

n°12 • Octobre 2014

Les Cahiers du



CAEC

Campus AgroEnvironnemental
Caraïbe

L'agroécologie en application



n°12 • Octobre 2014

Les Cahiers du



CAEC

Campus Agro Environnemental
Caraïbe

L'agroécologie en application





SOMMAIRE

• AVANT-PROPOS	6
• SIGLES ET ABRÉVIATIONS	7
1 LE POTENTIEL DE BIODÉSINFECTION DES SOLS PAR LES EXTRAITS NATURELS VÉGÉTAUX : UTILISATION DES ALLIACÉES DANS LA GESTION DU FLÉTRISSEMENT BACTÉRIEN DE LA TOMATE P. DEBERDT, R. CORANSON-BEAUDU, B. PERRIN	9
2 INTÉRÊT DU BASILIC POUR LA GESTION AGROÉCOLOGIQUE DE L'ALEURODE <i>BEMISIA TABACI</i> DANS LES PARCELLES DE TOMATE B. RHINO, C. DROSS, R.J. MOMPEROUSSE, C. THIBAUT, A. VERCHERE, P. FERNANDES	15
3 DÉCOMPOSITION DE MULCHS ET DYNAMIQUE DE MINÉRALISATION E. ROSALIE	19
4 POLLUTIONS PAR LES PESTICIDES À L'ÉCHELLE DU TERRITOIRE M. LESUEUR JANNOYER, C. MOTTES, J. PLET, C. CARLES, F. CLOSTRE, M. GUENE, P. CATTAN	25
5 UNE ALTERNATIVE À LA DÉPOLLUTION DES SOLS CONTAMINÉS : LA SÉQUESTRATION DE LA CHLORDÉCONE T. WOIGNIER, L. RANGON, P. FERNANDES, A. SOLER, F. CLOSTRE, M. LESUEUR JANNOYER	31
6 GESTION ALTERNATIVE DES BIOAGRESSEURS TELLURIQUES DE L'ANANAS : AMÉLIORATION DE L'AGROSYSTÈME GRÂCE À DES ROTATIONS PLANTES DE SERVICE/ANANAS A.SOLER, P-A MARIE-ALPHONSINE	35
7 CONTRAINTE PHYSIQUE DES UTILISATEURS DE PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES LORS D'UN TRAITEMENT TERRESTRE CONTRE LES CERCOSPORIOSES DU BANANIER À L'AIDE D'UN ATOMISEUR À DOS : ÉTUDE DE FAISABILITÉ S. GRIMBUHLER	39
• QUELQUES FAITS MARQUANTS	45
• RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	47

Que de changements et d'évolution depuis 2007 et la création du tout premier Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) autour du « Pôle de Recherche Agronomique de la Martinique » (PRAM), jusqu'à nos jours avec le « Campus Agro-Environnemental Caraïbe », qui regroupe les recherches du Cirad, de l'IRD, de l'IRSTEA et de l'Université des Antilles dans les domaines de l'agronomie et de l'environnement !

L'accélération de la prise en compte de l'environnement est, sans aucun doute, à l'origine des nouvelles orientations prises en agriculture au niveau national mais aussi régional comme on l'observe dans les Antilles à travers différents événements et mesures (diversification, crise de la pollution à la chlordécone, réduction de l'usage des pesticides, plan Ecophyto 2018, arrêt des opérations d'épandage aérien de pesticides, etc.). Ces changements réhabilitent d'anciennes pratiques agricoles (rotations culturales, jachères, association de cultures, etc.) que le monde agricole avait momentanément « oubliées » pour diverses raisons. Fort heureusement les différents acteurs du monde agricole *sensu lato* ont toujours maintenu une veille scientifique et/ou technologique autour de ces questions en raison de la capacité d'anticipation dont ils doivent faire preuve face aux changements, de quelque nature qu'ils soient (sociétaux, économiques, environnementaux). C'est ainsi que le concept d'innovation en agroécologie apparaît depuis quelques années. Qu'ils soient chercheurs, techniciens ou agriculteurs, un peu comme M. Jourdain dans la pièce de Molière, beaucoup faisaient déjà de l'agroécologie sans le savoir. Cependant, la récente conceptualisation et la définition de l'agroécologie ont permis de mettre en évidence les grands leviers de transitions que sont l'utilisation de la biodiversité, la gestion des paysages et des territoires, le bouclage des cycles (carbone, azote, phosphore, etc.) dans les systèmes de productions agricoles. Les défis sont nombreux mais l'ambition scientifique du CAEC est de générer des connaissances et des outils avec tous les acteurs des agroécosystèmes tropicaux insulaires, afin de coconstruire une capacité d'adaptation et d'innovation agroécologique pour anticiper les risques et faire face aux changements, qu'ils soient endogènes ou globaux.

La place, le rôle et la responsabilité écologique de l'agriculture dans l'environnement de nos territoires insulaires invitent à se pencher plus spécifiquement sur leurs agrosystèmes et en particulier sur :

- la gestion territorialisée et durable de ces systèmes écologiques et sociaux : détermination des conditions d'une agriculture doublement performante et nécessitant des modes de gouvernance adaptés,
- le contrôle des pollutions (agricoles, industrielles, domestiques et marines) et une meilleure prévention/gestion des risques encourus,
- la capacité d'adaptation de ces systèmes aux changements sociétaux (démographie, société en mutation) et climatiques (phénomènes paroxystiques),
- les méthodes génériques de coconception transposables aux situations insulaires tropicales, avec pour objectifs :
 - . de promouvoir des programmes de recherche sur des questions scientifiques génériques d'échelle régionale ou infra, basés sur l'observation et l'adaptation à long terme des changements sociétaux et environnementaux et la résilience des agro-socio-écosystèmes insulaires,
 - . de coconstruire ces programmes de recherche, stratégiques et innovants, pluridisciplinaires et pluriéchelles, en partenariat avec les organisations socioprofessionnelles, les chambres consulaires, les collectivités territoriales, les services de l'Etat,
 - . de favoriser l'émergence de programmes de coopération régionale entre les collectivités territoriales et les Etats de la Caraïbe, et de faciliter l'insertion de ses membres et de ses partenaires au sein de réseaux régionaux et internationaux,
 - . de contribuer à la formation aux métiers (recherche, cadres et techniciens), en sciences de l'agroécologie, de l'environnement, de gestion de la biodiversité, en sciences de l'action publique, etc. pour le développement durable des agro-socio-écosystèmes insulaires en mutation,
 - . de sensibiliser le grand public aux questions de l'agroécologie et de l'environnement, à la prévention et à la gestion des risques par des actions de vulgarisation et de sensibilisation (produits pédagogiques, organisation de manifestations tous publics ou à destination de publics ciblés, etc.),
 - . d'offrir une palette d'outils d'aide à la décision aux autorités chargées de la gestion des ressources naturelles, de la conservation et de la restauration de la biodiversité et plus généralement de l'aménagement des territoires.

L'ambition du CAEC est ainsi de devenir leader dans la gestion des agroécosystèmes tropicaux insulaires dans la Caraïbe.

Le Lamentin, le 7 octobre 2014
Patrick Quénéhervé

Président du GIS Campus Agro-Environnemental Caraïbe

Sigles et abréviations utilisés

BRGM	• Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BV	• Bassin Versant
CAEC	• Campus Agro-Environnemental Caraïbe
Cirad	• Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
CLD/CHLD	• Chlordécone
CNRS	• Centre National de Recherche Scientifique
EPI	• Équipement de Protection Individuelle
INRA	• Institut National de la Recherche Agronomique
IRD	• Institut de Recherche pour le Développement
Irstea	• Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture
Koc	• Coefficient de partage carbone organique/eau
MOS	• Matière Organique du Sol
ODE	• Office De l'Eau
ONEMA	• Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques
PdS	• Plantes de Services
TYLCV	• Tomato Yellow Leaf Curl Virus
ZITA	• Zone d'Interdiction de Traitements Aériens



Péninna Deberdt,
Régine Coranson-Beaudu
et Benjamin Perrin

CIRAD-Unité Hortsys,
Campus Agro-
Environnemental Caraïbe,
BP 214, Petit-Morne,
97285 Le Lamentin
Cedex 2

Le potentiel de biodésinfection des sols par les extraits naturels végétaux : utilisation des Alliées dans la gestion du flétrissement bactérien de la tomate

INTRODUCTION

Le flétrissement bactérien des Solanacées est causé par la bactérie tellurique *Ralstonia solanacearum*. Sa prédominance dans toute la zone tropicale et subtropicale, sa gamme d'hôtes étendue (plus de 250 espèces dans 54 familles botaniques) et sa plasticité génomique en ont fait l'un des modèles bactériens majeurs en phyto-bactériologie, juste après *Agrobacterium* (Denny, 2006).

En Martinique, ce flétrissement bactérien affecte les cultures maraîchères de solanacées (en particulier la tomate) et de cucurbitacées (Wicker *et al.*, 2007). Les moyens de lutte contre cette maladie reposent principalement sur la résistance variétale mais cette résistance est partielle, fortement dépendante de l'environnement et s'avère peu efficace vis-à-vis des souches de *R. solanacearum* caractérisées en Martinique. D'autre part, les mesures prophylactiques, permettant de prévenir et de limiter l'infestation des parcelles, s'avèrent insuffisantes en conditions hautement favorables au développement de la maladie. Dans un concept de lutte intégrée et devant une demande croissante pour une agriculture dite durable, nous privilégions la recherche de méthodes alternatives à la lutte chimique, respectueuses de l'environnement.

Nous recherchons des méthodes de phytoprotection basées sur l'utilisation d'extraits de plantes (biopesticides d'origine végétale) pour lutter contre le flétrissement bactérien.

De nombreux travaux de recherche sur les biopesticides d'origine végétale pour lutter contre *R. solanacearum* ont été rapportés dans la littérature. Ces travaux ont montré que les extraits végétaux de *Datura* (*Datura metel*), Laurier rose (*Nerium oleander*) et d'*Allium* spp. (*Allium sativum*) permettaient de réduire les populations de *R. solanacearum*, responsable du flétrissement chez la tomate (Abo-Elyousr and Asran., 2009). Hassan *et al.* (2009) ont démontré l'activité antimicrobienne directe d'extraits aqueux de plantes et l'induction de résistance systémique contre le flétrissement bactérien. D'autres travaux ont montré l'intérêt des huiles essentielles dans la lutte contre *R. solanacearum* (Paret *et al.*, 2010 ; Hong *et al.*, 2011).

Les Alliées sont des végétaux aux propriétés biologiques multiples. Les propriétés médicinales des Alliées sont connues et utilisées depuis des millénaires. Les substances susceptibles d'être impliquées sont des composés soufrés volatils, produits par la dégradation des tissus (Auger *et al.*, 2004). Ces molécules sont ainsi responsables du potentiel phytosanitaire des Alliées. Elles sont insecticides, fongicides, acaricides, nématocides, bactéricides (Arnault *et al.*, 2013) : avec de telles propriétés, on peut envisager d'utiliser les Alliées comme biodésinfectants des sols.

Dans le cadre de notre programme de recherche sur la thématique « Régulations biologiques des parasites telluriques et fonctionnement biologique du sol », nous avons étudié le potentiel de biodésinfection du sol au moyen d'extraits de cive antillaise (*Allium fistulosum* cv. Ciboule Blanche) (Deberdt *et al.*, 2012).

L'objectif principal de cette étude a été d'évaluer l'effet antibactérien *in vitro* et *in vivo* d'un extrait aqueux d'*Allium fistulosum* sur la bactérie *R. solanacearum* et sur l'incidence du flétrissement bactérien de la tomate.

MATÉRIEL

• L'inoculum de *R. solanacearum*

Toutes les expérimentations sont réalisées en utilisant la souche CFBP6783, appartenant à la population émergente de Martinique (phylotype II/ sequevar4NPB). Deux concentrations en inoculum ont été testées: 10^7 et 10^8 CFU/mL.

• Les extraits végétaux

Une concentration initiale de 100% en extrait végétal a été préparée. Des extraits secs d'*A. fistulosum* ont été utilisés dans les tests *in vitro* (1g de poudre d'extrait sec a été dilué dans 1 ml d'eau distillée stérile) tandis que des extraits frais d'*A. fistulosum* ont été utilisés dans les tests *in vivo* (100g de matériel végétal frais - bulbes et feuilles - ont été broyés dans 100 ml d'eau distillée stérile puis filtrés sur compresses stériles). Chaque extrait à 100% a été dilué dans de l'eau distillée stérile pour obtenir deux concentrations additionnelles de 50% et 25%.

• Le sol naturel

Le sol utilisé dans les tests *in vivo* est un sol naturel obtenu à partir des couches supérieures d'un Nitisol prélevé sur une parcelle expérimentale du

Tableau 1 : Effet antibactérien des extraits d'*Allium fistulosum* sur la croissance de *R. solanacearum*, 24h après incubation à 28°C, sur milieu de culture CPG.

Figure 1 : Effet antibactérien *in vivo*. Dénombrement des populations bactériennes totales par la méthode d'extraction-quantification sur milieu semi-sélectif SMSA, dans un sol naturel et préalablement contaminé avec *R. solanacearum*. A gauche : Traitement control (sans extrait d'*A. fistulosum*) et présence de colonies typiques de *R. solanacearum* ; à droite : Traitement avec extrait d'*A. fistulosum* à 100% et absence de colonies typiques de *R. solanacearum*, présence de colonies bactériennes « Non *R. solanacearum* ».

CIRAD (station expérimentale de Rivière Lézarde, en Martinique). Ce sol est séché à température ambiante durant 4 jours puis tamisé à 5 mm avant la mise en place des essais.

MÉTHODOLOGIE

• Effet antibactérien *in vitro*

Dans cet essai, nous avons testé l'activité antibactérienne d'extraits aqueux d'*A. fistulosum* sur la croissance *in vitro* de *R. solanacearum*. Les extraits à 100%, 50% et 25% ont été testés. La méthode des puits et de diffusion sur milieu de culture gélosé a été utilisée. Les diamètres d'inhibition ont été mesurés après une période d'incubation de 24h à 28°C.

• Effet antibactérien *in vivo*

Deux essais ont été conduits en chambre climatique : - dans un premier essai, nous avons évalué l'effet d'un extrait aqueux d'*A. fistulosum* sur la dynamique des densités bactériennes de *R. solanacearum* dans un sol naturel et préalablement contaminé avec *R. solanacearum* (à $2,7 \cdot 10^5$ CFU/g sol sec). Les traitements en extraits aqueux sont appliqués par inondation du sol suivi d'une homogénéisation (extraits testés à 100%, 50% et 25%). Le traitement « Control » a reçu un volume identique en eau stérile. Les populations bactériennes totales sont quantifiées par la méthode d'extraction-quantification sur milieu semi-sélectif (SMSA) (Figure 1). La période de suivi de la dynamique de développement bactérien de *R. solanacearum* se situe entre le 3^{ème} jour et le 59^{ème} jour après traitement du sol. Les populations bactériennes sont exprimées en nombre de CFU (Colony Forming Unit) par gramme de sol sec.



Figure 1

- dans un second essai, nous avons évalué l'effet d'un extrait aqueux d'*A. fistulosum* sur l'incidence du flétrissement bactérien de la tomate (cv. Heatmaster), en pots, dans un sol naturel et préalablement contaminé avec *R. solanacearum* (à $2,5 \cdot 10^5$ CFU/g sol sec). Les extraits aqueux sont appliqués par inondation du sol en surface (extraits testés à 100% et 50%), le traitement « Control » ayant reçu un volume identique en eau stérile. Deux périodes de

contact ont été testées (15 jours et 30 jours) avant la plantation des tomates. Des plants de tomates âgés de 3 semaines sont ensuite plantés (1 plant par pot) et le suivi du développement du flétrissement bactérien est réalisé pendant 4 semaines (Figure 2). L'incidence de la maladie est exprimée en pourcentage de plants atteints de flétrissement bactérien.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

• Essai *in vitro*

Les extraits d'*A. fistulosum* à 50 et 100% ont démontré une activité antimicrobienne contre *R. solanacearum* aux deux concentrations en inoculum testées (10^7 et 10^8 CFU/ml). Les résultats sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1

Concentration en extrait (%) ¹	Diamètre de la zone d'inhibition (mm) (moy ± SE) ²	
	10 ⁷ CFU/ml	10 ⁸ CFU/ml
100	19.2 ± 0.5 a	15.5 ± 0.6 a
50	14.1 ± 0.5 b	9.7 ± 1.0 b
25	0 ± 0 c	0 ± 0 c
Control	0 ± 0 c	0 ± 0 c

1 - 1 g d'extrait dilué dans 1 ml d'eau distillée correspond à la concentration de 100%.

