

GAMOUR



GESTION AGROÉCOLOGIQUE DES MOUCHES DES LÉGUMES À LA RÉUNION
AGROECOLOGICAL MANAGEMENT OF VEGETABLE FLIES IN REUNION

ACTES DU SÉMINAIRE FINAL :
RESTITUTION, BILAN ET PERSPECTIVES

PROCEEDINGS OF THE FINAL SYMPOSIUM:
RESTITUTION, OUTCOME AND PERSPECTIVES

SAINT-PIERRE, 21-24 NOV. 2011



Gamour est un projet de protection agroécologique des cultures, mené de 2009 à 2011 à La Réunion. Son but principal fut d'évaluer le transfert en milieu producteur d'une méthodologie innovante pour la gestion des mouches ravageant les cucurbitacées. Le projet a réuni 21 agriculteurs « conventionnels » dans trois zones pilotes de l'île et quatre agriculteurs biologiques, sur une surface totale d'environ 50 ha de maraîchage dont une fraction variable de 10-20% était cultivée en cucurbitacées.

Le séminaire final a eu lieu à La Réunion, à St Pierre, du 21 au 24 novembre 2011. Il fut l'instance de la restitution globale du projet, où tous les résultats scientifiques, techniques et socio-économiques ont été présentés à un auditoire constitué de scientifiques, d'étudiants, de professionnels de l'agriculture, de représentants des collectivités territoriales et des institutions nationales... ou tout simplement de curieux intéressés par l'avenir de l'agriculture. Plus encore, ces résultats ont pu être débattus et comparés à d'autres situations à l'étranger, grâce à la présence de collègues venus de Hawaï, Maurice et Madagascar, et d'agronomes venus de France métropolitaine et de Mayotte.

Le bilan final du projet Gamour est plus qu'encourageant. Il montre que les agriculteurs « pilotes » ont volontiers accepté et appliqué la méthodologie proposée. La grande majorité d'entre eux s'est déclarée satisfaite à la fin du projet, en stoppant quasi-totalement leurs traitements insecticides sur les cultures sans aucune augmentation des pertes de production, voire même, dans certains cas, en constatant une augmentation des rendements.

La prochaine étape post-projet est de préparer le transfert de la méthode Gamour aux autres 2000 maraîchers enregistrés à La Réunion. Cette tâche est principalement du ressort des organismes de développement agricole. Ils peuvent s'appuyer sur les recommandations techniques Gamour, compilées dans deux guides techniques, en format livret de poche et DVD vidéo, pour la formation des agriculteurs.

Le présent compte-rendu a pour objectif de faire partager cette expérience Gamour à un public plus étendu. La plupart des résultats présentés dans ce livre ont été publiés par ailleurs. Le lecteur pourra en trouver une version plus détaillée dans la partie bibliographique. Les initiales et acronymes utilisés dans le texte sont réunis en fin d'ouvrage.

En tant que chef de projet, je suis heureux que le projet Gamour ait pu être conduit jusqu'à son terme, avec de très bons résultats. Mais ceci n'aurait évidemment pas été possible sans le soutien des agriculteurs, et surtout de la soixantaine de personnes qui ont construit ce projet à différents niveaux. Parmi ces personnes, le coordinateur technique de la Chambre d'Agriculture Pascal Rousse a joué un rôle essentiel. La liste de tous ces participants est donnée dans le premier chapitre. Puissent-ils trouver ici l'expression sincère des remerciements des bénéficiaires du projet. Quant à vous, lecteurs, puissiez-vous trouver dans le compte-rendu de ces résultats autant d'intérêt que nous avons eu de plaisir à les produire.

Jean-Philippe Deguine, Cirad
Chef de projet et éditeur des comptes-rendus

TABLE DES MATIERES

1. BILAN GENERAL

■ **Le projet Gamour : genèse, déroulement et bilan** p. 11
J.-P. Deguine

■ **Outils et enjeux de la coordination d'un projet multi-partenarial** p. 16
P. Rousse

2. BILAN TECHNIQUE ET SOCIO-ECONOMIQUE

■ **Gamour : définition des sites pilotes et mise en place des actions** p. 29
K. Le Roux & W. Suzanne

■ **Démarche d'évaluation et mise en place d'un observatoire des impacts** p. 36
X. Augusseau

■ **Résultats technico-économiques en milieu producteur**..... p. 41
P. Rousse, C. Ajaguin-Soleyen, V. Desutter, E. Douraguia, B. Logoras, M.-L. Moutoussamy, E. Poulbassia, & W. Suzanne

■ **Bilan et appropriation des pratiques par les agriculteurs** p. 53
J. Busnel, X. Augusseau, P. Rousse

3. BILAN SCIENTIFIQUE

■ **Contribution d'un agronome à la protection des cultures**..... p. 59
J.-N. Aubertot

■ **Impact technologique du programme de gestion à grande échelle des mouches des fruits à Hawaï** p. 70
R.I. Vargas, R.F.L. Mau, E.B. Jang, L. Wong, L. Leblanc

■ **Gestion à grande échelle de la mouche du melon *Bactrocera cucurbitae* (Coquillet) (Diptera : Tephritidae)**..... p. 81
P. Sookar, M. Alleck, I. Buldawoo, F.B. Khayrattee, T. Choolun, S. Permaloo & M. Rambhunjun

■ **Caractéristiques des communautés des mouches des légumes sur maïs dans les agrosystèmes à base de cucurbitacées de plein champ**..... p. 100
J.-P. Deguine, C. Ajaguin-Soleyen, M. Atiama, T. Atiama-Nurbel, F. Chiroleu, E. Bonnet, E. Douraguia, M.L. Moutoussamy, A. Petite, M. Tenailleau & S. Quilici

■ **Rythme circadien et activité des mouches des fruit (Diptera: Tephritidae) nuisibles aux cucurbitacées à la Réunion** p. 105
T. Atiama-Nurbel, C. Ajaguin-Soleyen, M. Atiama, E. Bonnet, E. Douraguia, T. François, B. Gilles, M.-L. Moutoussamy, A. Petite, S. Quilici, M. Tenailleau & J.-P. Deguine

■ **Structuration génétique des populations et compétition larvaire au sein du complexe des *Dacini*** p. 110
C. Jacquard, J.-P. Deguine, H. Delatte & S. Quilici

■ **L'augmentorium, un outil de prophylaxie contre les Tephritidae à La Réunion**..... p. 116
M. Atiama, C. Ajaguin-Soleyen, T. Atiama-Nurbel, J. Belizaire, J. Duval, M.-L. Moutoussamy, C. Petitgas, S. Quilici, M. Tenailleau & J.-P. Deguine

■ **Insertion du maïs dans les agroécosystèmes comme plante-piège des mouches des cucurbitacées**..... p. 121
J.-P. Deguine, T. Atiama-Nurbel, E. Douraguia, A. Petite, S. Duhautois, E. Bonnet, C. Ajaguin-Soleyen, M.-L. Moutoussamy & S. Quilici

■ **Gestion agroécologique des populations de mouches des légumes en culture de chou chou (Sechium edule)**..... p. 125
J.-P. Deguine, T. Atiama-Nurbel, E. Douraguia, B. Gilles, T. François, S. Quilici, C. Ajaguin-Soleyen & M.-L. Moutoussamy

■ **Efficacité du Synéis-Appât® en traitement par tâches contre *Bactrocera cucurbitae*, *Dacus demmerezi* et *D. ciliatus*** p. 129
J.-P. Deguine, T. Atiama-Nurbel, E. Douraguia, M. Gratecap, P.-N. Folio, M. Atiama, C. Ajaguin-Soleyen, M.-L. Moutoussamy & S. Quilici

■ **Un système de piégeage sexuel sans insecticide contre *Bactrocera cucurbitae* et *Dacus demmerezi* : mise au point et efficacité en milieu producteur** p. 134
T. Atiama-Nurbel, C. Ajaguin-Soleyen, M. Atiama, M.-L. Moutoussamy, S. Quilici, M. Tenailleau & J.-P. Deguine

■ **Lâchers de *Psytalia fletcheri* (Silvestri) (Braconidae : Opiinae) sur cultures de cucurbitacées à La Réunion**..... p. 139
M. Marquier, C. Clain, B. Albon & E. Roux

■ **Rapprochements gagnants en agroécologie : Gamour et SCV ?** p. 148
J. Martin

4. VISITE DE TERRAIN

■ **Gamour : synthèse des échanges de la journée consacrée aux producteurs sur deux sites pilotes, Entre-Deux et Petite-Ile** p. 156
K. Le Roux & W. Suzanne

5. PERSPECTIVES REGIONALES

■ **Les difficultés liées à l'évaluation du transfert en maraîchage**..... p. 161
P. Rousse

■ **Transfert Gamour auprès des producteurs** p. 166
Y. Soupapouille & D. Vincenot

■ **Transfert de la méthodologie Gamour en AB à La Réunion** p. 168
Mireille Jolet

■ **Situation des mouches des fruits à Madagascar** p. 170
C. Raelijaona

■ **Echanges et coopération dans l'Océan Indien**..... p. 173
E. Jeuffrault, S. Quilici

6. ANNEXES

■ **Sigles et acronymes** p. 176

■ **Références** p. 178

■ **Annexes : revue de presse** p. 184
V. Duffourc

Gamour is an agroecological project which ran in Reunion from 2009 to 2011. Its main goal was to evaluate an innovative new technique to control cucurbit fly pests. Trials of the technique took place on a small number of farms in three “pilot areas” around the island. Our sample consisted of 21 “conventional” farms and four organic farms, on a total surface area of 50 ha of vegetable cropping of which 10-20% was sown with cucurbits.

The final symposium was held in St-Pierre, Reunion, from 21st to 24th November 2011. A review of the project was given in which all scientific, technical, social and financial outcomes were presented to an audience of scientists, students, agricultural professionals, representatives from local and national agencies, and indeed anyone interested in the future of agriculture. These results were subsequently discussed and compared with other countries thanks to the presence of fruit and vegetable fly experts flown in from Hawaii, Mauritius and Madagascar, and agronomists from mainland France and Mayotte.

The outcome was extremely encouraging, showing that “pilot” farmers readily accepted and applied the proposed methodology. The large majority of them claimed to be satisfied at the end of the three-year trial. Most reported being able to discontinue using insecticides on their crops while maintaining or sometimes even increasing yields.

The next step is to prepare for deployment of the technique to the remaining 2000 registered cucurbit growers in Reunion. This task will be undertaken by agricultural agencies, with the help of the Gamour DVD and a technical booklet giving farmers an overview of the technique.

These proceedings are intended to make the results of the Gamour trials available to a wider audience. Most results presented here have been published elsewhere, and details of which may be found in the reference section. All initials and acronyms used in the text are explained in the appendix.

As the supervisor of the project, I have been glad to lead it from the beginning to its conclusion. The project would not have been possible without the support of the farmers and the other 60 people who contributed to its success. All of them are listed in the first chapter. We express our sincere thanks to all of them and trust they will benefit from the trials. We hope the reader has as much enjoyment examining the results as we did producing them.

Jean-Philippe Deguine, Cirad
Supervisor and proceedings editor

CONTENT

1. GLOBAL OUTCOME

- **Gamour: genesis, development and outcome** p. 15
J.-P. Deguine
- **Challenges and tools of a multi-partner project** p. 26
P. Rousse

2. TECHNICAL, SOCIAL AND ECONOMICAL OUTCOME

- **Gamour: choice and setup of the pilot sites** p. 34
K. Le Roux & W. Suzanne
- **Evaluation of methodology and creation of an impact register** p. 39
X. Augusseau
- **Techno-economic results** p. 50
P. Rousse, C. Ajaguin-Soleyen, V. Desutter, E. Douraguia, B. Logoras, M.-L. Moutoussamy, E. Poulbassia, & W. Suzanne
- **Assessment and adoption of Gamour methodology by the farmers**..... p. 56
J. Busnel, X. Augusseau, P. Rousse

3. SCIENTIFIC OUTCOME

- **Contribution of an agronomist to crop protection** p. 68
J.-N. Aubertot
- **Technological impact of the Hawaii Area-Wide Pest Management program on fruit fly control**..... p. 76
R.I. Vargas, R.F.L. Mau, E.B. Jang, L. Wong, L. Leblanc
- **Area-wide management of the melon fly, *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) (Diptera: Tephritidae)**..... p. 95
P. Sookar, M. Alleck, I. Buldawoo, F.B. Khayrattee, T. Choolun, S. Permaloo & M. Rambhunjun
- **Characterization of the vegetable flies communities on corn in cucurbit agroecosystems**..... p. 103
J.-P. Deguine, C. Ajaguin-Soleyen, M. Atiama, T. Atiama-Nurbel, F. Chiroleu, E. Bonnet, E. Douraguia, M.L. Moutoussamy, A. Petite, M. Tenailleau & S. Quilici
- **Circadian rhythms and activities of fruit flies Diptera, Tephritidae attacking cucurbits in La Réunion**..... p. 108
T. Atiama-Nurbel, C. Ajaguin-Soleyen, M. Atiama, E. Bonnet, E. Douraguia, T. François, B. Gilles, M.-L. Moutoussamy, A. Petite, S. Quilici, M. Tenailleau & J.-P. Deguine
- **Genetic structure of populations and larval competition within the Dacini complex** p. 113
C. Jacquard, J.-P. Deguine, H. Delatte & S. Quilici
- **The augmentorium: a sanitation tool against tephritid pests in Reunion** p. 119
M. Atiama, C. Ajaguin-Soleyen, T. Atiama-Nurbel, J. Belizaire, J. Duval, M.-L. Moutoussamy, C. Pettitgas, S. Quilici, M. Tenailleau & J.-P. Deguine
- **Implementation of corn within agroecosystems as a trap plant for cucurbit flies** p. 123
J.-P. Deguine, T. Atiama-Nurbel, E. Douraguia, A. Petite, S. Duhautois, E. Bonnet, C. Ajaguin-Soleyen, M.-L. Moutoussamy & S. Quilici

- **Agroecological management of vegetable fly pests in chayote crops (*Sechium edule*)** p. 127
J.-P. Deguine, T. Atiama-Nurbel, E. Douraguia, B. Gilles, T. François, S. Quilici, C. Ajaguin-Soleyen & M.-L. Moutoussamy
- **Efficiency of Synéis-Appât® bait sprays against cucurbit pest flies (Diptera: Tephritidae)**..... p. 132
J.-P. Deguine, T. Atiama-Nurbel, E. Douraguia, M. Gratecap, P.-N. Folio, M. Atiama, C. Ajaguin-Soleyen, M.-L. Moutoussamy & S. Quilici
- **Implementation and field assesment of an insecticide-free trap against *Bactrocera cucurbitae* and *Dacus demmerezi* (Diptera : Tephritidae)** p. 137
T. Atiama-Nurbel, C. Ajaguin-Soleyen, M. Atiama, M.-L. Moutoussamy, S. Quilici, M. Tenailleau & J.-P. Deguine
- **Augmentative releases of *Psytalia fletcheri* (Hymenoptera: Braconidae) into cucurbit crops on Reunion Island** p. 145
M. Marquier, C. Clain, B. Albon & E. Roux
- **DMC and Gamour: a winning combination in agroecology?** p. 152
J. Martin

4. FIELD VISIT

- **Summary of the field visits to the two pilot areas of Entre-Deux and Petite Ile** p. 158
K. Le Roux & W. Suzanne

5. REGIONAL PERSPECTIVES

- **The difficulties linked to the assesment of extension**..... p. 164
P. Rousse
- **Adoption of Gamour techniques** p. 167
Y. Soupapouille & D. Vincenot
- **Extension of Gamour methodology to organic farming in Reunion** p. 169
Mireille Jolet
- **The fruit fly situation in Madagascar** p. 172
C. Raoelijaona
- **Interrelationships and cooperation in Indian Ocean** p. 174
E. Jeuffrault, S. Quilici

6. APPENDIX

- **Acronyms and initials** p. 176
- **Références** p. 178
- **Appendix: press review** p. 184
V. Duffourc

1. BILAN GÉNÉRAL

/ GLOBAL OUTCOME

LE PROJET GAMOUR : GENÈSE, DÉROULEMENT ET BILAN

J.-P. Deguine

Cirad, UMR C-53 PVBMT, F-97410 Saint Pierre, La Réunion, France

Résumé

Gamour est un projet de recherche-développement visant à gérer les populations de mouches des cucurbitacées présentes à La Réunion. Il s'appuie sur une démarche agroécologique. Gamour est caractérisé, d'une part, par un partenariat diversifié et, d'autre part, par des innovations techniques de protection des cultures (augmentorium, plantes pièges, appâts adulticides, piégeage sexuel). Mis en place de 2009 à 2011 sur trois villages pilotes (Salazie, Entre-Deux et Petite-Ile) et sur quatre fermes certifiées AB, le projet a donné des résultats encourageants. De nombreuses connaissances ont été obtenues sur la bioécologie des mouches et sur de nouvelles techniques de protection. L'enseignement, l'encadrement d'étudiants, la formation des acteurs et la sensibilisation du grand public ont également été mis en avant dans le projet Gamour. Sur le plan socio-économique, les agriculteurs ont pu supprimer les insecticides chimiques qu'ils épandaient de manière intensive sur les cultures avant le projet ; les pertes de récoltes ont été fortement réduites ; le temps consacré à la protection des cultures a baissé. Il est désormais prévu l'extension des pratiques Gamour aux autres zones de l'île. Ce projet, qui s'inscrit dans la dynamique du plan Ecophyto, a reçu une distinction nationale (mention des Trophées de l'agriculture 2011) et a consolidé les collaborations entre les partenaires. Il représente à la fois une étape significative pour le développement de l'agriculture biologique à La Réunion et un précédent pour d'autres initiatives visant à réduire ou supprimer les pesticides.

Mots-clés : Gamour, agroécologie, protection des cultures, Tephritidae, La Réunion

Introduction

Gamour signifie Gestion agroécologique des mouches des légumes à La Réunion. Il se situe dans un contexte favorable à la réduction des pesticides sur les cultures maraîchères :

■ montée en puissance de l'agroécologie (à la fois discipline scientifique comme étude des interactions

entre les êtres vivants dans les agroécosystèmes, et orientation vers des modes de production cherchant à mieux protéger les ressources et l'environnement) ;

■ mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, visant sur le plan agricole à d'une part développer l'Agriculture Biologique, et d'autre part réduire de 50% (si possible) les quantités de pesticides utilisés en 2007 ;

■ application du plan Ecophyto-Dom, déclinaison du plan national Ecophyto dans les départements d'outre-mer. A La Réunion, ce cadre a défini les mouches des légumes comme les bioagresseurs les plus préjudiciables aux cultures fruitières et maraîchères à La Réunion ;

■ les producteurs de cucurbitacées sont dans des impasses de production, sur le plan économique ou sur le plan environnemental, ce qui se concrétise par une réduction des surfaces mises en culture.

Par ailleurs, une mission à Hawaii en 2007 a permis de s'inspirer d'un certain nombre de techniques intéressantes vis-à-vis des mouches des légumes. Par la suite, une sensibilisation des acteurs, partenaires et producteurs s'est étalée pendant l'année 2008. Des sites pilotes ont ensuite été choisis : les villages de l'Entre-Deux, Salazie et Petite-Ile, ainsi que quatre fermes certifiées AB.

Conscients de ces enjeux, les différents partenaires de la recherche et du développement agricole à La Réunion se sont regroupés et ont œuvré pour concevoir et rédiger le projet Gamour. Il a visé la conception, la mise au point et le transfert en milieu producteur de technologies innovantes dans un cadre participatif. Il a également visé à évaluer l'application des techniques à l'AB. L'organisme chef de file, responsable de la gestion administrative et financière, était la Chambre d'Agriculture de La Réunion. Le chef de projet, responsable scientifique du projet, était un chercheur du Cirad tandis que la coordination technique sur le terrain, entre acteurs et avec les agriculteurs, était du ressort de la Chambre d'Agriculture.

Résultats du projet Gamour

Le projet Gamour a permis en trois ans d'acquérir de nouvelles connaissances scientifiques, d'adapter au contexte réunionnais et au cahier des charges de l'AB un paquet technique efficace et respectueux de l'environnement inspiré de techniques pratiquées à Hawaii, de transférer à 25 producteurs maraîchers ces technologies agroécologiques, et de sensibiliser plusieurs centaines d'acteurs aux méthodes agroécologiques. Ci-dessous ne sont donnés que quelques résultats marquants ou originaux.

Production scientifique et technique

De nombreuses connaissances ont été obtenues par les recherches entreprises dans le cadre du projet. Elles concernent, d'une part, la biologie et l'écologie des mouches des légumes et, d'autre part, les techniques de gestion agroécologique de leurs populations. Ces connaissances ont été valorisées dans des revues : 10 publications scientifiques dans des revues internationales avec comité de lecture, deux chapitres d'ouvrages scientifiques, huit communications publiées dans des congrès internationaux, neuf posters présents dans des congrès internationaux, et différents articles dans des revues sans comité de lecture.

De plus, les recherches ont été le cadre d'encadrement de différents étudiants : deux thèses, 11 stages type M2, quatre stages type Ingénieur, cinq stages type licence, maîtrise ou DUT, et deux postes de VSC. Des enseignements ont été dispensés auprès de nombreux étudiants, en prenant l'exemple du projet Gamour comme l'application des concepts de l'agroécologie à la protection des cultures :

- université de La Réunion, faculté de Saint-Denis : Master 1 et Master 2 Best ;
- université de La Réunion, faculté du Tampon, Master 2 GUE ;
- université de La Réunion, IUT Saint-Pierre, 2^{ème} année DUT, option GE ;
- visio-enseignements : Bordeaux Sciences Agro, 3^{ème} année ;
- lycées agricoles, etc...

Le paquet technique SP5

Le paquet technique qui a été mis au point et proposé aux agriculteurs est nommé SP5.

■ S pour surveillance. Un réseau de surveillance a été mis en place par les partenaires techniques du projet Gamour pour évaluer l'évolution des populations de mouches. Au total 50 pièges ont été relevés et analysés chaque semaine pour évaluer le nombre de mouches sévissant dans les zones pilotes.

■ P1 pour prophylaxie. La prophylaxie est la première règle de précaution : elle consiste en la destruction des légumes infestés par les mouches, car il a été montré que plusieurs centaines de mouches pouvaient émerger d'un fruit piqué.

■ P2 pour plantes-pièges. La technique des plantes-pièges repose sur des observations qui ont révélé que les mouches passaient 90% de leur temps dans la végétation environnante à la culture, pour se reproduire, s'abriter et se nourrir. Le temps passé sur la culture de légume correspond au court laps de temps de la ponte. Des bordures de maïs, sur lequel est appliqué un appât alimentaire mélangé à une quantité infinitésimale d'un insecticide biologique (0.2%), sont plantées pour attirer les mouches en dehors de la parcelle et les tuer. Ainsi, aucun insecticide n'est épandu sur la culture elle-même.

■ P3 pour piégeage. Grâce à cette troisième technique, les mâles de ces mouches sont piégés dans des bouteilles dans lesquelles ils sont attirés par un attractif sexuel.

■ P4 pour prédateurs et parasitoïdes. En supprimant le recours aux insecticides, la faune prédatrice des mouches des légumes revient et permet également d'en contrôler la pullulation.

■ P5 pour pratiques agroécologiques. Cette composante consiste à tirer parti de la diversité végétale de la parcelle (corridors écologiques, bande enherbée, couverture végétale du sol...) pour limiter la prolifération des mouches. Sur ce thème, les travaux de recherche se poursuivent.

Des fiches techniques ont été rédigées sur la biologie des mouches et sur les techniques agroécologiques. Les résultats ont été compilés dans un livret technique, qui a été largement distribué aux agriculteurs et aux techniciens agricoles. Ces recommandations techniques ont également été rassemblées dans un DVD d'information disponible en ligne

<http://www.agriculture-biodiversite-oi.org/Professionnel-producteur/Se-former/Formations-en-ligne/Formation-video-a-la-gestion-agroecologique-des-mouches-des-legumes>

Impacts socio-économiques

Pour l'estimation des impacts technico-économiques de l'application de la méthodologie Gamour, nous avons suivi 21 exploitations conventionnelles et quatre exploitations en AB (cf. P. Rousse, *Résultats technico-économiques en milieu producteur*). La différence économique majeure porte sur la quasi-absence des traitements insecticides curatifs sur les productions protégées par la méthodologie. Il est montré que cette suppression des insecticides n'entraîne aucune conséquence négative sur la production. Le point de satisfaction commun à tous les agriculteurs repose en particulier sur la baisse d'un facteur un à quatre du coût de la protection contre les mouches suivant la technique Gamour. D'autres points de satisfactions sont plus diversement mentionnés (cf. J. Busnel *et al.*, *Bilan et appropriation des pratiques par les agriculteurs*).

Des agriculteurs aptes à appliquer un programme original de protection des cultures

C'est l'un des résultats les plus satisfaisants. Le processus participatif de transfert des innovations en milieu producteur qui a été proposé s'est révélé efficace. Il est à pérenniser. Les agriculteurs ayant fait partie du projet sont aujourd'hui des agriculteurs autonomes, capables d'appliquer eux-mêmes les recommandations et les fiches techniques. Au-delà de cette capacité, ces producteurs sont devenus des leaders dans leurs bassins de production. Ils sont aujourd'hui souvent sollicités par leurs collègues voisins, afin que les recommandations et pratiques Gamour leur soient transmises.

Un partenariat efficace et durable

Le projet Gamour a été l'occasion de faire travailler ensemble des organismes de recherche, de formation, d'expérimentation, de conseil et de développement agricole, sous l'égide des organismes de tutelle. Cette action partagée s'est révélée performante et elle a été valorisée par une coordination efficace. Cette forme de travail en partenariat est appelée à persister dans le temps, compte tenu de ces résultats. Les partenaires impliqués doivent être rappelés ici :

- Partenaires techniques impliqués dans la réalisation du projet (destinataires de financements Cas-Dar) : Armefflor, Chambre d'Agriculture, Cirad, Farre, FDGDON, Gab.

- Autres partenaires techniques : ASP, Université de La Réunion, Daaf, Takamaka Industries, Vivéa, Terre Bourbon.

Contribution à l'apparition de produits nouveaux sur le marché de la protection des cultures

Plusieurs nouveaux produits ont fait leur apparition.

■ L'augmentorium : cet outil de prophylaxie est maintenant disponible auprès d'une entreprise réunionnaise, Takamaka Industries, qui en propose trois modèles.

■ Des pièges sexuels sans insecticides. Mis au point dans le cadre du projet Gamour, ces pièges sont désormais fabriqués par l'entreprise Takamaka Industries et vendus aux organismes, aux agriculteurs et aux particuliers.

■ Syneïs-Appât®. Les nombreux essais effectués dans le cadre du projet ont contribué à l'homologation de ce produit sur les cultures horticoles. Les modalités d'utilisation résultent directement des résultats des essais entrepris dans Gamour.

Information et sensibilisation auprès du grand public

Le projet a disposé d'un site Internet (<http://gamour.cirad.fr>). De nombreuses conférences ont été données à l'occasion de manifestations grand public, ainsi que de nombreuses interventions de sensibilisation auprès du jeune public. De plus, plusieurs reportages télévisés ou radio, ainsi que de nombreux articles, non seulement dans la presse régionale, mais aussi dans la presse nationale, ont été ciblés sur Gamour. La revue de presse, aussi exhaustive que possible, est donnée en annexe 1.

Le renouvellement de l'image de l'agriculture et de la production agricole à La Réunion

L'absence d'épandage d'insecticides sur les cultures a permis de donner une image nouvelle, plus saine, de l'agriculture. Ceci est d'autant plus important dans une île qui est un hotspot de la biodiversité à l'échelle mondiale, maintenant inscrite au patrimoine mondial de l'Unesco et sur laquelle 40% du territoire est couverte par un Parc national. Les produits issus des procédés étant indemnes de pesticides, des voies de valorisation commerciale de ce type de production sont actuellement à l'étude.

L'exemple de la production de cucurbitacées selon les méthodes Gamour a montré qu'il était possible de réduire fortement, voire de supprimer, l'utilisation d'insecticides sur les cultures. Les économies monétaires

ont été importantes, rendant l'agriculture plus rentable. Enfin, les agriculteurs et les apiculteurs apprécient fortement que les techniques Gamour préservent la faune des pollinisateurs, notamment les abeilles.

Une contribution au développement de l'Agriculture Biologique

Certains agriculteurs partenaires du projet Gamour, conscients de l'inutilité de l'utilisation de produits de synthèse, se sont engagés dans une démarche de conversion AB. C'est notamment le cas d'un producteur de chou de Salazie, qui a tour à tour durant les trois ans du projet obtenu une certification AR puis AB. D'autres agriculteurs s'inspireront des techniques Gamour, pour s'engager plus avant dans une démarche d'agro-tourisme.

Une distinction nationale pour Gamour

Le projet Gamour a répondu aux objectifs fixés initialement. En récompense de ces résultats, le projet a reçu une mention spéciale aux Trophées de l'Agriculture durable 2011 (concours national co-organisé par le MAAP et le Crédit Agricole).

Perspectives

Des techniques à vulgariser à l'ensemble des producteurs réunionnais

Maintenant que les techniques de protection agroécologique se sont montrées efficaces et transférables, l'après-projet consiste à envisager la vulgarisation de la protection agroécologique à l'ensemble des producteurs maraîchers de l'île (cf. Y. Soupapouille & D. Vincenot, *Transfert Gamour auprès des producteurs*).

Des leçons pour d'autres projets

Le projet Gamour a permis d'identifier plusieurs conditions nécessaires (mais non suffisantes) de la réussite d'un projet de recherche-développement : bien concevoir le projet ; s'organiser et répartir les activités selon un partenariat pertinent ; mettre en place une coordination ; effectuer un suivi rigoureux ; ne pas brûler les étapes en respectant scrupuleusement le calendrier. Gamour a également permis d'élaborer une grille d'indicateurs socio-économiques et environnementaux pour le pilotage d'expériences ultérieures. Déjà, des demandes pour d'autres initiatives sont affichées. C'est notamment le cas du projet Biophyto, visant à produire de la mangue sans insecticide à la Réunion.

GAMOUR: GENESIS, DEVELOPMENT AND OUTCOME

Deguine J.-P.

CIRAD, UMR PVBMT,
F-97410 Saint Pierre, La Réunion, France

Abstract

Gamour is a research and development project whose aim is to manage the cucurbit fly population in Reunion using an agroecological approach. There are numerous partners involved, and the project is set apart by its technological innovations for crop protection, including augmentoria, mass trapping, bait sprays and border plants. The project ran from 2009 to 2011 in three pilot areas (Salazie, Entre-Deux and Petite-Ile) on four organic farms, yielding encouraging results. A large amount of new knowledge was produced on fly bioecology and on new crop protection techniques. Training and popularization were also major parts of the project. Farmers were able to stop chemical spraying they had previously relied heavily upon; yield losses were minimized; time devoted to crop protection was decreased. We now hope to extend this methodology to the rest of the island. Gamour, which meets the Ecophyto 2018 guidelines, was nationally acknowledged in the Sustainable Agriculture awards in 2011 and has strengthened the interrelationships between partners. It is both a significant step for the development of organic farming in Reunion and a basis for further programs aiming to reduce or suppress pesticide use.

