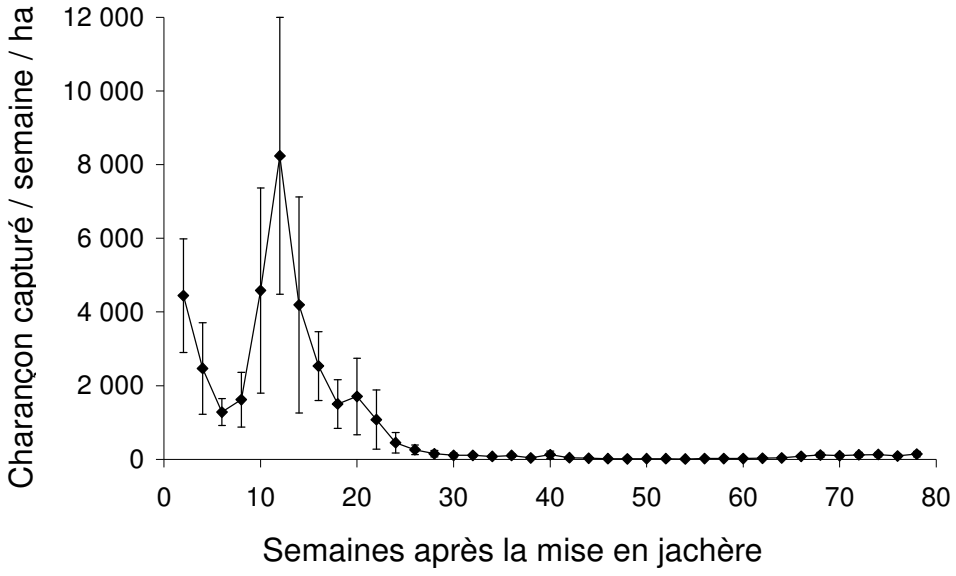

Figure 2. Dynamique des captures de charançon sur une parcelle mise en jachère (d'après Rhino et al., 2010).

Afin de mieux comprendre les mécanismes de colonisation des parcelles saines par les jachères, nous avons utilisé des micro-marqueurs RFID (Radio Frequency IDentification) permettant de suivre de manière individuelle les charançons (Vinatier *et al.*, 2010). Des marqueurs ont été fixés à chaque insecte (Photo 3) qui peut ainsi être localisé quotidiennement, même s'il est enfoui dans le sol ou caché dans les résidus végétaux. Il est ainsi possible de déterminer des trajectoires d'individus dans un paysage hétérogène (Figure 3). Ces mesures ont permis de montrer que les charançons se déplacent

en moyenne de 30 cm par nuit, mais certains individus peuvent parcourir jusqu'à 10 m. Ces nouvelles connaissances nous permettent d'élaborer de nouvelles stratégies de lutte, basées notamment sur l'organisation des parcelles dans le paysage et sur la gestion des résidus de culture à l'intérieur des parcelles. Ainsi, l'utilisation de barrières de pièges phéromone entre les parcelles saines et les parcelles mises en jachère est un moyen efficace pour réduire les contaminations des parcelles saines.

Photo 3. Charançon du bananier marqué avec une puce RFID (crédit : Fabrice Vinatier, CIRAD).