2 - Les valeurs correspondent aux moyennes de 9 replicats. SE = erreur standard. Les valeurs de chaque colonne suivies par des lettres identiques ne sont pas significativement différentes selon le test HSD de Tukey (P = 5%).

• Effet de l'extrait d'*A. fistulosum* sur la dynamique des densités bactériennes de *R. solanacearum* dans le sol *in vivo*

La concentration en extrait, le nombre de jours après traitement et leur interaction ont eu un effet significatif sur les populations de *R. solanacearum* dans le sol. Le sol traité avec les extraits d'*A. fistulosum* à 100% et 50% a réduit les populations de la souche émergente de *R. solanacearum* et a augmenté les populations « Non *R. solanacearum* » en comparaison au témoin non-traité, sur une période de 60 jours après traitement du sol. Pour l'extrait à 25% les populations de *R. solanacearum* restent élevées sur toute la période d'expérimentation. L'effet dépressif des extraits à 50% et 100% sur les populations de *R. solanacearum* est significatif, rapide (3 jours) et persistant (2 mois) pour les extraits à 50% et 100%. Pour l'extrait à 100%, dès le 3^{ème} jour après traitement du sol, aucune colonie de *R. solanacearum* n'a été isolée tandis que l'on a observé le développement rapide



Figure 2 : Effet antibactérien *in vivo*. Suivi du développement du flétrissement bactérien sur tomate dans un sol naturel et préalablement contaminé avec *R. solanacearum*, en conditions contrôlées (chambre climatique).



Figure 2

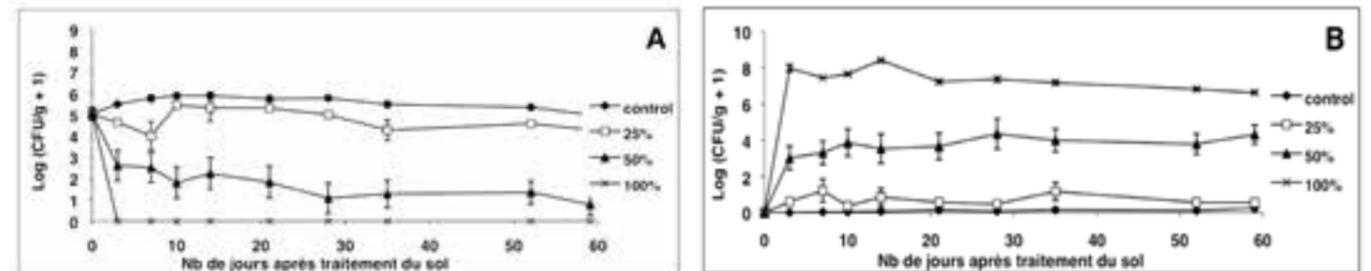


Figure 3

Figure 3 : A, Densités de *R. solanacearum* et B, Densités de populations bactériennes autres que *R. solanacearum* (populations « Non *R. solanacearum* ») dans un sol préalablement contaminé, après traitement avec un extrait aqueux d'*Allium fistulosum* (à 100, 50 et 25%).

d'une population dominante « Non *R. solanacearum* » (bactéries Gram-) qui persiste pendant toute la durée de l'expérimentation. Les résultats sont présentés dans la Figure 3.

• Effet de l'extrait d'*A. fistulosum* sur l'incidence du flétrissement bactérien de la tomate *in vivo*

La durée de contact entre l'extrait et le sol, la concentration en extrait et leur interaction, ont eu un effet significatif sur l'incidence du flétrissement bactérien.

Les symptômes de flétrissement bactérien sont apparus dès le 5^{ème} jour après plantation de la tomate. Les résultats ont montré que le sol traité avec les extraits d'*A. fistulosum* permettait de réduire l'incidence du flétrissement bactérien de la tomate. Avec l'extrait à 100%, seulement 6 et 3 % des plants ont flétri à la fin de l'essai pour les durées de pré-traitement du sol de 15 et 30 jours, respectivement.

Avec l'extrait à 50%, 14 et 11 % des plants ont flétri à la fin de l'essai pour les durées de pré-traitement du sol de 15 et 30 jours, respectivement. Les deux traitements

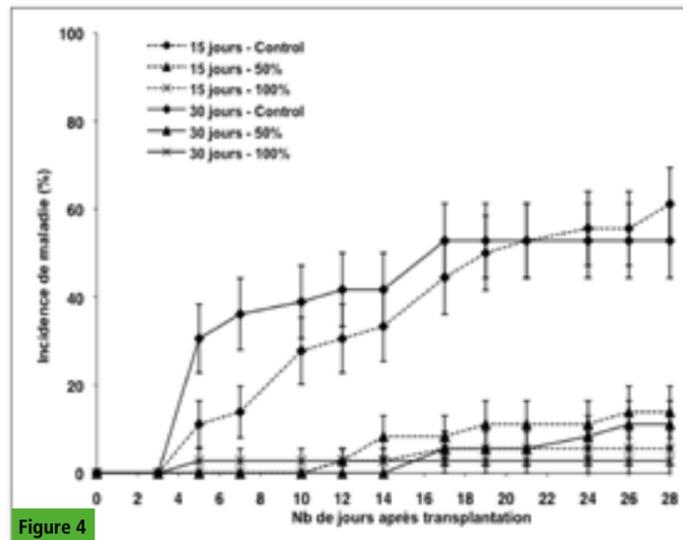
du sol (100% et 50%) ont significativement protégé les tomates contre le flétrissement bactérien, quelle que soit la durée de pré-traitement du sol. Les résultats sont présentés dans la Figure 4.

Cette étude basée sur des tests *in vitro* a démontré le potentiel antibactérien de *Allium fistulosum* contre la souche hautement virulente, CFBP6783, appartenant à la population émergente de *R. solanacearum*. L'effet antibactérien a été confirmé dans des tests *in vivo*, réalisés sur sol naturel et préalablement contaminé avec la souche CFBP6783 de *R. solanacearum*.

Trois mécanismes d'action pourraient expliquer nos résultats :

- l'activité antimicrobienne directe des composés secondaires contenus dans l'extrait ou libérés par l'extrait d'*A. fistulosum* (Auger *et al.*, 2004 ; Regnault *et al.*, 2005) ;
- l'activité antimicrobienne indirecte induite par la stimulation de micro-organismes du sol antagonistes ou compétiteurs vis-à-vis de *R. solanacearum* ;
- l'induction de la résistance systémique chez la tomate (Hassan *et al.*, 2009).

Figure 4 : Incidence du flétrissement bactérien de la tomate (cv. Heatmaster) dans un sol préalablement contaminé, après traitement avec un extrait aqueux d'*A. fistulosum* (à 100 et 50%). Deux durées de contact ont été testées avant plantation de la tomate (15 jours et 30 jours). Le sol contaminé sans extrait correspond aux traitements-Control. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur standard des moyennes.



La suppression des populations de *R. solanacearum* dans le sol traité dès le 3^{ème} jour suggère une possible application au champ impliquant une courte période entre le traitement avec les extraits d'*A. fistulosum* et la plantation des tomates. Le frein à l'application d'extraits d'*A. fistulosum* en plein champ est la quantité très élevée de la biomasse végétale requise. Ainsi, il faudrait 20 Kg de biomasse végétale fraîche en *A. fistulosum* pour traiter 1 m² de sol, pour l'application d'un extrait à 50%.

Afin de bénéficier du potentiel de biodésinfection de l'*Allium fistulosum*, une autre approche serait l'utilisation de l'*Allium fistulosum* en précédent cultural, suivi d'une phase de décomposition permettant la libération des composés actifs de l'*Allium fistulosum* dans le sol, avant plantation de la tomate. Dans cette nouvelle approche, deux mécanismes d'action pourraient être mis à profit : la rupture du cycle infectieux et la libération de molécules biocides dans le sol via les exsudats racinaires des alliées au cours de la phase culturale (Yu et al., 1999).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

En conclusion, nous avons démontré que la biodésinfection du sol au moyen d'extraits naturels végétaux peut être hautement bénéfique sur la régulation des bioagresseurs telluriques. Les résultats de notre étude ont révélé que :

- l'extrait d'*Allium fistulosum* inhibe la croissance *in vitro* de l'écotype émergent de *Ralstonia solanacearum* et que
- l'application de l'extrait au sol réduit fortement les populations de *R. solanacearum* et l'incidence de la maladie sur tomate (cv. Heatmaster), en chambre climatique.

Ces résultats encourageants confirment la possibilité d'utiliser les Alliées en biodésinfection des sols.

En perspective, nous proposons d'identifier les composés actifs responsables de l'effet antimicrobien de *A. fistulosum*. Il serait intéressant également d'étudier les populations « Non *R. solanacearum* » (Gram-) qui se sont développées, de les caractériser et de tester leur potentiel antagoniste sur *R. solanacearum*. Parallèlement, des études sont en cours sur l'introduction de *A. fistulosum* dans les systèmes de cultures (en rotation ou association culturale) ainsi que sur les processus mobilisés tels que : la rupture du cycle infectieux de *R. solanacearum*, l'allélopathie liée aux exsudats racinaires, la modification des communautés microbiennes du sol, mais également l'effet protecteur pour la tomate via la symbiose mycorhizienne stimulée par les plantes de service utilisées en rotation culturale (Fernandes et al., 2012).



Intérêt du basilic pour la gestion agroécologique de l'aleurode *Bemisia tabaci* dans les parcelles de tomate

Rhino B.¹, Dross C.²,
Momperousse R.J.³,
Thibaut C.¹, Verchere A.¹
et Fernandes P.¹.

¹ CIRAD, Hortsys, Campus
agro-environnemental
Caraïbe, BP 214,
97285 Lamentin Cedex 2
Martinique

² AgroParisTech,
16 Rue Claude Bernard
75005 Paris
France

³ Faculté d'Agronomie et
de Médecine Vétérinaire,
Route Nationale
numéro 1, Damien,
B.P 1441,
Port-au-Prince, Haïti

L'aleurode du tabac *Bemisia tabaci* est l'un des principaux ravageurs de la tomate. En s'alimentant, il sécrète un miellat qui favorise le développement de fumagine et il transmet à la plante des virus dont le TYLCV (Tomato Yellow Leaf Curl Virus) qui cause une forte mortalité chez la tomate. Les techniques de lutte actuelles font souvent appel à des traitements insecticides réguliers dont l'efficacité est limitée par l'apparition de résistances chez *B. tabaci*. En Martinique, la lutte intégrée contre *B. tabaci*, alliant des mesures prophylactiques et des traitements insecticides, montre une efficacité limitée car l'insecte devient résistant aux insecticides. Une méthode de lutte alternative susceptible de s'intégrer aux pratiques des agriculteurs consisterait à augmenter la diversité végétale à l'échelle de la parcelle par la mise en place de cultures intercalaires. En effet, lorsque les plantes sont diversifiées sur une parcelle, les ravageurs ont davantage de difficultés à les localiser et, dans le même temps, cette diversité favorise la présence des ennemis naturels au sein de la parcelle. Fargalla *et al.* (2011) ont notamment montré une réduction du TYLCV lorsque les tomates étaient plantées en intercalaire avec du concombre, et Schuster (2004) a montré que les populations de *Bemisia* étaient réduites lorsque la parcelle de tomate était entourée de courges.

Les plantes aromatiques sont souvent conseillées comme plantes compagnes car elles perturberaient le comportement des insectes à cause des composés volatiles qu'elles émettent. Par exemple, Togni *et al.* (2010) ont observé que la tomate plantée sous serre avec de la coriandre (*Coriandrum sativum*) était moins infestée par *B. tabaci* que celle en culture pure.

En Martinique, le basilic (*Ocimum basilicum* L.) est une plante à haute valeur ajoutée car utilisée en cuisine pour son arôme et en médecine traditionnelle pour ses propriétés digestives, diurétiques, antispasmodiques et antiseptiques. Les principaux composés aromatiques du basilic sont le linalol, l'estragol, le cinnamate de méthyle et l'eucalyptol mais les teneurs des composés aromatiques varient selon les cultivars. Selon Basedow *et al.* (2006), la légumineuse *Vicia faba* est moins infestée par le puceron *Aphis fabae* lorsqu'elle est cultivée en intercalaire avec le basilic. Des études, en milieu contrôlé, ont montré un effet toxique de l'huile essentielle de basilic sur les arthropodes, tels que le charançon du riz (*Sitophilusoryzae* L.), les mouches des fruits (*Ceratitis capitata* et *Bactrocera* sp.) et les acariens.

L'objectif de notre étude est d'évaluer l'impact du basilic (cultivé en bordure) sur l'infestation de la tomate par *B. tabaci*, en fonction des différents cultivars et de la distance du rang de tomate à la bordure.

En 2010 et 2011, dans le cadre du projet DEVAG, nous avons conduit 2 expérimentations en plein champ à Sainte-Anne (60°52' Ouest, 14°26' Nord, altitude 22m) et au Carbet (61°10' Ouest, 14°42' Nord, altitude 14 m). Nous avons comparé une parcelle de tomate sans bordure (T) et des parcelles de tomate avec des bordures de différents cultivars de basilic de caractères phénologiques variés : basilic anis (B1), basilic citron (B2) et basilic cannelle (B3) (Figure 1). La tomate et le basilic ont reçu une fertilisation organique et n'ont pas été traités contre les ravageurs. Les essais ont été réalisés selon un dispositif en blocs avec trois répétitions. Pour chaque modalité, 2 semaines après la plantation de tomates et pendant un mois, nous avons prélevé, tous les 15 jours, 5 feuilles de tomate sur le tiers supérieur de 5 plants, à 3 distances de la bordure (0m, 1m et 2m). Puis nous avons dénombré le nombre de larves de *B. tabaci* présentes sur la face inférieure de chaque feuille et nous avons calculé le nombre de larves/5 feuilles qui représente l'infestation pour une distance donnée.

Nous avons aussi réalisé, sous serre, un test de choix avec les 3 cultivars de basilic et de la tomate dans des modules insect-proof préalablement infestés par des lâchers d'aleurodes. L'essai a été réalisé selon un dispositif en bloc avec 3 répétitions et dans chaque bloc 10 plants de tomate et 10 plants de chacun des cultivars de basilic. Nous avons prélevé une feuille sur le tiers supérieur de chaque plant, puis, pour chacune des feuilles, nous avons évalué la densité d'œufs sur une surface de 1,8 cm².

Pour chaque essai, des tests statistiques ont été réalisés avec le logiciel R (version 2.15, package lme4).

Les résultats des expérimentations en plein champ ont montré que, dans les 2 sites, l'infestation des plants de tomate varie selon le cultivar de basilic mis en bordure (Figure 1) et cela quelle que soit la distance.

A Sainte-Anne, 15 jours après la plantation de tomate, les parcelles ayant une bordure de basilic cv cannelle étaient deux fois moins infestées (35 ± 8 larves/5 feuilles) que celles n'ayant pas de bordure (75 ± 13 larves/5feuilles) ; pour les 2 autres cultivars, les populations variaient de 59 à

Figure 1 : Description des différents cultivars de basilic

Basilic cv anis (B1)

Grandes feuilles vertes
Tige pourpre
Fleurs violettes
Arôme anis



B1

Basilic cv citron (B2)

Petites feuilles ovales de couleur vert clair
Tiges vertes
Fleurs blanches
Arôme citron



B2

Basilic cv cannelle (B3)

Grandes Feuilles vertes
Tige pourpre
Fleurs blanches à rosâtre violettes pastel
Arôme cannelle



B3

73 larves/5 feuilles. A partir de 30 jours après la plantation, les parcelles de tomate ayant des bordures de basilic anis (69 ± 16 larves/5 feuilles) ou de basilic cannelle (61 ± 7 larves/5 feuilles) étaient 40% moins infestées que celles n'ayant pas de bordure (108 ± 13 individus/5 feuilles).

Au Carbet, 15 jours après la plantation de tomate, les parcelles de tomate ayant des bordures de basilic anis étaient 10 fois moins infestées que celles n'ayant pas de bordures, avec une population moyenne de 0.2 ± 0.2 larves/5 feuilles. Au-delà de 30 jours après la plantation de tomate, les populations cumulées de *B. tabaci* dans les parcelles de tomate ayant des bordures de basilic anis (13 ± 4 individus/5 feuilles) ou de basilic cannelle (11 ± 4 individus/5 feuilles) ont été significativement inférieures à celles n'ayant pas de bordure (23 ± 5 individus/5 feuilles). Après 45 jours de culture, nous avons observé une différence hautement significative pour un cultivar ; seules les parcelles ayant une bordure avec du basilic cv cannelle étaient moins infestées (14 ± 4 individus/5 feuilles) que les parcelles n'ayant pas de bordure (25 ± 8 individus/5 feuilles).