Keywords: Gamour, crop protection, Tephritidae, Reunion

Introduction

Gamour stands for Gestion Agroécologique des mouches des légumes à la Réunion. The project aims to reduce inputs into vegetable crops via:

- Agroecology, which is both a scientific field studying the interrelations between living organisms within the agroecosystem and an orientation towards more environmentally-friendly production methods.
- Enforcement of the Grenelle de l'Environnement, which aims to reduce pesticide use by 50% using the 2007 level as a base, and to promote organic farming.
- Application of Ecophyto-Dom, the overseas version of the national Ecophyto project. In Reunion,

Ecophyto identified vegetable flies as the most harmful fruit and vegetable pests.

■ Cucurbit growers face financial and environmental challenges as well as decreasing areas of farming land.

A fact-finding mission to Hawaii in 2007 brought to light several protection techniques against vegetable flies. In 2008, the techniques were presented to decision makers in Réunion as well as growers and agricultural firms. Pilot sites were then selected: the villages of Entre-Deux, Petite-Ile and Salazie, including five organic farms. Fully aware of the issues at stake, the various research and development partners came together to conceive the Gamour project. Its main goals were the design, development and transfer of innovative technologies to both conventional and organic farmers within a collaborative framework. The project was led by a Cirad scientist and the Chambre d'Agriculture was in charge of technical coordination between the decision-makers and the farmers.

Results of the Gamour project

Over the three-year duration of the project, a large amount of new scientific knowledge has been acquired. The effective, environmentally-friendly practices observed in Hawaii were adapted to the farms in Réunion and the package was trialed by 25 vegetable growers. Hundreds of people were educated on these new agroecological methods. Below are some of the more noteworthy results from the trials.

Scientific and technical production

A large amount of knowledge was yielded by the research undertaken during the project. They deal firstly with the biology and the ecology of vegetable flies, and secondly with the implementation of agroecological management of fly populations. These results were transformed into ten articles published in peer reviewed journals, two chapters of a book,

eight speeches and nine posters displayed in various international agricultural conferences, and numerous articles in popular science journals.

Moreover, this research was the subject of two PhD theses and provided work for 16 master and four engineer trainees as well as two VCAT posts. Teaching courses were delivered using the project as an example of agroecological crop protection at:

- université de La Réunion
(faculty of St Denis, Master 1 and Master 2 Best,
- faculty of Le Tampon, Master 2 GUE,
- IUT of St Pierre, DUT GE),
Bordeaux Sciences Agronomiques 3 (videoconference),
- and also at agricultural colleges.

The SP5 technical package

The technical package offered to farmers was known as SP5:

■ S for monitoring (“Surveillance”). A monitoring network was set up with a total of 50 traps which were analyzed weekly to assess the evolution of fly populations within each plot.

■ P1 for sanitation (“Prophylaxie”), the destruction of infested fruits. It has been shown that hundreds of flies may emerge from a single infested fruit.

■ P2 for trap plants (“Plantes pièges”). This technique relies on the observation that flies spend 90% of their time on the surrounding vegetation to mate and feed. They only spend a short time in the crops to lay their eggs. Corn plants, on which was sprayed a bait food mixed with a bio-insecticide at an extremely low dose (0.02%), are sown around the main crops to attract and kill the flies outside of the crop, so that no insecticide is sprayed on the vegetables themselves.

■ P3 for mass trapping (“Piégeage”). Male flies are trapped in bottles baited with sexual lures.

■ P4 for biological control (“Pr dateurs et Parasitoïdes”). By curbing the use of insecticides, numbers of secondary fauna increase which helps reduce fly numbers.

■ P5 for agroecological practices (“Pratiques agro-écologiques”), whereby habitats within the agroecosystem (soil cover, grass strips, etc.) are managed to reduce fly reproduction. Research on this topic is still ongoing.

Technical data has been written about fly biology and agroecological techniques. The results of the trials were published in a technical booklet which was sent to farmers and agricultural technicians, and a training video is also available online

<http://www.agriculture-biodiversite-oi.org/Professionnel-producteur/Se-former/Formations-en-ligne/Formation-video-a-la-gestion-agroecologique-des-mouches-des-legumes>.

Social and financial impacts

We assessed a total of 21 conventional and four organic farms to determine the social and financial impact of Gamour (cf. P. Rousse, *Field technical and financial results*). The main financial effect for farmers was the near-total withdrawal of curative treatments, leading to a 1.2 to 4.2 fold reduction in costs using Gamour methodology, without any loss of yield.

Farmers with improved skills, new knowledge, with the tools to implement a new crop protection program

This is one of the most satisfactory results. The collaborative process to transfer the innovations to the field was successful. The farmers who were involved with Gamour are now able to implement the technical recommendations themselves. In addition, they are frequently asked by their neighbors for more information on the Gamour methodology.

A sustainable and efficient partnership

Thanks to effective coordination, Gamour brought together research, experimental and training agencies, as well as various agricultural agencies. These partners were:

- Armeilhor, Chambre d’Agriculture de La Réunion, Cirad, Farre, FDGDON, Gab (funded by Cas-Dar).
- ASP, Université de la Réunion, Daaf, Takamaka Industries, Viv a, Terre Bourbon.

Contributing to the development of new crop protection tools for the Reunion market

New tools emerged from the project:

■ The augmentorium is now produced and distributed by a company from Reunion, Takamaka Industries.

■ Sexual traps without insecticides are now sold to agencies, farmers and private owners by Takamaka Industries.

■ The trials carried out during Gamour played a role in the registration of Syneis-app t™ for vegetable crops. The recommended use is directly based on the Gamour trials.

Public outreach

Information on the Gamour project was first made available via its website (<http://gamour.cirad.fr>). A large amount of public information was delivered through numerous articles in regional and national media, audio and video broadcasts, and participation in public events. A comprehensive overview is given in Appendix 1.

A renovated image of agricultural activity in Reunion

The suppression of insecticides on crops has given agriculture a new, cleaner image. That is especially important in an island which is acknowledged as a biodiversity hotspot, where 40% of the total land area is national park, now a Unesco world heritage site. New marketing channels for insecticide-free vegetables are currently being investigated. Gamour showed that it is possible to reduce or even remove pesticides from crops, making them more profitable for the farmers. Moreover, Gamour techniques protect pollinator fauna, especially honeybees.

A contribution to the development of organic farming

Many organic farmers, most notably chayote producers, are now more aware of the ineffectiveness of insecticides. One of them shifted from conventional farming to integrated farming during the project, and has recently been approved as organic. Other farmers may be inspired by Gamour to enter the agro-touristic sector.

National recognition for Gamour

Gamour met *al.* its initial objectives. As a result, it received a special mention during the Trophées de l’agriculture durable 2011 (sustainable agriculture awards), a national competition organized by Credit Agricole and MAAAP.

Perspectives

Gamour offers a new crop protection methodology which is more efficient, cheaper, safer, sustainable and environmentally friendly.

Techniques to be extended to other growers in Reunion

Gamour proved that agroecological protection methods were efficient and transferable to farmers. This goal having been achieved, the next step is to extend the techniques to the remaining cucurbit growers in Reunion. This task should be undertaken by agricultural agencies (cf. Y. Soupapoulle & D. Vincenot, *Gamour’s future extension for farmers*).

Future projects

We identified several requirements for a successful R&D project: a good initial design, effective distribution of tasks, strong coordination, rigorous assessment and finally a schedule which must be strictly adhered to.

Gamour also produced a series of socio-economic and environmental indicators which may be helpful in future projects. Further schemes are already underway, including Biophyto, a new project which aims to produce insecticide-free mangoes in Reunion.

OUTILS ET ENJEUX DE LA COORDINATION D'UN PROJET MULTI-PARTENARIAL

P. Rousse

*Chambre d'Agriculture de La Réunion,
24 rue de la Source, 97400 St Denis, France*

Pourquoi ?

Le projet Gamour s'est déroulé de 2009 à 2011, avec pour enjeu majeur d'apporter une solution durable au problème des mouches des légumes. Un tel enjeu implique la réalisation de nombreux objectifs tels que la validation expérimentale d'une technologie innovante, la formation et l'accompagnement d'agriculteurs « pilotes », la création d'une filière de fabrication et distribution du matériel de protection, l'information du grand public... Gamour répond donc à deux objectifs principaux qui sont le développement / transfert d'une méthodologie innovante, et la mobilisation de l'ensemble des acteurs de la filière à La Réunion (Fig. 1). Le premier de ces objectifs se fait sous l'impulsion principale du Cirad dans une démarche de type « top-down » où les nouvelles technologies scientifiquement validées sont adoptées et éventuellement adaptées par les utilisateurs finaux que sont les agriculteurs. Le retour émanant de ces derniers est essentiel à la création d'outils adaptés et donc à leur appropriation. Les différents résultats de ces actions de recherche et de transfert sont l'objet des communications présentées dans cet ouvrage.

Le deuxième objectif est celui de la coordination des multiples acteurs du projet. Cet objectif central est dévolu à la Chambre d'Agriculture dans son rôle de plate-forme centralisatrice du monde agricole à la Réunion. Pour répondre à ses différents engagements, Gamour se structure en quatre actions (Fig. 2), chacune portée par un organisme partenaire. La coordination de ces actions représente une action elle-même.

Au final, ce sont 12 organismes partenaires et un peu plus de 60 personnes qui sont intervenus à un plus ou moindre degré dans la réalisation de ce projet (Tabs 1-2). Or, l'action combinée de ces partenaires va entraîner une forte variabilité des réponses : variabilité des missions (recherche, accompagnement technique, production, formation / enseignement...), variabilité des professions (technicien, agriculteur, chercheur...), et tout simplement variabilité humaine de chacun des individus impliqués. On touche donc

ici à l'essence même du travail du coordinateur, à savoir réduire la somme de ces variabilités afin que la somme de ces actions corresponde aux objectifs du projet, en conservant l'intégrité de cette action synergétique tout au long du calendrier prévisionnel.

Comment ?

Un même niveau d'information

La première série d'outils mis en œuvre permet aux partenaires de partager le même niveau d'information. C'est un travail de communication interne, où les résultats de chacun sont transmis aux autres afin de décloisonner l'information. Ce partage nécessite en premier lieu la réunion régulière des acteurs, que ce soit par des réunions thématiques sur une action précise - afin de la mettre en œuvre - ou par des réunions générales et régulières où chacun pourra exposer ses résultats en cours. Cette information générale s'est en particulier traduite par six réunions dans les zones pilotes (pour les agriculteurs) et huit réunions trimestrielles regroupant l'ensemble des partenaires. S'y sont ajoutées également les deux réunions du comité de pilotage, en débuts d'années, qui ont pour mission d'évaluer la progression du projet. Toutes ces réunions ont fait l'objet de comptes-rendus diffusés aux participants.

L'information régulière et dynamique des acteurs nécessite également d'utiliser des outils répondant à un pas de temps plus court. Les agriculteurs « pilotes » sont les principaux acteurs et bénéficiaires du projet, mais ils sont également le public le plus difficile à toucher (cf. P. Rousse, *Les difficultés liées à l'évaluation du transfert en maraîchage*). Or, le maintien d'un lien de confiance permanent est essentiel à leur participation et donc à la pérennisation des résultats. C'est l'un des rôles dévolus au suivi technique des exploitations, chacune recevant chaque semaine la

visite d'un technicien référent lors des périodes de production de cucurbitacées.

Le deuxième outil d'information dynamique est le bulletin d'information électronique « Quelques mots d'Gamour », adressé à une liste de diffusion regroupant de façon très large toute personne intéressée par le suivi du projet. Ce bulletin, à parution bi- ou trimestrielle, a été publié à 10 exemplaires. Enfin, le site internet Gamour représente également un outil d'information permanent. Il met à la disposition de tous l'information générale au sujet du projet, et sert également de centre de documentation regroupant de nombreux fichiers téléchargeables comme la revue de presse.

Des actions centralisées

A côté de ce partage d'informations, la mise en œuvre des actions requiert un système de planification concertée et des outils communs. A titre d'illustration, la figure 3 représente le schéma organisationnel mis en place pour la réalisation de l'action 3 (transfert en milieu producteur). De même, l'observatoire des impacts répond à la double mission de créer des indicateurs de réalisation et d'accéder à un outil de travail centralisé. Cet observatoire est hébergé sur le site de Gamour et permet aux différents acteurs du projet la saisie en ligne de leurs données par un accès restreint. Cet outil a été en particulier utilisé pour la mise en commun des données du réseau de surveillance et des suivis de productions durant le déroulement de la partie transfert de Gamour. La conception et les objectifs de cet outil sont détaillés plus loin dans cet ouvrage (cf. X. Augusseau, *Démarche d'évaluation et mise en place d'un observatoire des impacts*).

Merci

Cette introduction organisationnelle au séminaire Gamour répond également à un autre besoin, celui de saluer les efforts de tous ses participants. En tant que coordinateur, j'ai eu plaisir à m'assurer du bon fonctionnement général de la machine. Et le plaisir est essentiel à toute réalisation humaine puisqu'il est générateur de motivation. Ce qui reste à mon sens le carburant le plus fiable de toute avancée. Merci à vous tous pour la mise en œuvre de ce beau projet que fut Gamour.

Tableau 1

Acteurs de la réalisation du projet Gamour (2009-2011).

Table 1

Actors of Gamour's achievement (2009-2011).

CIRAD
C. Ajaguin-Soleyen
M. Atiama
T. Atiama-Nurbel
X. Augusseau
J.-P. Deguine
E. Douraguia
M.L. Moutoussamy
T. Ramage
M. Tenailleau
S. Touron
CHAMBRE D'AGRICULTURE
G. Dérand
V. Desutter
G. Insa
E. Poulbassia
P. Rousse
Y. Soupapouille
TERRE BOURBON
J. Gourlay
TAKAMAKA INDUSTRIES
D. Morel
T. Taye

ASP
T. Gentil
FDGDON
B. Albon
C. Clain
M. Marquier
Y. Robert
E. Roux
FARRE
K. Le Roux
B. Logoras
W. Suzanne
ARMEFLHOR
A. Bigorne
M. Guinemer
S. Payet
E. Trules
UNIVERSITÉ RÉUNION
P. Laurent
GAB
M. Jolet
DAAF
R. Graindorge
A. Lasne
L. Maillary
F. Stein
VIVÉA
J.S. Cottineau

Tableau 2

agriculteurs chefs d'exploitations participant au projet Gamour.

Table 2

farm owners involved in Gamour project.

ENTRE-DEUX
E. Dijoux
G. Hoareau
J.Y. Nativel
A. Payet
J.D. Payet
A. Vitry
G. Vitry
M.A. Vitry
SALAZIE
J.H. Jasmin
J. Léger
S. Victoire
GAB / BRAS PANON
T. Hubert
GAB / BOUCAN CANOT
A. & V. Gazzo

PETITE-ILE
Ed. Barret
Er. Barret
G. Barret
M. Barret
P. Dijoux
G.R. Hoareau
J.C. Hoareau
J.F. Payet
J.C. Robert
J.E. Volry
BASSIN MARTIN (TB)
J.R. Dijoux
BOIS D'OLIVES (TB)
P. Hoareau
GAB / ETANG SALÉ
F. Calpétard
GAB / COLIMAÇONS
J. Boissière

Figure 1
Enjeux et objectifs du projet Gamour.

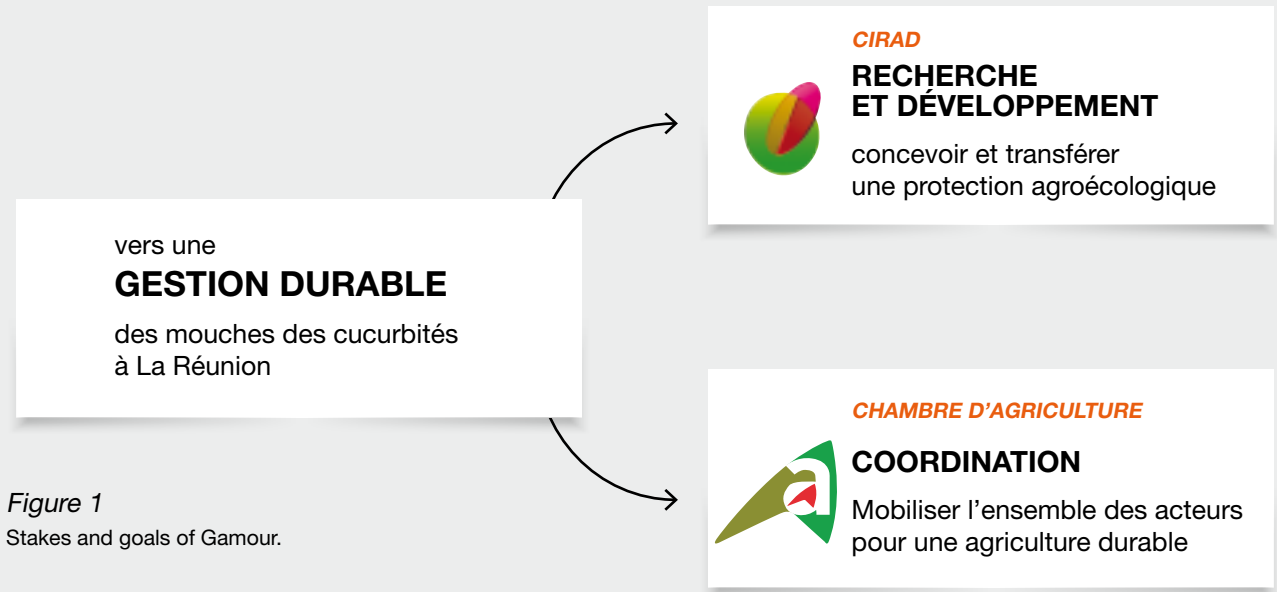


Figure 1
Stakes and goals of Gamour.

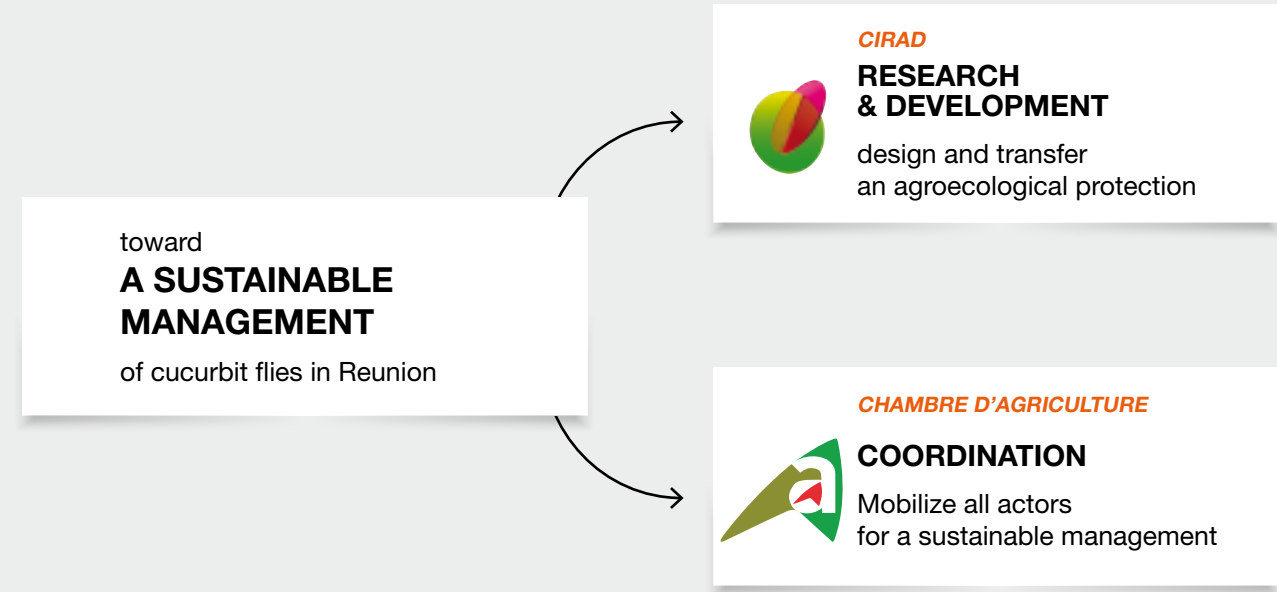


Figure 2
Structuration du projet Gamour.

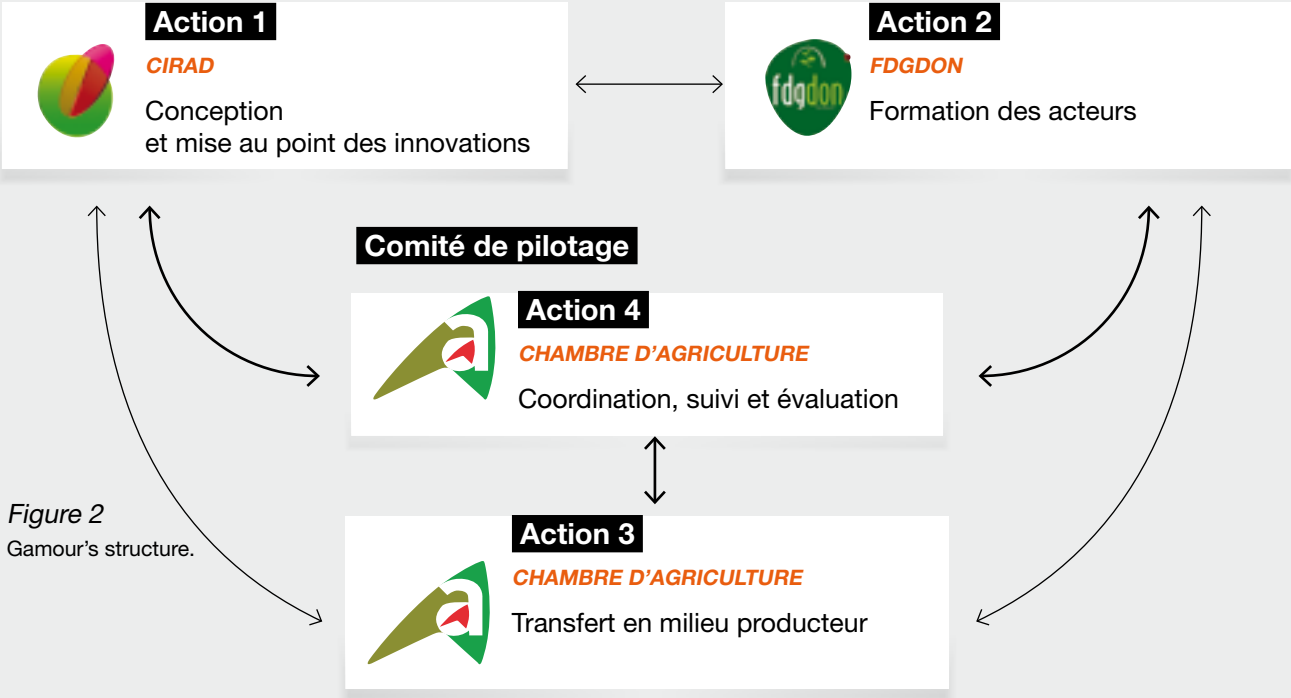


Figure 2
Gamour's structure.

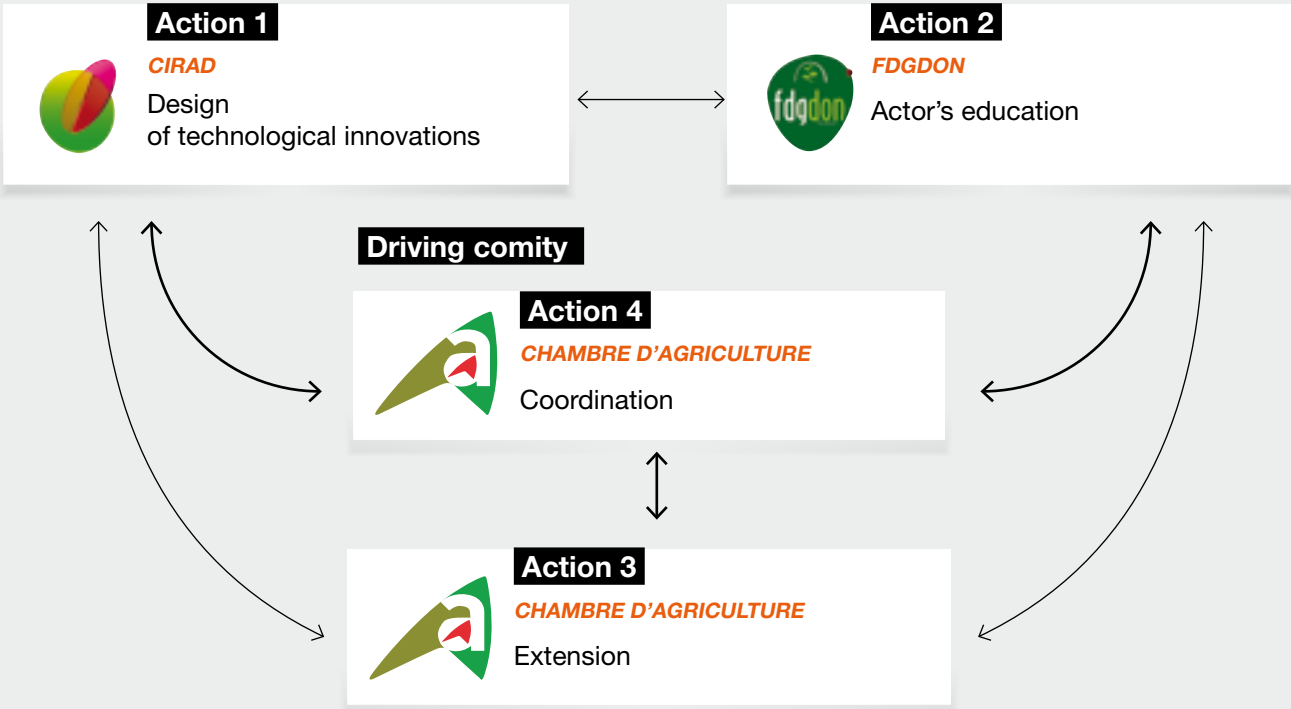
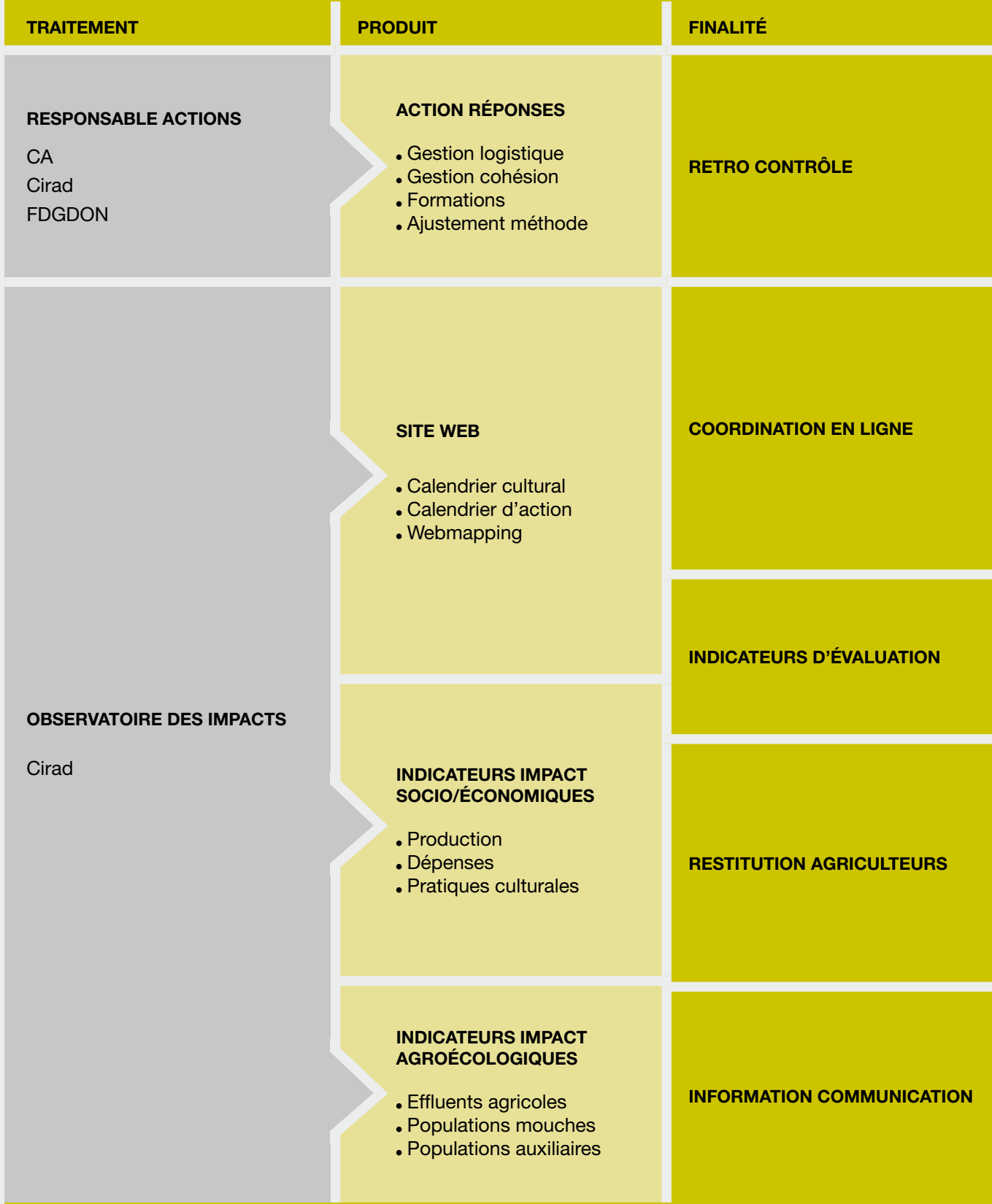
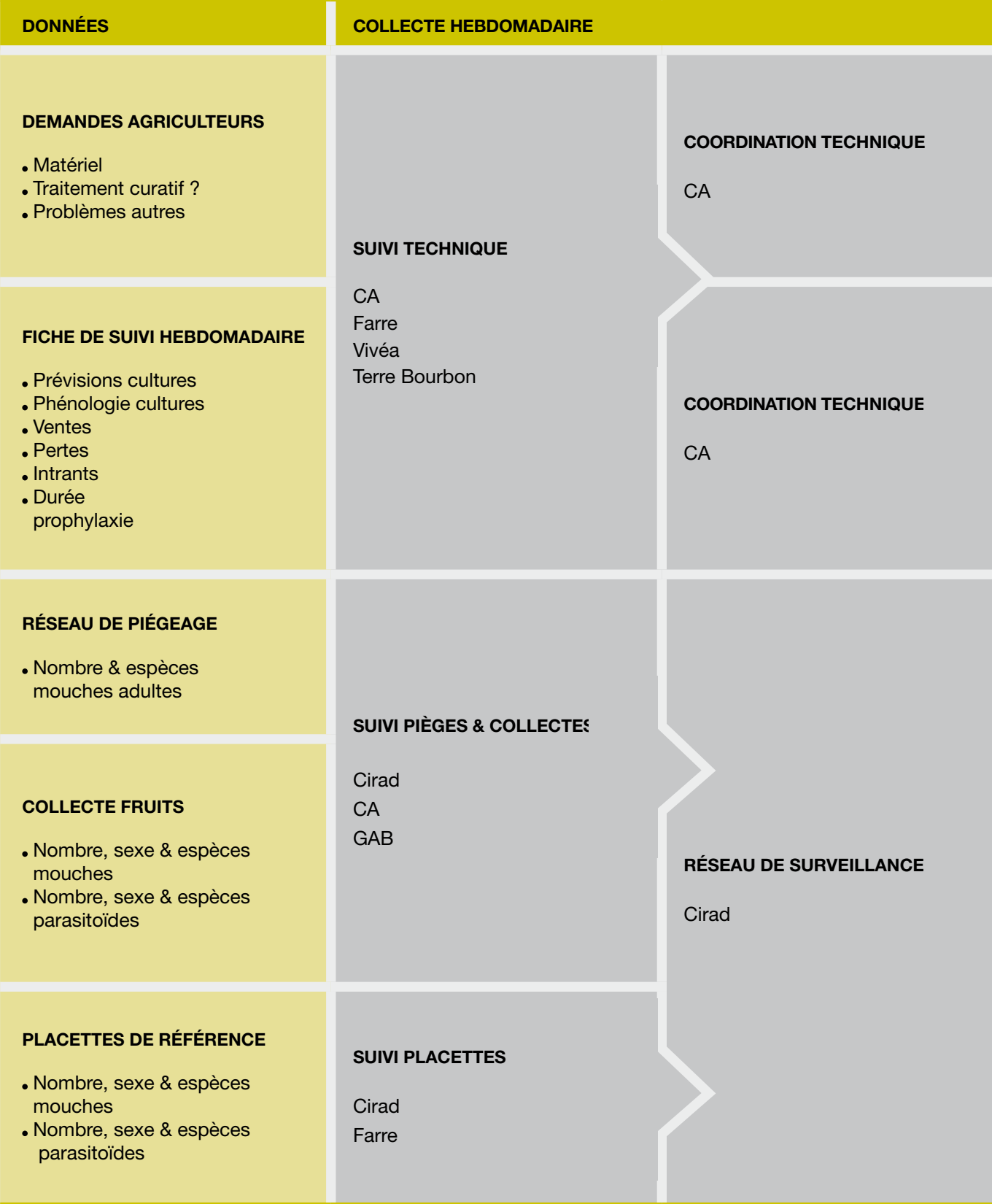


Figure 3
Schéma organisationnel de l'action 3 (transfert en milieu producteur)



CHALLENGES AND TOOLS OF A MULTI-PARTNER PROJECT

P. ROUSSE

*Chambre d'Agriculture de La Réunion,
24 rue de la Source, 97400 St Denis, France*

Why?