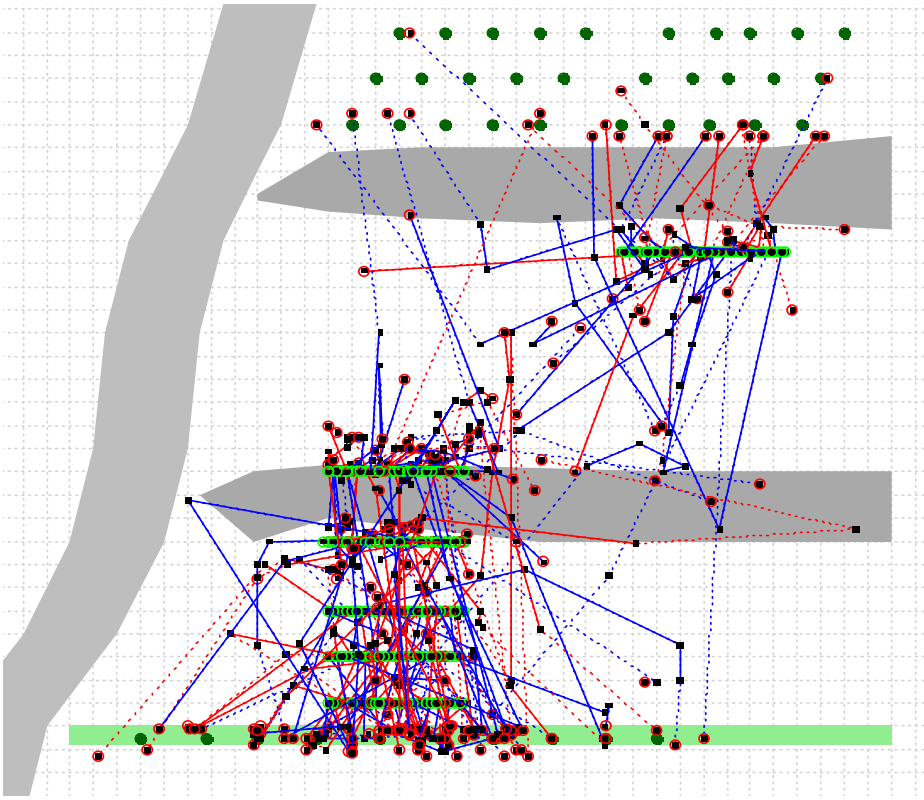

Figure 3. Carte des trajectoires de charançon obtenue par radio-télémétrie RFID, montrant le déplacement privilégié des charançons dans un milieu hétérogène comprenant des bananiers (ronds verts foncés), des drains (gris) des plantes de couverture (vert clair). Les trajectoires de mâles et des femelles sont respectivement en bleu et en rouge, les points verts représentent les sites de lâché des charançons (Crédit : Fabrice Vinatier CIRAD)

Nous avons développé un outil de simulation (modèle COSMOS) permettant de réaliser des simulations des dynamiques spatiales de l'insecte sur plusieurs cycles de culture en fonction des densités de plantation et de l'organisation spatiale des piégeages (Vinatier *et al.*, 2009). Le modèle COSMOS a permis de tester l'effet du schéma de plantation et celui de la densité de piégeage sur la dynamique du

ravageur. Il s'avère que planter des bananiers en groupes plutôt que régulièrement sur les parcelles permet d'augmenter le temps nécessaire à la colonisation d'une parcelle, mais augmente le pourcentage de bananiers sévèrement attaqués. De plus, nos simulations montrent qu'augmenter la densité de pièges au-delà de 16 pièges / ha ne permet pas d'améliorer le contrôle de la population.

Régulations biologiques du charançon du bananier

Nous avons mesuré l'abondance des fourmis de l'espèce *Solenopsis geminata*, prédateur potentiel du charançon et plus particulièrement du stade œuf, sur deux sites comprenant chacun deux traitements. Ces fourmis ont été capturées *par des pièges disposés sur les parcelles.* Un traitement avec le sol maintenu nu par des applications régulières d'herbicides et un traitement avec la plante de couverture *Brachiaria decumbens*. Nous avons également mesuré le taux de prédation d'œufs de charançons (provenant d'un élevage réalisé au laboratoire) qui étaient déposés au niveau du collet des bananiers (reproduisant ainsi la ponte des femelles de charançons). Vingt bananiers par bloc ont été inoculés avec cinq œufs chacun. Le taux de prédation a été estimé une heure après le dépôt des œufs.