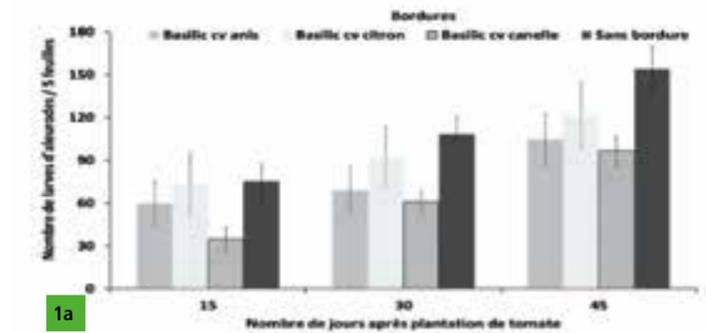
En conditions contrôlées sous serre, les résultats du test de choix ont également montré des différences significatives entre la tomate et les différents cultivars de tomate. La tomate, avec une densité d'œufs de 135 ± 27 œufs/cm², est environ deux fois plus attractive que le basilic cannelle et sept fois plus attractive que les basilics citron et anis (Figure 2).

En conclusion, le basilic cannelle est attractif pour l'aleurode *B. tabaci*. Les parcelles de tomate ayant des bordures sont moins infestées que les parcelles sans bordure, quelles que soient les conditions pédoclimatiques et le niveau d'infestation. Nous supposons que ce cultivar de basilic permet de détourner une partie des aleurodes puisque, selon Bleeker et al. (2009), ces dernières sont capables de reconnaître les composés volatiles émis par leurs plantes-hôtes afin de se diriger vers elles. Les différences observées entre les cultivars de basilics pourraient être dues à la qualité des composés volatils émis car, selon Klimánková et al. (2008), ces teneurs varient selon les variétés. Le basilic cannelle pourrait être utilisé dans le cadre d'une gestion agroécologique de l'aleurode *B. tabaci*. Toutefois, des études complémentaires, sur la qualité des composés volatiles émis ainsi que de leurs localisations sur la plante, sont nécessaires afin de définir le stade phénologique optimum pour son utilisation. Le basilic cannelle, étant moins attractif que la tomate, n'est pas à lui seul suffisant pour garantir une protection complète de la tomate, même s'il permet une diminution conséquente de

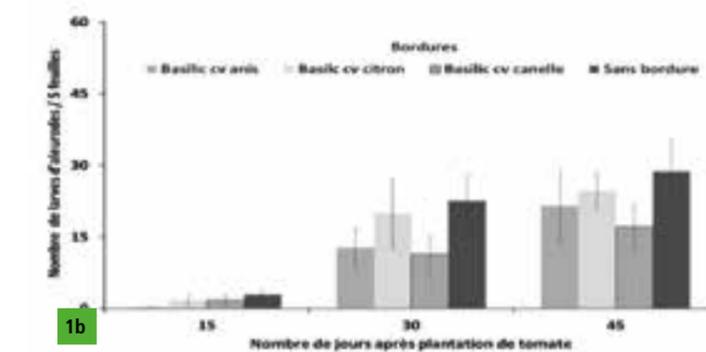


Figure 1 : Infestation des parcelles de tomate localisées à Sainte-Anne (1a) et au Carbet (1b), par l'aleurode *B. tabaci* (nombre cumulé moyen de larves/5 feuilles \pm SE), en fonction des différents cultivars de basilic mis en bordure de parcelles.

Figure 2 : Infestation de la tomate et des différents cultivars de basilic lors du test de choix en conditions contrôlées sous serre.



1a



1b

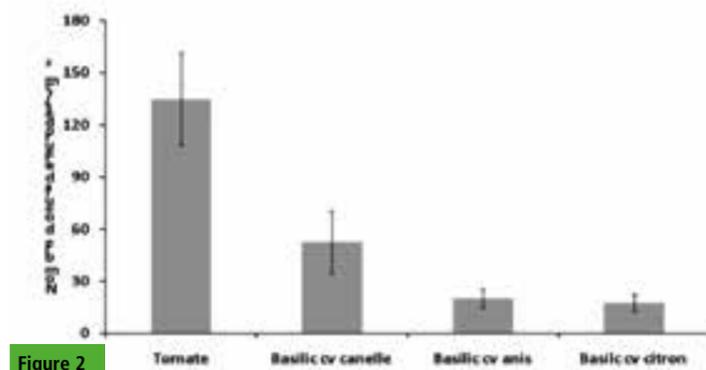


Figure 2

la pression de *B. tabaci* sur la tomate. Il constitue néanmoins la première composante d'un système combinant astucieusement une plante attractive de *B. tabaci* (le basilic cannelle), située en bordure de parcelle, et une plante répulsive située au sein de la parcelle. Cette dernière reste à identifier et à évaluer en conditions locales afin de valider sa capacité à repousser *B. tabaci* hors des parcelles de tomate et vers les bordures de basilic.

REMERCIEMENTS

Nous remercions la Station d'Essais en Cultures Irriguées (SECI) située à Sainte-Anne et le Centre de Formation Professionnelle et de Promotion Agricole (CFPPA) du Carbet d'avoir accueilli nos expérimentations en plein champ.

Cette étude a été réalisée grâce au Programme Interreg Caraïbe DEVAG.



E.ROSALIE ¹
¹ CIRAD, UPR 26,
 Martinique
 elisabeth.rosalie@cirad.fr

¹ Mulch : résidus de couverts végétaux apportés volontairement et de manière artificielle à la surface du sol ou au pied de plantes cultivées, à ne pas confondre avec la litière, naturellement présente.

Décomposition de mulchs et dynamique de minéralisation

INTRODUCTION

Dans le cycle de croissance de la plante, l'azote (N) est un élément important pour les rendements ; il est le moteur de la croissance. Les besoins en azote de la culture bananière sont estimés à 200kg/ha/an (Godefroy, 1992). La fourniture d'azote doit être échelonnée et doit tenir compte de la pluie et de la minéralisation de la matière organique. Le climat chaud et humide favorise, en effet, l'activité microbienne des sols et la minéralisation de la matière organique du sol, sous forme d'éléments nutritifs, tels que les nitrates qui sont assimilables pour la plante. En général, les taux de minéralisation des matières organiques du sol (MOS) en climat tropical sont bien supérieurs à ceux relevés en climat tempéré. La macrofaune du sol, par action de fragmentation physique, accélère le processus initial de décomposition (Shang and Tiessen, 2001). Ainsi, la disponibilité de l'azote issu de la minéralisation mérite d'être mieux connue et gérée.

En bananeraie, la matière organique est issue des résidus de culture, résidus utilisés pour couvrir le sol, limiter l'enherbement et l'érosion, contribuer au recyclage des éléments fertilisants. Mais cette pratique ne prévient totalement ni l'érosion des sols (Blanchart, 2006), ni l'utilisation des herbicides.

Suite au Grenelle de l'Environnement, le plan Ecophyto 2018 doit réduire de 50 % l'utilisation d'intrants chimiques. Aux Antilles, le projet *Evaluation de systèmes de culture innovants* est dédié à la conception de systèmes de culture pour diminuer l'utilisation d'intrants chimiques. Il est complété par le *Plan Banane Durable* qui propose notamment l'utilisation de plantes de services pour diminuer l'utilisation des herbicides. Mais outre la maîtrise de l'enherbement, les plantes de services peuvent apporter d'autres améliorations. C'est ainsi que nous avons étudié, entre autre services écosystémiques, l'effet de différentes plantes sur la biodisponibilité de l'azote. Si ces plantes de couvertures enrichissent le sol en matière organique et que cette dernière peut répondre aux besoins en azote du bananier, comment analyser le processus de décomposition et l'impact sur la biodisponibilité de l'azote d'un mulch de plantes de services ?

Cette étude, menée pour raisonner l'utilisation en engrais chimiques, se base sur les apports en azote nécessaires aux cultures, et notamment aux bananiers,

pour parvenir à satisfaire leurs besoins et leur garantir une bonne croissance. C'est plus particulièrement l'apport de résidus de culture de bananiers et de plantes de couverture qui est mesuré. Des travaux (Shili-Touzi et al., 2010) menés sur une association plante de couverture - culture principale (blé - fétuque) montrent qu'il existe des synergies entre ces plantes qui permettent d'améliorer la teneur en azote du sol. Un apport de mulch peut représenter un atout à la fois économique et environnemental, car en améliorant la minéralisation de l'azote il permettrait de diminuer les doses d'engrais chimique coûteux et nuisible pour l'environnement. L'introduction de plantes de couverture dans les systèmes de cultures de bananiers vise ainsi non seulement à réduire les adventices par effet de compétition, mais aussi à stimuler la vie microbienne et enrichir le sol en matière organique.

Nous présentons ici une expérimentation destinée à caractériser la dynamique de décomposition en fonction de l'espèce et de la nature des organes, la vitesse de décomposition d'un mulch et l'impact de cette décomposition sur la matière organique et la disponibilité en azote minéral. En prenant en compte un témoin sans apport de matière organique et une référence « résidus de feuilles de bananier », neuf traitements ont été comparés : sol nu (SN) (témoin), mulch de : *Brachiaria decumbens* (BR), *Stylosanthes guianensis* (SG), *Paspalum notatum* (PN), bananiers (BAN), *Crotalaria spectabilis* (CR), *Pueraria phaseoloides* (PP), *Neonotonia wightii* (NW), *Cajanus cajan* (CAJ).

Le principe est d'apporter une quantité connue de mulch et d'étudier la décomposition de sa matière organique à partir d'aliquotes déposés dans des litter bags (sachet de tissus de type moustiquaire de maille = 1mm) et d'étudier l'enrichissement du sol en azote minéral en le comparant avec un sol sans apport.

RÉSULTAT DE LA DÉCOMPOSITION

La décomposition des mulchs à 7 jours est comprise entre 13 et 38 %. La décomposition ralentit ensuite graduellement, du 14^{ème} au 60^{ème} jour. La décomposition la plus complète à 90 jours est observée pour *Stylosanthes guianensis* avec 74 % des feuilles décomposées et 50% des tiges.

D'autres mulchs présentent, au contraire une décomposition lente, comme le *Paspalum* et le *Bracharia* pour qui il reste environ 75% de la biomasse

initiale à 90 jours. La décomposition du *Cajanus* est aussi assez lente, en particulier celle de ses feuilles, ce qui peut avoir pour application une utilisation en mulch mort avec bonne persistance. Le *Neonotonia* et le

Pueraria ont un comportement intermédiaire, avec une lente décomposition des feuilles ; ils sont ainsi susceptibles de produire une litière assez durable utilisable en couverture vivante et/ou en mulch mort.

Figure 1 : dynamique de décomposition et minéralisation des différents traitements

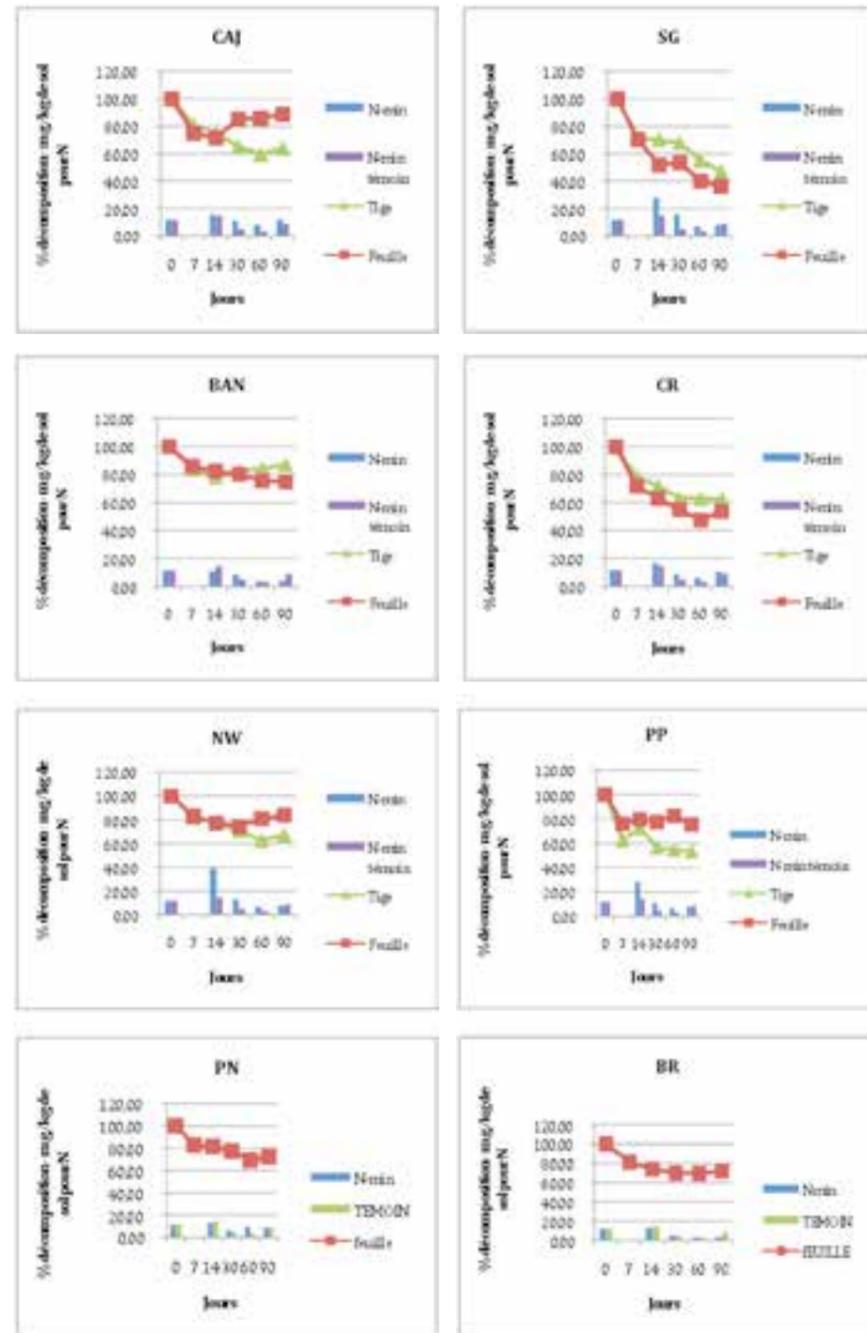


Figure 1



Figure 2 : cumul de gain d'azote dans les sols en fonction des traitements

Les dynamiques de minéralisation sont différentes en fonction des espèces de plantes de couverture utilisées en mulch. Dès le 14^{ème} jour, l'azote minéral est beaucoup plus disponible avec les légumineuses qu'avec les graminées. Par rapport à un sol nu, les bénéfices d'un traitement ne sont pas négligeables. Nous mesurons un accroissement de l'azote minéral à court (environ de 12 à 25 %) et moyen terme (environ de 23 à 35%) avec les mulchs de *Stylosanthes*, *Neonotonia* et *Pueraria* et une immobilisation/réduction de l'azote minéral du sol sur le court terme pour les graminées *Paspalum* et *Bracharia*, avec un début de restitution retardé à 90 jours (Figure 2).

On observe que l'apport de mulch augmente le compartiment biomasse microbienne pour tous les traitements. Les légumineuses provoquent une forte immobilisation à 14 jours, mais restituent très rapidement cet azote sous forme minérale (voir les dynamiques de minéralisation Figure 1). Les graminées continuent à immobiliser au-delà de 30 jours avec une restitution plus lente.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Dans les conditions de l'étude, pour des restitutions sous forme de mulch provenant de plantes de couverture, la dynamique de minéralisation est fortement dépendante de la nature de la matière organique (espèce et organe). Les légumineuses ont enrichi le sol en azote minéral, alors que la décomposition des graminées a, dans un premier temps, réduit la teneur en azote minéral du sol avant de restituer très progressivement l'azote. Avec ces graminées, le solde reste négatif au bout de

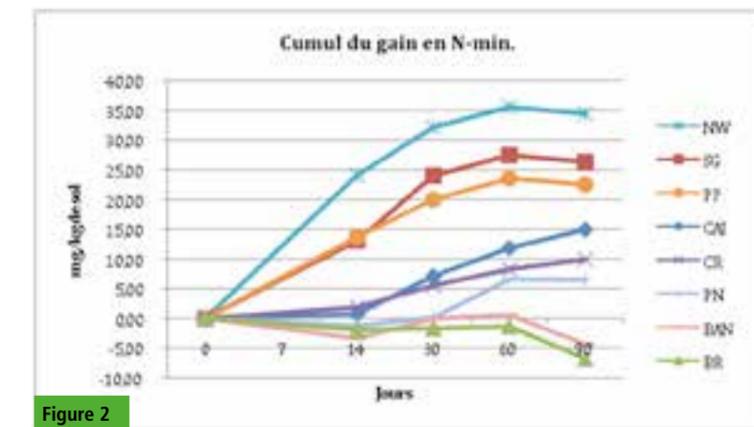


Figure 2

EFFET SUR LA BIOMASSE MICROBIENNE

La biomasse microbienne est le moteur de la minéralisation. Les facteurs qui influencent sur son développement sont l'humidité du sol mais aussi les pratiques culturales. L'évaluation de la biomasse microbienne procure un indicateur partiel de la santé de notre sol.