The Gamour project took place between 2006 and 2011; its aim was to offer a sustainable solution to the problem of vegetable flies. Such a venture is wide-reaching, involving aspects such as experimental validation of new technology, training and support of the “pilot” farmers, creation of a production and distribution channel for supplies and public campaigns.

Gamour achieves the two main goals of research into a pioneering methodology and the recruitment of all agricultural agencies in Reunion (Fig. 1). The first one was mainly led by Cirad in a top-down action where scientifically proven technologies were transferred to and sometimes adopted by farmers. This feedback is necessary to create tools which can then be certified. The different results of this research are the topics of several previous statements.

The second objective is management of partnerships. This task was assigned to the Chambre d'Agriculture, given its central role in agriculture in Reunion. To fulfill its commitments, Gamour was subdivided into four individual research groups (Fig. 2), each of them managed by one of the partner agencies. A group was set up to coordinate the teams.

12 agencies and about 60 people were involved in the Gamour project (Tab. 1 and 2). There was a high degree of unpredictability involved: variables include research, technical support, productivity, training, people (farmers, technicians, scientists), and simply the human variabilities of each of the individuals involved in the project. Reducing these variables as much as possible is one of the aims of the project, for their cumulative actions to match the eventual objectives of the project, by preserving its synergetic integrity throughout the planned schedule.

How?

Sharing information

The first scheme allows partners to share information internally, whereby the results of one grower are systematically transmitted to all the others. It would involve a regular meetings between partners where anyone may present the work they are carrying out. Additionally, at the beginning of each year, the steering committee evaluates the progress of the project. All of these meetings are recorded and their proceedings made available to partners.

Secondly, a dynamic and reliable information system also requests a fast and flexible channel. “Pilot” farmers are the main actors and users of the project, though they are also the most difficult to contact (cf. P. Rousse, *difficulties related to the extension evaluation for vegetable growers*). In addition, good working relations are critical during and after the project for its long-term success. Technical support for the farms is also an important aspect, each farm being visited once per week by a technician during the cucurbit growing periods. The second source of information is the e-periodic “*Quelques mots d’Gamour*”, which was distributed to a wide audience comprising anybody interested in the project. This quarterly bulletin was published 10 times during the project. Finally, the Gamour website is also a permanent source of information. It provides general information and features downloadable documents, including the media reviews.

Centralisation

Besides information sharing, to the project shares common tools and a common schedule. As an example, figure 3 illustrates the organizational scheme set up for action 3 (extension to producers). Similarly, the impact monitor allows the creation of indicators and access to a centralized work tool. This observatory is on the Gamour web-

site, so every partner can share their data online. This tool was especially developed for sharing fly population data and the vegetable producing data during the extension part of Gamour. More information on the design and goals of this tool are available in this paper (cf. X. Augusseau, *Evaluation methodology and setup of an impacts observatory*).

Thank you

This introduction to the Gamour symposium proceedings also acknowledges the actors involved. As a coordinator, I really enjoyed managing the whole process. Pleasure is most important of all in any human achievement as it generates motivation, which I believe is the most reliable energy for any step forward. Well, thanks to all of you for the great achievement of this Gamour project!

2. BILAN TECHNIQUE ET SOCIO-ÉCONOMIQUE

/TECHNICAL, SOCIAL AND ECONOMICAL OUTCOME

GAMOUR : DÉFINITION DES SITES PILOTES ET MISE EN PLACE DES ACTIONS

K. Le Roux & W. Suzanne

Farre Réunion, Pôle 3P, 97410 St Pierre, France

Résumé

Le projet Gamour a été conçu, dès son origine, sur le postulat que la gestion des mouches des légumes sur cucurbitacées à La Réunion ne pouvait être réalisée que sur la base d'une gestion agroécologique de ces ravageurs. *De facto*, cette protection agroécologique des cucurbitacées se devait d'être envisagée à une échelle spatiale (agroécosystème, bassin versant, bassin de production), temporelle (plusieurs cycles de cultures, plusieurs années), et organisationnelle (gestion concertée entre agriculteurs, processus participatif de transfert) élargies. Concrètement, trois zones pilotes ont été définies, d'une part sur des critères écologiques, environnementaux et économiques, et d'autre part en recueillant l'adhésion des agriculteurs et des collectivités concernées. De plus, Gamour se proposant de concevoir un paquet technique compatible avec le cahier des charges de l'Agriculture Biologique, 4 fermes AB ont été sélectionnées avec l'appui du Gab. La première action sur ces sites a été de cartographier précisément les parcelles de toutes les exploitations contractualisées. Rapidement, le réseau de surveillance a été mis en place afin de suivre l'évolution des populations de mouches dans le temps et dans l'espace. Enfin, les opérations de transfert sur les sites pilotes se sont progressivement effectuées (formation des agriculteurs, distribution du matériel nécessaire), ainsi que le suivi technique hebdomadaire par les organismes dédiés (Gab, Chambre d'Agriculture, Farre Réunion, OP Terre Bourbon). A l'issue de ces trois années, la pertinence du choix des sites pilotes est confirmée. Les résultats sont probants, avec 80% des agriculteurs Gamour interrogés se déclarant satisfaits voire très satisfaits.

Mots-clés : agroécologie, sites pilotes, transfert, agriculteurs

Introduction

Les pratiques agricoles intensives sont rarement compatibles avec la notion d'agriculture durable. La culture des cucurbitacées à La Réunion est un exemple particulièrement révélateur de cet antagonisme. Ces légumes sont attaqués par trois espèces de mouches de la famille des Tephritidae qui causent de très lourds dégâts en dépit des grandes quantités d'insecticides utilisées par les agriculteurs. Les études préalables au projet Gamour montrent que 70% des agriculteurs interrogés jugent ces produits inefficaces et/ou doutent de leur rentabilité (Aubry *et al.*, 2009 ; Deguine *et al.*, 2011). Dans le cas précis des mouches des légumes, cette inefficacité est également liée au comportement de ponte : sur un cycle de 24h, ces mouches ne sont présentes qu'un laps de temps très court sur les cultures. L'essentiel de leur rythme circadien se déroule dans la végétation environnante où elles s'accouplent et trouvent abri et nourriture (Brevaut & Quilici, 2000 ; Nishida & Bess, 1957). L'efficacité de la protection agrochimique a donc montré ses limites en provoquant l'apparition de résistances chez les ravageurs et l'élimination de la faune auxiliaire (Deguine *et al.*, 2008), tandis que les solutions alternatives jusque là disponibles (pratiques culturales, lutte biologique, piégeage sexuel ou alimentaire...) sont encore peu utilisées à La Réunion ou manquent d'efficacité (Ryckewaert *et al.*, 2010). Le projet Gamour (2009-2011) a pour ambition d'apporter une réponse agroécologique à ce problème agrochimique. La protection agroécologique a trois composantes principales : la prophylaxie, la lutte biologique de conservation et la gestion des habitats végétaux (Deguine *et al.*, 2008). De plus, elle propose une gestion des habitats à des échelles de temps, d'espace et de gestion élargies (Ferron & Deguine, 2005). Ainsi, le projet Gamour a intégré dans sa construction la notion de changement d'échelle : spatiale (agroécosystème, bassin versant, bassin de production), temporelle (plusieurs cycles de cultures, trois années), et organisationnelle (gestion concertée entre agriculteurs, processus participatif de transfert).

Critères de choix des sites pilotes et des exploitations certifiées AB

Au début de l'année 2009, l'objectif était de sélectionner définitivement les trois sites pilotes parmi ceux pré-sélectionnés lors de la construction du projet. Pour cela, un certain nombre de critères ont été retenus. Nous pouvons les classer en deux grandes catégories : scientifiques d'une part et socio-économiques d'autre part.

Les critères scientifiques liés à la démarche agroécologique

Nous l'avons évoqué, la protection agroécologique des cultures repose sur la notion de gestion d'agro-écosystèmes. Il s'agit alors de prendre en considération des facteurs liés à la production en tant que telle, mais également à l'environnement immédiat des parcelles et l'intégration de ces parcelles dans un bassin de production. En ce sens, nous avons donc envisagé des **critères environnementaux** (bassins versants prioritaires avec la problématique de la protection des captages), et des **critères écologiques** (type de milieu, milieu ouvert ou fermé, cirque, en lisière de zones non cultivées...).

Les critères socio-économiques

Au-delà des considérations techniques et scientifiques, indispensables mais non suffisantes, le projet Gamour devait avant tout recueillir l'adhésion des agriculteurs concernés par la problématique des mouches des légumes sur cucurbitacées. Cette participation devait s'appuyer non plus sur le constat de la majorité d'entre eux de l'impasse technique de l'utilisation de pesticides, mais sur leur capacité à s'impliquer sur le long terme dans des changements de modes de raisonnement et de pratiques culturelles. Pour ce faire, les instigateurs de Gamour ont présenté aux agriculteurs, sur l'ensemble des sites présélectionnés, le projet, sa mise en œuvre, et les implications de chacune des parties prenantes. En parallèle, les organismes de développement (Chambre d'Agriculture, Cirad, Farre Réunion, Gab, OP Terre Bourbon) ont confronté leurs connaissances des sites en termes de typologie des exploitations, de localisation spatiale sur les zones... De plus, les communes concernées ont été invitées à participer au projet, en mettant en avant leur volonté de développer une agriculture durable et plus respectueuse de l'environnement.

Les exploitations AB

Les agriculteurs AB sont demandeurs de solutions techniques compatibles avec le cahier des charges AB. Le paquet technique Gamour a été conçu dans cette optique. Ainsi, en concertation avec le Gab, quatre exploitations ont décidé de prendre part de manière concrète au projet.

Au total, 28 exploitations « conventionnelles » et quatre exploitations AB ont été contractualisées, sur une surface totale d'environ 50 ha (Fig.s 1-3).

Cartographie des sites retenus

La cartographie précise des sites retenus était l'étape préalable à la mise en œuvre des actions sur le terrain. Une étudiante de Master 2 Génie urbain et Environnement (Cécile Guezello) a donc réalisé pour chaque site pilote des relevés GPS à la parcelle et a ensuite organisé les données dans un SIG, intégré dans le système d'information de l'observatoire des impacts (cf. X. Augusseau, *Démarche d'évaluation et mise en place d'un observatoire des impacts*). Les figures 2-4 présentent ces données pour chacun des trois sites pilotes.

Réseau de surveillance

L'objectif du réseau de surveillance est le suivi des populations de mouches sur les sites pilotes afin de suivre leur évolution dans le temps. En termes de méthodologie, il s'agit d'un piégeage spécifique au cue-lure (paraphéromone), soit un total de 50 pièges avec des relevés hebdomadaires. Ainsi, ces données ont permis de quantifier les niveaux des populations et leur évolution dans le temps, ce qui a constitué un indicateur pertinent pour mesurer l'évolution des populations capturées, avant, pendant et après le projet (cf. P. Rousse, *Résultats technico-économiques en milieu producteur*).

Transfert sur le terrain

Les opérations de transfert ont commencé en septembre 2009 avec l'intervention de la Chambre d'Agriculture, Farre Réunion, FDGDON et Terre Bourbon. Des formations ont été dispensées sur chaque site pilote aux agriculteurs. A l'issue de chaque session de formation, le matériel nécessaire a été distribué aux agriculteurs : attractifs alimentaires (*Synéïs Appât™*), pièges avec paraphéromone et augmentoria. Les 28 exploitations contractualisées ont ensuite fait l'objet de suivis hebdomadaires, réalisés par la Chambre d'Agriculture, Farre Réunion et Terre Bour-

bon. Pour les exploitations AB, les agriculteurs eux-mêmes étaient chargés de ces suivis. Les données étaient agrégées au niveau de l'observatoire des impacts.

Conclusion

La sélection des sites et des exploitations s'est révélée a posteriori pertinente puisque notamment les agriculteurs ont été impliqués en grande majorité pendant tout le projet. Une étude de satisfaction a été réalisée auprès des agriculteurs Gamour et 80% d'entre eux se sont déclarés satisfaits ou très satisfaits (cf. J. Busnel *et al.*, *Bilan et appropriation des techniques par les agriculteurs*). Par ailleurs, les collectivités partenaires (mairies) se sont réellement impliquées tout au long du projet. Il faut également noter l'effet levier de ces précurseurs sur les autres agriculteurs, ce qui constitue une perspective intéressante pour le transfert du paquet technique post-Gamour.

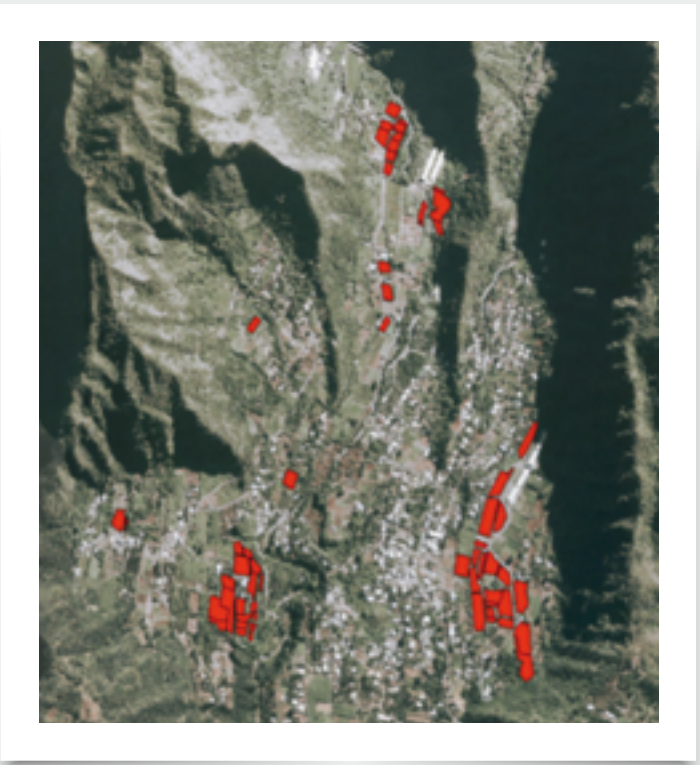
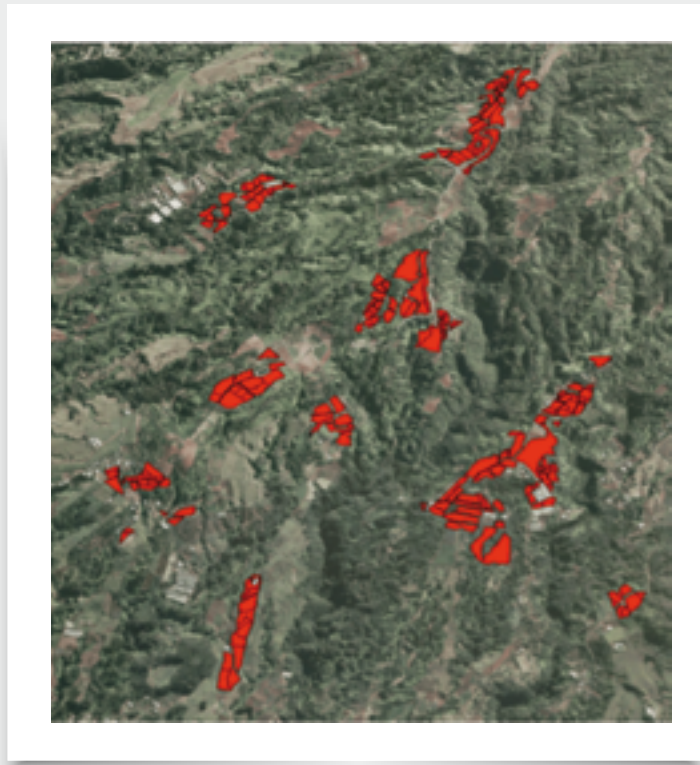


Figure 1
Cartographie de la zone pilote
de Petite-Ile (16 exploitations)
Mapping of the Petite-Ile pilot area (16 farms)

Figure 2
Cartographie de la zone pilote
de Salazie (3 exploitations)
Mapping of the Salazie pilot area (3 farms)

Figure 3
Cartographie de la zone pilote
de l'Entre-Deux (9 exploitations)
Mapping of the Entre-Deux pilot area (9 farms)

GAMOUR: CHOICE AND SETUP OF THE PILOT SITES

K. Le Roux & W. Suzanne

Farre Réunion, Pôle 3P,
97410 St Pierre, France

Abstract

Right from the beginning, the Gamour project has been based on the assumption that cucumber flies could only be managed by an agroecological approach. It should *de facto* be implemented on a large physical scale (agrosystem, productive basin, hydrologic basin), a large time scale (several years and crop cycles), and large-scale organization (inter-grower partnerships with participative decision-making). Three pilot areas were defined, taking account of ecological, environmental and financial parameters, as well as the involvement of the farmers and municipalities. As Gamour intended to develop a technical package compatible with organic farming, four organic farms were also selected with the support of the Gab. The first phase was to undertake precise mapping of each site, delimiting the farms and their fields. The monitoring network was quickly set up thereafter, in order to assess the evolution of fly populations in space and time. The next phases were training the farmers and distributing supplies, providing weekly technical support via the referral agencies (Gab, Chambre d'Agriculture, Farre Réunion, OP Terre Bourbon). After three years, these initial choices appear to be justified. Results are convincing, with 80% of the farmers claiming to be satisfied or very satisfied.

Keywords: agroecology, pilot sites, extension, farmers.

Introduction

Intensive agriculture rarely matches the principle of sustainable agriculture. Cucumber crops in Reunion are a striking example of this antagonism. These vegetables are attacked by three tephritid fly species which cause major damage, in spite of the large quantities of insecticides sprayed by farmers. Before Gamour, studies showed that 70% of farmers found these products inefficient and/or non cost-effective. (Aubry *et al.* 2009, Deguine *et al.* 2011). In the case of vegetable flies, this inefficiency stems from the flies' egg laying behavior: during a 24-hour cycle, flies are

present only for a very short time within the crops. Most of their circadian rhythm is spent in the surrounding vegetation, where they mate and forage for food and shelter (Brévaut & Quilici, 2000; Nishida & Bess, 1957). Agrochemical protection therefore showed its limits, causing resistance and harming auxiliary populations (Deguine *et al.* 2008). Meanwhile, alternative techniques (crop techniques, biological control, trapping) are still uncommon in Reunion, or lack effectiveness (Ryckewaert *et al.* 2010).

The Gamour project (2009-2011) sought to bring an agroecological response to this agrochemical concern. Agroecological protection relies on three main components: sanitation, conservative biological control and management of plant biodiversity. Furthermore, it encompasses large-scale management in space and time (Ferron & Deguine 2005). Gamour thus included a notion of scale shifting throughout its design stage: within space (agrosystem, productive basin, and hydrologic basin), time (several years and crop cycles), and organization (inter-grower partnerships with participative decision-making).

Parameters of the pilot sites and organic farms

During early 2009, the goal was to select three pilot sites among those which had been pre-selected during the design stage of the project. Several criteria were involved, which can be divided into two categories, scientific and socio-economic.

Scientific criteria used in the selection of pilot farms

We have shown that agroecological protection relies on the proper management of farmed agroecosystems. It implies taking into consideration the factors associated with the production itself, but also the surrounding vegetation, and the integration of these fields within a production basin. We subsequently

selected environmental criteria (protected hydrologic basins), and ecological criteria (open or closed environment, cirque and non-cultivated surroundings.)

Socio-environmental criteria

Beyond the scientific and technical considerations, the Gamour project should firstly be accepted by the farmers having to deal with the problem of cucumber flies. Their participation was not solely based on the fact that most of them were at a technical dead end in terms of pesticides, but also depended on their willingness to get involved on a long-term basis and change their growing practices. The farmers and agencies involved were all given a presentation of the project, the procedure and the implications for each pre-selected site. In addition, the scientific and technical staff of the Chambre d'agriculture, Cirad, FARRE Réunion, Gab, OP Terre Bourbon shared their knowledge of the sites in terms of typology and spatial distribution. Local authorities were approached to be part of the project, drawing on their desire to develop sustainable and environmentally-friendly agriculture.

Organic farms

Organic farmers also need technical solutions. The technical package of Gamour was developed in this regard. Four organic farms were chosen with the support of the Gab, to take part in the project.

Location of pilot sites

After taking into account the above mentioned criteria, the position of the pilot sites is shown in figure 1.

Mapping the sites

Mapping the selected sites was undertaken before beginning the project. It was done by Cécile Guezello, Master 2 student in Urban and Environmental Engineering. Using GPS data, she mapped every field at each pilot site. The data was then integrated into a GIS linked to the impact register. Figure 2-4 presents these data for the three pilot areas. A total of 28 "conventional" farms and 4 organic farms were selected, for a total surface area of about 50 ha of vegetable crops.

Monitoring network

The goal of the network was to spatio-temporally monitor the evolution of fly populations on the pilot

sites. A fly-trapping system was used comprising 50 traps which were emptied and studied every week. It can therefore be used as an indicator to assess the evolution of fly populations before, during and after the project.

Field operations

Field operations started in September 2009 with the participation of Farre Réunion, Chambre d'Agriculture, FDGDON and Terre Bourbon. Training sessions for the farmers were organized at the pilot sites. Supplies were handed out: food baits, parapheromonal traps and augmentoriums. All farms were visited weekly by a technician from one of the above mentioned agencies. In the organic farms, the farmers themselves were in charge of the recording. Data were sent to the impact register.

Conclusion

The choice of pilot sites was a success because nearly all of the recruited farmers were involved throughout the entire project. A satisfaction survey showed (*cf.* J. Busnel *et al.*, *Assessment and adoption of Gamour methodology by the farmers*) that 80% of the farmers involved claim to be satisfied or very satisfied. In addition, local authorities participated in the project. We noticed the motivating impact of the project on other farmers, which is an interesting opportunity for future development of the package.

DÉMARCHE D'ÉVALUATION ET MISE EN PLACE D'UN OBSERVATOIRE DES IMPACTS

X. Augusseau

Cirad, UMR TETIS, Station de la Bretagne,
BP 20, 97408 Saint Denis Messagerie cedex 9, France

Résumé

Dans le cadre du projet Gamour, un observatoire des impacts a été développé pour mesurer l'efficacité des actions de la stratégie Gamour et évaluer l'impact du projet sur les activités des producteurs. L'observatoire a produit (I) un état initial de la situation des exploitations maraîchères, (II) un dispositif de suivi, et (III) un bilan de l'appropriation du projet par les exploitations. La caractérisation des exploitations maraîchères, accompagnée d'une analyse des stratégies de lutte existantes, a mis en évidence la grande diversité des exploitations et des stratégies de lutte, ainsi qu'un accès différencié aux dispositifs d'appui agricole. Après avoir identifié les domaines d'observation pertinents et élaboré une grille d'indicateurs, un dispositif de suivi a été mis en place. Il est constitué d'un réseau de surveillance entomologique sur les sites pilotes et d'un suivi technico-économique des exploitations candidates. Une application informatique associée au site web du projet permet la collecte centralisée en ligne des données puis une restitution des indicateurs sous la forme de tableaux de bord et de graphes. Le fonctionnement du dispositif de suivi a permis de formaliser le pilotage et le suivi des actions du projet. Néanmoins il s'est heurté à quelques difficultés dans le suivi régulier des exploitations. Il servira de référence pour le futur projet Biophyto (production durable de mangues sans insecticide à La Réunion).

Introduction

Dans le cadre du projet Gamour, qui vise à proposer une nouvelle stratégie de lutte phytosanitaire aux maraîchers, la mise en place d'un observatoire a été programmée pour évaluer les impacts des différentes innovations sur les exploitations candidates et s'assurer d'une bonne appropriation par les producteurs. L'observatoire vise à mesurer l'efficacité des actions de la stratégie Gamour et évaluer l'impact du projet sur les activités des producteurs. En appui à la coordination et au pilotage du projet, la mise en

place d'un observatoire permet de formaliser le suivi et l'évaluation des actions du projet Gamour en définissant un cadre de travail commun aux différents partenaires pour obtenir un suivi homogénéisé et assurant une capitalisation de l'information. L'observatoire est composé de trois modules : (I) un diagnostic initial des exploitations maraîchères candidates, (II) un dispositif de suivi des exploitations, et (III) un bilan de l'appropriation de la stratégie Gamour par les exploitations (cf. J. Busnel *et al.*, *Bilan et appropriation des techniques par les agriculteurs*).

Méthodes

La réalisation d'un état initial, qui permet d'analyser les évolutions induites par le projet, a consisté à caractériser les exploitations maraîchères des sites pilotes et cartographier le parcellaire pour décrire les assolements et évaluer les systèmes de production. Vingt-huit exploitations ont été enquêtées pour (I) décrire les structures d'exploitations, (II) analyser les stratégies de lutte contre les mouches des légumes, et (III) caractériser les relations de l'exploitation avec les organismes d'appui agricole.

La mise en place d'un dispositif de suivi a été menée en deux phases. Une analyse des besoins a été réalisée avec des entretiens auprès des agriculteurs et des partenaires du projet Gamour pour identifier les domaines d'observation pertinents. Des groupes de travail ont ensuite permis de choisir puis de décrire les différents indicateurs qui renseignent les cinq domaines d'observation. La description des indicateurs a permis de recenser les données à récolter et de préciser les modalités de collecte. La deuxième étape a été consacrée au développement informatique d'une application dont les principales fonctionnalités sont de (I) mettre à jour en ligne les données récoltées et (II) restituer en ligne les indicateurs sous la forme de graphes et de tableaux de bord,

aux échelles de l'exploitation et du site pilote. Deux types de suivi ont été ainsi formalisés : (I) un système de surveillance des mouches géré par le Cirad, (II) un système de suivi des exploitations mis en œuvre par la chambre d'agriculture et trois autres partenaires. Une fiche de suivi des pratiques a été élaborée pour un suivi hebdomadaire des exploitations candidates.

Résultats

Diagnostic initial

Le diagnostic initial a mis en évidence une grande diversité de situations au sein des trois sites pilotes du projet qui se traduit par :

- L'existence de quatre groupes d'exploitations qui se distinguent par la part des cucurbitacées dans la production, leur équipement et le mode de commercialisation : (I) grandes exploitations maraîchères, (II) grandes exploitations maraîchères en OP, (III) petites exploitations maraîchères, (IV) petites exploitations en fin de cycle.

- Trois types de stratégies de lutte sont mise en œuvre : (I) conventionnelle avec une application, soit systématique soit au besoin, de traitements d'insecticides ; (II) de repli avec un abandon ou une diminution des surfaces cultivées ; (III) adaptative avec un arrêt des traitements ou un décalage de la période de culture.

- Des exploitations maraîchères qui se différencient par leur niveau d'insertion sociale. On observe ainsi un gradient qui va de l'absence de relation avec les organismes agricoles à une forte intégration dans les dispositifs d'appui agricole qui se traduit par des démarches de labellisation et l'appartenance à une coopérative.

Le dispositif de suivi

L'analyse des besoins a permis d'identifier cinq domaines d'observation qui seront alimentés par des indicateurs dans l'observatoire (Tab. 1). La collecte de données de suivi des exploitations a du être adaptée pour être plus simple et rapide pour le technicien mais aussi pour l'agriculteur. Ainsi trois versions de fiche de suivi ont été conçues. Au final, le suivi a consisté à (I) évaluer qualitativement les pratiques Gamour réalisées par l'exploitant, (II) consigner des données de production (nombre de caisses commercialisées) et l'évaluation des pertes par l'exploitant, (III) noter le stade de culture des productions de cucurbitacées, et (IV) relever le nombre de traitements curatifs réalisés sur cucurbitacées et noter les commentaires éventuels de l'exploitant.