Nous avons mesuré, de manière similaire pour les deux sites, une abondance plus importante des fourmis de l'espèce *S. geminata* dans les parcelles avec la plante de couverture *Brachiaria decumbens* que dans les parcelles avec le sol nu. Il y avait plus de fourmis dans le site 1 que dans le site 2, mais l'effet de la plante de couverture était de même ordre, avec cinq fois plus de fourmis dans le traitement avec plante de couverture (Figure 4). Le taux de prédation des œufs était plus important dans les parcelles avec plantes de couverture que dans le traitement avec du sol nu. Le taux de prédation des œufs était plus important dans le site 2 que dans le site 1, environ cinq fois plus grand pour le site 2 alors que l'augmentation était d'environ 1.3 pour le site 1.

Ces résultats suggèrent que l'ajout d'une plante de couverture favorise l'augmentation d'abondance des prédateurs, en particulier les fourmis. Ceci est cohérent avec les observations d'utilisation des plantes de couverture par la communauté des insectes de la litière (Duyck *et al.*, 2011). L'augmentation d'abondance des prédateurs est liée à la consommation d'une nouvelle ressource associée à la plante de couverture. Nous avons identifié les cicadelles comme nouvelle ressource potentielle favorisée par l'ajout de *B. decumbens*. Les cicadelles sont des hémiptères produisant du miellat, qui représente un apport important de carbohydrates au régime alimentaire des fourmis et qui permet leur augmentation en abondance. Les cicadelles et les charançons partageant le même ennemi naturel, il semblerait qu'il y ait une relation de compétition apparente entre ces deux espèces d'herbivores. L'hypothèse de la compétition apparente permet d'expliquer l'augmentation de la prédation du charançon, dans la mesure où le charançon constitue la proie préférée.

En terme d'applications, il pourrait être intéressant de faire varier la disponibilité en ressource (la plante de couverture), afin de soutenir une population de prédateurs plus importante lorsque la plante de couverture est présente, puis de supprimer les proies alternatives en supprimant la plante de couverture (ou du moins en réduisant sa biomasse) afin que les prédateurs concentrent leur prédation sur le ravageur.

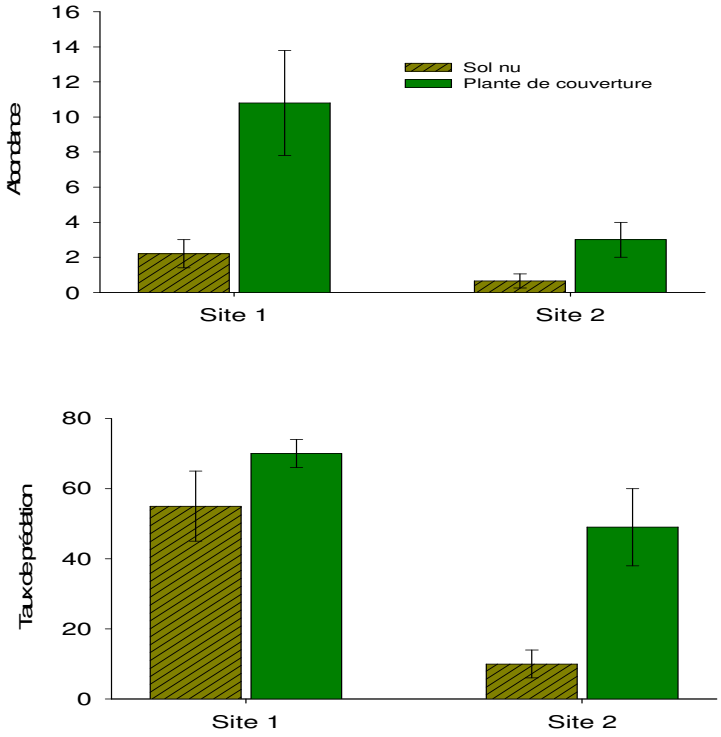

Figure 4. Abondance des fourmis *S. geminata* et taux de prédation (%) des œufs de charançon (moyenne ± erreur standard) entre des parcelles avec et dans plantes de couvertures (*Brachiaria decumbens*) pour deux sites en Martinique (Crédit : Grégory Mollot, CIRAD).