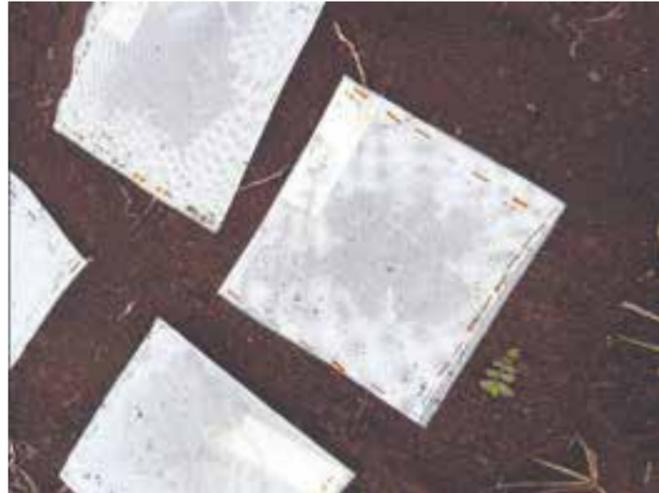
L'azote alpha aminé est l'azote de la biomasse microbienne. L'évolution de sa teneur permet d'évaluer la réponse microbienne d'une parcelle à l'issue de changements de pratique culturale. Ces comparaisons se font en rapport à un témoin, sol nu.

Le tableau 1 représente les taux d'azote alpha aminé de chaque traitement.

		N α aminé mg/kg de sol							
jours	CAJ	SG	BR	BAN	CR	SN	NW	PP	PN
14	21.36	21.43	16.45	16.39	19.18	14.25	23.96	19.52	18.06
30	18.88	20.51	18.16	17.15	19.13	15.01	22.92	18.16	16.73

Tableau 1

Tableau 1: Biomasse microbienne du sol exprimée en azote alpha aminé



complexe. Les résultats suggèrent que la restitution en continu de mulch de certaines légumineuses permet une libération facile d'azote en peu de jours. Une combinaison de mulch de légumineuses associées à des résidus de bananier favoriserait la biomasse microbienne responsable de la décomposition des résidus du bananier. La connaissance des dynamiques de décomposition de ces espèces, est utile pour une meilleure intégration de leur utilisation dans les systèmes de culture bananiers : pour évaluer les effets lors d'une implantation en interculture et les effets de leurs restitutions lors d'une destruction avant replantation des bananiers, en association avec les bananiers pour évaluer l'effet des restitutions de feuilles par la litière.

En perspective, nous développerons de nouveaux itinéraires techniques qui intègrent les restitutions de mulchs de plantes de couverture et optimisent les quantités d'azote mises à disposition par la dégradation des restitutions de matière organique. Les premières données pourront aussi être comparées grâce à un modèle de décomposition de la matière organique (TAO) (Kaboré et al., 2011) qu'il faudra affiner et adapter.



Pollutions par les pesticides à l'échelle du territoire

Magalie LESUEUR
 JANNOYER,
 Charles MOTTES,
 Joanne PLET,
 Céline CARLES,
 Florence CLOSTRE,
 Mathilde GUENE,
 Philippe CATTAN

Les pollutions par les pesticides ne sont pas des pollutions visibles (figure 1) que l'on peut identifier facilement mais ont des impacts sur la santé et l'environnement souvent mesurables à moyen et long termes. Afin de limiter ces impacts, un des objectifs de la recherche agronomique est de pouvoir évaluer (rendre compte et objectiver) les effets des systèmes agricoles actuels (diagnostic) et futurs (reconception de systèmes) sur les ressources, les écosystèmes et les chaînes trophiques. Ce volet environnemental de la durabilité permet de comparer, à différents pas de temps et à différentes échelles, les systèmes innovants.

Aux Antilles, les systèmes agroindustriels constituent encore la majorité des systèmes productifs. Même si actuellement ils tendent à se diversifier ou à intégrer des innovations agroécologiques, ces systèmes sont encore fortement dépendants de l'usage de pesticides aux différentes étapes du cycle de production : applications au champ et applications sur les récoltes. Dans le passé, certains pesticides ont généré des pollutions durables qu'il faut maintenant gérer, en limitant les impacts/risques sanitaires, environnementaux, sociaux et économiques.

Depuis les années 2000, la recherche agro-environnementale s'efforce de caractériser les pollutions et de mettre au point des outils d'évaluation et de gestion des impacts possibles des pratiques phytosanitaires des agriculteurs à différentes échelles spatio-temporelles (parcelle, bassin ; épisode pluvieux, semaine,...). Deux exemples sont donnés dans cet article aux échelles



Figure 1

imbriquées parcelle et bassin versant : celui de la rivière Ravine et celui de la rivière Galion.

POURQUOI L'ÉCHELLE DU BASSIN VERSANT ?

Si les échelles de la parcelle et de l'exploitation agricoles sont des unités de gestion et de décision pour les agriculteurs, le bassin versant est l'unité fonctionnelle pertinente à considérer lorsque l'on s'intéresse à la ressource en eau. Un bassin versant est un territoire (zone géographique). C'est l'aire d'alimentation en eau d'un point appelé l'exutoire. Un bassin versant est délimité par la ligne de partage des eaux et par son exutoire (figure 2). C'est également une unité intégratrice des activités anthropiques : la qualité de l'eau à l'exutoire dépend des activités actuelles et passées conduites sur le territoire.

Figure 1 :
 Rivière Galion,
 Martinique
 (Photo J. Plet)

Figure 2: Schéma d'un bassin versant (Mottes, 2013)

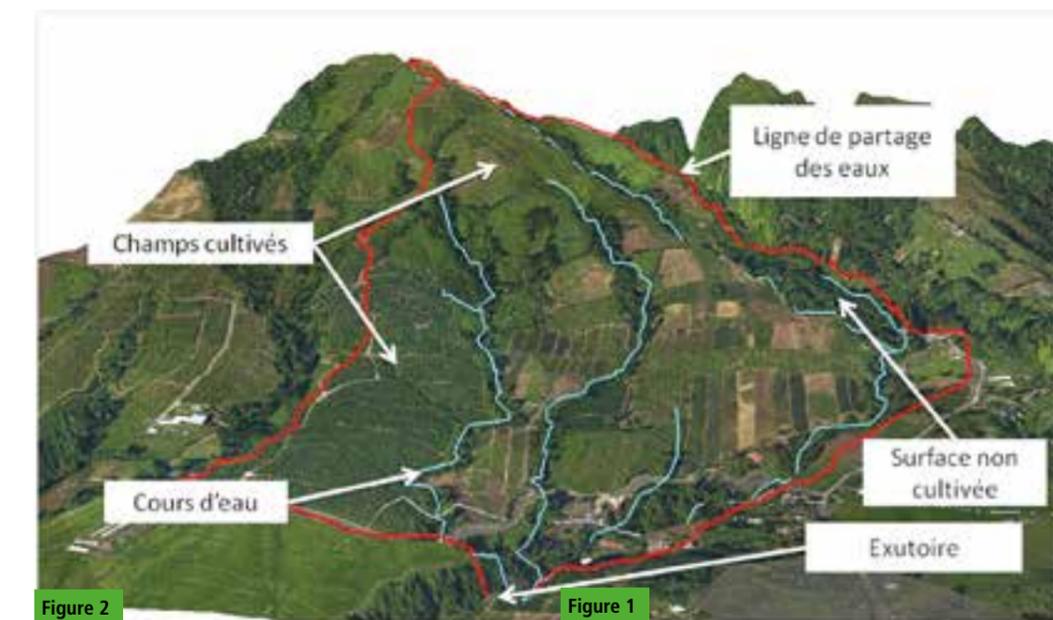


Figure 2

Figure 1



Figure 3 : Synthèse des résultats sur les transferts de la chlordécone (projets Chlordexco, OPAC) : l'infiltration à partir des sols pollués dans le passé contribue majoritairement à la pollution des nappes de souterraines, alimentant les rivières en zone volcanique. La contribution du ruissellement est modulée par le type de sol et les pratiques appliquées à l'échelle de la parcelle, en particulier celles modifiant les états de surface et la couverture du sol (dessin Clostre)

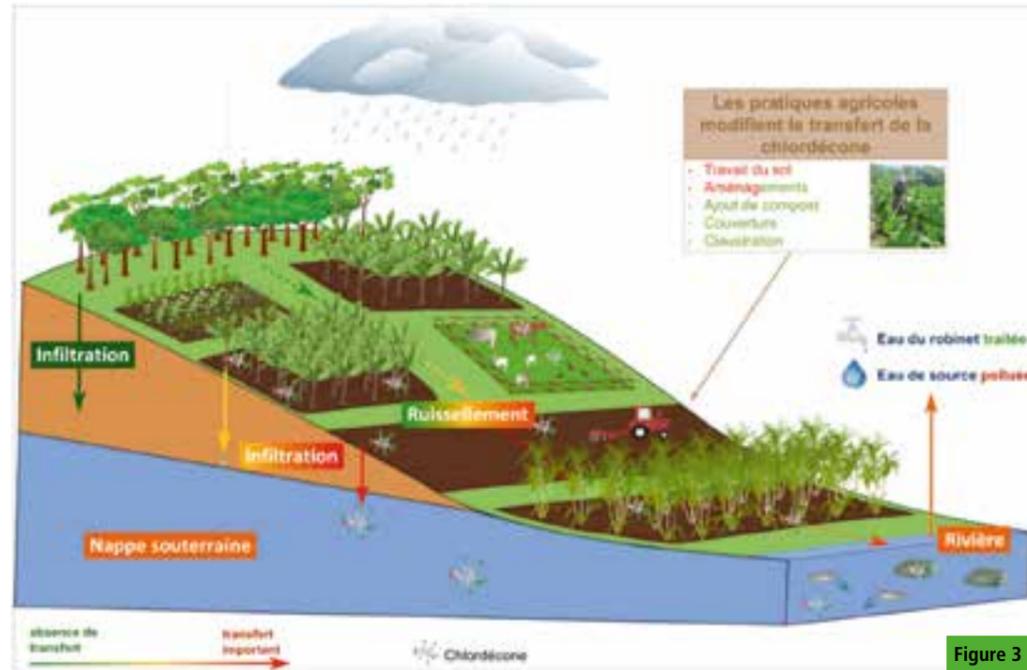


Figure 3

Les pesticides sont des préparations à base de molécules chimiques dont les propriétés sont très diversifiées. Ils n'ont pas tous les mêmes effets sur les organismes cibles : insecticide, fongicide, herbicide. Ils ne se comportent pas de la même manière dans l'environnement. Ces différents comportements résultent des caractéristiques des molécules, telles que leur solubilité ou leur persistance, mais aussi des modes d'application (application sur les cultures ou sur le sol). De ces différences, il résulte des temps de transferts plus ou moins longs vers les eaux des rivières. Si les voies de transfert sont relativement bien connues dans des contextes tempérés, peu de travaux existent pour les zones tropicales, pour lesquelles les cycles biogéochimiques sont accélérés. En contexte insulaire, la fragilité des écosystèmes et l'importance de l'eau de surface pour la consommation humaine implique de porter une attention particulière à la protection de cette ressource.

Un schéma général du transfert de pesticides existe, mais les voies spécifiques et les temps de transfert à chaque molécule doivent être précisés. Pour la chlordécone, la figure 3 indique un transfert majoritaire du sol vers les écosystèmes aquatiques via les écoulements souterrains : la molécule est très fortement fixée dans le sol. Comme elle ne se dégrade presque pas, les quantités présentes dans les sols se solubilisent lentement dans l'eau présente dans les sols. Les molécules solubilisées sont ensuite entraînées, par infiltration lors des épisodes pluvieux, vers les nappes qui contribuent majoritairement à l'alimentation des rivières dans le contexte volcanique de nos îles. Ainsi, de même que d'une application de pesticides sur une parcelle peut résulter une pollution de l'eau à l'échelle du territoire, une gestion efficace de la pollution par les pesticides ne peut s'envisager qu'aux échelles

imbriquées déjà mentionnées (parcelle, exploitation, bassin versant).

QUELS OUTILS DISPONIBLES ?

Le modèle est l'outil privilégié pour représenter et simuler les transferts de polluants à différentes échelles. Une analyse bibliographique (Mottes et al, 2013) a confirmé que les impacts de certaines pratiques des agriculteurs étaient mal représentés dans les modèles de transfert de pesticides à l'échelle du bassin versant. Un travail de thèse a permis le développement d'un outil qui rend compte des effets des pratiques des agriculteurs antillais sur la qualité de l'eau de rivière. Ce modèle, WATPPASS (Watershed Agricultural Techniques and Pesticide Practice ASSESSment) (Mottes, 2013) intègre les connaissances génériques sur les transferts de pesticides et les spécificités du contexte antillais. Pour cela, durant près de deux ans, des enquêtes sur les pratiques de 18 agriculteurs ont été réalisées en parallèle d'analyses hebdomadaires de 80 pesticides dans les eaux de rivière. Ces travaux ont été réalisés sur un bassin versant de 131 Ha situé sur les flancs de la montagne Pelée (bassin versant de la rivière Ravine, affluent de la rivière Capot) pour lequel les enjeux liés à la production d'eau potable sont prioritaires (SDAGE 2009). (Figure 4).

Dans le cas du bassin versant de la rivière Galion, un diagnostic des pollutions par la chlordécone et par d'autres pesticides est en cours de réalisation avec l'installation d'un système de mesures à long terme (projet Observatoire des Pollutions Agricoles : cas de la Chlordécone). Les mesures, régulières ou ciblées, sont en effet indispensables pour la construction d'outils de



Figure 4 : Diversité de systèmes de production et de pratiques à l'échelle de la parcelle sur un versant du bassin : prairies, systèmes bananiers, systèmes canniers (photo Lesueur Jannoyer)



Figure 4

simulation comme les modèles. Cinq stations ont été installées ou complétées en plusieurs points du bassin et permettront un suivi hydrologique et de la qualité de l'eau par des suivis et des prélèvements réguliers (figure 5). Pour la chlordécone, ce dispositif a été complété par des analyses de la pollution dans près d'une vingtaine de parcelles du bassin, en 35 points pour les rivières du bassin et une quinzaine de points pour les nappes et les sources.

DES PREMIERS RÉSULTATS

Pour la rivière Ravine, le modèle WATPPASS permet d'identifier différents types de pollutions :

- Les pollutions permanentes (chlordécone, diuron et métolachlore) sont retrouvées dans plus de 80% des analyses. Ces pollutions résultent principalement d'usages historiques, sauf pour le métolachlore qui est encore utilisé en dépit des pollutions qu'il génère.
- Les pollutions résultant d'usages actuels de pesticides et dont la fréquence de quantification dans les eaux varie entre 6 et 30% des analyses (Glyphosate, AMPA, fosthiazate, propiconazole, dithiocarbamates). Pour ces molécules, WATPPASS a permis d'identifier un risque de pollution à moyen ou long terme pour l'AMPA (produit de dégradation du glyphosate dont

l'usage est généralisé), le propiconazole (persistance longue dans les sols) et le fosthiazate (application sur le sol et faible fixation au sol). En effet, pour ces trois molécules, le modèle détecte une contamination des aquifères générant des pollutions permanentes.

- Les usages actuels dont les conséquences sur la ressource en eau peuvent être considérés comme acceptables (cas du métaldehyde et du difénoconazole). Ces molécules sont en général appliquées en quantités significatives de matière active mais ne se retrouvent généralement pas dans l'eau la rivière, probablement du fait de leurs propriétés physico-chimiques (dégradation rapide)
- Des pollutions non mesurées mais simulées par le modèle (cas du glufosinate-ammonium), dont il faut tenir compte dans l'évaluation des impacts sur la ressource. En effet, les mesures sont contraintes par des limites techniques analytiques (qualité de l'extraction, seuil de détection et de quantification) et ne rendent pas toujours compte précisément de l'état de la pollution du cours d'eau. Ces résultats discordants entre les résultats du modèle et les mesures permettent d'identifier de nouvelles pistes de recherche.