Conclusion

Après deux campagnes de suivi, le bilan de la mise en œuvre de l'observatoire est mitigé. Le réseau de surveillance des mouches des légumes a parfaitement fonctionné avec des mesures régulières. La production de graphes a bien mis en évidence les fluctuations saisonnières de la pression des mouches (cf. P. Rousse, *Résultats technico-économiques en milieu producteur*). Ces résultats ont fait l'objet de discussions avec les exploitations qui ont tendance à sur-évaluer la pression des mouches.

Le suivi des exploitations a été plus difficile et s'est traduit par une collecte de données irrégulière (cf. P. Rousse, *Les difficultés liées à l'évaluation du transfert en maraîchage*). Les données sur la production se sont souvent avérées trop peu fiables pour être analysées. Il a fallu recourir à d'autres sources de données par le biais des coopératives. Ces difficultés ont plusieurs causes. Le statut des exploitations maraîchères, dont la majorité n'est pas habituée à avoir de relations régulières avec un technicien, explique l'irrégularité dans le suivi. En outre ceux-ci doivent gérer simultanément différentes productions et résoudre de nombreuses contraintes liées aux aléas de la production et des contraintes du marché (prix). Cette situation a deux conséquences qui compliquent le suivi de ces exploitations. Une production correspond souvent à plusieurs cycles de cultures réalisées sur de petites surfaces, dont il va être difficile de faire un bilan. Enfin, les stratégies de production qui sont développées se traduisent par des ajustements permanents qui ne sont pas forcément compatibles avec un suivi qui vise à tracer et mémoriser des pratiques et des résultats de production.

Finalement c'est le nombre de traitements chimiques réalisés par les exploitations candidates qui s'est avéré être un indicateur facile à construire et suffisamment informatif sur la situation de chaque agriculteur. Il renseigne bien sur le bilan global du projet Gamour et de son adoption par les maraîchers.

Cette démarche de construction d'un observatoire, qui initialement n'était pas programmée dans le projet Gamour, reste malgré tout positive. Les acquis de la démarche, sur la construction des indicateurs et cette expérience, de la mise œuvre d'un suivi et de la collecte de données, seront mobilisés conjointement sur les projets Biophyto et Ecofrut, projets qui visent également à promouvoir des innovations en terme de protection phytosanitaire.

Tableau 1

Domaines d'observation retenus pour la création d'indicateurs de suivi

DOMAINE D'OBSERVATION	INDICATEURS
Evaluer l'efficacité de la méthode SP5	Suivi de l'évolution de la pression des mouches des légumes Suivi de l'évolution de l'équilibre écologique (mouches vs parasitoïdes)
Impact sur la production	Suivi de l'évolution de la production commercialisée Suivi de l'évolution de la qualité de la production
Evaluation économique	Suivi économique des systèmes de culture (cucurbitacées)
Impact sur l'organisation de l'exploitation	Suivi des calendriers culturaux
Bilan de l'appropriation de Gamour par les agriculteurs	Suivi de l'évolution des connaissances des agriculteurs Suivi de l'évolution des pratiques des agriculteurs

Table 1

observation fields surveyed by the impacts observatory

OBSERVATION FIELD	INDICATORS
Evaluation of the SP5 efficiency	Monitoring of the flies populations Monitoring of the ecological interactions (flies vs parasitoids)
Impact on yields	Volumes and quality of the commercialized vegetables
Economical assessment	Balance sheet of the farm
Impact on agricultural planning	Crop schedules
Farmers appropriation	Evolution of the knowledges and practices of the farmers

EVALUATION OF METHODOLOGY AND CREATION OF AN IMPACT REGISTER

X. Augousseau

Cirad, UMR TETIS, Station de la Bretagne, BP 20, 97408 Saint Denis Messagerie cedex 9, France

Abstract

An impact register was designed for the Gamour project. It aims to promote an innovative pest control strategy based on agroecological principles in Reunion Island. The objectives are to assess both the effectiveness of the agroecological crop protection strategy and the impact on farmers. The register has produced (I) an initial assessment of the farmers' situation, (II) a monitoring system, and (III) a farmer satisfaction survey. The survey has shown a great diversity of farm structures and pest control strategies. After identifying and building a set of indicators, a monitoring system was designed. It is made up of a fly population monitoring network in the pilot areas and socio-economic monitoring of farming practices. The register is accessed via a website in order to facilitate and centralize data collection, and to provide on-line access to the indicators through charts and tables. Designing the register helped in the management and monitoring of the project, even if the socio-economic survey was difficult to accomplish. It was a good tool which will doubtless be used again in similar agro-ecological projects.

Keywords: indicators, assessment tools, monitoring system.

Introduction

The Gamour project advocates a new pest control strategy for vegetable growers. To this end, we set up an on-line register in order to assess the impact of the different practices (the SP5 "toolbox") on the farms and to ensure their correct use by the farmers. The register intends to measure the effectiveness of the various aspects of the project and assess their impact on farmers. This setup allows standardization of monitoring and evaluation of the project by creating a shared framework for all partners to share information.

The register contains three components: (I) an initial assessment of the farms, (II) a survey system of the

farms, and (III) a final outcome of the adoption of the Gamour strategy by farmers (cf. X. Augousseau *Assessment and adoption of Gamour methodology by the farmers*).

Methods

The initial assessment provides a snapshot which allows subsequent comparisons to be made. It included a characterization of the vegetable farms, and a thorough mapping to assess the production systems. We surveyed 27 farms in order to (I) describe their structure, (II) analyze their control strategies against fruit flies, and (III) characterize their relationships with agricultural agencies. The setup of the survey system was done in two steps. Firstly, farmers and Gamour partners were interviewed to ascertain their requirements in order to identify areas relevant for observation. During workshops, indicators for five areas of observation were chosen. The delimitation of the indicators identified data needed and to specify the procedures for their collection. The second step was the development of an on-line application to assist in (I) updating field data and (II) providing graphs and tables for each of the pilot sites (Touron, 2010). Two survey systems were organised: a fly monitoring network (Cirad) (Guezello, 2009) and weekly technical support (Chambre d'Agriculture and three other partners). A practices survey was developed for the technical support.

Results

Initial assessment

It showed a large diversity within and between the three pilot areas

■ Four types of farms were defined, according to the proportion of cucurbit cultivation as a percentage of total production, their equipment and marketing

methods: (I) large independent vegetable farms, (II) farms belonging to a producers organization (OP), (III) small farms, and (III) small farms in cessation (Fontaine, 2009).

■ The three control strategies were: (I) conventional, with systematic or occasional insecticide treatments, (II) cessation of cultivation, (III) adaptive, i.e. stopping treatments and/or shifting the growing periods.

■ There was a strong gradient in farms' level of social insertion, ranging from a total absence of relationship with agricultural agencies to a strong integration within the agricultural support system, expressed by labeling démarches or their inscription to an OP (Roche, 2009).

Survey system

The needs analysis identified five observation areas whose indicators would be recorded in the impact register (Table 1). Farm data collection had nevertheless to be adapted, to be quicker and simpler for both farmers and technicians. Thus, three practice surveys were created. The recorded indicators were (I) a qualitative evaluation of SP5 methods by the farmer, (II) yield and losses, (III) the agricultural phase of the current crop, (IV) the number of pesticide treatments, if any, and finally any additional comments .

Conclusion

After two monitoring operations, the final review is mixed. The fly monitoring network worked perfectly and gave consistent results. Graphs clearly show seasonal variations in the populations. These results were discussed with some farmers who tended to over-evaluate the impact of flies on their crops. The weekly technical appraisal was more difficult and produced irregular data, a great deal of which was not deemed reliable enough to be used (*cf. P. Rousse, difficulties related to the transfer evaluation for vegetable growers*). As a result, we had to ask OP for additional data. These difficulties were generated by the irregularities of farms, many of which are not used to dealing with technicians. Moreover, farmers have to deal simultaneously with several crops, each of them being subject to production and commercial hazards. A total weekly yield is often the sum of several small crops which are hard to quantify. Finally, the production strategies used tend to result in permanent adjustments that are not always compatible with monitoring, whose aim is to track and record practices and results. Finally, the number of chemical

treatments was revealed to be an useful indicator of each farm's state of affairs. It provides a good indication of the overall result of the Gamour project and its adoption by growers.

The development of an impact register, though initially not planned, was nevertheless worthwhile. The achievements of the approach, the creation of indicators for the trials, the monitoring and data collection will be used on both Biophyto and Ecofrut projects, whose aim is also to promote innovations in plant protection.

RÉSULTATS TECHNICO-ÉCONOMIQUES EN MILIEU PRODUCTEUR

P. Rousse¹, C. Ajaguin-Soleyen², V. Desutter¹, E. Douraguia², B. Logoras³, M.-L. Moutoussamy², E. Poulbassia¹, & W. Suzanne³

1. Chambre d'Agriculture de La Réunion, 24 rue de la Source, 97400 St Denis, France

2. Cirad, UMR C-53 PVBMT, 97410 Saint Pierre, France

3. Farre Réunion, Pôle 3P, 97410 St Pierre, France

Résumé

Les maraîchers réunionnais estiment que les mouches des cucurbitacées (Diptera : Tephritidae) leur font perdre en moyenne plus de 40% de production, et souvent 100% en période estivale. Face à ces mouches, plus de 70% des agriculteurs interrogés estiment que la protection chimique est inefficace ou non rentable. Durant l'application en milieu producteur du projet Gamour (septembre 2009-juillet 2011), nous avons suivi trois zones pilotes de la Réunion. Le réseau de piégeage au cue-lure nous montre que les populations de *Dacus demmerezi* (Bezzi) et *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) sont maintenues à un faible niveau tout au long de l'année sur Salazie (700 m d'altitude). Les zones de l'Entre-Deux (600 m) et Petite-Ile (800-1200 m) montrent respectivement une pullulation estivale des populations de *B. cucurbitae* ou *D. demmerezi*. L'analyse des résultats de production porte sur le suivi de 7, 6 ha de treilles de chouchou, et de 19 cycles de courgette comparés à sept cycles « témoins ». Elle montre une tendance à l'augmentation des rendements et/ou la réduction des pertes, sans confirmation statistique possible cependant. La différence économique majeure porte donc sur la quasi-absence des traitements insecticides curatifs sur les productions protégées par la méthodologie Gamour : 0, 1 traitement/cycle contre 4, 2 en protection classique, sans conséquence négative sur la production. Le point de satisfaction commun à tous les agriculteurs est la baisse des coûts de protection : la méthodologie Gamour est estimée entre 1, 2 et 4, 2 fois plus économique qu'une protection « classique ». D'autres points de satisfaction, plus diversement mentionnés, font l'objet d'une enquête menée en parallèle.

Introduction

Le dilemme production/durabilité est parfaitement illustré à La Réunion par le problème des mouches des légumes (famille des Tephritidae). Quatre espèces sont concernées : une sur tomate, *Neoceratitis cyanescens* (Bezzi), et trois sur cucurbitacées : *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett), *Dacus ciliatus* Loew et *D. demmerezi* (Bezzi) (Fig. 1). Depuis près d'un demi-siècle, les Tephritidae s'attaquant aux légumes ont fait l'objet de nombreuses études et synthèses, principalement en raison de leur incidence économique (Nishida & Bess, 1957 ; Dhillon *et al.*, 2005). Ainsi, les mouches des légumes sont les ravageurs principaux des cultures maraîchères à La Réunion, pouvant détruire jusqu'à l'intégralité de la production. Certaines cultures, comme le chouchou (*Sechium edule*) cultivé traditionnellement à La Réunion, sont localement menacées de disparition. A La Réunion, la protection agrochimique actuelle contre ces ravageurs se révèle inefficace et présente de nombreux inconvénients. En effet, les traitements phytosanitaires effectués sur les cultures de cucurbitacées dépassent régulièrement les deux interventions hebdomadaires, sans pour autant diminuer les dégâts liés à ces ravageurs. Lors d'études préalables, 70% des agriculteurs interrogés jugent les pesticides (organophosphorés, carbamates et pyréthrénoïdes principalement) inefficaces et/ou doutent de leur rentabilité (Aubry *et al.*, 2009, Deguine *et al.*, 2010). Néanmoins, ne disposant pas de solution alternative concrète, peu remettent en cause leurs pratiques. Nous avons donc souhaité répondre à cet enjeu phytosanitaire majeur par une protection efficace et durable fondée sur les principes de l'agroécologie. L'approche envisagée dans Gamour est tout à fait cohérente avec les orientations prises dans certains pays pour le contrôle des mouches des légumes et qui s'appuient sur une approche de gestion à grande échelle (Area-Wide Pest Management) (Tan, 2000). Elle est égale-

ment en parfait adéquation avec le projet gouvernemental Ecophyto 2018, visant la réduction de moitié des pesticides utilisés (si possible !). L'un des objectifs majeur de tout programme associant recherche et développement concerne le transfert des innovations au public ciblé. Or, l'appropriation de Gamour par les agriculteurs dépend en tout premier lieu de son impact technico-économique : le premier critère de jugement par les producteurs est l'efficacité et la rentabilité de la méthode de protection. L'impact de cette méthodologie sur les productions de cucurbitacées et les populations de mouches à été suivi durant deux ans, grâce à un réseau de surveillance et au suivi technique hebdomadaire des exploitations concernées. Ici sont présentés les résultats obtenus par ces deux types de suivi.

Matériel et méthodes

Suivi des populations de mouches sur les zones pilotes

Les populations de *B. cucurbitae* et *D. demmerezi* ont été suivies par un réseau de piégeage au cueilure sur les trois zones pilotes de Salazie (700 m d'altitude), Entre-Deux (600 m) et Petite-Ile (800-1000 m). Chacune de ces zones comportait respectivement trois, six et dix pièges relevés et analysés chaque semaine, pour une densité finale de un piège pour deux à trois hectares de zone maraîchère. Sur la zone pilote de Salazie, les niveaux d'infestation ont également été suivis par la récolte hebdomadaire de chouchous (cf. J.-P. Deguine, *Gestion agroécologique des populations de mouches des légumes en culture de chouchou*).

Suivi technique hebdomadaire des exploitations pilotes

Un total de 21 exploitations « conventionnelles » ont pu être suivies de septembre 2009 à juillet 2011. Durant les périodes de cultures de cucurbitacées, du semis jusqu' à la fin de la récolte, chacune de ces exploitations était suivie hebdomadairement par un technicien référent afin de garder un contact constant, assurer un suivi logistique, répondre aux difficultés pratiques et enregistrer les résultats en termes d'application de la méthode, de production et de pertes dues aux mouches. Ce type de suivi est indispensable pour le transfert de la méthodologie. Cependant, les différentes difficultés inhérentes au maraîchage font que seule une fraction des données récupérées par ce suivi sont exploitables (cf. P.

Rousse, *Les difficultés liées à l'évaluation du transfert en maraîchage*). Cette fraction est détaillée pour chacune des zones suivies.

■ Salazie

Pour la zone de Salazie, l'évolution de la production a pu être suivie sur une base pluriannuelle grâce à l'affiliation du principal producteur à l'OP Vivéa. Les données traitées concernent donc les tonnages mensuels livrés à la coopérative.

■ Entre-Deux

La culture principale de cette zone est le chouchou. Les données analysées sont les récoltes et pertes imputées aux mouches chaque semaine durant la totalité de la période de suivi (déclarations d'agriculteurs).

■ Petite-Ile / Piton Hyacinthe

La culture majoritaire de la zone est la courgette. Les variables suivies sont le nombre de traitements insecticides curatifs par cycle cultural, le rendement de chaque parcelle et les pertes de production imputées aux mouches. Les données analysées sont soit issues des organisations de producteurs (Terre Bourbon), soit des déclarations d'agriculteurs corroborées par des échantillonnages au champ et des factures. A titre de comparaison, ces données issues d'exploitations Gamour sont confrontées à des données du même type issues de deux exploitations conventionnelles, hors zone pilote (Piton Hyacinthe), et donc protégées de façon « classique ». A noter que ces deux exploitations « témoins » utilisent pour la protection des cultures de courgette une méthodologie combinant la lutte chimique raisonnée, la prophylaxie et le piégeage sexuel. Elles sont donc représentatives d'itinéraires techniques proches de l'agriculture raisonnée et sont donc l'un des cas de figure les plus respectueux de l'environnement en termes de maraîchage non AB à la Réunion (données SicaTR).

Comparaison économique des coûts de protection

Afin d'évaluer la différence entre les coûts d'une protection « classique » et d'une protection Gamour, nous avons consolidé les données issues des enquêtes préalables (Fontaine & Augusseau, 2009 ; Deguine *et al.*, 2009), du suivi technique et des prix constatés en magasins. Cette comparaison est ramenée à un hectare de culture de cucurbitacées, cultivé en continu durant la période estivale de novembre à mars. Par souci d'homogénéisation, nous avons considéré que, sur cette période, les niveaux

de récoltes dans les parcelles Gamour ne sont pas supérieurs à ceux constatés auparavant par les agriculteurs.

La base méthodologique Gamour utilisée pour cette évaluation est celle détaillée dans le guide de formation Gamour. En ce qui concerne la méthodologie « classique », le croisement des enquêtes préalables nous donne une moyenne de un à deux traitements hebdomadaire durant la période considérée, les spécialités les plus communément utilisées étant le Cyperfor™ ou le Danadim™. Ces deux insecticides ont un coût d'application relativement similaire qui est considéré en référence dans la comparaison.

Résultats

Suivi des populations de mouches sur les zones pilotes

La figure 2 représente les captures hebdomadaires de mâles de *B. cucurbitae* et *D. demmerezi* durant 108 semaines sur les zones pilotes de Salazie, l'Entre-Deux et Petite-Ile. Chacune de ces courbes présente un profil différent. A Salazie, le nombre de mâles capturés, pour les deux espèces, diminue très fortement dans les trois premiers mois, et reste maintenu à très faible niveau (< 3 / jour / piège) pendant les deux années. A l'Entre-Deux, le constat est le même pour *D. demmerezi*, mais les captures de *B. cucurbitae* augmentent fortement (de 3 à 9-15 / jour /piège) durant les mois d'été. A Petite-Ile, le nombre de *B. cucurbitae* reste faible en permanence, alors que les captures de *D. demmerezi* augmentent ponctuellement mais très fortement (jusqu'à 30-40 / jour / piège) durant les mois de janvier à mars.

Données de production

■ Chouchou (Salazie)

Le suivi des productions de chouchou sur Salazie concerne 3.2 ha de treille. La figure 3 présente la comparaison sur quatre ans des tonnages de chouchou commercialisés chaque mois par l'exploitation principale de la zone (2.3 ha).

Cette production peut être comparée avant (2007-2009, hachuré) et après (2009-2011, trait plein) la mise en place de la protection Gamour. Cette figure montre que le rendement est maintenu à un niveau équivalent durant les quatre années pour la période juillet-janvier. Pour la période février-juin, les rendements apparaissent par contre sensiblement plus

élevés depuis l'application de la méthodologie Gamour. Sur l'ensemble de l'année, le producteur a déclaré des pertes dues aux mouches toujours inférieures à 20%, sans aucun traitement insecticide classique (exploitation en cours de certification AB).

■ Chouchou (Entre-Deux)

A l'Entre-Deux, l'ensemble des quatre exploitations suivies produisant du chouchou totalise 4.4 ha de treille, dont 2.4 ont pu fournir des données exploitables sur toute la durée du projet (deux exploitations). Les rendements étant très différents entre ces deux exploitations, l'analyse porte donc sur l'évolution pluriannuelle des taux de pertes déclarés par les agriculteurs. Cette évolution moyenne est présentée dans la figure 4. Le seuil de 20% de perte correspond approximativement au seuil au dessus duquel l'agriculteur considère ses pertes comme trop importantes.

Selon les déclarations des agriculteurs concernés, ces pertes restent inférieures à 20% de la production durant neuf à dix mois de l'année, sans aucun traitement insecticide curatif. Ces pertes ont par contre nettement augmenté durant les mois de janvier à mars. L'un des agriculteurs a déclaré deux ans de suite des pertes allant jusqu'à 50% de la production en février, l'autre a suspendu sa récolte pour la même période. Durant cette période de plein été, le premier agriculteur a effectué une moyenne de 0.6 traitement insecticide hebdomadaire en 2010 et 2011 (aucun traitement pour le deuxième).

■ Autre cultures

Toutes zones pilotes confondues, nous avons enregistré durant ces deux années un total de 65 cycles culturaux de cucurbitacées (dont 51 sur la zone pilote de Petite-Ile) : 36 de courgettes, 14 de citrouilles, 11 de concombre et quatre de pastèques. La taille moyenne des parcelles considérées était de 0.2 ha à l'Entre-Deux, contre 0.3-0.4 ha à Petite-Ile. La courgette étant la culture la plus commune, c'est elle qui est retenue pour l'analyse économique. Dix-sept cycles ont produit des données suffisamment complètes et fiables pour être utilisées. Ces cycles Gamour sont comparés aux neuf cycles de courgettes enregistrés dans les deux exploitations « témoins » de Piton Hyacinthe.

La comparaison est présentée dans le tableau 1. En termes de rendement final et de taux de pertes, le tableau montre une situation favorable dans les exploitations Gamour. Pour ces deux variables, le tableau montre également un fort étalement des valeurs autour des moyennes, empêchant toute séparation statistique. La différence majeure entre ces deux types

de protection repose sur les moyens utilisés pour arriver à ces résultats : 4.2 traitements/cycle (pyréthrénoïdes) pour les exploitations « témoins », contre une moyenne arrondie à 0.2 pour les exploitations Gamour, soit un total de trois traitements enregistrés pour les 17 cycles considérés.

Comparaison économique des coûts de protection

La comparaison des charges liées à la protection des cultures est présentée dans les tableaux 2 (temps de travail) et 3 (coût financier). Le coût de l'application de la méthodologie Gamour varie selon le temps passé à la prophylaxie, temps qui varie selon la culture, la période et l'exploitation entre 0 et 2 h/semaine/ha/personne. L'autre source de fluctuation retenue est le nombre de traitements insecticides en protection classique : nous considérons qu'une échelle de 1 à 2 traitements hebdomadaires est plus représentative des usages déclarés qu'une simple moyenne.

En fonction de ces deux variables, le temps de travail nécessaire à l'application de Gamour est de un à cinq fois inférieur à celui d'une protection classique. Traduite en termes financiers et associée au coût d'achat des fournitures, cette même protection Gamour est de 1.2 à 4.2 fois plus économique.

Discussion

Les relevés des pièges au cue-lure témoignent de la diversité des situations rencontrées. Dans deux cas sur trois, on peut constater une pullulation estivale des mouches qui correspond à la période de l'augmentation des dégâts sur les cultures. Il convient cependant d'être prudent avec ces piégeages qui ne reflètent que partiellement la présence effective des mouches. Les raisons en sont simples : le cue-lure ne capture que des mâles, et ne capture pas *D. ciliatus*. La détection de cette troisième espèce demande la mise en place d'une autre méthode de suivi, comme les placettes de références qui ont pu être ponctuellement expérimentées durant Gamour.

Dans le cas de Salazie, ces pullulations apparaissent maîtrisées. C'est également la zone où les dégâts observés ont été les plus faibles de 2009 à 2011. Il s'agit également de la zone pilote la plus concentrée, où les trois exploitations suivies sont accolées et possèdent un fort potentiel de protection permanente en raison des 4.4 ha de treilles de chouchous où la méthodologie Gamour est appliquée en continu toute l'année. Cette observation soutient la nécessité

d'une considération de vastes échelles d'espace et de temps dans la conception d'une protection agro-écologique : l'effort concerté des agriculteurs dans une même zone de production augmente fortement l'efficacité de celle-ci. Notons que la plus vaste des trois exploitations concernées a demandé et obtenu une certification AB à la suite de ces résultats.

Les résultats de production nous permettent de faire un premier constat : les agriculteurs impliqués ont arrêté le recours systématique aux insecticides curatifs sans aucune conséquence négative pour leurs cultures. Les agriculteurs interrogés évoquent souvent des rendements plus élevés et/ou des pertes plus faibles, pour certains cette nouvelle méthodologie leur permet de reprendre des cultures auparavant abandonnées du fait de la pression des mouches (cf. J. Busnel *et al.*, *Bilan et appropriation des pratiques par les agriculteurs*). Nous ne pouvons cependant pas encore généraliser statistiquement ces points. L'analyse économique part donc du postulat abusif que la protection apportée par la méthodologie Gamour a une efficacité comparable à celle des insecticides curatifs. Et même cette estimation nous montre que le premier avantage de l'agriculteur est d'ordre économique puisque la méthodologie Gamour est financièrement plus intéressante pour lui. L'impact sanitaire et environnemental de Gamour est délicat à estimer aujourd'hui mais il est de fait positif. Prophylaxie et piégeage de masse n'ont aucun impact indésirable sur la faune et la flore de l'agro-écosystème. La seule matière active, le spinosad, est utilisée en quantités infinitésimales, et ce sans aucun contact avec les légumes cultivés. Rappelons que le spinosad est homologué dans le cadre de l'agriculture biologique.

Ce premier avantage d'ordre économique est le principal garant de l'appropriation de la méthodologie Gamour, donc de la durabilité de ce transfert et de la pérennisation de notre action. Peu d'agriculteurs accepteront de s'engager dans une démarche plus respectueuse de l'environnement s'ils risquent la faillite. S'y adjoignent d'autres points de satisfaction (amélioration des conditions de travail, respect des auxiliaires de culture...), plus ponctuellement cités, qui sont détaillés dans l'enquête finale de satisfaction présentée ci-après.

Tableau 1

Comparaison des données de production de courgette entre la zone pilote de Petite Ile (17 cycles) et la zone « témoin » de Piton Hyacinthe (9 cycles). Les mesures de dispersion correspondent aux écart-types (données TB, Sica TR et observatoire des impacts).

DONNÉES DE PRODUCTION		TÉMOIN	GAMOUR
Traitements insecticides	Moyenne / cycle	4.2 ± 1.3	0.2 ± 0.2
	Moyenne	13 ± 7	19 ± 8
Rendement (t/ha)	Max	3	4
	Min	21	31
Pertes (%)	Moyenne	34 ± 28	13 ± 15
	Max	5	0
	Min	70	60

Table 1

Comparison of zucchini yield data from the Petite Ile pilot area (17 cycles) and the Piton Hyacinthe « control » area. Dispersion measures are standard errors (data: Terre Bourbon, SicaTR and impacts observatory).

PRODUCTION DATA		CONTROL	GAMOUR
Insecticide treatments	Mean / cycle	4.2 ± 1.3	0.2 ± 0.2
	Mean	13 ± 7	19 ± 8
Yield (t/ha)	Max	3	4
	Min	21	31
Losses (%)	Mean	34 ± 28	13 ± 15
	Max	5	0
	Min	70	60

Tableau 2

Estimation comparative des coûts de protection d'un hectare de cucurbitacée contre les mouches des légumes, à l'aide d'une méthodologie curative classique ou de la méthodologie Gamour (voir le texte pour les détails).

	POSTE	GAMOUR	CLASSIQUE
Main d'œuvre (h/semaine)	Prophylaxie	0-2	NA
	Application protéines / insecticide	1	3-6
	Pose des pièges		NA
	Plantation et entretien de la bordure	0.2	NA
	Total	1.2-3.2	3-6
Coût (€)	Temps de travail	10-26	24-48
	Fournitures	13	20-40
	Total / semaine	29-39	44-88
	Total / saison	460-780	880-1760

Table 2

Comparative assessment of the protection costs of a cucurbit crop against fruit flies, with a Gamour or a classical methodology (see text for further details).

	ITEM	GAMOUR	CLASSICAL
Manpower time (h/week)	Sanitation	0-2	NA
	Bait spray / insecticide	1	3-6
	Traps settlement		NA
	Border sowing and maintenance	0.2	NA
	Total	1.2-3.2	3-6
Cost (€)	Manpower time	10-26	24-48
	Supplies	13	20-40
	Total / week	29-39	44-88
	Total / season	460-780	880-1760

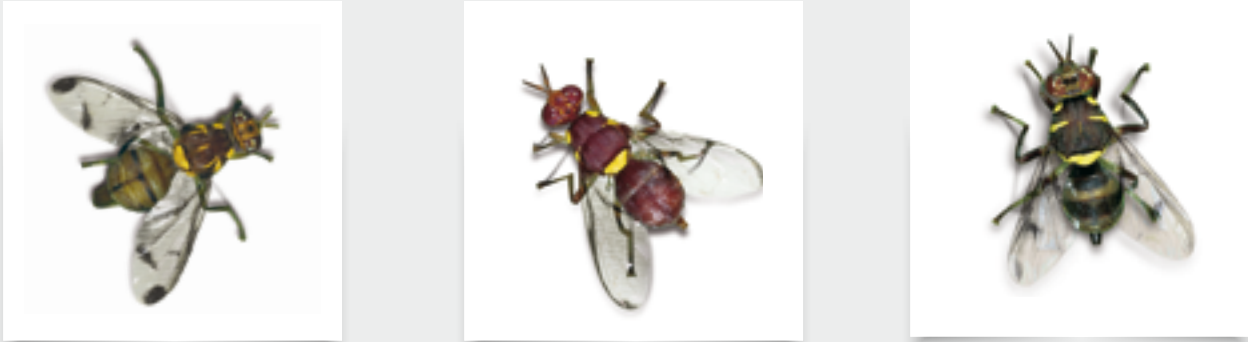


Figure 1
 Mouches des cucurbitacées.
 De gauche à droite : B. cucurbitae, D. ciliatus, D. demmerezi
 Cucurbit flies.
 From left to right: B. cucurbitae, D. ciliatus, D. demmerezi

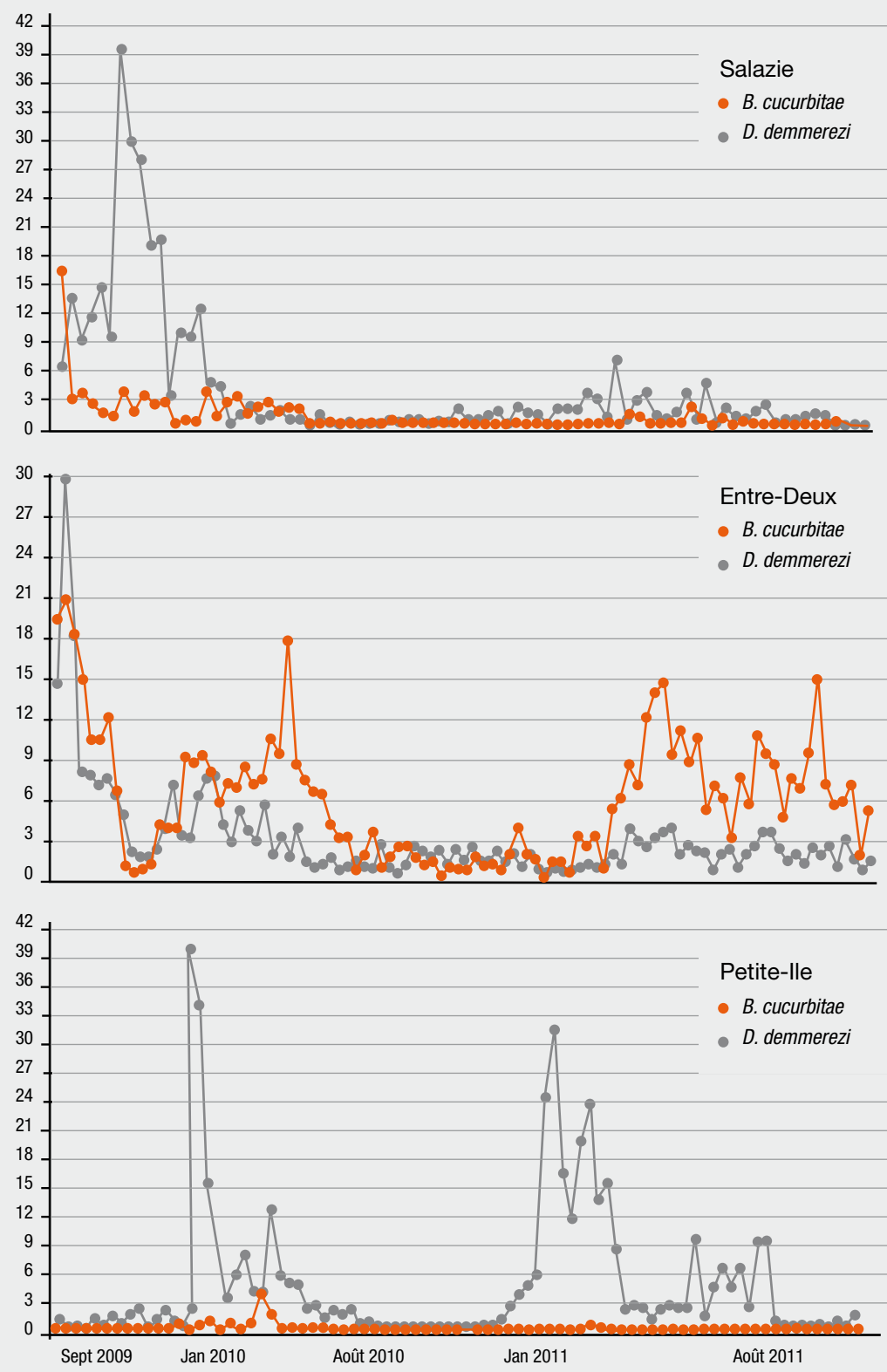


Figure 2
 Suivi des captures relevées par le réseau de piégeage au cue-lure sur les trois zones pilotes Gamour, de septembre 2009 à octobre 2011. Les captures sont la moyenne, par jour et par piège, du nombre de mâles capturés par l'ensemble des pièges de chaque zone (données observatoire des impacts).
 Daily means of male fly captures within the three Gamour pilot sites, from September 2009 to October 2011 (data: impact register).