III - Conclusion et perspectives

Les résultats présentés ici montrent que des alternatives à l'utilisation des intrants chimiques en culture bananière existent et peuvent être mises en œuvre. Le contrôle de bio-agresseurs tels que les nématodes phyto-parasites où le charançon du bananier peut notamment être assuré en combinant (i) des mesures prophylactiques (matériel végétal sain), (ii) l'utilisation de plantes de service pour l'assainissement des parcelles en phase d'inter-culture et pour la restauration de régulations biologiques et (ii) des techniques de piégeage.

L'utilisation de plantes de service permet d'envisager également une limitation du recours aux herbicides et au travail du sol.

Ces techniques alternatives à la lutte chimique sont intégrées dans des prototypes de système de culture innovants qui sont conçus et évalués en milieu réel avec la participation des producteurs et des services techniques.

Références bibliographiques

Bais H.P., Weir T.L., Perry L.G., Gilroy S., Vivanco J.M., 2006. The Role of Root Exudates in Rhizosphere Interactions with Plants and Other organisms. Annu. Rev. Plant Biol. 57,233–66

Chabrier C., Queneherve P., 2003. Control of the burrowing nematode (*Radopholus similis* Cobb) on banana: Impact of the banana field destruction method on the efficiency of the following fallow. Crop Protection 22, 121-127.

Côte F.X., Abadie C., Achard R., Cattan P., Chabrier C., Dorel M., De Bellaire L.D.L., Risède J.M., Salmon F., Tixier P., 2009. Integrated Pest Management Approaches Developed in the French West Indies to Reduce Pesticide Use in Banana Production Systems Acta Horticulturae 828, 375-382.

Doré T., Sène M., Pellissier F., Gallet C. 2004. Approche agronomique de l'allélopathie. Cahiers Agriculture, 13, 3,249-256

Duyck P.F., Lavigne A., Vinatier F., Achard R., Okolle J.N., Tixier P., 2011. Addition of a new resource in agroecosystems: Do cover crops alter the trophic positions of generalist predators? Basic and Applied Ecology 12, 47-55.

Froggatt J.L., 1925. The banana weevil borer (*Cosmopolites sordidus*). Queensland Journal of Agriculture 24, 558.

Koppenhofer A.M., 1993. Observations on egg-laying behaviour of the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* (Germar). Entomologia Experimentalis et Applicata 68, 187-192.

Lemaire L., 1996. Les relations sémiochimiques chez le charançon du bananier *Cosmopolites sordidus* Germar (Coleoptera: Curculionidae) et la résistance de sa plante-hôte, le bananier, Académie du Languedoc. Université de Montpellier II, Montpellier, p. 269 pp.

Moonen A.C., Bàrberi P., 2008. Functional biodiversity: An agroecosystem approach. Agriculture, Ecosystems and Environment 127, 7-21.

Rhino B., Dorel M., Tixier P., Risede J.M., 2010. Effect of fallows on population dynamics of Cosmopolites sordidus: toward integrated management of banana fields with pheromone mass trapping. Agricultural and Forest Entomology 12, 195-202.

Rosset P.M., Altieri M.A., 1997. Agroecology versus input substitution: a fundamental contradiction of sustainable agriculture. Society & Natural Resources 10, 283-295

Vinatier F., Chailleux A., Duyck P.-F., Salmon F., Lescourret F., Tixier P., 2010. Radiotelemetry unravels movements of a walking insect species in heterogeneous environments. Animal Behaviour 80, 221-229.

Vinatier F., Tixier P., Le Page C., Duyck P.F., Lescourret F., 2009. COSMOS, a spatially explicit model to simulate the epidemiology of Cosmopolites sordidus in banana fields. Ecological Modelling 220, 2244-2254.

Violle C., Garnier E., Lecoeur J., Roumet C., Podeur C., Blanchard A., Navas M.L., 2009. Competition, traits and resource depletion in plant communities. Oecologia 160, 747-755.