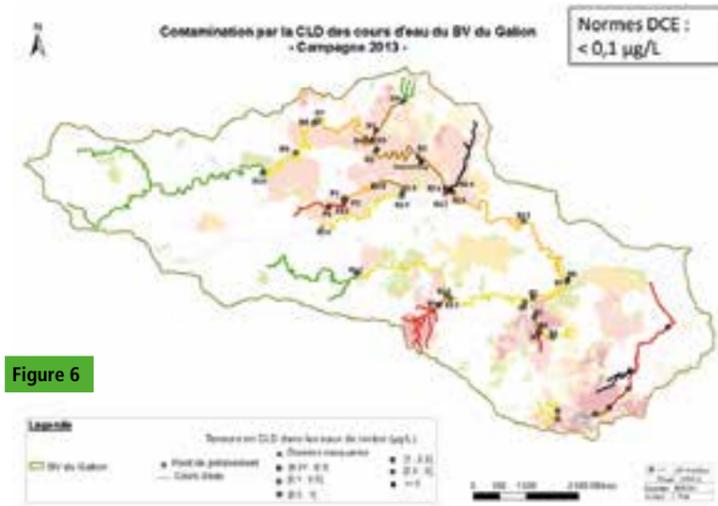
Le modèle WATPPASS a permis d'identifier des voies de transfert privilégiées dans nos contextes insulaires tropicaux de la Caraïbe. Cette première

Figure 5 : Système de mesures : centrale d'acquisition de données (hauteur d'eau, T°, turbidité) et préleveur automatique d'échantillons d'eau de la rivière Galion pour l'analyse des matières en suspension et des teneurs en pesticides (photo Lesueur Jannoyer)



Figure 5

Figure 6 : Pour le bassin versant de la rivière Galion (Martinique), les cours d'eau traversant une zone de sol polluée (surface en rouge, issue de la cartographie des risques de pollution, Desprat et al, 2011) se chargent en chlordécone (cours d'eau en orange, marron, rouge et noir) au-delà des normes en vigueur (DCE : 0,1 µg/L). Les points noirs indiquent les lieux de prélèvement des eaux de rivière en saison sèche en 2013.



caractérisation des pratiques, qui respectent en général la réglementation à l'échelle de la parcelle, a permis de montrer que l'organisation dans le temps et dans l'espace des décisions et des modes d'application de pesticides a un rôle très important pour la qualité de l'eau de la rivière (Guéné, 2013). De plus, le modèle permet d'identifier les systèmes contributeurs à la pollution des eaux.

Pour la rivière Galion, les analyses de sol confirment une pollution par la chlordécone des anciennes bananeraies avec des niveaux variables selon les exploitations, le travail du sol et le type de sol (Plet, 2012 ; Bazizi, 2013). Globalement les niveaux de risque de pollution correspondent aux niveaux de pollution mesurés dans les différents compartiments environnementaux. Lorsqu'un cours d'eau traverse ces zones polluées, il se charge en polluant, avec des niveaux parfois très élevés, au-delà des normes de potabilité ou de DCE (0,1 µg/l) (figure 6). Les sources ou les forages situés dans le sous-sol de ces zones sont également impactés.

QUELLES PERSPECTIVES POUR LE FUTUR ?

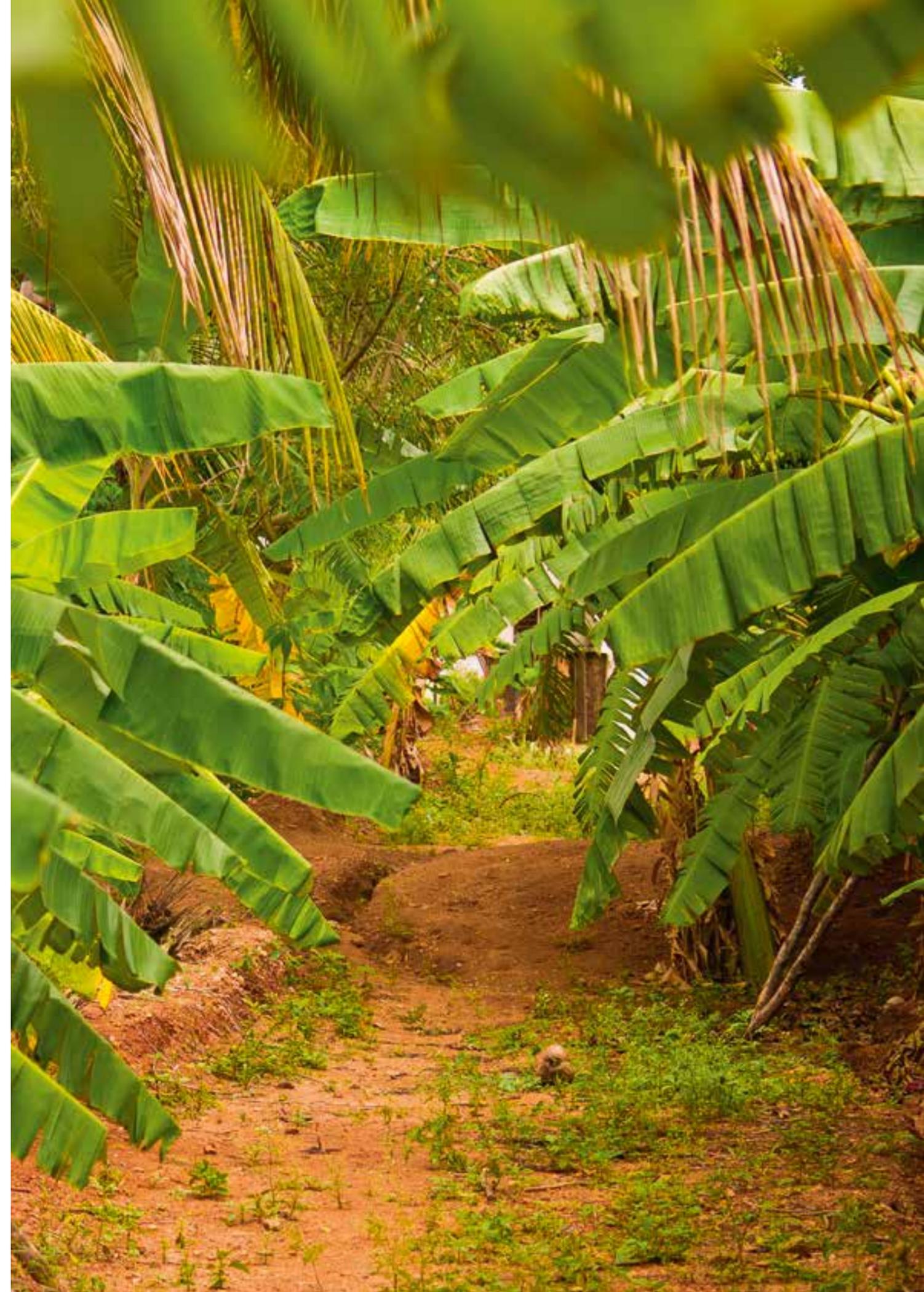
L'amélioration de la qualité de l'eau des rivières aux Antilles passe d'une part par la maîtrise des pollutions actuelles, en diminuant la source c'est-à-dire les applications de pesticides et d'autre part par la gestion des transferts de polluants historiques en adoptant des pratiques de piégeage dans l'attente de procédés de dépollution efficaces et écologiques. Pour cela, des innovations, les plus agroécologiques possibles, devront être testées et validées par les différents acteurs des bassins versants.

Des systèmes de suivi dans le temps sont indispensables à la fois pour comprendre les mécanismes de transfert ou de transport des pollutions et d'autre part pour mesurer les efforts et l'amélioration de la qualité de la ressource.

L'accompagnement au changement de pratiques est l'objectif principal du projet Rivage, dans des perspectives d'amélioration de la qualité de la ressource en eau avec un dispositif opérationnel pérenne. Ce projet se déroulera de manière complémentaire en Guadeloupe (bassin versant de la rivière Pérou) et en Martinique (bassin versant de la rivière Galion). Il participe d'une approche pluridisciplinaire en associant des chercheurs de différents instituts : AgroParisTech, BRGM, Cirad, CNRS, Inra, IRD, Montpellier SupAgro, Université Antilles Guyane.

REMERCIEMENTS

Ces travaux n'auraient pas pu être menés à bien sans le soutien technique et financier de l'ODE Martinique, de la DEAL Martinique, de l'ONEMA, du Plan Chlordécone et de l'appui des équipes de l'IRD, de l'Inra et du BRGM ainsi que des exploitants agricoles qui ont accepté les suivis.





T. WOIGNIER^{a,b},
L. RANGON^{a,b},
P. FERNANDES^{c,d},
A. SOLER^e,
F. CLOSTRE^{c,d},
M. LESUEUR JANNOYER^{c,d}

^aUMR CNRS IRD
Campus Agro
Environnemental
Caraïbes
B.P. 214 - Petit Morne
97232 Le Lamentin,
Martinique

^bInstitut Méditerranéen
de Biodiversité et
d'Ecologie marine et
continentale (IMBE),
Aix-Marseille Université,
UMR CNRS IRD Avignon
Université, Faculté de
St-Jérôme, F-13397
Marseille cedex 20,
France

^cCirad UR HortSys, TA
B-103/IPS4,
Boulevard de la Lironde,
34398 Montpellier
Cedex 5, France

^dCIRAD/CAEC UPR
fonctionnement
agroécologique et
performances des
systèmes de culture
horticoles, B.P. 214
Petit Morne, 97232,
Le Lamentin,
Martinique, France

^eCirad, UPR Banana,
Plantain and Pineapple
cropping systems,
97285 Le Lamentin,
Martinique, France

Figure 1 :
concentrations en
chlordécone (CHLD)
dans le sol versus
la concentration en
carbone organique.

Une alternative à la dépollution des sols contaminés : La séquestration de la chlordécone

INTRODUCTION

Les pouvoirs publics doivent faire face à un problème de pollution des sols et des ressources en eau, par un pesticide organochloré (la chlordécone) [Office parlementaire, 2009]. La chlordécone est un insecticide de la famille du DDT (formule $C_{10}Cl_{10}O$) qui a été largement utilisé pour traiter les bananeraies. Cette molécule particulièrement résistante à la dégradation microbienne [Dawson et al., 1979 ; Epstein, 1978] a été utilisée notamment en Afrique, Amérique Centrale et dans les Antilles. Bien qu'abandonnée depuis 1993 aux Antilles, elle est à l'origine d'une pollution diffuse dans les sols devenant une nouvelle source de contamination pour les cultures et les eaux des rivières. En outre, la chlordécone est toxique et suspectée d'effet cancérigène [Sterrett & Boss, 1977]. La contamination des sols par la chlordécone constitue aujourd'hui un problème de santé publique [Office parlementaire 2009], puisqu'on en retrouve dans les plantes à tubercules qui accumulent ces polluants (Cabidoche et al., 2009), les eaux de sources, et même dans le lait maternel (Multigner et al., 2007).

Les grandes filières agricoles de Martinique et de Guadeloupe, en particulier celles de la banane, ont réduit leurs surfaces, permettant ainsi des reconversions vers d'autres productions agricoles. Mais les sols issus de bananeraies anciennes et contaminées requièrent la mise en place d'un système de gestion du risque car il n'existe pas aujourd'hui de méthodes simples et efficaces de dépollution. Il est donc important de connaître les mécanismes de diffusion de ce pesticide dans l'environnement et de proposer des solutions de contrôle de la contamination.

TRANSFERT DES PESTICIDES DES SOLS VERS L'EAU ET LES PLANTES

Tous les types de sols ne semblent pas réagir de la même manière avec la chlordécone et notamment la capacité à retenir la chlordécone dans la structure poreuse peut être très différente, en fonction du type d'argile (allophane, kaolinite ou halloysite). Ainsi, les sols à allophane sont souvent fortement pollués mais, paradoxalement, sont moins contaminants pour l'eau de ruissellement et les plantes qui y sont cultivées que d'autres sols (sols à halloysite ou kaolinite). Cette grande capacité de rétention des pesticides (et de la matière organique) dans une allophane est la conséquence de la porosité tortueuse de ce type d'argile.

La chlordécone est très sensible à la présence de matière organique et on considère généralement que l'aptitude des sols à allophane à fixer la chlordécone est aussi une conséquence de leur forte concentration en matière organique (Chevallier 2008). Ainsi la figure 1 confirme l'affinité de la chlordécone pour la matière organique ; la concentration en carbone organique favoriserait la rétention de chlordécone dans les sols à allophane.

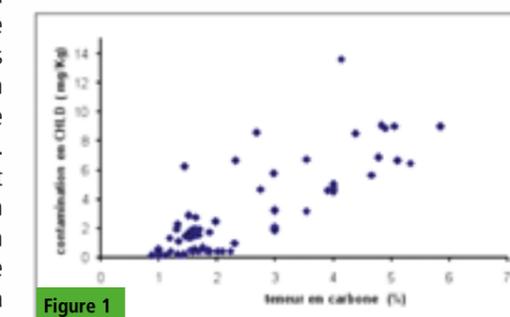


Figure 1

UNE ALTERNATIVE À LA DÉPOLLUTION : LE CONFINEMENT DE LA CHLORDÉCONE PAR AJOUT DE MATIÈRE ORGANIQUE

La forte rétention de la chlordécone dans les sols antillais et la microstructure piègeante des argiles volcaniques conduit au constat qu'il sera difficile de dépolluer les sols par des techniques simples de phytoremédiation ou de biodégradation (élimination des pesticides par les plantes et/ ou bactéries). Si nous ne pouvons pas l'éliminer, **une solution serait de piéger fortement la molécule dans le sol afin que, bien que contaminé, il ne restitue que faiblement cette contamination.**

Nous proposons donc une alternative à la dépollution : le confinement (ou séquestration) de la chlordécone. L'objectif serait de favoriser les paramètres permettant d'éviter le transfert de la chlordécone présente dans les sols vers l'eau et les plantes cultivées. La matière organique est connue pour bloquer le départ dans l'eau de certains pesticides et son incorporation dans un sol pollué pourrait favoriser le piégeage des pesticides dans les sols. Nous chercherons donc à contrôler les mécanismes de rétention de la chlordécone dans les sols pollués par l'apport de matière organique, sous forme de compost.

Parcelle d'expérimentation : séquestration de la chlordécone par ajout de compost (plantation de radis et concombres).



Figure 2 : concentrations en chlordécone (CHLD) dans l'eau de percolation versus le temps de maturation de la matière organique.

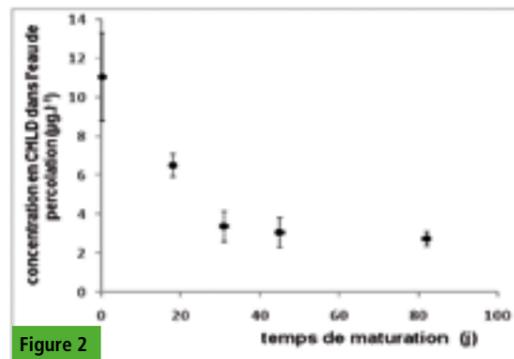


Figure 2

Pour démontrer l'efficacité du procédé nous avons réalisé deux types d'expériences permettant de quantifier a) le transfert sol/eau et b) le transfert sol/plantes.

EFFETS DE L'APPORT DE MATIÈRE ORGANIQUE SUR LE PIÉGEAGE DE LA CHLORDÉCONE

Pour caractériser le transfert sol/eau, nous avons mesuré la quantité de chlordécone présente dans de l'eau pure ayant percolé dans un sol contaminé. Pour cela les sols ont été testés sans ajout de compost (témoin)

et avec ajout de 5% en poids de compost après 20 à 82 jours, périodes nécessaires à la maturation du compost dans le sol. Nous avons alors réalisé les expériences de percolation d'eau pure dans ces sols contaminés. La figure 2 montre que, après seulement 30 jours de maturation du compost, la concentration en chlordécone présente dans l'eau de percolation est fortement diminuée (5 fois plus faible) que sans compost (point zéro jour). Ces résultats confirment l'influence de l'ajout de matière organique sur la plus forte rétention de la chlordécone dans le sol et donc leur moindre transfert dans l'eau.