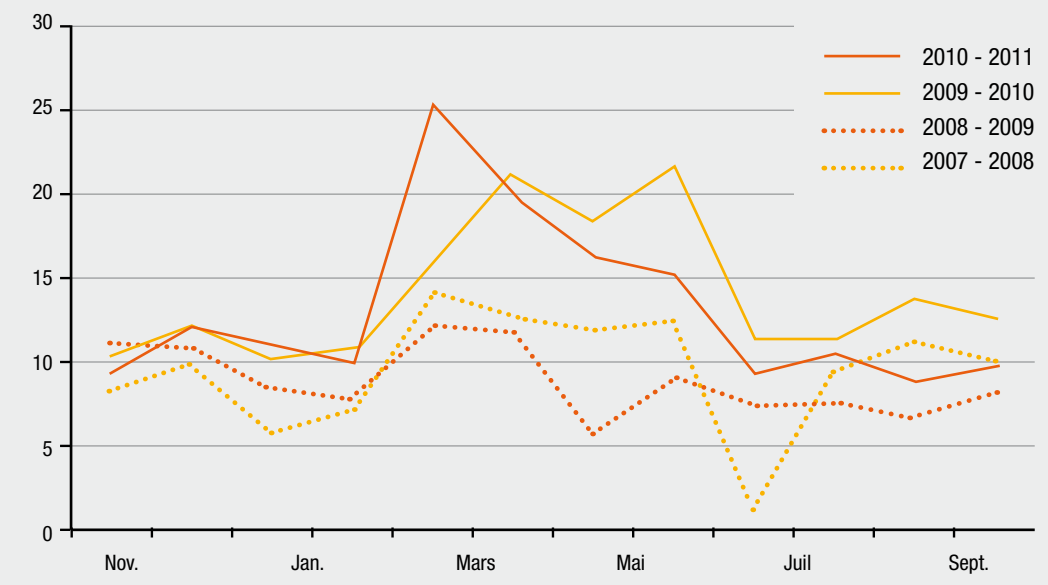


Figure 3
 Comparaison pluriannuelle des livraisons mensuelles (en t) de choucho enregistrées sur la zone pilote de Salazie. Les courbes permettent de comparer la production avant (hachuré) et pendant (trait plein) la mise en place du dispositif Gamour (données Vivéa Réunion).
 Four year comparison of chayote monthly deliveries (t) from Salazie pilot area. The curves enable to compare before (hatched) and during (plain) the implantation of Gamour (data: Vivéa Réunion).

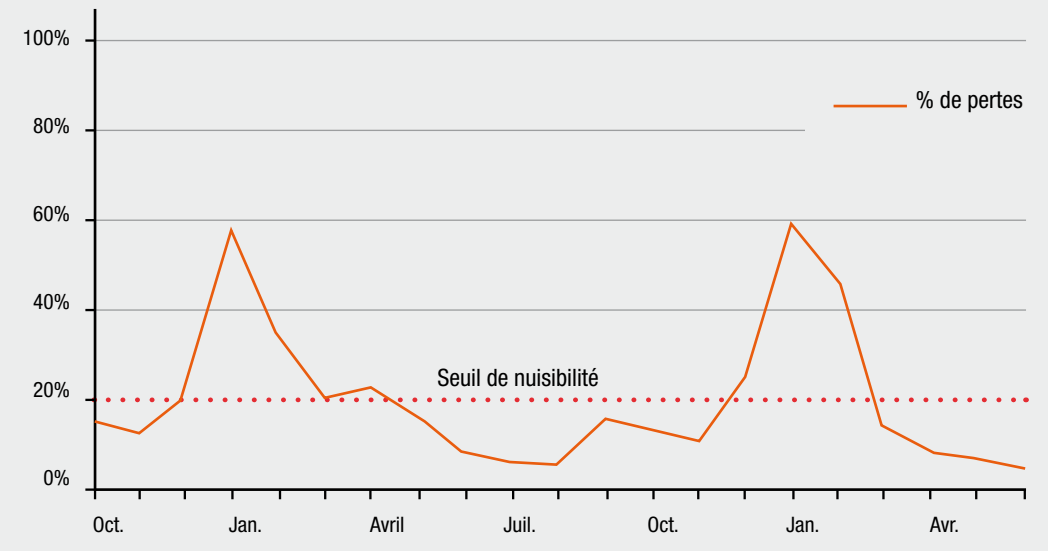


Figure 4
 Évolution pluriannuelle du pourcentage de pertes dû aux mouches sur choucho à l'Entre-Deux. Selon les déclarations des agriculteurs, le seuil de nuisibilité est fixé à 20% (données observatoire des impacts).
 Multi annual evolution of yield losses (blue line) due to fly attacks in Entre-Deux. The economic threshold (red line) is fixed to 20% according to farmers' declarations (data: impact register).

TECHNO-ECONOMIC RESULTS

P. Rousse¹, C. Ajaguin-Soleyen², V. Desutter¹, E. Douraguia², B. Logoras³, M.-L. Moutoussamy², E. Poulbassia¹, & W. Suzanne³

1. *Chambre d'Agriculture de La Réunion, 24 rue de la Source, 97400 St Denis, France*

2. *Cirad, UMR C-53 PVBMT, 97410 Saint Pierre, France*

3. *Farre Réunion, Pôle 3P, 97410 St Pierre, France*

Abstract

In Reunion, it is estimated that cucurbit pests (Diptera: Tephritidae) cause more than 40% of yield losses, and as much as 100% during summer. Moreover, more than 70% of growers believe chemical protection to be inefficient or unprofitable. During the Gamour field trials (September 2009 - July 2011), we surveyed three pilot areas in Reunion. The cue lure monitoring network shows us that *Dacus demmerezi* (Bezzi) and *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) were kept at a low level all year round in Salazie (700 m altitude). Entre Deux (600 m) and Petite Ile (800-1200 m) areas show a summer outbreak of *B. cucurbitae* and *D. demmerezi* populations. The production outcome analyses relied on a survey of 7.6 ha of chayote vines and 19 courgette crop cycles measured against seven control crop cycles. It shows an increase in yields and/or a decrease in losses, though unfortunately, no statistical analysis was possible. The main financial advantage is thus the near absence of insecticide treatments on the Gamour protected crops: 0.2 treatments/cycle, compared to 4.2 conventional crops. The most commonly cited benefit for growers was the reduction in protection costs: the Gamour methodology is estimated to be 1.2 to 4.2 times cheaper than conventional methods. Other benefits cited by farmers were recorded in a second survey.

Introduction

The dilemma of production and sustainability is well illustrated in Reunion by the problem of vegetable flies (Tephritidae family). Four species have been identified: one on tomato crops, *Neoceratitis cyanescens* (Bezzi) and three on cucurbits: *Bactrocera cucurbitae* Coquillett, *Dacus ciliatus* Loew and *D. demmerezi* (Bezzi). These vegetable pests have been the topic of many studies for over half a century due to their major financial importance (Nishida et Bess, 1957;

Dhillon et al., 2005). These flies are the main vegetable pests of, sometimes destroying the entire yield. Some crops, like the traditionally farmed chayote (*Sechium edule*), are locally endangered. In Reunion, the current agrochemical protection was proven to be inefficient and has serious drawbacks. The frequency of chemical spraying on cucurbits often exceed twice per week, without any significant effect on losses. In a previous survey, 70% of the growers interviewed doubt the cost-effectiveness of curative insecticides (Aubry et al. 2009; Deguine et al. 2010). They nevertheless keep using them, for they have no real alternative. We thus intended to find a solution for this major phytosanitary problem with an efficient and sustainable protection method based on agroecological principles. Gamour's approach ("*Gestion Agroécologique des mouches des Légumes à La Réunion*", or agroecological management of vegetable flies in Reunion) are similar to area-wide pest management methods promoted in numerous other countries (Tan, 2000). It is also harmonized with the Ecophyto 2018 governmental project, whose goal is a 50% reduction in pesticides used.

One of the most critical concerns of any R&D project is getting the target group to implement the new techniques. The adoption of Gamour practices by the farmers mainly relies on its technico-economic impact: their decision to use it depends above all on the cost-effectiveness of the technique. The effect of the Gamour methodology on yield was studied for two years via a monitoring network and to the weekly technical visits to the farms. Our results are presented below.

Material & methods

Monitoring of the flies populations on the pilot areas

The populations of *B. cucurbitae* and *D. demmerezi* were monitored by a cue lure trap network set up on the three pilot areas: Salazie (700 m altitude), Entre Deux (600 m) and Petite Ile (800-1000 m). Each of them were fitted with, respectively, three, six and ten traps, emptied weekly and analyzed, giving a concentration of one trap for two to three ha of vegetable crops. In Salazie, infestation levels were also monitored by a weekly collection of infested chayotes (cf. J.-P. Deguine, *Agroecological management of fruit flies in chayote crops*).

Weekly technical visits to the pilot farms

A total of 21 "conventional" farms were surveyed from September 2009 to July 2011. During cucurbit production periods, each farm was visited once a week by a technician, in order to keep a permanent contact, to ensure the logistical support, to help with any practical difficulty and to evaluate the project implementation, production levels and losses from flies. This kind of support is crucial for the project to be successful, though some difficulties intrinsically linked to vegetable growing made a large proportion of these results unreliable (cf. P. Rousse, Difficulties related to the extension evaluation for vegetable growers). The actual results obtained are detailed below, for each area.

■ Salazie

The main grower within the Salazie area is a member of the Vivéa producers organization (OP), so his multi-annual yield evolution could be easily and accurately measured. The produce delivered every month to Vivéa was used as a source of data.

■ Entre Deux

Chayote is the main crop. Growers provided yield data and crop loss data (due to flies) for the entire duration of the project.

■ Petite Ile

Courgette is the main crop. Data recorded include the number of curative insecticide treatments per crop cycle, yields of individual fields and the losses from flies. Data were provided by producers' organisations (Terre Bourbon), or farmers' declarations. In order to provide a contrast, these Gamour data were compared with data from two additional "conventionally" protected farms in Piton Hyacinthe. These "control"

farms use a mixed control strategy including integrated spraying, sanitation and trapping. They are excellent examples of integrated farm management and therefore some of the most environmentally friendly farms in Reunion (SicaTR data).

Comparison of protection costs

To assess the difference in expenditure between Gamour and "conventional" protection methods, we consolidated the data from the preliminary surveys (Fontaine & Augusseau, 2009; Deguine et al. 2009), the weekly visits and the market prices. The comparison was based on a theoretical one-hectare cucurbit crop, continuously grown during summer (November to March). For normalization purposes, we considered both methods to give similar yields. The Gamour methodology is detailed in the Gamour field guide. In the "conventional" crop, analysis of the preliminary surveys gave us a mean of 1-2 insecticide treatments per week using mostly Cyperfor™ and Danadim™. These two insecticides have a similar application cost, which is used as a reference in the comparison.

Results

Monitoring the fly populations in the pilot areas

Figure 2 shows the weekly collections of *B. cucurbitae* and *D. demmerezi* males during 108 weeks in the three pilot areas. Each of these curves shows a distinct pattern. In Salazie, both populations decreased markedly for the three first months and remained at low level thereafter (< 3/day/trap). In Entre Deux, we observed the same result for *D. demmerezi*, though captures of *B. cucurbitae* increased noticeably during summer months (from 3 to 9-15/day/trap). The reverse was observed in Petite Ile, where *D. demmerezi* captures sometimes rose to 30-40/day/trap between January and March.

Production data

■ Chayote (Salazie)

The survey in Salazie's is based on 3.2 ha of chayote vines. Figure 3 shows a four-year comparison of vegetables sold per month by the main farm there (2.3 ha). The yield was compared before (2007-2009) and after (2009-2011) the Gamour project. It was found that yields remained constant during the four years from July to January. During the February-June pe-

riod, yields tended to be higher since Gamour started. All year round, the farmers declared that flies losses were never higher than 20% of the crop, without using any insecticide.

■ Chayote (Entre Deux)

In Entre Deux, four chayote farms totalling 4.4 ha were surveyed, Two of them (2.4 ha) provided useable data. The yields being strikingly different between the farms, so we analyzed the multi-annual evolution of losses declared by the farmers. Mean evolution is shown in figure 4. The 20% threshold corresponds roughly to the level above which farmers consider their losses to be too high. According to the farmers, losses were kept under this threshold for 9-10 months per year, without use of insecticides. They clearly increased, however, between January and March. One of the farmers declared 50% loss of yield in February; the other one postponed harvest during the same period. For these three months, the first farmer sprayed insecticide an average of 0.6 times per week in 2010 and 2011, while the second farmer did not spray.

■ Other crops

We recorded a grand total of 65 cucurbit crop cycles (51 of which were in Petite Ile). This breaks down as 36 courgette, 14 squash, 11 cucumber and 4 watermelon crops. The mean surface area of the fields was 0.2 ha in Entre Deux and 0.35 in Petite Ile. As courgette was the predominant crop, it was selected for financial analysis. 17 crops provided data which was reliable enough to be analysed and compared to the 9 "control" farms in Piton Hyacinthe.

The comparison is shown in table 1. In terms of yield and losses, the table shows a favorable situation in the Gamour farms, though high error levels in the variables prevent any statistical separation. The main difference between the two farms stems from insecticide spraying: 4.2 treatments/cycle (pyrethroids) on the "control" farms, compared to 0.2 in the Gamour farms, a total of just three treatments for 17 crops.

Comparison of protection costs

A comparison of protection costs is shown in table 2 (manpower time) and 3 (financial costs). The cost of the Gamour protection depends on the time spent on sanitation, ranging between 0 and 2 h/week/ha/worker depending on the farm, the crop and the season. Weekly spraying is another source of variation in the traditional protection method, a range of 1-2 being more representative than a mean value.

According to these two variables, the manpower time spent on Gamour protection is 1-5 times lower than in traditional protection. Financially, taking into account the cost of supplies, Gamour was estimated to be 1.2 - 4.2 times cheaper.

Discussion

Collections from the cuelure traps show very diverse situations. Two situations out of three show a drastic increase in populations during summer, matching the period of strongest losses. These data must be taken cautiously, as they do not accurately represent the number of flies. Cuelure only attracts males, and has no influence on *D. ciliates*. Monitoring of this third species needs a different methodology as did the reference patches in Petite Ile, which were periodically tested. In Salazie, fly populations appear to have been controlled. Salazie is also the area with the lowest reported losses. The farms were in close proximity to one another, with three adjacent farms applying the Gamour protection method continuously all year round. This supports the theory of large-scale agroecological protection: the combined efforts of farmers in the same production area increase its effectiveness. During the period of observation, the largest of these farms obtained an organic farming certification.

The production results show that farmers stopped the systematic use of insecticide, with no negative consequences for the crops. Farmers interviewed claimed to have increased their yields and/or reduced their losses, and some of them could replant formerly abandoned crops (cf. X. Augusseau *Assessment and adoption of Gamour methodology by the farmers*). We could not, however, establish these claims statistically. The financial analysis showed that both protection strategies give similar yields. These rough estimations show that Gamour is cost-effective for farmers. The environmental impact is difficult to assess at this point, but is likely to be positive. Sanitation and mass trapping have no harmful impact on agroecosystem flora and fauna. The only active compound used is spinosad, which is used very sparingly and without any contact with the vegetables. Spinosad is authorized for organic farming.

Gamour's cost-effectiveness is the main guarantee that it will be taken up by farmers and will ensure the continuation of the project. Few farmers will get involved in an environmentally friendly project if they risk bankruptcy.

BILAN ET APPROPRIATION DES PRATIQUES PAR LES AGRICULTEURS

J. Busnel¹, X. Augusseau¹, P. Rousse²

1. Cirad, UMR TETIS, Station de la Bretagne, BP 20, 97408 Saint Denis Messagerie cedex 9, France

2. Chambre d'Agriculture de La Réunion, 24 rue de la Source, 97400 St Denis, France

Résumé

Le projet Gamour vise à résoudre le problème des mouches des légumes, à la Réunion, en proposant une stratégie basée sur les principes de l'agroécologie. L'objectif est de limiter les pertes sur la production de cucurbitacées, en contrôlant la dynamique des populations de mouches par l'application conjointe de différentes innovations. Après deux années de campagnes et avant de mettre au point une stratégie de diffusion de ces innovations à l'ensemble des maraîchers concernés, il est nécessaire de faire une analyse du bilan par les maraîchers qui se sont engagés dans le projet Gamour, et de leur appropriation de la stratégie proposée par le projet. Ce bilan a été réalisé à partir d'entretiens menés auprès de l'ensemble des maraîchers des trois sites pilotes du projet Gamour. Les résultats mettent en évidence (I) une satisfaction globale des agriculteurs à la fois sur l'efficacité de la stratégie et la facilité de mise en œuvre des techniques proposées, et (II) un bilan plus mitigé de l'appropriation de la stratégie de lutte qui vise à passer d'une logique curative à une logique de contrôle de la pression des mouches. En conséquence l'extension des innovations proposées par le projet Gamour doit être accompagnée d'un gros investissement en matière de formation et d'animation afin d'accompagner les exploitations candidates. Il est d'autant plus nécessaire que l'on observe une grande diversité parmi les exploitations maraîchères et une asymétrie importante quant à leur accès aux dispositifs d'appui agricole existants.

Introduction

La présente étude vise à analyser, à la fin du projet, l'appropriation par les exploitations candidates, de la stratégie promue par le projet Gamour. En effet le point de vue des agriculteurs du projet Gamour est intéressant pour :

- avoir un retour sur le déroulement du projet, les conditions de participation, les échanges avec les techniciens et chercheurs
- avoir le point de vue des agriculteurs sur l'efficacité du paquet technique SP5
- comprendre les atouts et les contraintes de l'application des pratiques en milieu producteur, en analysant les relations entre l'application des pratiques, la perception de la méthode de lutte, l'efficacité déclarée...

Démarche et méthodes

La caractérisation initiale des exploitations a été faite par le biais d'enquêtes, auprès des maraîchers (28) des trois sites pilotes du projet, collectant des données sur les structures d'exploitation, complétées par des entretiens sur les modes lutte pratiqués par ces chefs d'exploitations, avant de s'engager dans le projet Gamour. Des entretiens complémentaires auprès des différents organismes d'appui ont été réalisés conjointement pour décrire et analyser les systèmes de suivi à l'œuvre, et le type d'interactions existants entre les maraîchers et ces organismes. Enfin des entretiens ont été menés avec 19 maraîchers du projet Gamour en avril 2011, afin d'obtenir le point de vue des agriculteurs sur le programme, les pratiques et leur application, les conditions de réussite ou d'échec de la méthode proposée. Pour appréhender les relations qui peuvent exister entre les perceptions et les réalisations des maraîchers, cinq variables qualitatives ont été identifiées puis qualifiées à partir des entretiens réalisés avec les maraîchers. Les variables qualitatives ont été ensuite traitées par la méthode de l'Analyse factorielle des Correspondances Multiples (ACM).

Résultats

Bilan du projet

La majorité des agriculteurs (80%) est satisfaite de l'accès aux informations relatives au projet, et ce malgré le faible taux de participation aux formations en salle organisées au début du projet. Cela renforce le maintien d'un technicien dédié à la promotion des techniques Gamour après la fin du projet.

Bilan de l'efficacité de la stratégie Gamour

Aucun des agriculteurs interrogés ne considère la lutte chimique comme efficace contre les mouches de légumes. Cela ne signifie pas qu'ils n'utilisent pas du tout d'insecticides chimiques mais que les pertes dues aux mouches sont importantes (certains maraîchers ayant même arrêté la culture de cucurbitacées avant 2009). L'efficacité du paquet technique Gamour est considérée comme très bonne par environ 60% des maraîchers sauf en plein été (six à huit semaines entre décembre à mars selon les zones). Quarante pour cent déclarent même que les pertes dues aux mouches ont diminué de 60 à 90% par rapport à la lutte chimique. Environ 20% des agriculteurs jugent l'efficacité correcte, les pertes étant parfois importantes. Un maraîcher juge le paquet technique inefficace. Enfin, quelques agriculteurs ne peuvent pas juger l'efficacité du paquet car ils n'ont pas pu récolter de cucurbitacées durant les deux années du projet (pour des causes autres que les mouches de légumes).

La limitation des pertes dues aux mouches de légumes est l'avantage cité comme majeur par presque la moitié des maraîchers. Les moindres dépenses en insecticides et le gain de temps viennent par la suite. L'adoption des pratiques Gamour par les maraîchers du projet a eu un impact sur la place des cucurbitacées dans plusieurs exploitations. Vingt pour cent des agriculteurs ont augmenté le nombre de cycles de cucurbitacées (par gain de temps ou suite à l'augmentation de la rentabilité de ces cultures). Une partie des agriculteurs qui envisageait de stopper les cucurbitacées (arrachage de treille de choucho par exemple) ont maintenu ces cultures en place, alors que des agriculteurs qui avaient arrêté ces cultures avant le début du projet les ont remises en place.

Le sentiment général est que les pratiques sont faciles à prendre en main dans l'ensemble, même si de bonnes explications pendant le premier cycle culturel semblent indispensables. Une communication basée sur des documents papiers complétées par des visites d'un technicien ou des rencontres chez

un maraîcher qui applique Gamour semblerait une bonne solution aux yeux des maraîchers.

Analyse de l'appropriation de la stratégie Gamour par les agriculteurs

A partir des entretiens cinq variables ont été identifiées

- « Class » porte sur la perception des pratiques Gamour par les agriculteurs.
- « Int » correspond à l'intensité des échanges entre maraîchers et techniciens-chercheurs.
- « Eff » rend compte de l'efficacité des pratiques Gamour pour limiter les pertes dues aux mouches de légumes.
- « Appli » porte sur l'application perçue des pratiques par les agriculteurs.
- « Sulf » donne une indication sur la tendance des agriculteurs à utiliser d'autres insecticides que le Synéis Appât™ pour lutter contre les mouches.

Certaines variables discriminent nettement les individus dans le plan, comme les variables « Class » ou « Eff ». Les modalités sont reliées aux individus qu'elle regroupe. L'isolement géographique des modalités montre que ces variables déterminent des groupes d'individus globalement cohérents. Une interprétation possible est que la bonne compréhension de la stratégie Gamour est liée à l'efficacité déclarée. Les maraîchers qui adhèrent à l'approche préventive (et non plus curative) du problème des mouches des légumes seront certainement plus attentifs à mettre soigneusement les pratiques en application et pourront observer une diminution des pertes.

Conclusion

Les données issues de ces entretiens sont à dire d'agriculteurs, on ne peut donc s'en servir pour prédire la façon dont les pratiques Gamour seront appréhendées par les autres maraîchers de l'île. Quelques enseignements semblent toutefois intéressants à noter pour orienter la manière de diffuser le paquet technique Gamour.

Les pratiques ne sont pas difficiles à mettre en œuvre. Il n'est pas nécessaire d'apprendre des opérations techniquement compliquées. Il semble néanmoins important pour les maraîchers interrogés d'avoir une bonne formation lors du premier cycle de culture. On peut imaginer que les points à surveiller sont (I) l'anticipation du semis de maïs et le suivi attentif de son bon développement, (II) la façon originale d'utiliser

le Synéis Appât™ (par tâches sur le maïs et non pas en plein sur la culture), (iii) le ramassage régulier des fruits piqués dès le stade nouaison et l'utilisation de l'augmentorium, et (IV) la mise en place des pièges à paraphéromone dès l'implantation de la culture.

Comme l'indique l'analyse des entretiens, la bonne compréhension du type de lutte mise en place (préventive et non curative) apparaît liée à l'efficacité des pratiques. L'application soignée des pratiques est certainement motivée par la compréhension du principe de lutte. La diffusion des pratiques devrait ainsi s'accompagner d'explications claires et répétées sur ces aspects de lutte continue dans le temps, pour limiter dans l'avenir les pertes dues aux mouches, en utilisant des pratiques complémentaires.

Le bilan de l'appropriation de la stratégie Gamour est conforté par les ajustements qui ont été observés chez certains maraîchers. Quelques pratiques intéressantes ont été mises en place et consistent en des aménagements du paquet technique qui pourraient s'avérer efficaces pour le contrôle des populations de mouches. Néanmoins cette appropriation n'est pas complète, alors que l'ensemble des exploitations candidates a bénéficié d'un suivi technique très régulier qui est inédit pour la filière maraîchage à la réunion. La vulgarisation des innovations techniques Gamour sur les différents bassins de production devra donc s'accompagner d'un investissement important pour assurer l'animation nécessaire à la bonne « prise en main » du paquet technique. Enfin il sera nécessaire de prendre en compte la grande diversité de ces exploitations, qui, en outre, ne bénéficient pas toutes d'une relation de suivi et de conseil avec les techniciens des différents organismes agricoles.

ASSESSMENT AND ADOPTION OF GAMOUR METHODOLOGY BY THE FARMERS

J. Busnel¹, X. Augousseau¹, P. Rousse²

1. Cirad, UMR TETIS, Station de la Bretagne,
BP 20, 97408 Saint Denis Messagerie cedex 9, France

2. Chambre d'Agriculture de La Réunion,
24 rue de la Source, 97400 St Denis, France

Abstract

The Gamour project aimed to test and promote a pest control strategy based on agroecological principles in Reunion Island. The objective is to reduce cucurbitaceae crop losses by controlling fly population dynamics using synchronically different innovations. After two years, and before shaping a strategy to promote these innovations to all cucurbitaceae producers, it is necessary to analyze (I) the producers' assessment of the project, and (II) their adoption of the pest control strategy. This assessment results from interviews with the producers involved in the Gamour project. Results show that (I) the producers were satisfied both with the results and ease of use of the technique and (II) a good rate of adoption of the technique, which is based more on prevention of pests rather than the treatment of pests. Consequently, the Gamour project needs future investment and producer training courses for the different production areas in order to help producers change their pest control strategy. This extension strategy will have to deal with the great diversity of farmers and their attitude to the project.

Keywords: innovation, farmer adoption, agricultural extension

Introduction

The present study aims to analyze the adoption rate of the Gamour control strategy at the end of the project. Farmers were interviewed in order to:

- Get feedback on the project, their involvement and the technicians and researchers.
- Get their assessment of the success of the SP5 technical package.
- Find the advantages and drawbacks of the field

techniques by analyzing the relationships between the application, perception and declared efficacy of the methods.

Methods

Farms were sorted into different categories through interviews with 27 farmers in the three pilot areas (cf. X. Augousseau, *Evaluation methodology and setup of an impact register*). This allowed data to be collected on the farms' organisation and control strategies used. The various agricultural agencies were also interviewed to assess their monitoring methods and to characterize the interrelationships between farmers and agencies. A final survey was done in April 2011 with 19 farmers in order to obtain feedback on the program, the application of the practices and the overall success of the project.

Five qualitative data sets were identified which allows comparisons between farmers' perception of the strategy and actual results obtained. These data were computed through a Multiple Correspondence Analysis (MCA).

Results

Project Results

Most farmers (80%) are satisfied by the access they had to project information, in spite of a poor level of participation in the initial training sessions. A Gamour technician will remain in place after the project comes to an end.

Assesment of Gamour results

None of the farmers consider chemicals to be effective against cucurbit flies. This does not mean that they do not use it; but that yield losses can be high (some of them gave up cucurbit crops before 2009). 60% of farmers were very satisfied with Gamour, except during the summer (six to eight weeks between December and March, depending on the area), Yield losses decreased by 60-90%, according to 40% of the farmers. About 20% of farmers were partially satisfied with the technique, with large, sporadic losses. One farmer claimed the technical package was useless. Some of them could not comment because they did not grow cucurbit for the two years of the project (for other reasons than vegetable flies). According to nearly half the farmers, the main benefit of Gamour was the reduction in crop losses. The second benefit was lower insecticide costs and a reduction in manpower time.

The adoption of Gamour practices by farmers had an effect on the proportion of cucurbits being grown on several farms. Twenty percent of the farmers increased the number of crops due to the increase in profitability and/or time saved. Some farmers who intended to stop growing cucurbits (by cutting down their chayote arbors) could continue production. Meanwhile, farmers who dropped these crops before Gamour started them again.

The general impression is that these practices are easy to use, though clear and precise information during the first agricultural cycle is crucial. According to farmers, document-based communication, visits by technicians and field trips to a existing Gamour farms appear to be the best solution.

Adoption of the Gamour strategy by farmers

Five variables were identified after interviewing the farmers:

- "Class" describes farmers' perception of Gamour's practices.
- "Int" describes the intensity of exchanges between farmers and technicians / researchers.
- "Eff" describes the effectiveness of Gamour practices to limit yield losses from vegetable flies.
- "Appli" describes the application of practices by farmers.
- "Sulf" describes the tendency of farmers to use insecticides other than bait sprays to control vegetable flies.

Some variables clearly discriminate between individuals (Fig. 1), as do "Class" or "Eff". The modalities are linked to the individuals included. The geographical isolation of the modalities shows these groups to be consistent. A possible interpretation is that proper understanding of Gamour's strategy is related to the results obtained. Farmers adopting the preventive approach instead of the classical curative one implement the practices more carefully and which results in lower losses.

Conclusion

Data obtained from these interviews are farmers' declarations; they cannot be used to predict the future uptake of Gamour practices by other growers. Some important information was nevertheless useful to build the extension program. None of these methods are hard to implement; it is not technically difficult. It is, however, important that farmers are given proper help during the first crop cycle. The following points have to be checked:

- Anticipation of planting the corn border and the monitoring of its proper development.
- The novel technique of bait spraying the border.
- The regular collection of infested fruits and the use of the augmentorium.
- The placing of traps as soon as the crop is sown.

As shown by the interviews, a good understanding of the preventive strategy is strongly linked to its actual effectiveness and to the proper field application of these new techniques. Thus, future extension has to be accompanied by clear and repeated explanations about the continuous aspect of this strategy in time.

The project's success is reflected in adjustments made by some farmers. Some practices were slightly modified to increase efficiency. Nevertheless, Gamour techniques have not been totally implemented, although all farms involved were given technical support. Future dissemination of these innovations will need investment to ensure their success. Finally, the large diversity of farms has to be taken into account, not all of which benefited from the technical support package.

3. BILAN SCIENTIFIQUE

/ SCIENTIFIC OUTCOME

CONTRIBUTION D'UN AGRONOME À LA PROTECTION DES CULTURES

J.-N. Aubertot

Inra Toulouse, UMR 1248 AGIR,
BP 52627 Auzeville, 31326 Castanet-Tolosan, France

Introduction

On estime actuellement que, sans protection, les pertes causées par les bioagresseurs sur grandes cultures seraient de 50 à 75%, soit environ le double de ce qui est constaté aujourd'hui (Tab. 1). Les mesures de protection des cultures s'avèrent donc indispensables, et disposent encore d'une grande marge de progression afin d'augmenter la production alimentaire mondiale. Comment limiter ces dégâts ? Toute stratégie de protection doit s'appuyer sur une succession d'étapes :

- 1) identifier les bioagresseurs,
- 2) estimer leur nuisibilité,
- 3) identifier ou concevoir les éléments de contrôle mobilisables,
- 4) concevoir une stratégie de gestion à l'échelle de la parcelle ou du territoire,
- 5) prendre en compte la durabilité de ces méthodes de gestion, et
- 6) accompagner l'évolution des pratiques des acteurs concernés par la mobilisation des expertises, références, modèles et outils produits. Ma présentation s'articule autour de ces six étapes, au travers d'exemples d'outils développés lors de chacune d'elle.

Identifier et quantifier les organismes responsables et/ou les dégâts associés

Quantipest (Deytieux et al., 2004)

Il s'agit d'une plate forme collaborative de l'Inra (Rex Endure <http://www.endure-network.eu>), dont l'objectif est de structurer à destination des praticiens les connaissances disponibles en termes de reconnaissance, échantillonnage et quantification des bioagresseurs. Toutes les informations sont disponibles sur le site <http://quantipest.endure-network.eu>.

Phomadidacte (Aubertot et al., 2005)

Leptosphaeria maculans est un champignon pathogène responsable du phoma du colza. Il se développe au niveau du collet et peut entraîner la nécrose puis la section des tiges. Cette maladie cause entre 20 et 40% de pertes de récoltes. Phomadidacte est un logiciel développé par l'Inra, afin de normaliser la notation des dégâts constatés au champ en six classes de dégâts, en minimisant l'effet « observateur » (Aubertot et al., 2004b). L'utilisateur du logiciel doit attribuer une note de sévérité aux dégâts présentés sur 120 photos préalablement notées par un panel d'experts. Au final, un récapitulatif présente à l'utilisateur la différence entre ses notations et celles des experts, ce qui permet donc à l'utilisateur de savoir si son estimation est suffisamment précise.

Connaitre la nuisibilité des organismes

Divers bioagresseurs du blé (pucerons, virus, rouilles, mauvaises herbes...) peuvent entraîner des pertes de récoltes plus ou moins conséquentes. Wheatpest (Willoquet et al., 2008) est un modèle agro-physiologique qui permet d'estimer la nuisibilité de ces bioagresseurs en termes de pertes de biomasse. Le modèle est paramétré par des variables environnementales telles que l'ensoleillement, la densité des pucerons, les températures quotidiennes minimales et maximales... Différents scénarios de culture sont paramétrables, selon que l'exploitation soit conventionnelle, qualifiée en AR ou en AB (Fig. 1). A partir de ces variables d'entrées, le modèle donnera en sortie des variables de développement du blé telles que la surface foliaire, la biomasse des différents organes ou le rendement final.

Identifier et/ou concevoir les éléments de contrôle mobilisables

Les pratiques culturales sont de première importance lors de la gestion des bioagresseurs. Deux exemples viennent illustrer l'impact de ces pratiques dans l'épidémiologie de *L. maculans*. Un premier modèle (Aubertot *et al.*, 2004a) permet d'estimer l'impact sur la sévérité des nécroses de la variété de colza utilisé, de la date des semis et de l'apport en azote. Le deuxième modèle (Schneider *et al.*, 2006) s'intéresse à l'influence du travail du sol (labour ou chisel) sur la profondeur d'enfouissement des résidus post-récolte. Ces résidus sont en effet porteurs d'inoculum dont la répartition verticale a une large influence sur la contamination suivante par le champignon.

Concevoir des stratégies de gestion intégrée des pressions biotiques à l'échelle de la parcelle ou du territoire

Pure

Pure est un projet européen de quatre ans démarré en 2011. Ce projet réunit des scientifiques, des agronomes et des industriels d'une dizaine de pays, en vue de développer et transférer au monde agricole de nouvelles méthodologies de protection des cultures. L'enjeu majeur est la réduction de l'utilisation des pesticides sur les cultures majeures comme le maïs, le blé ou les fruits et légumes. Pure (<http://www.pure-ipm.eu/>) privilégie l'approche agroécologique de l'ICM en combinant les outils mécaniques, biologiques et chimiques de la protection des cultures.

DexIPM

Il s'agit d'un outil d'aide à la décision du réseau Endure permettant d'évaluer la durabilité économique, sociale et environnementale de différents itinéraires techniques. Ce modèle prend en compte une large panoplie de critères organisés de façon hiérarchiques (Fig. 3) et d'importance spécifique croissante, à partir du critère global premier qu'est la durabilité générale du système de culture. Ainsi, pour évaluer cette durabilité globale, le programme prendra en compte la durabilité environnementale, sociale et économique de ce système. Pour évaluer sa durabilité environnementale, il prendra en consi-

dération l'utilisation des ressources, la qualité de l'environnement et la biodiversité épigée, chacune de ces trois composantes étant elle-même évaluée par une série de deux à quatre paramètres d'entrée du modèle. En sortie (Fig. 4), ce modèle donnera une évaluation qualitative de l'impact, en termes de durabilités, des différentes stratégies de protection implémentées par le choix des paramètres d'entrée.

Prendre en compte la durabilité de l'efficacité des méthodes de contrôle utilisées

La lutte variétale, combinée aux pratiques culturales et au contrôle chimique, est efficace pour limiter les dégâts dus au phoma du colza. En effet, certaines variétés de colza sont résistantes au champignon, mais ces résistances peuvent être contournées en quelques années par le pathogène. La bonne connaissance de la répartition de la maladie, à l'échelle régionale, permet donc de différer l'extension de la maladie et préserver ces résistances. Sippom-WOSR (Simulator for Integrated Pathogen Populations Management - Winter Oilseed Rape) est l'exemple d'un outil développé dans cet objectif de gestion régionale des stratégies de lutte (Lô-Petzer *et al.*, 2009a ; 2009b). La figure 5 est un exemple de modélisation spatiale dynamique qui simule la dispersion des spores de *L. maculans* en fonction du type de labour pratiqué sur la parcelle contaminée.

Accompagner les évolutions de pratique des acteurs concernés par la protection des cultures en mobilisant les expertises, références, modèles, et outils produits

Pour aider au développement de stratégies innovantes en protection des cultures, un groupement de chercheurs et d'agronomes, sous la coordination de l'Inra, a mis à la disposition des acteurs agricoles un guide pratique méthodologique (Attoumani-Ronceux *et al.*, 2010). A l'aide de fiches pratiques, il propose une démarche (Fig. 6) pour la construction de ces systèmes de cultures, en vue d'aider à la formation et au conseil des agriculteurs et techniciens souhaitant faire évoluer leur pratique. Il s'inspire notamment des travaux

effectués du projet Adar Systèmes de Cultures Innovants (2005-2006) et des travaux du RMT Systèmes de Cultures Innovants. Le guide est disponible en ligne sur le site Ecophyto 2018 du ministère de l'agriculture.

Conclusion : le réseau Pic

En guise de conclusion, je voulais présenter le réseau Pic. Ce réseau d'animation regroupe environ 200 personnes issues de six départements de l'Inra, et ses missions se partagent en quatre axes :

- 1) modélisation et outils de pilotage de la Pic,
- 2) contribution à la valorisation des unités expérimentales de l'Inra,
- 3) renforcement des liens avec les sciences sociales, humaines et économiques, et
- 4) mobilisation de concepts et méthodes issus de l'écologie fonctionnelle, des communautés et du paysage.

Pourquoi une telle conclusion qui semble légèrement hors sujet ? Tout simplement parce que les thématiques couvertes par ce réseau recouvrent largement les approches de Gamour. Il y a donc beaucoup à gagner pour tous à partager nos expériences : ces rencontres d'aujourd'hui pourraient par exemple être l'occasion pour le Cirad d'intégrer le réseau Pic. Ceci est un appel du pied...

Tableau 1

Estimation des pertes relatives de rendement causées par les bioagresseurs (mauvaises herbes, agents pathogènes, ravageurs) de quelques cultures à l'échelle mondiale (Oercke, 2006)

	RIZ	BLÉ	POMME DE TERRE
Sans protection (%)	77	50	75
Avec protection (%)	37	28	40

Table 1

Assessment of yield losses due to biopests (weeds, insects, fungi, viruses) for some major crops in the world (Oercke 2006)

	RICE	WHEAT	POTATO
Without protection (%)	77	50	75
With protection (%)	37	28	40

Figure 1

Exemples d'analyses réalisées avec le logiciel Wheatpest

Examples of analyses proceeded by the Wheatpest software

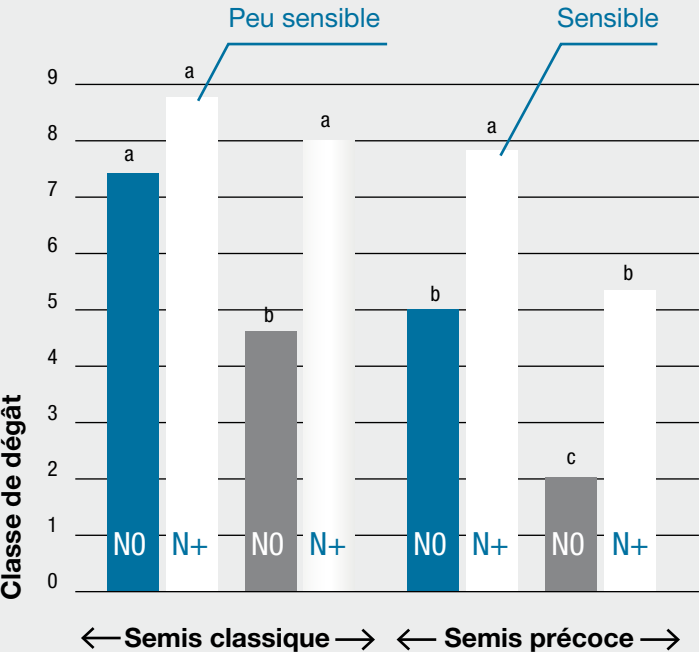
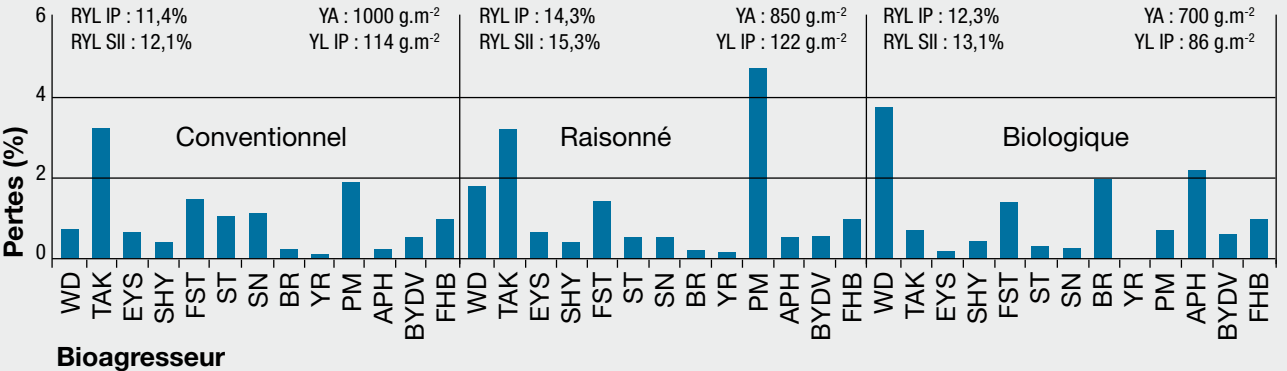


Figure 2

Analyse des effets de trois éléments de l'itinéraire technique du colza sur la sévérité des nécroses au collet causées par *Leptosphaeria maculans*

Analysis of the effect of three parameters of oilseed agricultural practices on the severity of stem necroses caused by *Leptosphaeria maculans*

Figure 3
 Classification hiérarchique des variables
 utilisées dans l'analyse multi-critère DexIPM
 Hierarchical classification of variables used
 in the DexIPM multi-criteria analysis

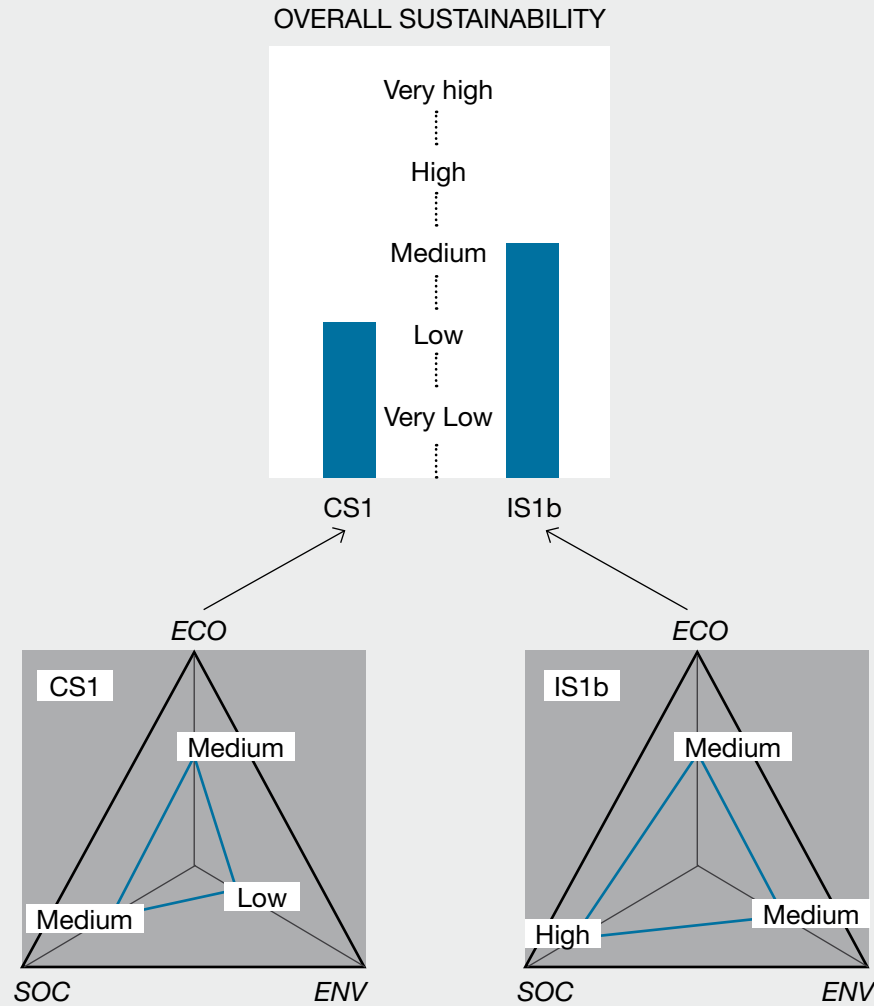
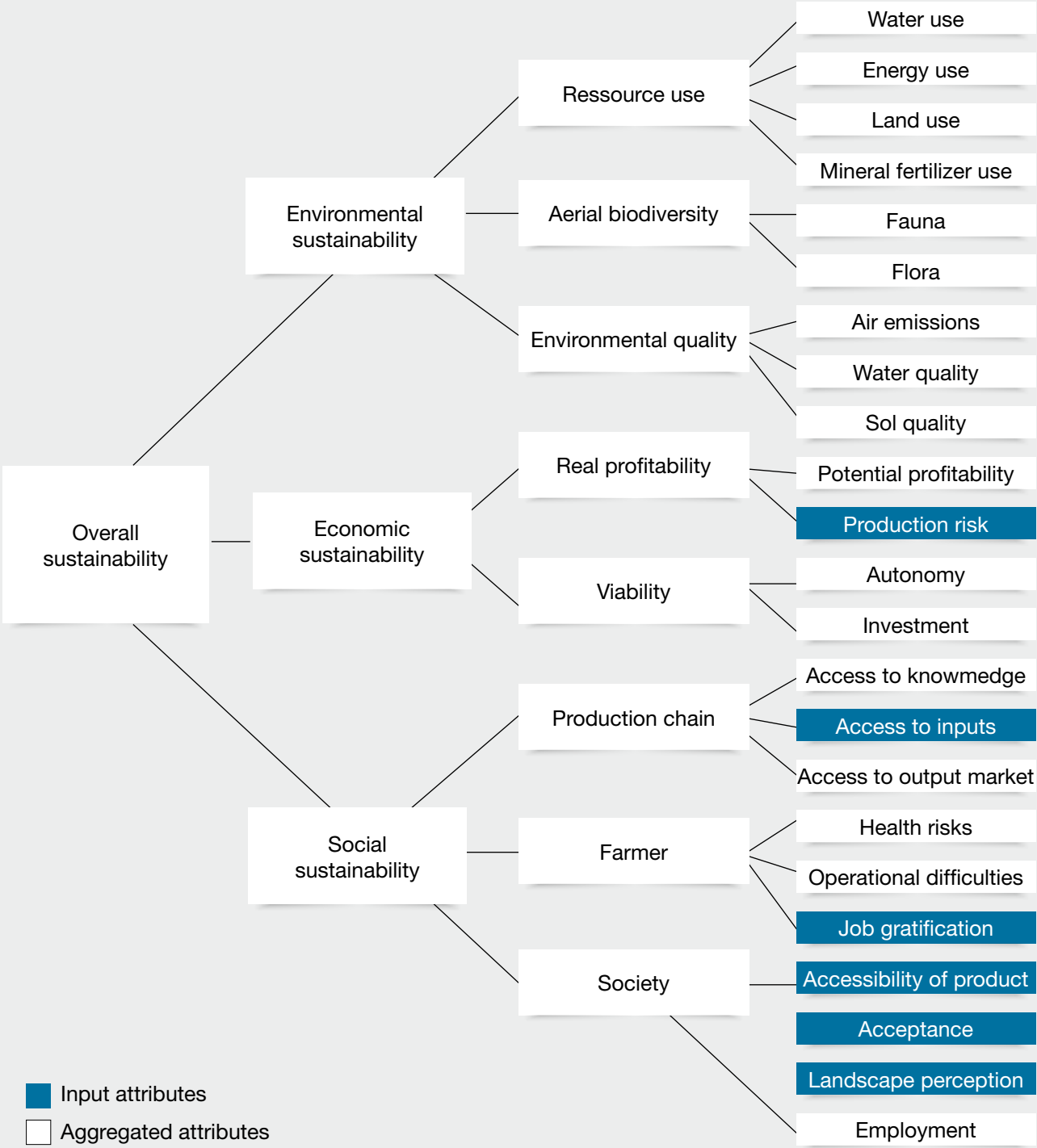


Figure 4
 Exemple de sortie DexIPM.
 Evaluation de la durabilité sociale, environnementale
 et économique d'un système de culture mené
 de façon classique (CS1) ou innovante (IS1)
 Example of DexIPM output. Evaluation of social,
 environmental and economical sustainability
 of a classically (CS1) or innovatively (IS1) led crop

Figure 5

Simulation dynamique de la propagation spatiale des spores de *Leptosphaeria maculans* en fonction du travail du sol (modélisation Mathematica)

Dynamic modeling of the spatial propagation of *Leptosphaeria maculans* spores, according to tillage (Mathematica modeling)

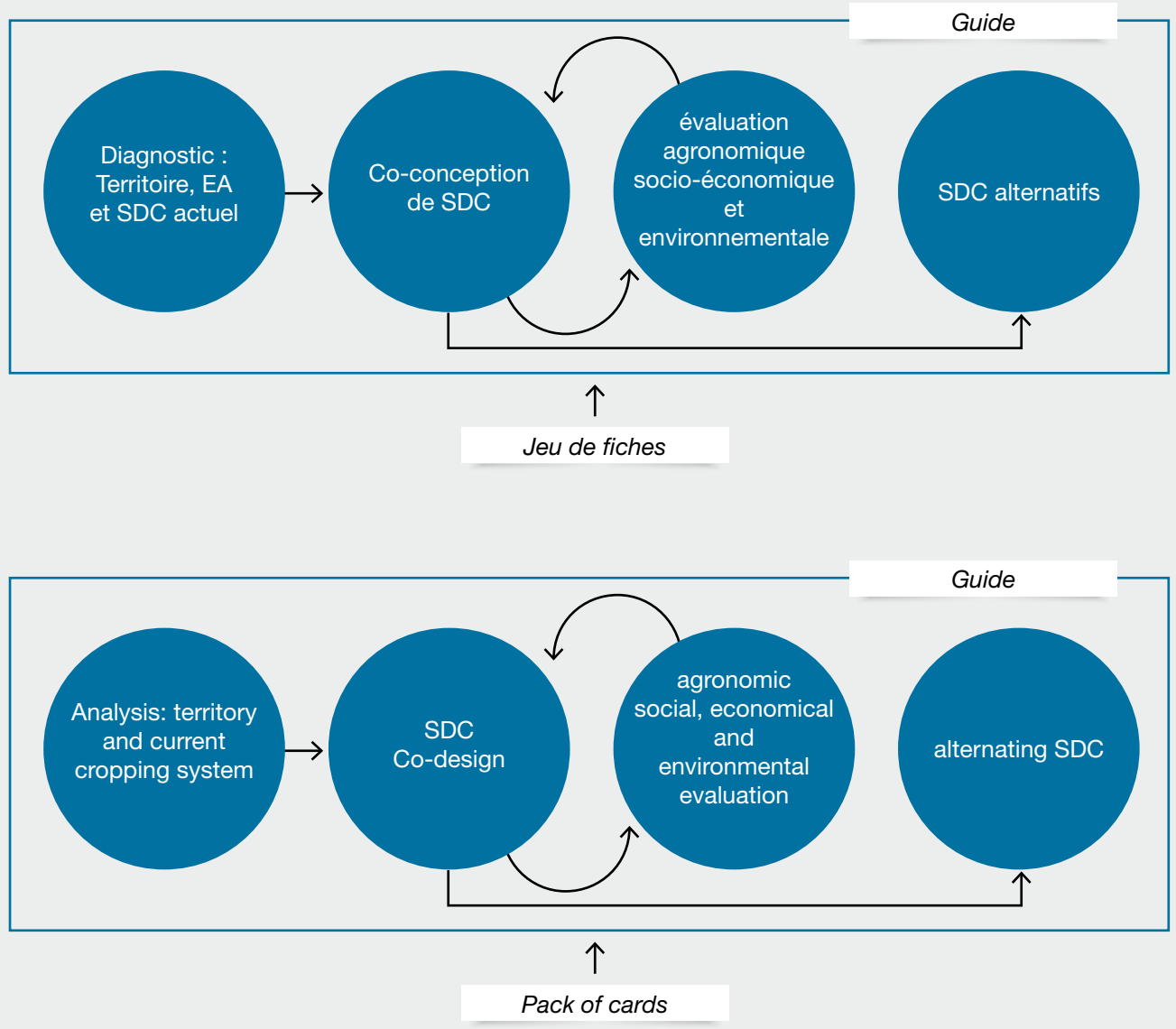
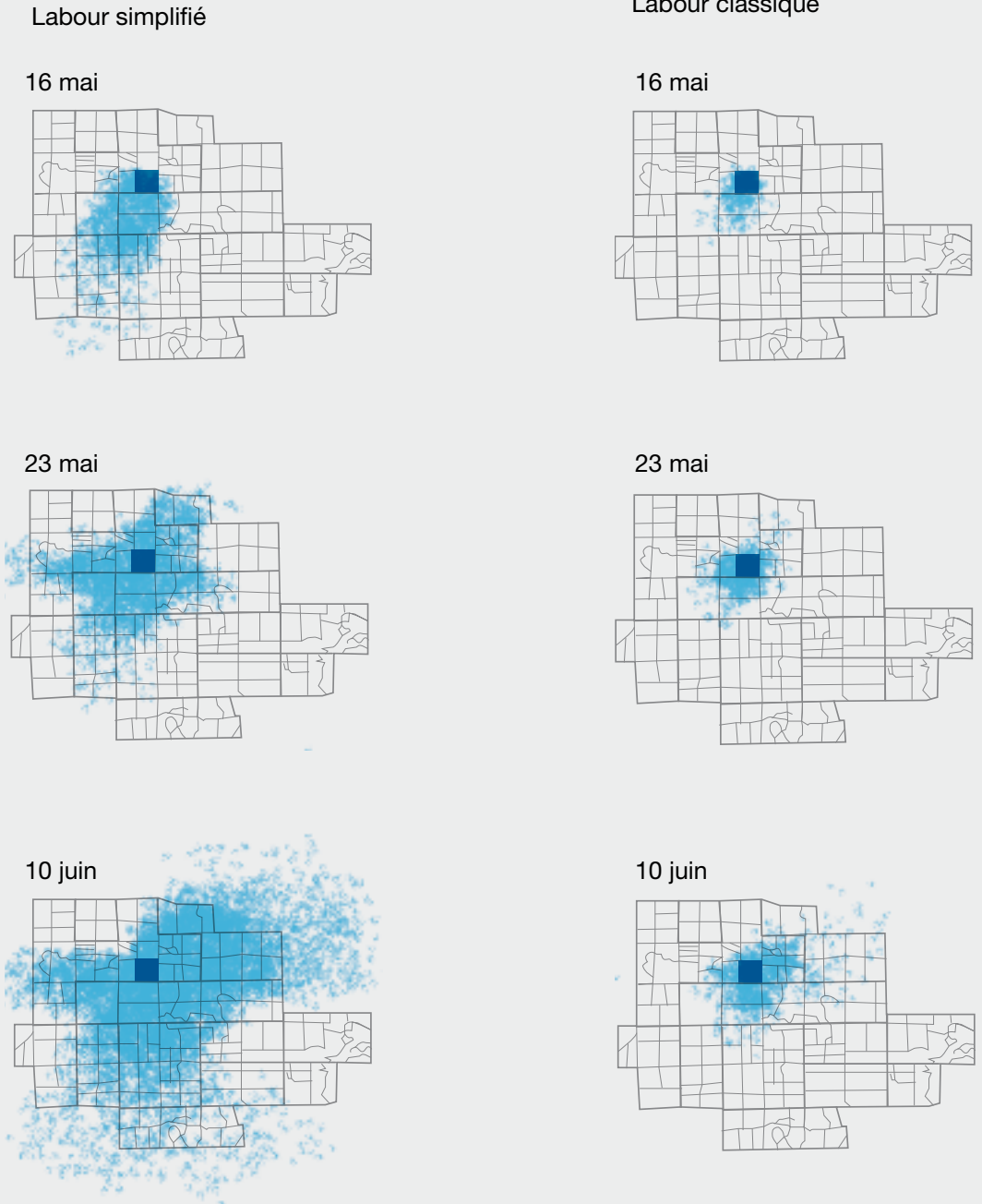


Figure 6
 Démarche conceptuelle de développement de systèmes de cultures innovants
 Cognitive démarche for the development of new cropping systems

CONTRIBUTION OF AN AGRONOMIST TO CROP PROTECTION

J.-N. Aubertot

Inra Toulouse, UMR 1248 AGIR,
BP 52627 Auzeville, 31326 Castanet-Tolosan, France

Introduction

Without protection, it is currently admitted that the yield losses caused by pests on major crops would range between 50 and 75%, i.e. about twice of what is currently observed (Table 1). Crop protection is therefore critical. There is still room for improvement to increase world food production. How can we reduce the losses? Any protection strategy must rely on six successive steps:

- 1) identification of the pest,
- 2) assessment of their impact,
- 3) identification and development of control methods,
- 4) implementation of a control strategy at the field or territory scale,
- 5) assessment of the sustainability of this strategy, and
- 6) support of the practices by providing expertise, references and outputs. My present talk will show examples of these six steps.

Identification and quantification the pests and/or their impact

Quantipest (Deytieux *et al.* 2004)

This is a collaborative platform developed by Inra (Rex Endure), aiming to make information available to technicians on the determination, sampling and quantification of pests. All information is available on the website <http://quantipest.endure-network.eu>.