La seconde expérience s'est intéressée au transfert sol/plantes. Les racines et les tubercules sont les productions les plus sensibles à cette pollution et il s'agit essentiellement d'une contamination directe par contact. La contamination est proportionnelle à celle du sol et des facteurs comme la teneur en eau des sols et la matière organique du sol jouerait un rôle important dans cette contamination. Dans cette expérience, des radis ont été cultivés dans deux sols contaminés : sans ajout de compost (témoin) et avec ajout de 5% de compost (30 jours de maturation). La figure 3 montre que le transfert sol/plantes est fortement diminué grâce à l'ajout de matières organiques. On peut supposer que cette moindre labilité est le simple résultat de la modification

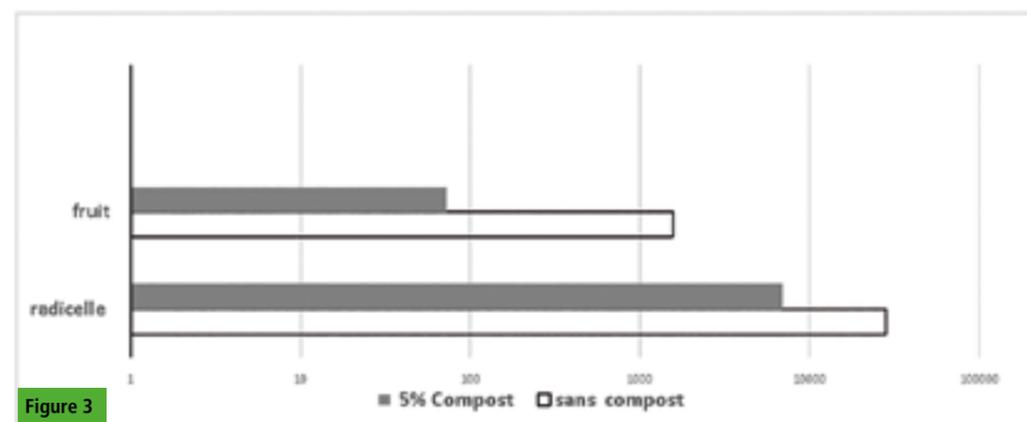


Figure 3

Figure 3 : Evolution de la concentration en chlordécone dans les organes du radis avec et sans ajout de matière organique.



d'une affinité chimique. Cependant des résultats expérimentaux montrent aussi une transformation de la structure poreuse des agrégats d'argile (fermeture de la microporosité). Il y aurait donc une synergie des effets chimiques (affinité avec la matière organique) et physiques (fermeture de la porosité) favorisant une moindre disponibilité de la chlordécone. La conclusion positive de cette étude est la suivante : bien que **ces sols soient fortement pollués, la moindre disponibilité de la chlordécone en présence de matières organiques conduit à une plus grande séquestration du pesticide** et permettrait d'envisager l'utilisation de ces sols contaminés pour certaines cultures (même en présence de taux relativement élevé de chlordécone).

Ces résultats de laboratoire encourageants doivent être confirmés par des essais au champ en conditions réelles (parcelles d'expérimentation contaminées). Cela permettrait de proposer une méthode peu coûteuse et facile à mettre en œuvre, et qui serait une alternative intéressante à la dépollution des sols qui n'est pas encore maîtrisée.



CONCLUSION

Les techniques de remédiation connues, comme l'excavation, la phytoremédiation, la dégradation par des microorganismes ou l'extraction à l'aide de solvants sont, soit encore à l'état expérimental, soit trop lourdes de conséquences pour l'environnement. Si dépolluer semble si difficile, pourquoi, au moins dans un premier temps, ne pas simplement confiner la chlordécone dans le sol en l'empêchant de contaminer l'eau ou les cultures / réduisant les transferts vers les eaux et les cultures ?

L'utilisation de matière organique pour augmenter la séquestration de pesticides dans les sols a fait ses preuves en laboratoire. En traitant des échantillons de sols volcaniques contaminés avec un épandage de matière organique, nous avons fait baisser le taux de transfert de la chlordécone d'un facteur variant de 3 à 5, du sol dans l'eau et plus d'un ordre de grandeur dans les radis récoltés. L'expérience réalisée sur trois mois montre des intensités différentes dans le temps selon les caractéristiques biochimiques des composts utilisés, mettant en évidence un effet chimique (l'affinité de la chlordécone pour la matière organique) et un effet physique (le blocage dans la microporosité des sols). Un programme d'expérimentation en conditions réelles doit valider les résultats *in situ* et tester la durabilité dans le temps du pouvoir de confinement du sol traité.



Alain Soler,
Paul-Alex
Marie-Alphonsine

CIRAD, UPR Systèmes
de culture Bananiers
Plantains Ananas,
Campus Agro
Environnemental
Caraïbes
B.P. 214 Petit Morne,
97232 Le Lamentin,
Martinique

Figure 1 : Exemples de statut d'hôte des PdS pour les symphytes (adultes et larves)

Gestion alternative des bioagresseurs telluriques de l'ananas : amélioration de l'agrosystème grâce à des rotations plantes de service/ananas

INTRODUCTION

Dans les systèmes de production intensifs d'ananas développés aux Antilles, la gestion des bioagresseurs telluriques (*Rotylenchulus reniformis* et *Hansenella* spp.) est l'une des contraintes majeures. Elle est accentuée par le retrait récent des spécialités phytosanitaires. Une gestion alternative de ces bioagresseurs par des pratiques fondées sur une intensification écologique ne peut se concevoir que dans le cadre d'une stratégie globale de lutte intégrée dont une première étape est l'assainissement des parcelles. Cependant, l'agrosystème développé doit aussi rendre d'autres services écosystémiques comme l'amélioration des équilibres entre communautés biologiques, la restauration de l'état biophysique du sol et de son statut organique, etc.

Une réduction de l'inoculum en parasites telluriques peut être obtenue de façon beaucoup plus efficace que la simple jachère herbeuse classique grâce à des rotations/associations incluant des plantes non-hôtes. Elles peuvent aussi utiliser des effets allélopathiques contre les parasites. Cependant, une des difficultés réside dans la nécessité de contrôler deux parasites telluriques, nématodes et symphytes, qui sont en compétition pour la même ressource alimentaire et sont tous deux très polyphages.

MÉTHODOLOGIE

Le statut d'hôte a été déterminé par analyse de la croissance des populations, soit après inoculation en milieu contrôlé, soit par piégeage/échantillonnage en parcelles expérimentales d'une collection d'une quarantaine de plantes de services. Des symphytes

obtenus par piégeage massif en champ puis conservés en élevage ainsi que de populations monospécifiques du nématode *Rotylenchulus reniformis* ont été utilisés pour les inoculations en milieu contrôlé.

Une méthode originale a été développée pour le piégeage et le comptage des symphytes en parcelles expérimentales ou au champ pour le monitoring de la dynamique des populations (Soler et al., 2011). Elle permet d'établir des cartes de densité de populations à l'échelle de la parcelle et de suivre la dynamique des populations dans le temps. Celle-ci a été mesurée sur des parcelles expérimentales reproduisant un prototype de système de culture avec rotation « maraîchage/plante de service/ananas », testé par ailleurs en exploitations réelles pour ses performances agroenvironnementales et économiques.

RÉSULTATS

- Statut d'hôte pour les symphytes et les nématodes

Les études de statuts d'hôte – Symphytes (Figure 1) et nématodes (Figure 2), confirment que les 2 parasites sont extrêmement polyphages. Une sélection de plantes de service potentiellement intéressantes (Famille des Crotalaires : *Crotalaria juncea*, *C. spectabilis* et *C. retusa*) a été faite sur la base d'un statut défavorable pour les 2 parasites. D'autres critères ont également été pris en compte comme le risque de compétition entre graminées et/ou plantes volubiles et culture d'ananas, mais aussi des traits fonctionnels favorables à la culture principale : légumineuses capables de fixer l'azote, avec système racinaire à pivot plutôt profond, production de biomasse importante (>20T matière sèche/ha) et une bonne couverture du sol limitant le redémarrage des adventices habituelles en jachères spontanées.

- Dynamique des populations de nématodes et de symphytes dans le système de rotation jachère, maraîchage, crotalaire et ananas

Les populations de *R. reniformis* sont réduites par *C. retusa* (Figure 3) même si les niveaux d'inoculum sont importants. Une simple jachère après ananas

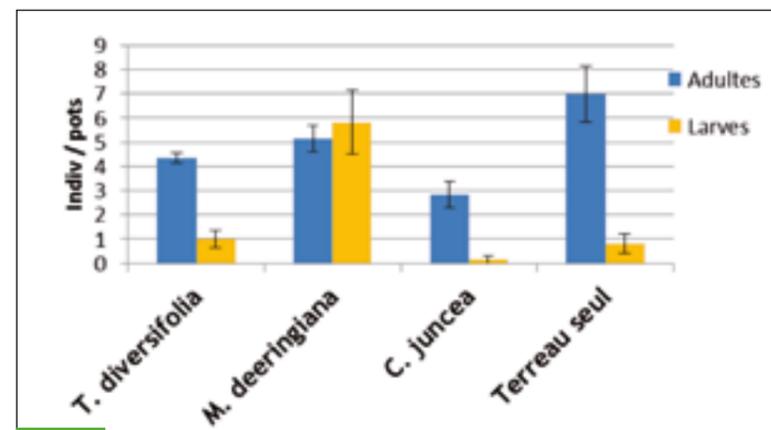


Figure 1

Figure 2 : Exemples de statut d'hôte des PdS pour le nématode *R. reniformis*

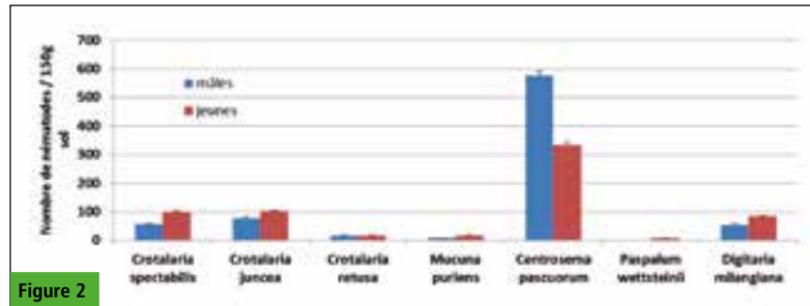


Figure 2

Figure 3 : Dynamique de populations du nématode *R. reniformis* dans la rotation avec *C. retusa*

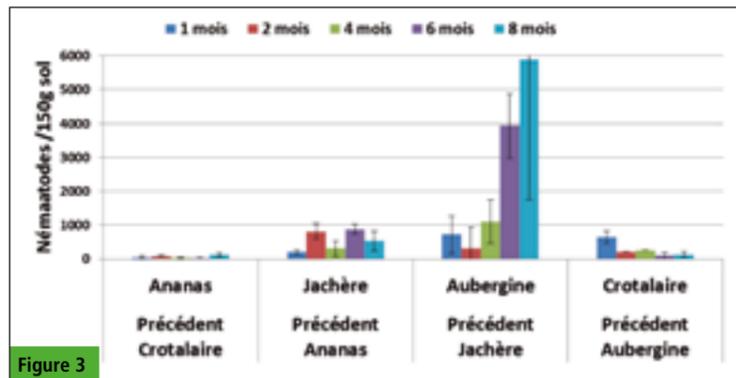


Figure 3

maintient un inoculum conséquent, incompatible avec une replantation d'ananas sans protection phytosanitaire. Dans le même temps, avec le faible inoculum laissé par la crotalaire, la population de nématodes peine à se réinstaller sur la culture d'ananas. Cette protection durable est peut-être aussi liée à des effets allélopathiques après incorporation dans le sol de la biomasse importante de la crotalaire.

Les cartes de densités montrent la dynamique spatiale et temporelle des populations des 2 parasites. Elles confirment en plein champ : 1) le contrôle durable des bioagresseurs par la crotalaire, 2) la compétition entre les deux bioagresseurs avec un développement des symphytes qui se fait au détriment des nématodes, 3) que, sans gestion des bioagresseurs, les 2 populations arrivent à occuper l'ensemble de l'espace disponible sur la parcelle.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les bioagresseurs telluriques de l'ananas peuvent être contrôlés par un système de culture pertinent intégrant les crotalaires (Soler *et al.*, 2011). Cependant, la durabilité de l'assainissement doit être évaluée. L'organisation spatiale de la rotation/association peut optimiser l'efficacité de l'assainissement en limitant les réinfestations de parcelle à parcelle. Des études complémentaires sur la relation entre la dynamique des populations, les dégâts racinaires et la croissance permettront de mieux évaluer les performances agro-économiques des prototypes de systèmes de culture proposés. Enfin, la modélisation de la dynamique conjointe des 2 populations contribuera à l'optimisation de la culture de l'ananas.

Figure 4 : Les dynamiques des populations en milieu réel. Elles ont été suivies pendant 4 mois avec 60 pièges géolocalisés utilisés à la fois pour les symphytes et les nématodes. Les parcelles de monitoring mesurent 20m x 40m et sont installées dans une plantation de production en altitude.

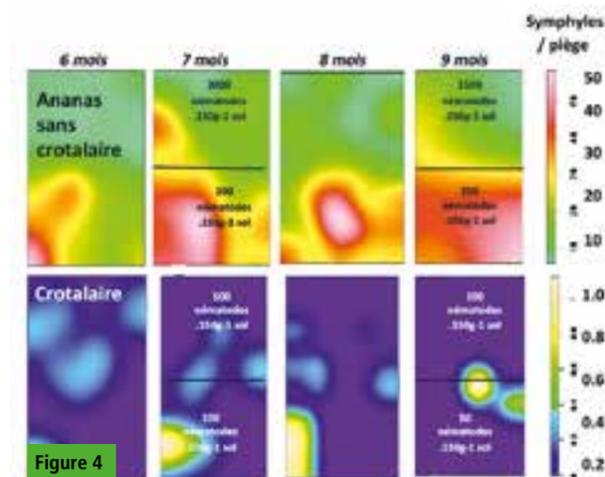


Figure 4





Sonia Grimbuher
 Irstea, Domaine
 de la Valette,
 361, rue Jean François
 Breton, BP 5095,
 34196 Montpellier
 Cedex 5
 sonia.grimbuher@irstea.fr

Figure 1 :
 Représentation des
 observations de terrain

Contrainte physique des utilisateurs de produits phytopharmaceutiques lors d'un traitement terrestre contre les cercosporioses du bananier à l'aide d'un atomiseur à dos : Etude de faisabilité

INTRODUCTION

D'après la directive européenne 2009/128/CE, la pulvérisation aérienne de produits phytopharmaceutiques (avion, hélicoptère, par aéronef), est interdite sauf dérogation sous conditions spécifiques. En 2010, d'après le recensement agricole, la sole bananière était de 6 396 ha en Martinique, et 2 453 ha en Guadeloupe (Agreste Guadeloupe, 2011). L'arrêté ministériel du 5 mars 2004 interdisait les traitements aériens sur des zones tampons de 50m autour des zones à protéger. En prenant en compte le bâti et l'ensemble des cours d'eau permanents et intermittents, ces zones d'interdiction de traitement aérien (ZITA) représentaient 26% et 41% des surfaces cultivées pour la Guadeloupe et la Martinique (Dumas et Labbé, 2011).

Actuellement, les alternatives au traitement aérien contre les cercosporioses du bananier sont le traitement terrestre par canon et le traitement manuel à l'aide d'un atomiseur à dos. Dans ce dernier mode de traitement, l'opérateur (applicateur de produits phytopharmaceutiques) porte un atomiseur à dos d'une capacité de 15 ou 20 L et d'un poids de 13 à 17 kg à vide pour effectuer un travail sur une période limitée à 4h/jour compte tenu de sa pénibilité.

L'utilisation de produits phytopharmaceutiques entraîne l'exposition des agriculteurs, variable selon les pratiques. L'exposition est une composante du risque, lui-même défini par le produit de la toxicité intrinsèque de l'intrant phytopharmaceutique avec le niveau d'exposition.

Les principes généraux de prévention consistent à minimiser les risques, de les combattre à la source, d'évaluer ceux qui ne peuvent être évités, d'adapter le travail à l'homme ... et plus généralement à mettre en place des mesures de protection collective. Si l'exécution des mesures de protection collective prévues ... est impossible, des équipements de protection individuelle (EPI) sont mis à la disposition des travailleurs. Ces équipements sont choisis et adaptés en fonction de la nature des travaux à accomplir et présentent des caractéristiques d'efficacité compatibles avec la nature du risque auquel les travailleurs sont exposés. Ils ne doivent ni les gêner dans leur travail ni, autant que possible, réduire leur champ visuel » (Code du travail Art. R4222-25), tout en donnant la priorité à la protection collective. L'EPI ne doit être utilisé qu'en complément des protections collectives si celles-ci se révèlent insuffisantes. Le port de l'équipement de protection individuelle n'apparaît qu'en 8^{ème} position sur les 9 principes de prévention. Il faut d'abord privilégier les solutions qui évitent le risque, adapter le travail à l'homme, en tenant compte de l'état d'évolution de la technique, et remplacer ce qui est dangereux par ce qui ne l'est pas ou ce qui l'est moins... (Article L4121-2 du code du travail).