Phomadidacte (Aubertot *et al.* 2005)

Leptosphaeria maculans is the pathogen fungus of the phoma stem canker of oilseed rape. The fungus develops on the root collar and may induce necro-

sis and cutting of the stem, causing between 20 and 40% of yield losses. Phomadidacte is an INRA developed software program which aims to normalize the estimation of reported field damage by suppressing the observer effect (Aubertot *et al.* 2004b). The user attributes one of six severity marks to 120 photos previously rated by experts. Finally, a summary shows the user the discrepancies between his rating and the experts', in order for the user to assess his accuracy.

Determining the impact of pests

Various wheat pests (aphids, viruses, fungi, weeds...) may cause large yield losses. Wheatpest (Willcoquet *et al.* 2008) is an agrophysiological model assessing related biomass losses. It is configured with environmental variables such as sunlight, aphid density, mean and maximal temperatures. Several agricultural scenarios are possible, depending on whether the farm is conventional or organic (Fig. 1). From these variables, the software is able to produce output variables such as foliar surface, biomass of the different organs and the eventual yield of the wheat crop.

Identification and/or development of the control methods

Agricultural practices are critical in pest management. Two examples illustrate the impact on the epidemiology of *L. maculans*. To begin with, (Aubertot *et al.* 2004a) determine the effect of the cultivar used, the date of seeding and the input of nitrogen on the severity of necroses. The second model (Schneider *et al.* 2006) deals with the tillage method (plowing or chisel), and the burying depth of the post-harvest residuals. The latter may indeed bear inoculum whose vertical location is crucial for further fungal contaminations.

Implementation of integrated management strategies at field or territory scale

Pure

Pure is a four-year European project started in 2011. It gathers scientists, agronomists and manufacturers from ten countries, intending to develop and transfer to farmers new crop protection strategies. Its main objective is to reduce pesticide use on major crops (wheat, corn, fruits and vegetables). Pure (<http://www.pure-ipm.eu/>) favors the ICM agroecological approach, combining mechanical, biological and chemical controls.

DexIPM

DexIPM is decision-making aid tool of the Endure network (<http://www.endure-network.eu>). It aims to evaluate the social, financial, and environmental sustainability of different technical arrangements. The model takes into account a wide panel of criteria, organized hierarchically (Fig. 3), by increasing specific importance, the first one being overall agrosystem sustainability. Thus, to assess this overall sustainability, the software considers the social, financial and environmental sustainability of the system. The environmental sustainability is assessed by the amount of resources required, the quality of the environment and its above-ground biodiversity, each of these three variables being assessed in turn by two to four input variables. The output is a qualitative impact assessment of the different modeled control strategies.

Management of long-term effectiveness of the control strategy

Varietal control combined with agricultural practices and chemical control successfully halt phoma stem canker losses. Some rape cultivars are currently resistant, though these resistances may be overcome by the fungus in a few years. A precise knowledge of the spread of the disease at a regional scale is thus critical to prevent its dispersal and to manage resistance. Sippom-Wosr is a tool developed for such regional management (Lô-Petzer *et al.* 2009a, 2009b). As an example, figure 5 is a dynamic spatial model of the spread of *L. maculans* spores, using different tillage methods on the fields affected.

Support the practices by providing expertise and other outputs

To promote the development of innovative strategies, a group of researchers and scientists led by Inra provided the farmers with a field guide (Attoumani-Ronceux *et al.* 2010). With simple-to-use cards, it offers a strategy (Fig. 6) for the implementation of agrosystems, and is a training tool for both technicians and farmers. It owes a great deal to the Adar project "Systèmes de Cultures Innovants" (2005-2006) and the homonym RMT. The field guide is available on the Ecophyto 2018 website of the Ministry of Agriculture.

Conclusion: the Pic network

I'm proud to introduce the Pic (Protection Intégrée des Cultures) network. This network assembles about 200 people from six Inra departments. The Pic network aims to

- 1) model the IPM tools,
- 2) contribute to the valorization of the Inra experimental units,
- 3) reinforce the links with social, human and financial sciences, and
- 4) mobilize the concepts from functional, population and landscape ecology.

Why such an apparently diverging conclusion? Actually, Pic and Gamour approaches widely overlap and Pic would be glad to receive some Cirad representatives. This is therefore a discrete request...

IMPACT TECHNOLOGIQUE DU PROGRAMME DE GESTION À GRANDE ÉCHELLE DES MOUCHES DES FRUITS À HAWAII

R.I. Vargas¹, R.F.L. Mau²,
E.B. Jang¹, L. Wong³, L. Leblanc²

1. USDA-ARS, Pacific Basin Agricultural Research Center,
P.O. Box 4459, Hilo, HI 96720, USA.

2. University of Hawaii at Manoa, College of Tropical Agriculture and Human Resources
Department of Plant and Environmental Protection Sciences,
3050 Maile Way, Gilmore 611, Honolulu, HI 96822, USA.

3. HDA, Division of Plant Industry,
P.O. Box 221659, Honolulu, HI 96823, USA

Résumé

En matière de lutte contre les mouches des fruits à Hawaii, les précédentes préconisations de lutte reposaient principalement sur l'utilisation d'insecticides organophosphorés. Le programme AWPM de gestion des mouches à grande échelle, après dix années d'expérimentation au champ, a permis d'intégrer deux ou plus des méthodes alternatives de gestion (prophylaxie, appâts protéiques, piégeage de masse, stérilisation de masse et lutte biologique) pour former une méthodologie économiquement et environnementalement durable. En résultat, ce programme a permis une diminution générale des populations de mouches, une réduction de l'usage des organophosphorés et une diversification accrue des cultures. Ainsi, 2079 agriculteurs, représentant un total de 491 exploitations sur 3400 ha à travers tout l'état de Hawaii, ont pu diminuer l'utilisation d'insecticide de 75 à 90%. Les dégâts liés aux mouches sont passés de 30-40% à moins de 5%. Une estimation économique du projet a qualifié ce projet de facilement appropriable, générant 2.6 millions de dollars de bénéfices annuels. Le bilan financier estime le taux de rentabilité à 27%. Une des avancées majeures du projet fut le développement de partenariats industriels et le transfert immédiat de nouvelles technologies aux agriculteurs. Parmi elles, on trouve de nouveaux diffuseurs de paraphéromones, et des méthodes d'application plus sécurisées pour le traitement par taches et le piégeage de masse. Parmi les méthodes de détection et de contrôle des mouches

actuellement disponibles, ces produits sont actuellement les plus respectueux de l'environnement : ils sont en cours de transfert vers la métropole US et d'autres pays du monde.

Mots-clés : mouche du melon, mouche orientale des fruits, mouche malaise des fruits, diffuseurs de paraphéromones, traitement par taches au spinosad, Splat-Mat-spinosad-ME®, Amulet C-L®, lâchers de parasitoïdes.

Introduction

Quatre espèces de mouches des fruits (Dipera : Tephritidae) d'importance économique majeure ont été introduites accidentellement à Hawaii, où elles sont maintenant établies sur toutes les îles principales : la mouche du melon, *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett), (introduite in 1895), la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (1910), la mouche orientale des fruits *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (1945), et la mouche malaise des fruits *Bactrocera latifrons* (Hendel) (1983). Ces mouches infestent plus de 400 fruits hôtes différents et représentent l'un des principaux obstacles au développement d'une agriculture diversifiée à Hawaii. Ces mouches ont un impact économique lourd sur l'agriculture tropicale et subtropicale pour de nombreux pays du monde, avec un risque croissant de nouvelles inva-

sions. Elles inhibent donc le développement d'une agriculture diversifiée en fruits et légumes, à la fois pour la consommation locale et l'export, en causant des dommages directs aux cultures et en imposant de coûteux traitements de quarantaine post-récolte (Vargas *et al.*, 2008 ; Mau *et al.*, 2007).

En 1994, l'USDA a proposé un projet de lutte intégrée ayant pour objectif de couvrir 75% de la surface agricole dans le courant des années 2000. Pour atteindre cet objectif, l'ARS a lancé plusieurs programmes de gestion intégrée des ravageurs à grande échelle (AWPM) (Faust and Chandler 1998 ; Chandler and Faust 1998), comprenant des composantes de recherche, de formation et d'évaluation, avec pour objectifs de mener des recherches et d'en transférer les résultats par de nouvelles technologies pour les agriculteurs. A Hawaii, l'enjeu principal du programme AWPM - mouches des fruits fut de développer et intégrer des approches biologiques de gestion des mouches dans diverses zones agricoles sélectionnées de l'état, afin d'y réduire globalement la pression des mouches. Pour ce faire, le programme AWPM a proposé une méthodologie économiquement et environnementalement durable, incluant au moins deux technologies parmi les suivantes :

- 1) surveillance,
- 2) prophylaxie,
- 3) traitement par taches avec un appât protéique,
- 4) piégeage de masse des mâles,
- 5) lutte biologique inondative,
- 6) lâchers d'insectes stériles
(Mau *et al.*, 2007 ; Vargas *et al.*, 2008a).

Ce projet a nécessité un partenariat entre l'ARS, l'Aphis, l'université de Hawaii, le HDA et plusieurs industriels. Nous présentons ici les différentes technologies qui ont été proposées aux agriculteurs par le programme AWPM dans les domaines de la surveillance, la prophylaxie, le traitement par taches et le piégeage de masse. Le tableau 1 présente, dans l'ordre chronologique de leur homologation, ces nouveaux outils ainsi que les entreprises qui les ont développés par le biais du programme AWPM à Hawaii. *Bactrocera cucurbitae* et *B. dorsalis* étant les ravageurs majeurs pour l'agriculture hawaïenne, ce développement s'est focalisé sur les outils permettant leur contrôle.

Résultats et discussion

Surveillance

Les premiers pièges de surveillance utilisés étaient de simples pièges à mouches de type seau, contenant un mélange liquide d'attractif et d'insecticide au naled (Vargas *et al.*, 2003), du même type que ceux utilisés en piégeage de masse contre *B. cucurbitae* et *B. dorsalis* grâce à une autorisation spéciale. L'utilisation de plaquettes de DDVP (Hercon Vapor Tape II®, Emigsville, PA), pour remplacer le naled liquide, a été par la suite une amélioration importante en termes sanitaires pour l'agriculteur. De même, le méthyl eugénol (ME) et le cue-lure (C-L) liquide ont été progressivement remplacés par des formulations solides (comme les plaquettes ME et C-L de Sentry (Boseman, MT) ou les plaquettes ME de Farma Tech (North Bend, WA)) (Vargas *et al.*, 2010b). Ce qui a donné les pièges AWPM, contenant un attractif solide et une plaquette insecticide, avec une efficacité générale de trois mois. Farma Tech a depuis développé un diffuseur gaufré, prêt à l'emploi, contenant un mélange de ME ou de C-L et de DDVP. Ces diffuseurs fonctionnent aussi bien dans les pièges seau que dans les pièges delta. De récentes expériences ont démontré que ces diffuseurs utilisés dans des pièges Jackson ou AWPM ont la même efficacité qu'un piège Jackson appâté avec des paraphéromones liquides et du naled, piège standard actuellement utilisé en Floride et en Californie pour le suivi des mouches répondant au ME ou au C-L (Vargas *et al.*, 2009b ; 2010b). Ces diffuseurs sont actuellement en cours d'obtention d'une autorisation de mise sur le marché, mais peuvent être dès à présent utilisés pour des questions de suivi de populations. Les diffuseurs ME et C-L au DDVP permettent une manipulation plus commode et sécurisée que les mélanges liquides actuellement utilisés partout dans le monde. Ils sont donc l'une des technologies les plus abouties dans ce domaine à ce jour. Leur utilisation avec des pièges de type seau ou delta, à des fins de piégeage de masse, est en cours d'expérimentation.

Prophylaxie

Cette méthode permet soit d'empêcher les larves de mouche de se développer, soit d'enfermer les jeunes adultes émergeant afin qu'il ne puisse pas ré-infester la culture pour se multiplier. Auparavant, nous considérons qu'écraser les fruits ou retourner la surface du sol tuaient la majorité des larves de mouches. Cependant, des tests préliminaires ont montré que ces méthodes n'en tuaient en fait qu'une petite partie. De même, le traitement herbicide sur les plantes hôtes

sauvages peut réduire leur prolifération et donc diminuer l'infestation subséquente des jeunes fruits par les mouches, mais il n'a que peu d'effet sur les larves déjà présentes dans le fruit.

Par conséquent, le programme AWPM à Hawaii a favorisé l'application de différentes autres méthodes, que ce soit pour tuer la larve dans le fruit ou empêcher leur évolution en adultes. Parmi ces méthodes, l'ensachage, l'enterrement en profondeur des fruits ou la séquestration des jeunes adultes émergeant sous une tente ou une bâche plastique. Des données suggèrent que les larves peuvent traverser une maille de type moustiquaire. Cependant, si la moustiquaire est placée sous le fruit, la larve peut effectivement la traverser pour s'empurger dans le sol mais les adultes émergeant restent bloqués et ne peuvent retourner dans l'environnement (Klungness *et al.*, 2005). Pour les grandes exploitations, nous avons recommandé la mécanisation : le broyage des fruits puis l'immersion de la pulpe, est la meilleure méthode de destruction des fruits infestés, mais elle n'est pas intéressante pour les petites exploitations. Nous avons donc inventé un nouvel outil de prophylaxie pour le programme, l'augmentorium (Klungness *et al.*, 2005). Ces augmentoria sont des tentes constituées de moustiquaires qui empêchent la dispersion des mouches adultes issus des fruits placés à l'intérieur, tout en permettant le passage des parasitoïdes de mouches, plus petits. De plus amples informations sur cet outil du programme AWPM à Hawaii sont présentées par Klungness *et al.* (2005).

Traitement par taches avec appâts protéiques

Nishida *et al.* (1957) ont développé une méthode efficace de lutte contre *B. cucurbitae*, par l'application d'un mélange d'appât alimentaire plus insecticide sur la végétation environnante abritant les mouches. Depuis cette découverte, à Hawaii, les mouches des fruits sont gérées dans les zones agricoles à l'aide d'appâts protéiques appliqués en taches. En effet, les mouches femelles ont besoin de protéines pour le développement de leurs ovaires et la production d'œufs. Elles sont donc fortement attirées par une source de protéines, à laquelle on peut facilement ajouter une matière active insecticide. Depuis la fin des années 50, l'insecticide le plus communément utilisé est un organophosphoré, le malathion, avec le plus souvent du Nu-Lure comme attractif protéique (Prokopy *et al.*, 1992). Toutefois, on connaît aujourd'hui les risques liés à l'utilisation d'organo-

phosphorés, tant pour la faune auxiliaire que pour la santé humaine. Précédant le lancement du programme AWPM, de nouvelles formulations à faible risques ont vu le jour, comme le spinosad qui a pu être testé en Amérique centrale et aux USA (Peck & McQuate, 2000 ; Vargas *et al.*, 2001 ; Prokopy *et al.*, 2003 ; Piñero *et al.*, 2009). L'application en taches réduit drastiquement la quantité de pesticide utilisée.

Le spinosad est une toxine issue d'une bactérie actinomycète du sol, *Saccharopolyspora spinosa* Mertz & Yao. Cette molécule a une faible toxicité pour les mammifères, et un impact réduit sur les ennemis naturels des mouches (Vargas *et al.*, 2001 ; Stark *et al.*, 2004). Un attractif composé de solulys (l'attractif protéique) et de spinosad a été développé sous le nom de GF-120 Naturalyte Fruit Fly Bait® (Dow AgroSciences, Indianapolis, IN). Le spinosad a montré une toxicité extrêmement faible pour les vertébrés et l'environnement, avec des risques réduits pour les humains et la faune par rapport aux insecticides traditionnels, et est de plus efficace à des doses bien moindres. Le programme AWPM a donc fourni aux agriculteurs cette nouvelle formulation commerciale en substitut des appâts au Nu-Lure et malathion. Ce nouveau produit, en combinaison avec la prophylaxie, fût le premier transfert de technologie aux agriculteurs dans le cadre d'une approche de lutte intégrée. Ils ont constitué le fondement du programme. Les premiers succès de cette approche ont pu être démontrés contre *C. capitata* (Peck & McQuate, 2000) puis *B. cucurbitae* (Prokopy *et al.*, 2003), et plus récemment contre *B. dorsalis* (Piñero *et al.*, 2009a ; Piñero *et al.*, 2009b) et *B. latifrons* (données non publiées). Un label « toutes cultures » et « agriculture biologique » a pu être obtenu pour le GF-120® au travers des résultats obtenus par le programme AWPM.

Piégeage de masse

Malgré le fait qu'il avait été utilisé depuis 25 ans dans de nombreux programmes d'éradication en Californie et dans le Pacifique, le piégeage de masse à l'aide du ME et du C-L ne disposait toujours pas d'autorisation légale pour les agriculteurs à Hawaii pour le contrôle des mouches des fruits. Il était cependant très important d'obtenir une homologation pour des produits contenant un tel attractif paraphéromonal et un insecticide, tel que l'Amulet C-L® au fipronil (pour *B. cucurbitae*) ou le Splat-ME® (pour *B. dorsalis*), à utiliser sur des plantes non cultivées. A Nauru, et en Polynésie française, Allwood *et al.*, (2002) ont utilisé des pièges au fipronil avec du ME ou du C-L contre

B. dorsalis, *B. cucurbitae*, la mouche des fruits du Pacifique *B. xanthodes* (Broun), et la mouche de la mangue *B. frauenfeldi* (Shiner). Ces outils sont particulièrement intéressants puisqu'ils proposent un diffuseur prêt à l'emploi, contenant l'attractif et l'insecticide, utilisables par les agriculteurs ou les particuliers, au prix de US \$ 0.35 chaque. Les diffuseurs Amulet C-L® sont également commercialisés en Australie contre la mouche du Queensland *B. tryoni* (Froggatt). Ils sont commercialisés depuis peu à Hawaii grâce au programme AWPM. Toujours à Hawaii, des essais ont été menés pour tester l'utilisation de diffuseurs Amulet C-L® enveloppés dans du papier fibreux contre *B. cucurbitae* (Vargas *et al.*, 2005). Confrontés aux conditions climatiques externes, ces diffuseurs ont montré une efficacité d'au moins 77 jours. Ces résultats incitent à utiliser ces diffuseurs dans le cadre de l'approche lutte intégrée préconisée contre *B. cucurbitae*, avec la prophylaxie, le GF-120 Naturalyte Fruit Fly Bait® et le piégeage de masse. En résumé, les diffuseurs Amulet C-L® sont un nouvel outil prêt à l'emploi, plus intéressants en termes de sécurité que les insecticides liquides utilisés actuellement pour la régulation à grande échelle de *B. cucurbitae* à Hawaii.

Le Splat® (Specialized Pheromone and Lure Application Technology) est une formulation brevetée, une matrice de matériel biologique inerte permettant le relargage d'infochimiques volatils avec ou sans pesticide. Des essais comparatifs ont montré l'intérêt du Splat ME plus spinosad par rapport au standard actuel, le Min-U-Gel® plus naled : jusqu'à six semaines, les deux montrent un effet comparable, mais le premier se révèle plus attractif durant les semaines sept à douze, et ce pour deux tests séparés menés en verger de papayers (*Carica papaya* L.) ou de goyaviers (*Psidium guajava* L.) (Vargas *et al.*, 2008). Nos études actuelles indiquent que des diffuseurs pulvérisables Splat-Mat-spinosad-ME® et Splat C-L®, contenant du spinosad, sont des substituts prometteurs pour remplacer les actuelles formulations aux organophosphorés utilisés à Hawaii contre *B. cucurbitae* et *B. dorsalis* (Vargas *et al.*, 2008b ; 2009a ; 2010a). Le Splat-Mat-spinosad-ME® est en cours d'homologation à Hawaii et en métropole US.

Impact local

Aloun farms, l'une des exploitations les plus grandes et les plus diversifiées à Oahu, a vu sa production de courgettes croître de 65 t/an, récolte additionnelle qui a pu être écoulee sans problème, produisant un bénéfice supplémentaire d'environ US \$ 75 000

selon le marché actuel. Une analyse économique du programme AWPM, tout en soulignant l'appropriation facile des méthodes pour les agriculteurs, estime les bénéfices initiaux du projet autour de 2.6 millions de dollars US annuels, chiffres qui devraient atteindre les 6 millions pour 2011 (McGregor *et al.*, 2007). Le bilan financier global du programme estime un retour de 32% pour un investissement de 14 millions de dollars sur 15 ans. Ceci sans compter de substantiels bénéfices indirects, comme la création d'emplois agricoles, ni les bénéfices environnementaux qui ne produisent pas de retour économique direct (McGregor *et al.*, 2007).

Les bénéfices sont divisés en trois catégories :

- (1) les augmentations déjà observées et leurs projection ultérieure,
- (2) les bénéfices issus des productions potentielles des cinq prochaines années, et
- (3) celles des possibles productions des dix prochaines années.

Même la plus prudente des analyses, qui ne considère pas les catégories de productions potentielles, estime encore le retour sur investissement à 27%. Ces retours sont générés par plusieurs facteurs. Par exemple, la prophylaxie et le piégeage sont moins chers que les insecticides et leur pulvérisation. En fait, le coût annuel des épandages d'organophosphorés, pour lutter contre la mouche du melon dans une exploitation de Kamuela, revient à US \$ 4 200 par hectare, si l'on inclut les coûts des mesures d'hygiène et de sécurité. Plus de 2 500 tonnes de cucurbitacées supplémentaires pourraient être produites à Hawaii dans les cinq années suivant le premier projet quinquennal, à condition que les appâts protéiques et sexuels soient disponibles à la vente, et que l'adoption du programme Haw-FlyPM soit financièrement intéressante pour les agriculteurs.

Impact régional

La gestion des mouches des fruits à Hawaii bénéficie également à d'autres régions des USA. Ainsi, la Californie, qui a à elle seule dépensé plus de 500 millions de dollars sur les 40 dernières années à éradiquer ces mêmes mouches. Au cas où l'une d'entre elles s'établirait effectivement sur le territoire, plus de 1.4 milliards de dollars pourraient être perdus chaque années en pertes de marchés, restrictions des exportations, coûts des traitements et réduction des récoltes, tout en y rajoutant la suppression de 14 000 emplois. Réguler les mouches à Hawaii diminue leur potentiel d'invasion pour le continent.

Les particuliers ont également bénéficié du programme, en gagnant la possibilité de cultiver dans leur jardin sans avoir à utiliser de pesticides. La tradition hawaïenne voulant que l'on offre des fruits ou des légumes à ses amis et voisins, il est agréable aux jardiniers de pouvoir offrir des végétaux sans mouches. A noter cependant que les particuliers peuvent constituer des réservoirs de pullulations pour les mouches, en créant ainsi un cycle sans fin pour les agriculteurs petits et grands, et ce même dans des zones où le contrôle est bien géré par les agriculteurs. Il est donc essentiel que ces particuliers soient incités à utiliser les méthodes du programme Haw-FlyPM qui ont si bien fonctionné pour les agriculteurs.

Impact international

Le succès du programme a eu un retentissement international dans de nombreux pays rencontrant des problèmes similaires. Les chercheurs et politiques d'Australie, de Chine, des Mariannes du Nord, de Fidji, de Polynésie française, de Guam, d'Afrique du Sud, du Bangladesh, du Kenya, de Tanzanie, de Madagascar, du Soudan, de Taïwan, du Vanuatu, d'Argentine, du Canada et du Mexique, entre autres, ont exprimé leur intérêt, voire adopté le programme comme modèle de gestion des mouches.

Conclusions

Le programme Haw-FlyPM a cela d'unique qu'il a développé des partenariats avec des industriels, résultant en un transfert rapide de nouvelles technologies aux agriculteurs. Ces technologies de lutte intégrée (surveillance à moindre risque, traitement par taches et diffuseurs paraphéromonaux) ont d'importantes applications dans la gestion à grande échelle des mouches des fruits, non seulement à Hawaï mais dans les nations des îles du Pacifique austral et occidental, en Australie et en Asie tropicale, là où les mouches du genre *Bactrocera* posent de graves préoccupations économiques. A ce jour, elles comptent parmi les méthodes les plus abouties, et les plus saines pour l'environnement, en termes de détection et de gestion de mouches des fruits. De plus, le développement de tels outils a d'importantes répercussions pour la détection et l'éradication des introductions accidentelles sur le continent américain. L'homologation définitive de ces technologies a favorisé la pérennisation du programme AWPM à Hawaï. La recherche travaille

maintenant à l'adoption de ces méthodologies dans les programmes de détection et d'éradication des mouches à l'intérieur de la métropole US.

Remerciements

Le programme Haw-FlyPM a été le fruit d'un partenariat entre l'université de Hawaï (Cooperative Extension Service) et le HDA, financé par l'USDA-ARS. Les auteurs sont particulièrement reconnaissants envers Kim Kaplan (USDA-ARS, Information Staff), l'Aphis, le California Department of Food and Agriculture, le programme IR-4, Dow AgroSciences LLC, ISCA Technologies, Sentry Biologicals Inc., et FarmaTech International Corp. Pour plus d'informations sur le programme, voir www.fruitfly.hawaii.edu. Cet article est en partie basé sur la brochure finale du projet. L'ARS-USDA applique une politique d'égalité des chances en matière d'emploi.

Tableau 1

Date d'homologation, numéro de licence et fabricant des nouveaux outils de lutte contre les mouches développés lors du programme Haw-FlyPM

Table 1

Registration date, license number and manufacturers of the new tools of crop protection developed during the Haw-FlyPM program

DATE OF REG.	EPA REG. N°	HAWAII LICENSING N°	PRODUCT	SOURCE
Aug. 22, 2000	HI SLN Reg. HI-000003	9786.135	GF-120 Fruit Fly Bait	Dow AgroSciences LLC
Dec 18, 2002	62719-498	9786.234	GF-120 Naturalyte Fruit Fly Bait supplemental label	Dow AgroSciences LLC
June 5, 2006	62719-498	9786.234	GF120 Naturalyte Fruit Fly Bait all crops supplemental label	Dow AgroSciences LLC
Aug. 1, 2002	8730-50	9628.6	Vaportape II™	Hercon Environmental Inc.
Sep. 20, 2007	7969-253	9131.131	Amulet™ C-L w/ fipronil stations	BASF Corp.
Oct. 3, 2007	36638-42	9721.4	Cue-lure in plastic matrix w/o toxicant	Scentry Biologicals Inc.
Dec. 11, 2007	36638-40	9721.3	Methyl eugenol in plastic matrix w/o toxicant	Scentry Biologicals Inc.
Oct. 26, 2007	81325-3	8637.1	Methyl eugenol in plastic matrix	Farma Tech International Corp.
June 2008	62719-42	9786.282	Sprayable Splat-MAT with methyl eugenol and spinosad	Dow Agro-Sciences/ ISCA Technology
January 2013	N/A	N/A	Reduced risk soil treatment	Various Companies
January 2013	N/A	N/A	Tri-Lure detection dispenser	Farma Tech International Corp.

TECHNOLOGICAL IMPACT OF THE HAWAII AREA-WIDE PEST MANAGEMENT PROGRAM ON FRUIT FLY CONTROL

R.I. Vargas¹, R.F.L. Mau²,
E.B. Jang¹, L. Wong³, L. Leblanc²

1. USDA-ARS, Pacific Basin Agricultural Research Center,
P.O. Box 4459, Hilo, HI 96720, USA.

2. University of Hawaii at Manoa,
College of Tropical Agriculture and Human Resources
Department of Plant and Environmental Protection Sciences,
3050 Maile Way, Gilmore 611, Honolulu, HI 96822, USA.

3. HDA, Division of Plant Industry,
P.O. Box 221659, Honolulu, HI 96823, USA

Abstract

Previous fruit fly (Melon fly, *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett), Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*, oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis*, and Malaysian fruit fly, *Bactrocera latifrons*) control measures in Hawaii relied heavily on application of organophosphate insecticides to crops. A 10 yr Area-Wide Pest Management (AWPM) fruit fly program integrated two or more components (field sanitation, protein bait sprays, male annihilation, sterile insects, and parasitoids) into a comprehensive management package that was economically viable, environmentally acceptable, and sustainable. The program resulted in area-wide suppression of fruit flies, a reduction in the use of organophosphate insecticides, and expansion of diversified agriculture. The 2,079 cooperating growers, representing 6,798 acres and 491 farms throughout the state of Hawaii, were able to reduce conventional pesticide use by 75-90%. Farmers reduced fruit fly infestation from 30-40% to less than 5%. An economic assessment determined the program easy to use with initial economic benefits estimated at \$2.6 million per year. Rate of return came to 27%, according to a cost-benefit study. An important activity of the program was development of industry partnerships and transfer of novel technologies immediately to farmers. Among the technologies were new monitoring dispensers, a reduced-risk bait spray, and reduced-risk male annihilation applications. These technologies represent some of the most environmentally safe and advanced fruit fly detection and control products developed to date and are being transferred to other

areas of the world. Currently these technologies are being transferred to the U.S. mainland for detection and control of fruit flies.

Key Words: Melon fly, oriental fruit fly, Mediterranean fruit fly, Malaysian fruit fly, monitoring dispensers, spinosad bait sprays, Splat-MAT-spinosad-ME, Amulet C-L male annihilation treatments, parasitoid releases.

Introduction

Four economically important fruit flies (Diptera: Tephritidae) have been inadvertently introduced into Hawaii, and are now established on all of the major Hawaiian islands: melon fly, *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett), (introduced in 1895), Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Wiedemann), (1910), oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* (Hendel), (1945), and Malaysian fruit fly, *Bactrocera latifrons* (Hendel), (1983). These fruit flies infest over 400 different host fruits and represent one of the greatest obstacles to expansion or development of diversified agriculture in Hawaii. Tephritid flies have had a serious economic impact on tropical and sub-tropical agriculture in many parts of the world and pose a continuing and increasing threat of establishment in new areas. They have inhibited development of a profitable diversified fruit and vegetable industry for local consumption and export by causing direct damage to crops and requiring expensive post-harvest quarantine treat-

ments (Vargas *et al.* 2008; Mau *et al.* 2007).

In 1994, USDA proposed an IPM initiative to achieve a national goal of implementation of IPM on 75% of the crop acres by the year 2000. To promote this goal, Agricultural Research Service (ARS) initiated Area-Wide Pest Management (AWPM) programs (Faust and Chandler 1998; Chandler and Faust 1998), which included research, education, and assessment components. The goal was to conduct research and transfer results and novel technology to the farmers. Thus, the major objective of the Hawaii Fruit Fly AWPM program was to develop and integrate biologically based pest management approaches that would result in area-wide suppression and control of fruit flies throughout selected agricultural areas of Hawaii. The AWPM program attempted to integrate two or more technologies into a comprehensive management package that was economically viable, environmentally acceptable and sustainable. Components of the program included:

- 1) monitoring,
- 2) field sanitation;
- 3) reduced risk protein bait sprays,
- 4) reduced risk male annihilation technique (MAT),
- 5) augmentative parasitoid releases
- 6) sterile insect releases (Mau *et al.* 2007; Vargas *et al.* 2008a).