Afin d'améliorer la sécurité des opérateurs, le port d'EPI est préconisé, lorsque les opérateurs sont en présence de produits pendant la préparation de la bouillie, le remplissage et le rinçage/nettoyage du pulvérisateur, voire la pulvérisation lorsqu'il n'existe pas de cabine filtrante. Il est ainsi recommandé de porter un masque avec filtre mixte contre les vapeurs et les aérosols (type A2P3), un équipement de protection des yeux, des gants en nitrile, des bottes, une combinaison résistante aux produits chimiques (vapeurs, poudre,



Figure 1



liquide...), un tablier de protection contre les produits chimiques liquides pendant la préparation de la bouillie par exemple, lorsque c'est nécessaire. Ces recommandations, liées à la toxicité du produit, sont inscrites sur l'étiquette et la Fiche de données de sécurité du produit. De plus, la réglementation française (décret n° 87-361 du 27 mai 1987) précise que « lorsque ce port est prévu par l'étiquetage, l'employeur est tenu de veiller à ce que les travailleurs portent des équipements de protection adaptés, notamment lors des opérations de préparation des bouillies, des mélanges et lors des opérations d'application des produits » (Art.6).

Parmi les trois voies d'exposition de l'opérateur (cutanée, inhalation et ingestion), la voie cutanée est majoritaire et représente 93% à 100% de la contamination journalière totale (Vitali et al., 2009). La contamination cutanée n'est pas répartie uniformément sur le corps, les mains étant les plus exposées.

Lors de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques, de nombreux paramètres peuvent influencer l'exposition. Quelques paramètres peuvent être identifiés : ceux liés au produit phytopharmaceutique, à la tâche effectuée, au matériel de pulvérisation, aux EPI, à la culture traitée, à l'opérateur...

L'exposition diffère en fonction de l'étape du traitement phytopharmaceutique. Lebaillly et al., (2009) montrent que la plus grande partie de la contamination a lieu pendant la préparation de la bouillie et le remplissage de la cuve. Par contre, Baldi et al., (2012) considèrent que 50% de l'exposition journalière totale a lieu lors de l'application. Geer et al., (2004) attribuent cette haute exposition aux nombreux débordements accidentels de la cuve pendant l'application. Baldi et al., (2012) considèrent que 20% de l'exposition journalière totale est liée au nettoyage. Colosio et al., 2011 et Dosemeci et al., 2002 accordent à ce paramètre une importance non négligeable.

Les auteurs s'accordent sur le fait que le nombre de

tâches effectuées pendant une journée de traitement, que ce soit la préparation ou l'application, augmente l'exposition des opérateurs (Baldi et al., 2012 ; Colosio et al., 2011).

Les équipements tels que le type de tracteur, de pulvérisateur engendrent une exposition variable des opérateurs. Lebaillly et al. (2009) montrent que l'exposition des opérateurs utilisant un pulvérisateur porté est plus importante que ceux utilisant un pulvérisateur traîné. Par ailleurs, les auteurs s'accordent sur le fait que les pulvérisateurs manuels induisent toujours plus de contamination que les pulvérisateurs motorisés (Machado-Neto, 2001 ; Geer et al., 2004). Les études de Matthews et al. (2004) et de Colosio et al. (2011) ont montré que la pression de pulvérisation influe sur l'exposition. Plus la pression est élevée, plus la contamination est importante (Matthews, 2004).

Pendant la phase d'application, les auteurs montrent que l'utilisation d'un tracteur sans cabine (ou à fenêtres ouvertes) augmente l'exposition de l'opérateur. Une cabine possédant un système de filtration de l'air ainsi qu'une climatisation protège le plus efficacement (Vitali et al., 2009).

Par rapport au port des équipements de protection individuelle (EPI), Vitali et al., (2009) montrent l'importance du port de gants, les opérateurs ne portant pas de gants présentant une contamination des mains (de l'ordre de 70 à 95 % de la contamination cutanée totale). Par contre, l'entretien et les conditions d'utilisation des EPI sont à prendre en considération, et peuvent influencer l'exposition.

Les paramètres influençant potentiellement l'exposition des agriculteurs aux produits phytopharmaceutiques lors de l'utilisation de l'atomiseur à dos (matériel étudié dans la suite de l'article) sont synthétisés dans le tableau 1 ci-dessous :

Tableau 1 Paramètres influençant l'exposition	
- Type de culture	- Volume de la cuve
- Conditions climatiques	- Nettoyage des équipements
- Type de formulation	- Contamination des équipements et de l'aire de travail
- Concentration du produit	- Problèmes techniques
- Durée de traitement	- EPI
- Quantité de produit appliquée (litres/ha)	- Âge et conditions réelles d'utilisation des EPI
- Taille de l'exploitation	- Hygiène et habitudes de l'opérateur
- Surface traitée (ha)	- Niveau d'éducation
- Nombre de phases	- Statut
- Phase de traitement	

Tableau 1 : Paramètres influençant l'exposition des agriculteurs aux produits phytopharmaceutiques

OBJECTIF

L'objectif de cette étude est de déterminer la contrainte physique des utilisateurs de produits phytopharmaceutiques lors du traitement manuel contre les cercosporioses dans les bananeraies à l'aide d'un atomiseur à dos.

Pour répondre à cet objectif, la fréquence cardiaque, les niveaux de bruit et de vibrations sont mesurés en vue d'identifier les contraintes de l'opérateur au cours des différentes phases de manipulation des produits ; la préparation de la bouillie, le traitement et le nettoyage de la bouillie en tenant compte de l'utilisation de différents types de matériel de pulvérisation (atomiseur à dos avec une lance dirigée vers l'avant ou vers l'arrière, 2 marques de matériel, dont un légèrement moins lourd de 3 – 4 kg) et de protections individuelles. Ce travail permet d'identifier les leviers en vue de proposer des préconisations adaptées aux opérateurs pour une utilisation des produits, en tenant compte des contraintes des travailleurs.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Au cours du traitement manuel, des mesures et des observations de terrain sont réalisées afin de décrire l'activité des agriculteurs dans les bananeraies selon une démarche ergonomique. Le travail est décomposé en deux actions :

Caractérisation de l'activité

Les observations de terrain sont réalisées pour déterminer les zones corporelles les plus exposées aux produits phytopharmaceutiques au cours de chaque phase de manipulation des produits :

- la préparation de la bouillie,
- l'application de la bouillie,
- le nettoyage du matériel.

Des données de terrain relatives aux pratiques réelles des opérateurs sont collectées simultanément. L'activité de l'opérateur est filmée et photographiée. Un relevé d'activité est réalisé. Ces observations permettent de déterminer les zones du corps de l'opérateur les plus contaminées et de montrer le lien entre la pratique de l'opérateur et le niveau d'exposition. Ces données ont été collectées au cours de 3 campagnes d'observation, auprès de 25 opérateurs dans les bananeraies d'avril 2009 à février 2010.

Caractérisation de l'environnement de travail

Tout au long du travail (la préparation de la bouillie, le traitement et le nettoyage du matériel si ce dernier a lieu) sont relevés :

- la fréquence cardiaque à l'aide d'une montre cardiofréquence,

- le niveau de pollution sonore à l'aide d'un sonomètre Bruel & Kjaer® au niveau de l'oreille de l'opérateur lors de la préparation de la bouillie et du traitement,
- le taux de vibration au niveau de la main, du dos et de la gâchette de l'atomiseur,
- la température, l'hygrométrie et la vitesse du vent à l'aide d'une station météo VantagePro2®

Le chemin parcouru dans les bananeraies en fonction du temps est tracé à l'aide d'un GPS Royaltek RBT-2300®. Les temps de pause au cours de la préparation de la bouillie sont identifiés. Le temps de travail suivi est le temps nécessaire pour réaliser un traitement de 3 ha de bananeraies accidentées et avec différents niveaux de pentes. Toutes ces données sont analysées afin d'identifier la pollution dans l'environnement de travail de l'opérateur.

Pour cette étude de faisabilité, la contrainte physique est déterminée à partir de la détermination du coût cardiaque relatif (CCR) calculé suivant la formule :

$$CCR (\%) = ((FC_{moy} - FC_{ref}) / (FC_{MT} - FC_{ref})) \times 100$$

- FC_{moy} la fréquence cardiaque moyenne de l'effort mesuré
- FC_{ref} la fréquence cardiaque de référence, qui correspond à la fréquence cardiaque moyenne, sur une durée de 5 minutes avant le début de l'effort,
- FC_{MT} la fréquence cardiaque maximale théorique calculée grâce à la formule d'Astrand (FC_{MT} = 220 - âge). Ces données ont été collectées auprès de 5 opérateurs dans les bananeraies en février 2010.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Les opérateurs ont parcouru en moyenne 2,5 ha lors de leur matinée de traitement. Le traitement commençait dès la levée du jour afin de traiter dans des conditions météorologiques acceptables. La durée des traitements varie de 1 à 4 h selon les surfaces à traiter et la typologie des terrains.

Caractérisation de l'activité

Les principaux résultats obtenus au cours de 3 campagnes de terrain sont :

La préparation de la bouillie est réalisée dans la bananeraie, sur un endroit régulièrement inapproprié, avec des ustensiles inadaptés et des problèmes de transvasement des produits dans la cuve. Au cours de cette étape, il a été observé des contaminations du matériel par des éclaboussures ou des coulures du produit sur l'atomiseur. Mais les parties du corps les plus contaminées sont les mains et les avant-bras.

Lors du traitement à l'aide d'un atomiseur à dos avec la lance dirigée vers l'avant, les opérateurs se plaignent d'avoir « les yeux qui piquent » lors de l'application, comme ils « rentrent dans le nuage ». Pour traiter la partie supérieure de la canopée du bananier, ils orientent

¹ L'utilisation des atomiseurs à dos avec une lance dirigée vers l'arrière est généralisée dans les exploitations depuis fin 2013

² Depuis la fin de cette étude, seul l'atomiseur à dos avec une lance dirigée vers l'arrière est l'équipement préconisé pour le traitement terrestre contre les cercosporioses du bananier.

Le jet vers le haut. Les opérateurs tiennent la lance de l'atomiseur au lieu d'utiliser la gâchette ce qui conduit à une forte exposition de la main droite et l'avant-bras tout au long de l'application même en cas de port de gants et d'une combinaison. Comme le produit est huileux, les zones du corps exposées sont identifiables (si observations immédiatement après le traitement), même si ceci est une démarche qualitative, ce travail permet d'observer les zones du corps exposées.

Lors de l'utilisation d'un atomiseur avec la lance dirigée vers l'arrière, l'opérateur est moins contaminé que lors de l'utilisation d'un atomiseur avec la lance dirigée vers l'avant ; et les opérateurs mentionnent qu'ils ne sont plus gênés par le produit au niveau des yeux. Mais, cette modalité implique que l'opérateur « se sente considéré comme un porteur » et ne possède pas de degré de liberté dans ses choix de zones à traiter. Dans cette démarche, il faut sensibiliser l'opérateur au bénéfice qu'il atteint en diminuant son exposition en traitant avec la lance dirigée vers l'arrière. Comme les opérateurs ne visualisent pas leur travail, les incidents comme la perte d'embout de l'atomiseur qui rentre en contact avec la végétation peuvent, par contre, augmenter l'exposition, surtout au niveau des mains de l'opérateur.

De plus, si le pulvérisateur est mal refermé ou si les joints sont défectueux, l'opérateur rentre en contact avec le produit au niveau de sa nuque, du dos et des parties du corps en contact avec les sangles de l'atomiseur.

Le nettoyage du matériel n'est pas réalisé à la fin de chaque traitement, l'opérateur peut le nettoyer superficiellement à l'aide d'un chiffon, ce qui n'élimine pas les produits sur l'atomiseur avant son rangement. Les mains sont la partie du corps la plus exposée lors de cette phase, avec de possibles éclaboussures principalement au niveau du torse, comme l'opérateur se courbe pour nettoyer correctement l'atomiseur posé au sol.

Les zones du corps les plus exposées au cours de la manipulation des produits sont synthétisées dans le tableau :

Phase de manipulation des produits	Zones du corps exposées
Préparation de la bouillie	Mains, avant-bras Jambes, comme le pulvérisateur est posé au sol lors du remplissage
Application de la bouillie	Dos, cou, épaules, tête
- Lance dirigée vers l'avant	Tout l'avant du corps, comme l'opérateur rentre dans le nuage de pulvérisation
- Lance dirigée vers l'arrière	Dos, cou, épaules, zones de contacts avec la gâchette
Nettoyage de l'atomiseur	Mains, avant-bras Jambes, comme le pulvérisateur est posé au sol lors du remplissage

Tableau 2

Un constat généralisé peut être fait sur le port de l'équipement de protection individuelle. Cet équipement est peu porté en raison de son manque de confort ; l'opérateur estime avoir trop chaud dans les combinaisons, et transpire rapidement et son port devient « rapidement insupportable » ; de son coût élevé (combinaison jetable, ce qui signifie qu'à la fin de chaque traitement l'équipement doit être jeté) ; cette seconde raison est seulement citée lorsque ce sont les chefs d'exploitations qui traitent.

Lors de l'utilisation d'un atomiseur avec une lance dirigée vers l'avant¹, les opérateurs estiment que la zone du corps de l'opérateur la plus contaminée est le visage, et plus particulièrement au niveau des yeux. Ils se protègent les yeux, or le produit utilisé est huileux ce qui les oblige à arrêter le traitement pour essuyer leurs lunettes à l'aide d'un chiffon souillé pour que l'opérateur puisse voir le travail effectué.

La gestion de ces équipements peut être améliorée :

1. Les combinaisons jetables sont réutilisées plusieurs fois, voire 2 à 3 fois à l'eau ...
2. Les EPI réutilisables pas systématiquement nettoyés avant d'être rangés. Lors de la réutilisation de l'EPI souillé, l'opérateur se contamine en mettant son équipement pour réaliser des traitements qui suivent.
3. La période où l'opérateur estime être le plus exposé est la phase d'application du produit, les autres phases sont de courtes durées et peu contraignantes par rapport au traitement ; ainsi les opérateurs enlèvent leurs EPI et considèrent ces périodes comme des moments de récupération.

Caractérisation de l'environnement de travail

Au cours de l'application de la bouillie :

- Les vibrations au niveau des 3 points de mesure ne dépassent pas $18m.s^{-2}$
- Le bruit aux oreilles peut atteindre 104,5 dBA

Mais, le niveau d'exposition quotidien au bruit et aux vibrations ne dépasse pas les valeurs limites réglementaires.



Tableau 3 : Les coûts cardiaques relatifs des 5 opérateurs de notre échantillon

Pour les 5 opérateurs, la fréquence cardiaque varie entre 58 à 90 pulsations/min au repos ; ce niveau est également celui lors des phases de préparation de la bouillie, qui est un moment de récupération pour l'opérateur.

La fréquence cardiaque d'un opérateur a pu atteindre 190 pulsations/min lorsqu'il travaillait en montée et à des températures élevées en fin de matinée.

Le coût cardiaque relatif varie de 34 à 74% selon les opérateurs, de plus le travail est réalisé dans une ambiance thermique élevée.

Les coûts cardiaques relatifs des 5 opérateurs de notre échantillon sont synthétisés dans le tableau 3 :

Opérateur Calcul du coût cardiaque relatif CCR (%)		Classification de l'astreinte cardiaque (CCR (%))	
		Continu (8h)	Occasionnel (<30min)
1	55%	Repos	0%
2	61%	Faible	20%
3	34%	Modéré	30%
4	44%	Elevé	45%
5	74%	Très Elevé	60%

Tableau 3

Les paramètres qui peuvent avoir une influence sur le coût cardiaque relatif de chaque opérateur sont tributaires de la typologie des chantiers (plus ou moins accidentés ou en pentes), le niveau de l'ambiance thermique ; et le niveau de protection. Mais la taille de notre échantillon, $n = 5$ opérateurs, ne permet pas de mettre en évidence ceux qui influencent de façon significative le coût cardiaque relatif de chaque opérateur (étude de faisabilité). Il convient de noter que pour 3 des opérateurs, leur travail est considéré comme étant pénible, le niveau de pénibilité variant de modéré à très élevé. Or, l'opérateur qui a un coût cardiaque relatif élevé n'était pas l'opérateur qui portait tous les équipements de protection individuelle recommandés sur l'étiquette du produit phytopharmaceutique utilisé. Ceci peut être un facteur augmentant sa contrainte physique.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le traitement terrestre des cercosporioses du bananier à l'aide d'un atomiseur à dos est un travail pénible. Ces travaux à l'aide de l'analyse de l'activité et de différents capteurs (mesure de bruit, de vibration, de distance, de la météo...) ont mis en évidence les zones corporelles de l'opérateur les plus exposées aux produits et les contraintes de l'opérateur. La phase de traitement est la phase la plus contaminante, par rapport à la préparation

de la bouillie et le nettoyage du matériel, mais ce ne sont pas des phases à négliger. Une sensibilisation des opérateurs plus forte sur l'importance du port des équipements de protection individuelle (combinaison de catégorie III, type 3/4/5/6, gants en nitrile, masque A2P3...) lors du traitement terrestre contre les cercosporioses du bananier à l'aide d'un atomiseur à dos apparaît nécessaire. Le développement d'équipements de protection individuelle plus confortable devrait être réalisé, afin que l'opérateur puisse « rester au frais », comme le mentionnent 4 planteurs, lors de ce travail où l'opérateur peut porter un équipement d'une vingtaine de kilogrammes sur son dos, pendant une matinée, avec des phases de repos lors du remplissage de l'atomiseur.

Le deuxième résultat qui a pu être démontré au cours de cette étude est le travail pénible (par des mesures de vibrations, de bruit et de la fréquence cardiaque), qu'est le traitement terrestre à l'aide d'un atomiseur à dos dans des conditions météorologiques chaudes et humides. Les 8 800 ha de bananier en Martinique et Guadeloupe ne peuvent être traités uniquement à l'aide d'un atomiseur à dos. Les professionnels travaillent actuellement sur la mise au point d'équipements de pulvérisation terrestre moins pénibles, qui soulageraient les planteurs lors du traitement, tel que les quads ou à l'aide de pulvérisateur arboricole classique ...

Une prochaine étape du projet serait de réaliser l'analyse de l'activité, de prendre en compte les données physiologiques et les contraintes de l'opérateur sur un échantillon plus grand, afin de déterminer les facteurs influençant la contrainte physique de l'opérateur lors d'un traitement terrestre à l'aide d'un atomiseur à dos. Des mesures d'exposition en complément lors des différentes phases permettraient également de valider nos observations, à partir de nos chroniques d'activité, afin de préconiser des stratégies de réduction de l'exposition des opérateurs.

Etant donné que le traitement aérien est interdit et que des solutions terrestres sont en cours de déploiement, il serait intéressant de déterminer l'exposition et la contrainte physique pour chaque nouveau matériel

utilisé pour réaliser le traitement des cercosporioses du bananier, tels que l'atomiseur à dos, le quad, le tracteur équipé d'un canon, le système Optiban 3. Ce travail est prévu dans le cadre du projet Rephyban « Réduction de l'exposition aux produits phytopharmaceutiques des opérateurs dans les bananeraies : Traitement contre les cercosporioses » de l'axe 9 d'Ecophyto.

Ce travail vise à déterminer les avantages et les inconvénients de ces différents systèmes de pulvérisation par rapport à la sécurité des opérateurs, avec des données quantitatives d'exposition de l'opérateur, dans le but de proposer des changements de pratiques si besoin.

REMERCIEMENTS

Financement MAAF/DGAI dans le cadre du projet Optiban (2008 - 2010)

Aux planteurs pour leur participation

Pour leurs contributions : A. Denis, M. Lambert, A. Navarro d'Irstea

Quelques faits marquants en images

Années 2013-2014

VISITES OFFICIELLES

11 mars 2013

Visite de l'Ambassadeur de Trinidad & Tobago et Barbade

23-25 mai 2013

Accueil de trois chercheurs Chinois du « South Subtropical Crops Research Institute »

20 mai 2014

Mission aux Antilles du nouveau Président directeur général du Cirad

MANIFESTATIONS

21 mars 2013

Conférence du Projet Interreg Caribsat « Système d'information environnementale : du satellite au décideur »



15-17 novembre 2013

Participation au 1^{er} Salon de l'Agriculture de Martinique



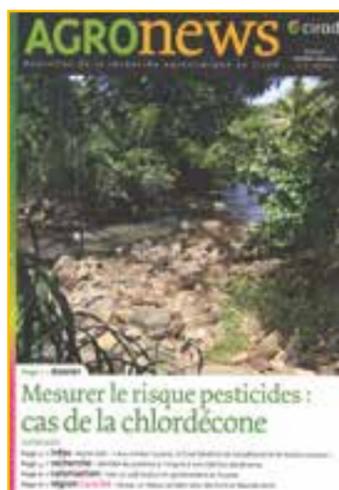
05 décembre 2013
Restitution du Projet Interreg DEVAG



14 mai 2014
Séminaire de restitution et prospective de la recherche agronomique en Martinique.



Septembre 2014
Sortie du n° 4 de la revue Agronews Antilles-Guyane du Cirad,



Références bibliographiques

Article 1

•
Le potentiel de biodésinfection des sols par les extraits naturels végétaux : utilisation des Alliées dans la gestion du flétrissement bactérien de la tomate

- Abo-Elyousr KAM and Asran MR. 2009. Antibacterial activity of certain plant extracts against bacterial wilt of tomato. *Archive of Phytopathology and Plant protection* 42: 573-578.
- Arnault I, Fleurance C, Vey F, Du fretay G and Auger J. 2013. Use of Alliaceae residues to control soil-borne pathogens. *Industrial Crops and Products* 49: 265-272.
- Auger J, Arnault I, Diwo-allain S, Ravier M, Molia F and Pettiti M. 2004. Insecticidal and fungicidal potential of Alliums substances as biofumigants. *Agroindustria* 3:5-8.
- Deberdt P, Perrin B, Coranson-Beaudu R, Duick P and Wicker E. 2012. Effect of Allium fistulosum Extract on *Ralstonia solanacearum* Populations and Tomato Bacterial Wilt. *Plant Disease* 96:687-692.
- Denny TP. 2006. Plant pathogenic *Ralstonia* species. In *Plant-associated bacteria*, edited by S. S. Gnanamanickam. Dordrecht, the Netherlands : Springer, 573-644.
- Fernandes P, Deberdt P, Chave M, Diedhiou S, Minatchi S, Coranson-Beaudu R and Gozé E. 2012. Des plantes assainissantes candidates pour réduire le flétrissement bactérien de la tomate dans les conditions de la Martinique. *Les Cahiers du PRAM* 11:27-30.
- Hassan MAE, Bereika MFF, Abo-Elnaga HIG and Sallam MAA. 2009. Direct antimicrobial and induction of systemic resistance in Potato plants against bacterial wilt Disease by plant extracts. *Journal of Plant Pathology* 25:352-360.
- Hong J, Momol MT, Ji P, Olson SM, Colee J and Jones JB. 2011. Management of bacterial wilt in tomatoes with thymol and acibenzolar-S-methyl. *Crop Protection* 30:1340-1345.
- Paret ML, Cabos R, Kratky BA and Alvarez AM. 2010. Effect of Plant essential oils on *Ralstonia solanacearum* Race 4 and bacterial Wilt of Edible Ginger. *Plant disease* 94:521-527.
- Regnault RC, Philogène BJR and Vincent C. 2005. *Biopesticides of Plant Origin*. Lavoisier, Paris.
- Wicker E, Grassart L, Coranson-Beaudu R, Mian D, Guilbaud C, Fegan M and Prior P. 2007. *Ralstonia solanacearum* strains from Martinique (French West Indies) exhibiting a new pathogenic potential. *Appl. Environ. Microbiol.* 73:6790-6801.
- Yu JQ. 1999. Allelopathic suppression of *Pseudomonas solanacearum* infection of a tomato in a tomato Chinese chive intercropping system. *Journal of chemical ecology*. 25:2409-2417.

Article 2

•
Intérêt du basilic pour la gestion agroécologique de l'aleurode Bemisia tabaci dans les parcelles de tomate

- Basedow T, Hua L, Aggarwal N. 2006. The infestation of *Vicia faba* L. (Fabaceae) by *Aphis fabae* (Scop.) (Homoptera : Aphididae) under the influence of Lamiaceae (*Ocimum basilicum* L. and *Satureja hortensis* L.). *Journal of Pest Science* 79:149-154.
- Bleeker PM, Diergaarde PJ, Ament K, Guerra J, Weidner M, Schutz S, de Both MTJ, Haring MA, Schuurink RC. 2009). *The Role of Specific Tomato Volatiles in Tomato-Whitefly Interaction*. *Plant Physiology* 151:925-935.
- Fargalla FH, Taha AM, Fahim MA. 2011. Epidemiology of tomato yellow leaf curl virus in relation to intercropping and insecticidal spray effects on the *Bemisia tabaci* under field conditions, in : A. Crescenzi (Ed.). pp. 331-336.
- Klimánková E, Holadová K, Hájšlová J, Čajka T, Poustka J, Koudela M. 2008. Aroma profiles of five basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars grown under conventional and organic conditions. *Food Chemistry* 107:464-472.
- Schuster DJ. 2004. Squash as a trap crop to protect tomato from whitefly-vectored tomato yellow leaf curl. *International Journal of Pest Management* 50:281-284.

- Togni PHB, Laumann RA, Medeiros MA, Sujii ER. 2010. Odour masking of tomato volatiles by coriander volatiles in host plant selection of *Bemisia tabaci* biotype B. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 136:164-173.

Article 3

●
Décomposition de
mulchs et dynamique
de minéralisation

- Godefroy J. 1992. Dynamique des éléments minéraux dans divers complexes « sol-bananeraie-climats » : application à une stratégie de la fertilisation raisonnée » CIRAD-IRFA.

- Kaboré W, Pansu M, Hien E, Houot S, Zombré NP and Masse D. 2011. Usefulness of TAO model to predict and manage the transformation in soil of carbon and nitrogen forms from West-Africa urban solid wastes. *Waste Management* 31:154-167.

- Raphael L, Sierra J, Recous S, Ozier-Lafontaine H and Desfontaines L. 2012. Soil turnover of crop residues from the banana (*Musa AAA cv. Petite-Naine*) mother plant and simultaneous uptake by the daughter plant of released nitrogen. *European Journal of Agronomy* 38:117-123.

- Shang C, and Tiessen H. 2001. Sequential versus parallel density fractionation of silt-sized organomineral complexes of tropical soils using metatungstate. *Soil Biology and Biochemistry* 33:259-262.

- Shili-Touzi I, De Tourdonnet S, Launay M and Dore T. 2010. Does intercropping winter wheat (*Triticum aestivum*) with red fescue (*Festuca rubra*) as a cover crop improve agronomic and environmental performance ? A modeling approach. *Field Crops Research* 116:218-229.

Article 4

●
Pollutions par les
pesticides à l'échelle du
territoire

- Cattan P, Lesueur Jannoyer M, Woignier T, Ducreux L, Arnaud L, Charleir JB, Voltz M, Grumberger O, Lagadic L, Le Bail M, Rinaudo JD, Andrieux P, Macarie H, Bricquet JP, Bonnal V, Angeon V, Devault D, 2013. RIVAGE : à l'interface en agronomie et écologie. Cas de la gestion des pollutions agricoles aux Antilles. Journées de l'ingénierie écologique, Montpellier, 19 décembre 2013. Poster.

- Mottes C. 2013. Evaluation des effets des systèmes de culture sur l'exposition aux pesticides des eaux à l'exutoire d'un bassin versant. Proposition d'une méthodologie d'analyse appliquée au cas de l'horticulture en Martinique. Thèse AgroParisTech, spécialité Sciences Agronomiques. Soutenue le 5 décembre 2013, Paris, 257p.

- Mottes C, Lesueur-Jannoyer M, Bail M, Malézieux E., 2013, Pesticide transfer models in crop and watershed systems : a review, *Agronomy for Sustainable Development*, DOI : 10.1007/s13593-013-0176-3, <http://dx.doi.org/10.1007/s13593-013-0176-3>.

Article 5

●
Une alternative à la
dépollution des sols
contaminés :
La séquestration de la
chlordécone

- Cabidoche YM, Achard R, Cattan P, Clermont-Daufin C, Massat F, Sansoulet J. 2009. Long-term pollution by chlordane of tropical volcanic soils in the French West Indies : A simple leaching model accounts for current residue. *Environ. Pollut.*, 157:1697-1705.

- Chevallier T, Woignier T, Toucet J, Blanchard E, Dieudonné P. 2008. Fractal structure in Natural gels : Effect on carbon sequestration in volcanic soils. *J. Sol-Gel Sci. Techn.*, 48:231-238.

- Dawson GW, Weimer WC, Shupe SJ. 1979. Kepone-A case study of a persistent material. *The American Institute of Chemical Engineers (AIChE) Symposium Series*, 75: 366-374.

- Epstein SS. 1978. Kepone-hazard evaluation. *Sci. Total Environ.*, 9:1-62.

- Multigner L, Cordier S, Kadhel P, Huc-Terki F, Blanchet P, Bataille H, Janky E. 2007. Pollution par le chlordécone aux Antilles. Quel impact sur la santé de la population ? *Environnement, Risques et Santé*, 6:405.

- Office parlementaire. 2009. Rapport sur les impacts de l'utilisation de la chlordécone et des pesticides aux Antilles : bilan et perspectives d'évolution. Rapport N° 1778 du 24 juin 2009.

- Sterrett FS, Boss CA. 1977. Careless Kepone. *Environ.*, 19:30-37.

Article 6

●
Gestion alternative
des bioagresseurs
telluriques de l'ananas :
amélioration de
l'agrosystème grâce à
des rotations plantes de
service/ananas

- Soler A, Gaude JM, Marie-Alphonsine PA, Vinatier F, Dole B, Govindin JC, Fournier P, Queneherve P. 2011. Development and evaluation of a new method for sampling and monitoring the symphyliid population in pineapple. *Pest Management Science*, 67:1169-1177.

Article 7

●
Contrainte physique
des utilisateurs
de produits
phytopharmaceutiques
lors d'un traitement
terrestre contre les
cercosporioses du
bananier à l'aide d'un
atomiseur à dos : Etude
de faisabilité

- Agreste Guadeloupe, Agreste Données, Premières tendances, Recensement Agricole 2010, n°10, Septembre 2011, 4p.

- Aprea, C., Centi, L. et al. (2005). «Exposure to omethoate during stapling of ornamental plants in intensive cultivation tunnels : Influence of environmental conditions on absorption of the pesticide.» *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 49(4): 577-588.

- Baldi, I., Lebailly, P. et al. (2006). «Pesticide contamination of workers in vineyards in France.» *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 16(2): 115-124.

- Baldi, I. et al. (2012). «Levels and determinants of pesticide exposure in operators invlved in treatment of vineyards : results of the pestexpo study.» *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*.

- Colosio, C. et al. (2011). «Integration of biological monitoring, environmental monitoring and computational modelling into the interpretation of pesticide exposure data : Introduction to a proposed approach.» *Toxicology Letters* 213(1): 49.

- Dosemeci, M. et al. (2002). «A Quantitative Approach for Estimating Exposure to Pesticides in the Agricultural Health Study.» *The Annals of Occupational Hygiene* 46(2): 245-260.

- Geer, L. A. et al. (2004). «Comparative Analysis of Passive Dosimetry and Biomonitoring for Assessing Chlorpyrifos Exposure in Pesticide Workers.» *The Annals of Occupational Hygiene* 48(8): 683-695.

- Dumas M., Labbé S., Lutte contre les cercosporioses du bananier aux Antilles françaises : Banatrace, un système d'information géographique multi-acteurs pour la gestion et la traçabilité des épandages aériens, *Sciences, Eaux et Territoires* 1, 2011.

- Machado-Neto, J. G. (2001). «Determination of Safe Work Time and Exposure Control Need for Pesticide Applicators.» *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 67(1): 0020-0026.

- Machera, K., M. Goumenou, et al. (2003). «Determination of potential dermal and inhalation operator exposure to malathion in greenhouses with the whole body dosimetry method.» *Annals of Occupational Hygiene* 47(1): 61-70.

- Matthews, G. A. (2004). «How was the pesticide applied?» *Crop Protection* 23(7): 651-653. Monod H., Kapitaniak B., *Ergonomie, Masson*, 1998.

- Vitali, M. et al. (2009). «Operative Modalities and Exposure to Pesticides During Open Field Treatments Among a Group of Agricultural Subcontractors.» *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 57(1): 193-202.



Site Internet
www.caec-carib.org

LES CAHIERS DU CAEC N°12

Édité par le Campus Agro-Environnemental Caraïbe (CAEC)

Directeur de la publication : Patrick QUÉNÉHERVÉ, Président du CAEC

Coordination : Justine LORDINOT (IRD), Patrick QUÉNÉHERVÉ (IRD)

Comité de lecture : Christian Chabrier (Cirad), Frédéric SAUDUBRAY (Irstea),
Pascal SAFFACHE (UAG), Patrick QUÉNÉHERVÉ (IRD), Justine LORDINOT (IRD)

Photographies : CAEC - Shutterstock

Conception, photogravure, impression :  Berger Bellepage 05 96 75 14 15

Tirage : 500 exemplaires - Novembre 2014

N° ISSN : 1638-3974



Centre de coopération internationale
en recherche agronomique pour le développement



Institut de recherche pour le développement



Institut national de recherche en sciences et technologies
pour l'environnement et l'agriculture



Université des Antilles et de la Guyane



CAEC

Campus Agro Environnemental
Caraïbe

Campus Agro-Environnementale Caraïbe

Quartier Petit-Morne - BP 214 - 97285 Le Lamentin Cedex 2 - Tél. 05 96 42 30 00 - Fax 05 96 42 30 01

Site internet : www.caec-carib.org