Implementation required formation of ARS, APHIS, University of Hawaii, Hawaii Department of Agriculture and industry partnerships. The present manuscript reviews the novel technologies transferred to farmers through the Hawaii Fruit Fly AWPM program in the areas of monitoring, sanitation, protein bait sprays and male annihilation. Table 1 chronologically lists Environmental Protection Agency (EPA), Hawaii registration numbers and companies for products researched and developed through partnerships with the Hawaii AWPM program. Since *B. cucurbitae* and *B. dorsalis* are the major pests impacting Hawaiian agriculture, registration focused on products developed to control these species.

Results and Discussion

Monitoring

Initially, simple bucket traps were deployed in the Hawaii IPM program with liquid lures and the insecticide naled (Vargas *et al.* 2003). These traps were also used as MAT devices for *B. cucurbitae* and *B. dorsalis* under a Special Local Needs Permit. Implemen-

tation of DDVP (Hercon Vapor Tape II®) (Emigsville, PA) strips in place of liquid naled was encouraged by workers and represented an important improvement from a worker safety viewpoint.

Likewise there was a similar move toward replacement of liquid ME and C-L with solid formulations (i.e. ME or C-L plugs, Sentry, (Boseman, MT) and ME plugs, Farma Tech (North Bend, WA)) (Vargas *et al.* 2010b). These bucket traps with a solid lure and insecticidal strip became known as the AWPM trap. Generally, AWPM traps were found to be effective up to 3 months. Subsequently, a prepackaged Farma Tech wafer with a solid formulation of ME or C-L with DDVP (Farma Tech, North Bend, WA) was researched and developed that performed equally as well in bucket and delta traps. During recent evaluations, captures with solid Farma Tech wafer dispensers with ME or C-L and DDVP placed inside Jackson and AWPM traps were equal to those for a Jackson trap with a liquid insecticide and lure mixture (Jackson trap with naled) currently used for detection of "ME and C-L responding fruit flies" in Florida and California (Vargas *et al.* 2009b; 2010b).

These dispensers are currently undergoing registration, although they can be used for survey work without registration. Farma Tech ME and C-L wafers with DDVP are more convenient and safer to handle than current liquid insecticide formulations (e.g. naled) used for fruit fly detection programs worldwide. They represent one of the most effective and technologically advanced dispensers developed to date. The bucket trap and delta trap with ME and C-L Farma Tech wafers are being tested further as potential male annihilation devices.

Sanitation

Field sanitation is a technique that either prevents fruit fly larvae from developing or sequesters young emerging adult flies so that they cannot return to the crop to breed. In the past it was assumed that smashing fruits or rotor tilling the soil would kill most of the fruit fly larvae. However, preliminary tests demonstrated that only a small proportion of the flies were killed in this manner. Likewise, herbicide treatment of uncultivated host plants can stop plant growth, thereby reducing subsequent infestation of young fruit, but had little effect on larvae already developing in the fruit.

Consequently, the Hawaii AWPM program promoted various methods of either killing the larvae in the fruit, or preventing the larvae from developing into adult flies. Among the methods recommended by the program were bagging or deep-burying infested fruit,

drowning larvae in the fruit, or sequestering emerging adult flies in tents or under plastic screen. Data suggest that larvae can go through window screen. However, if the screen is under the fruit, the larvae will crawl through it and pupate in the soil, but the emerging adults cannot escape back into the crop environment (Klungness *et al.* 2005). Mechanization was recommended for some large farms. Grinding the fruit into fine pulp, thus macerating the larvae, is the surest method of destroying infested fruit, but may not be the most cost effective for small farms. One novel sanitation device used in the program was the augmentorium (Klungness *et al.* 2005). These augmentoria, consisted of tents made with a screen material that restricted the dispersal of fruit fly adults developing from fruits placed inside the tent, but allowed smaller fruit fly parasitoids that emerged to escape. Further details on methods of sanitation used in the Hawaii AWPM program are to be found in Klungness *et al.* (2005).

Protein bait sprays

Nishida *et al.* (1957) developed an effective technique for *B. cucurbitae* control by applying a food bait with a pesticide to border vegetation where flies roost. Since their discovery, fruit flies have been controlled in agricultural areas of Hawaii using protein bait sprays. Most female flies need protein for full ovarian development and egg production, thus they readily feed on a protein source containing a toxicant. The bait spray strategy dramatically reduces the amount of pesticide needed for fruit fly control and has been used successfully in eradication campaigns. Since the late 1950's the most common toxicant used in fruit fly bait spray formulations has been the organophosphate insecticide malathion. Nu-Lure has been the most popular protein bait mixed with malathion for fruit fly control (Prokopy *et al.* 1992). However, organophosphate insecticides have been implicated in negative effects on natural enemies and human health. Prior to the AWPM program, new bait spray formulations containing reduced risk insecticides, such as spinosad, were developed and tested for use in Central America and the U.S. (Peck and McQuate 2000; Vargas *et al.* 2001; Prokopy *et al.* 2003; Piñero *et al.* 2009).

Spinosad, a toxin derived from the soil dwelling actinomycete bacterium *Saccharopolyspora spinosa* Mertz and Yao, has low mammalian toxicity, and reduced environmental impact on natural enemies (Vargas *et al.* 2001; Stark *et al.* 2004). A bait composed of Solulys, as the protein attractant compound, and spinosad was produced as GF-120 Fruit Fly Bait (Dow AgroSciences, Indianapolis, IN). Spino-

sad demonstrated extremely low vertebrate and environmental toxicity with reduced risk to humans and wildlife than traditional insecticides and in addition is effective at much lower doses. The AWPM program provided farmers with the new commercial formulation GF-120 Fruit Fly Bait as a substitute for Nu-Lure bait that contained malathion for control of fruit flies. This novel product combined with sanitation in an IPM approach became the initial technology transfer to farmers participating in the Hawaii program and provided the foundation from which the Hawaii AWPM program grew. Initial successes of this approach were demonstrated with *C. capitata* (Peck and McQuate 2000) and subsequently with *B. cucurbitae* (Prokopy *et al.* 2003). Most recently, GF-120 has been shown to be effective against *B. dorsalis* (Piñero *et al.* 2009a; Piñero *et al.* 2009b) and *B. latifrons* (unpublished data). An “all crops” and “organic” label was obtained in Hawaii for fruit fly control through the AWPM program for GF-120 NF Naturalyte Fruit Fly bait.

Male Annihilation Technique (MAT)

In spite of being used in California for the last 25 yr and for many eradication programs throughout the Pacific, MAT with methyl eugenol (ME) was still not legally available to farmers in Hawaii for control of fruit flies. Nonetheless, there was interest in Hawaii for permanent registration of ME and C-L end products for control of fruit flies that contain both a kairomone lure and an insecticide, such as Amulet C-L (for *B. cucurbitae*) and Splat-ME (for *B. dorsalis*), for use on nonfood plants. In Nauru and French Polynesia Allwood *et al.* (2002) used fipronil stations with ME and C-L (and fipronil) against *B. dorsalis*, *B. cucurbitae* and *Bactrocera xanthodes* (Broun), the Pacific fruit fly, and *B. frauenfeldi* (Shiner), the mango fruit fly, as a substitute for malathion and lure.

These devices are unique in that they offer a commercial pre-packaged MAT dispenser that contains both a lure and an insecticide for fruit fly control by farmers and home gardeners. These dispensers have been marketed in Pacific Island Countries for as little as \$ 0.35 US per dispenser. Amulet C-L dispensers have been registered for *Bactrocera tryoni* (Froggatt), Queensland fruit fly, control in Australia. The Amulet C-L stations have recently been registered in Hawaii through the AWPM program. Under Hawaiian conditions Amulet C-L molded paper fiber “attract and kill” dispensers containing fipronil, were tested against *B. cucurbitae* (Vargas *et al.* 2005). In paired tests (fresh vs weathered), C-L dispensers were effective for at least 77 d. Results suggested that fipronil C-L dispensers could be used in Hawaii as part of an IPM

program for *B. cucurbitae* that recommends an IPM program of sanitation, GF-120 NF Naturalyte Fruit Fly Bait, and MAT for fruit fly management. In summary, Amulet C-L dispensers are a novel prepackaged formulation containing C-L and fipronil that are more convenient and safer to handle than current liquid insecticide formulations used for area-wide suppression of *B. cucurbitae* in Hawaii.

Splat™ (Specialized Pheromone and Lure Application Technology) is a proprietary base matrix formulation of biologically inert materials used to control the release of semiochemicals and/or odors with or without pesticides. In comparative trials, Splat ME + spinosad compared favorably to the current standard of Min-U-Gel ME + naled for up to 6 wk and was superior from weeks 7 to 12 in two separate tests conducted in a papaya (*Carica papaya* L.) orchard and a guava (*Psidium guajava* L.) orchard, respectively (Vargas *et al.* 2008). Our current studies indicate that Splat-MAT-spinosad-ME and Splat C-L sprayable “attract and kill” dispensers containing spinosad are a promising substitute for current liquid organophosphate insecticide formulations used for area-wide suppression of *B. dorsalis* and *B. cucurbitae* in Hawaii (Vargas *et al.* 2008b; 2009a; 2010a). Splat-MAT-spinosad-ME was registered for use in Hawaii and on the U. S. mainland.

Local impact

Aloun Farms, one of the largest and most diversified growers on Oahu, began producing an additional 130,000 pounds of zucchini a year and had no problem marketing all of it. This production gain translates into a financial benefit to the farmer of around \$ 75,000 at current farmgate prices. An economic assessment found that Haw-FlyPM program is easy to use and initial economic benefits were estimated at \$ 2.6 million per year and projected to increase to \$6 million by 2011 (McGregor *et al.* 2007). A full cost-benefit analysis found the Haw-FlyPM program will create as much as a 32-percent return on an investment of \$ 14 million over 15 years—and that doesn't count the substantial indirect benefits, such as increased agricultural employment, nor environmental benefits that don't have a direct dollar return (McGregor *et al.* 2007).

The benefits were measured in three categories:

- (1) already-achieved increases plus forecasts of their continuing,
- (2) benefits based on likely outputs over the next 5 years, and
- (3) benefits based on possible outputs over the next 10 years.

Even the most conservative economic analysis without including the ‘possible benefits’ category, the rate of return still came to 27 percent, according to the cost-benefit study. Economic return came from a variety of revenue streams. For example, field sanitation and trapping are less expensive than pesticides and spraying. The annual direct cost of spraying organophosphate pesticide to control melon fly in commercial cucurbit production in the Kamuela area comes to \$ 1,680 per acre, including health and safety costs. A 5-million-pound expansion in Hawaii's production of cucurbits could occur over the five years following the original five-year program, but only if adopting the Haw-FlyPM program is financially attractive to growers and if the bait sprays and lures are available.

Regional impact

Suppression of fruit flies in Hawaii also has benefits in other parts of the United States. California alone has spent more than \$ 500 million eradicating the same exotic fruit flies over the last 40 years. If any of them became established there, it could cost California over \$ 1.4 billion a year in lost markets, export sanctions, treatment costs, and reduced crop yields, plus the loss of 14,000 jobs. Suppressing exotic fruit flies in Hawaii lessens the chances that they could become the source for outbreaks in the continental United States. Home gardeners have also gained from the program, making it possible to raise many crops in their yards without resorting to pesticides. There is a tradition in the Hawaiian culture of bringing fruit and vegetables when visiting friends and neighbors, and gardeners are pleased to have fruit-fly-free gifts to share. But backyard gardens can act as reservoirs in which a few fruit flies can survive and produce another generation—in effect creating a never-ending cycle for growers, large and small, even when farmers in an area do a good job of controlling fruit flies. Successfully enlisting gardeners to use the Haw-FlyPM program also enhanced the success of program for commercial growers.

International impact

The success of the Haw-FlyPM program has had international impact on fruit fly management as many other countries are also facing similar problems. Researchers and officials from Australia, People's Republic of China, the Commonwealth of the Northern Mariana Islands, Fiji, French Polynesia, Guam, South Africa, Bangladesh, Kenya, Tanzania, Madagascar, Sudan, Taiwan, Vanuatu, Argentina, Canada and Mexico, among others, have expressed interest in or adopted the program as a model for fruit fly suppression.

Conclusions

Unique to the Hawaii Fruit Fly AWPM program was formation of partnerships with industry that resulted in the rapid transfer of novel technologies to farmers. These IPM technologies (i.e. reduced-risk monitoring dispensers, protein bait sprays and MAT dispensers) have important applications to area-wide suppression of fruit flies not only in Hawaii but also throughout south and western Pacific Island Nations, Australia, and tropical Asia where *Bactrocera* spp are serious economic pests. They represent some of the most environmentally safe and advanced fruit fly detection and control products developed to date. Furthermore, development of environmentally-friendly area-wide tools has important applications to detection and eradication of accidental introductions of fruit flies into the U.S. mainland. Permanent registration of these technologies has supported sustainability of the Hawaii Fruit Fly AWPM program. Research is ongoing to adopt these technologies to U.S. mainland fruit fly detection and eradication programs.

Acknowledgments

The Hawaii Fruit Fly AWPM Program was a USDA-Agricultural Research Service funded partnership with the University of Hawaii Cooperative Extension Service and Hawaii State Department of Agriculture. The authors especially acknowledge the help of Kim Kaplan (ARS, USDA, Information Staff), Animal and Plant Health Inspection Service, California Department of Food and Agriculture, IR-4 program, Dow AgroSciences LLC, ISCA Technologies, Sentry Biologicals, Inc., and FarmaTech International Corp. For more information about the Haw-FlyPM program see www.fruitfly.hawaii.edu. Portions of this manuscript are based on the final brochure for the AWPM Program. ARS-USDA is an equal opportunity employer.

GESTION À GRANDE ÉCHELLE DE LA MOUCHE DU MELON *BACTROCERA CUCURBITAE* (COQUILLET) (DIPTERA : TEPHRITIDAE)

P. Sookar, M. Alleck, I. Buldawoo, F.B. Khayrattee, T. Choolun, S. Permaloo & M. Rambhunjun

Entomology Division, Agricultural Services,
Ministry of Agro Industry & Food Security,
Reduit, Mauritius.

Résumé

La mouche du melon *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) est à Maurice le ravageur le plus important sur les cultures de cucurbitacées, où elle cause des dommages importants. Face à ces mouches, les agriculteurs utilisent largement des insecticides conventionnels en traitement de couverture, avec les inconvénients habituels de ces pratiques. Un projet, baptisé « Etude de faisabilité pour la réduction des mouches du melon dans des zones sélectionnées à Maurice – MAR 5/0106 », a été lancé en juin 2007. Ses objectifs principaux consistaient en la production de cucurbitacées de qualité par des méthodes de lutte efficaces et respectueuses de l'environnement, en minimisant l'emploi de pesticides. Les agriculteurs furent sensibilisés à ce projet par des réunions, des plaquettes, des autocollants et des vidéos. En guise d'incitation, les agriculteurs ont reçu formations, pulvérisateurs, cages à fruits, appâts protéiques et plaquettes de paraphéromones. Le suivi des populations de mouches s'est effectué à l'aide de pièges « secs » et de pièges « liquides » contenant de la levure de bière modifiée. De même, le taux d'infestation a été suivi par la collecte régulière de fruits piqués, mis en incubation au laboratoire. Chaque semaine, cette infestation était également évaluée par un comptage visuel des petits fruits piqués au champ. Le niveau d'infestation a été ramené de 30% à moins de 5% en un an d'utilisation de méthodes respectueuses de l'environnement. La diminution de la fréquence des traitements insecticides, et l'augmentation de la production de cucurbitacées, ont également été notifiées. Ce projet a donc démontré la faisabilité d'une approche intégrée pour réduire l'utilisation d'insecticides et pour produire des fruits de meilleure qualité.

Mots clés : mouche du melon, piégeage, traitement par taches, piégeage de masse des mâles.

Introduction

Les mouches des fruits (Diptera : Tephritidae) causent à travers le monde de lourdes pertes aux cultures. Elles sont aujourd'hui reconnues comme des ravageurs majeurs des cultures fruitières et maraîchères. A Maurice, le problème remonte à l'aube du siècle dernier (Orlan & Moutia, 1960). Les agriculteurs ont été formés à lutter contre ces mouches par des traitements insecticides de couverture, à l'échelle individuelle de l'exploitation. Cette méthode conventionnelle peut être décrite comme une action localisée et non coordonnée contre des segments de populations de ravageurs, ayant très souvent pour résultat une spirale infernale d'utilisation croissante d'insecticide, avec au final l'apparition de résistances. Au contraire, dans un programme de gestion à grande échelle, c'est l'ensemble de la population d'une zone qui est ciblée. Une telle action adopte une tactique plus préventive que curative, où tous les individus d'une population sont visés, requérant ainsi moins de moyens et résultant en un contrôle à la fois plus durable et rentable (Hendrichs *et al.*, 2007 ; Reyes *et al.*, 2007 ; Vargas *et al.*, 2007 ; Sookar *et al.*, 2008).

Dans cette optique, une campagne d'éradication fût organisée, avec le support de l'AIEA, à la suite de l'introduction accidentelle de la mouche orientale des fruits *Bactrocera dorsalis* (Hendel) en 1996. En 1999, cette mouche fût officiellement déclarée éradiquée de Maurice. (Seewooruthun *et al.*, 2000). Cette éradication à grande échelle s'est effectuée selon les procédures établies par l'USDA-ARS à Hawaii en 1999 pour contrôler la mouche du melon *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett), la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* (Wiedemann) et *B. dorsalis*. Les technologies utilisées incluaient la prophylaxie, les traitements par tâche avec appâts protéiques, l'annihilation des mâles et, au besoin,

des lâchers inondatifs de parasitoïdes ou de mâles stériles (SIT). Ces efforts de l'USDA-ARS ont été couronnés de succès (Vargas *et al.*, 2010).

Les cucurbitacées occupent environ 30% des zones maraîchères à Maurice, produisant environ 24 000 tonnes par année. Même si trois espèces introduites peuvent attaquer ces cultures (*B. cucurbitae*, *Dacus ciliatus* Loew et *D. demmerezi* (Bezzi)), c'est la mouche du melon qui provoque le plus haut niveau d'infestation, en particulier durant les mois d'été. En 2007 a été lancé un programme de trois ans intitulé « Etude de faisabilité pour la réduction des mouches du melon dans des zones sélectionnées à Maurice – MAR 5/0106 ». Ce programme a été mené, avec la proche collaboration de l'AIEA, en vue de développer et intégrer des méthodes durables de gestion à grande échelle de la mouche du melon afin de réduire l'utilisation de pesticides. Ses objectifs étaient à la fois de transférer de nouvelles technologies aux agriculteurs et de collaborer avec eux pour produire des cucurbitacées de qualité avec des méthodes respectueuses de l'environnement.

Matériel et méthodes

Zone cible

Nous avons sélectionné pour ce projet la région de Plaine Sophie (20021'33.06"S 57029'24.37"E, 556 m d'altitude, 3000-3600 mm de pluviométrie annuelle), qui regroupe 135 agriculteurs sur 110 ha. Les principales cultures de l'été sont la pipangaille (*Luffa acutangulata* (L.) Roxb.), la margoise *Momordica charantia* L., le concombre *Cucumis sativus* L., la citrouille *Cucurbita maxima* Duchesne ex Lam., la courgette *C. pepo* L., la patole *Trichosanthes cucumerina* L., la calebasse *Lagenaria siceraria* (Molina), tandis que le chou chou *Sechium edule* (Jacqu.) Sw. est cultivée tout au long de l'année. Cette localité est isolée et totalement environnée par la forêt. Les populations de mouche du melon y sont surveillées par des pièges au cue-lure et malathion depuis 2006. Deux autres sites de production, Dubreuil (3000-3600 mm de pluviométrie annuelle) et L'esperance trebuchet (20004'18"S 57036'38"E, 87 m d'altitude et 1200-1800 mm de pluviométrie annuelle) ont été suivies comme témoin (Fig. 1).

Espèces ciblées

Les trois espèces de mouches des cucurbitacées, *B. cucurbitae*, *D. ciliatus* et *D. demmerezi*.

Calendrier

Le calendrier a été établi en collaboration avec les experts de l'AIEA (tableau 1), l'AREU et le département d'entomologie. L'AREU avait pour mission la sensibilisation et la formation des agriculteurs aux nouvelles techniques.

L'objectif principal du projet de contrôle à grande échelle de la mouche du melon était de transférer rapidement de nouvelles technologies, plus sûres, aux agriculteurs. Ceux-ci ont donc été continuellement incités à participer aux actions en appliquant les traitements par taches, en pratiquant la prophylaxie et le piégeage de masse. Des outils de vulgarisation comme des plaquettes, des autocollants et des vidéos sur le contrôle de la mouche du melon ont été élaborés pour être distribués aux agriculteurs afin d'expliquer le cycle biologique des mouches et leur comportement. De même ont été organisées des conférences, des visites sur site et des démonstrations. L'accent a été mis sur l'importance de la prophylaxie, puisque les agriculteurs avaient auparavant pour habitude de laisser pourrir sur place leurs légumes infestés. Les plantes non cultivées abritant les mouches dans la zone ont été identifiées en présence des agriculteurs par l'observation des mouches sous leurs feuilles, et ces plantes ont été choisies pour le placement des pièges et l'application des taches d'attractif alimentaire.

Technologies de lutte

Trois techniques (prophylaxie, traitement par taches et piégeage de masse) ont été utilisées au cours de ce programme.

■ La prophylaxie a été initialement réalisée à l'aide de sacs plastiques. Durant la deuxième année du projet, les augmentoria (communément appelés cages à fruits) ont pu être fournies aux agriculteurs. Cette technique a été utilisée avec succès à Hawaï (Klungness *et al.*, 2005 ; Jang *et al.*, 2007).

■ Traitement par taches. Durant la première année, 135 agriculteurs ont été approvisionnés gratuitement avec un hydrolysate de protéines végétales (Garuda Chemicals, Mumbai, India), à utiliser en appât alimentaire à 20%, mélangé à l'un des insecticides suivants à 2% : cyfluthrine 50 SL, deltaméthrine 2.5 EC, cyperméthrine 10 EC, lambda-cyhalothrine 5 CS, fenitron 50 EC ou profenofos 500 EC. Chaque semaine, les agriculteurs ont appliqué des taches (5-10 mL) de cette bouillie sous les feuilles des plantes abritant les mouches : maïs *Zea mays* L., goyavier *Psidium guajava* L., canne à sucre *Saccharum officinarum* L.,

bananier *Musa* spp. et papayer *Carica papaya* (L.). Au cours de la deuxième année, nous leur avons procuré du GF-120 Fruit Fly Bait® (Dow AgroSciences, LLC), à appliquer une fois par semaine, en bouillie de 20%, par taches de 1-2 mL.

■ Le piégeage de masse des mâles a été accompli en utilisant des bloquettes de contreplaqué (50x50x12 mm) imprégné de cue-lure et de malathion. Ces bloquettes étaient préparées par le trempage du contreplaqué dans une solution de cue-lure et de malathion 3 :1 pendant sept jours, avant d'être distribuées aux agriculteurs pour être disposées dans les parcelles. Elles étaient placées dans des bouteilles plastiques de 1.5 L percées d'une ouverture latérale. Les agriculteurs furent rapidement convaincus de l'efficacité de ces bloquettes après avoir observé l'accumulation de mouches mortes dans les pièges. Les pièges étaient disposés tous les 20 m, et les bloquettes changées tous les trois mois.

Piégeage des mouches des fruits

Les pièges utilisés étaient des bocaux de plastique jaunes, d'un volume de 1 L, avec quatre ouvertures latérales de 3 cm de diamètre. A l'intérieur était placée une boule de coton additionnée de cinq gouttes de cue-lure et cinq gouttes de malathion 57EC. Dans la région de Plaine Sophie, nous avons disposé 80 de ces pièges sur les plantes précédemment identifiées. Les pièges étaient récoltés et renouvelés tous les 15 jours. Afin de suivre les populations de femelles des trois espèces, nous avons également utilisé des pièges de type McPhail contenant 300 mL d'un attractif alimentaire, une bouillie de déchet de brasserie à 12.5% et de borax 5%. Chaque piège était contrôlé une fois par semaine (Sookar, 2001 ; Sookar *et al.*, 2002 ; 2004).

Echantillonnage des cucurbitacées au champ

A partir de janvier 2008, nous avons collecté des fruits piqués, pour les ramener au laboratoire, les peser et enfin les placer en boîtes plastiques sur un fond de sable fin. Le fond des boîtes était percé par des trous de moins de 1 mm de diamètre pour l'évacuation des liquides de décomposition des végétaux, en particulier les concombres. Chaque fruit était placé dans une boîte séparée. Après dix jours, le sable était tamisé, les pupes comptées et placées en boîtes de Pétri pour attendre l'émergence des mouches. Les mouches adultes étaient par la suite identifiées et dénombrées.

Inspection visuelle des cucurbitacées au champ

Le niveau d'infestation dans certaines parcelles sélectionnées était suivi par un examen aléatoire de jeunes cucurbitacées (6-8 cm de long), en quête de traces de piqûres de mouches. L'examen hebdomadaire s'étalait de la nouaison à la fin de la fructification. Un fruit portant au moins une piqûre était considéré comme « piqué ». Les agriculteurs ont pu également fournir des estimations du taux de fruits piqués dans leurs parcelles à chaque récolte.

Suivi des agriculteurs

Nous avons établi un questionnaire afin d'obtenir auprès des agriculteurs des informations sur les points suivants : profil de l'agriculteur, caractéristique de l'exploitation, stratégies de lutte contre les mouches, connaissances des nouvelles techniques préconisées et impressions personnelles. L'enquête a été menée en juillet 2008 et répétée en décembre 2009.

Analyse statistique

Les données issues des récoltes de fruits et des questionnaires ont été traitées sous SPSS 12.0 pour être triées et analysées. La procédure de tri pour vérification de la fiabilité des données a consisté en la vérification régulière de l'existence de données aberrantes ou manquantes. Les relations entre les variables ont été évaluées par des tests de Chi².

Résultats

La moyenne des captures de mâles de mouches du melon, durant les trois ans, a été trois fois moindre à Plaine Sophie qu'à L'Espérance Trebuchet. Durant une période de deux ans et demi, cette moyenne à Plaine Sophie n'a pas dépassé 12 mouches / piège / jour (Fig. 2). Aucun mâle de *D. demmerezi* n'a été capturé dans les pièges au cue-lure. Dans les trois sites, le nombre de *D. ciliatus* capturées par les pièges à protéine a été nul pendant la plupart de l'année, à l'exception des mois d'été de décembre et janvier. Ces mêmes pièges ont toujours capturé une moyenne de *B. cucurbitae* inférieure à 3 / piège / jour (Fig. 3). Les agriculteurs de Dubreuil ont débuté en février 2008 l'application des mesures de contrôle déjà appliquées à Plaine Sophie. Aussitôt, les captures quotidiennes ont chuté de huit par piège durant les mois de janvier-février à moins de trois ensuite (Fig. 3).

En moyenne, le nombre de pupes de mouches par kilo de concombre à Plaine Sophie en janvier 2008 était de 115.82 ± 7.64 , contre 81.90 ± 38.46 un an plus tard, soit 29.29% de moins. La mouche la plus fréquemment rencontrée était *B. cucurbitae*, suivie de *D. ciliatus* et *D. demmerezi* (Tab. 2-4).

Lors de l'enquête menée en juillet 2008 à Plaine Sophie, il est apparu que les agriculteurs étaient principalement des hommes (94%) de 40 ans et plus (74.4%), avec des parcelles de 0.2-1.0 ha (70.9%). Pour 88% d'entre eux, les insectes sont le principal problème phytosanitaire, 65.8% mettant les mouches des fruits en tête de liste. Les plaquettes de cue-lure et les attractifs protéiques distribués gratuitement ont été respectivement utilisés par 93.2 et 94.0% des agriculteurs.

Avant le début du projet en juillet 2007, 68.7% des agriculteurs effectuaient au moins deux traitements insecticides par semaine. Après avoir adopté la prophylaxie, le traitement par taches et le piégeage de masse, 84.8% d'entre eux ont déclaré avoir réduit l'application d'insecticides sur leurs cultures (Fig. 4). Seuls 33.1% d'entre eux traitaient encore leurs cultures deux fois par semaine en juillet 2008, et 5.2% n'appliquaient plus aucun traitement de couverture (Fig. 5). 80.7% des agriculteurs ont observé une augmentation de leur production, et 87.7% une augmentation de sa qualité (Fig. 6). En résultat de l'augmentation qualitative des cucurbitacées produites, 56.1% d'entre eux ont déclaré une augmentation de la rentabilité de leur exploitation.

Nous n'avons noté aucune relation entre l'âge des personnes interrogées et leur connaissance du cycle de vie et du comportement de *B. cucurbitae* ($c2 = 17.835$, $df16$; Asymp. Sig. = 0.334). L'inspection visuelle d'un échantillon aléatoire de jeunes courgettes en 2008 en période de récolte a montré que le niveau d'infestation avait chuté en dessous des 5% (Fig. 7).

Discussion

Bactrocera cucurbitae est une mouche polyphage, occasionnellement signalée sur des hôtes en dehors des Cucurbitaceae (White & Elson-Harris, 1994 ; Allwood *et al.*, 1999). Vayssières *et al.*, (2007) ont signalé que ce ravageur provoque de fortes pertes en Afrique de l'Ouest. A La Réunion, elle infeste 12 genres dans trois familles botaniques (Cucurbitaceae, Passifloraceae et Solanaceae), et *D. ciliatus* a été signalée sur neuf genres de cucurbitacées seulement (Vayssières, 1999). Mwatawala *et al.*, (2010) ont montré qu'en Tanzanie, *B. cucurbitae* prédomine sur les autres rava-

geurs des cucurbitacées, à l'exception de *D. ciliatus*, toujours dominante sur certaines cultures.

A Maurice, *B. cucurbitae* est l'espèce dominante sur cucurbitacées, suivies de *D. ciliatus* et *D. demmerezi*. Par ordre de préférence, ses plantes hôtes à Plaine Sophie sont la calebasse, le concombre, la courgette et la citrouille. A Dubreuil et L'Esperance Trebuchet, l'hôte le plus attaqué est le concombre. *Dacus demmerezi* a également été collecté sur citrouille à Plaine Sophie et sur calebasse à Dubreuil. Nous n'avons observé aucun développement de mouche sur chou-chou, bien qu'elles endommagent les fruits par leurs piqûres.

Le programme de gestion à grande échelle de la mouche du melon à Plaine Sophie, couvrant 110 ha de cultures occupées par 135 maraîchers, a résulté en une réduction du niveau d'infestation des mouches, une augmentation qualitative et quantitative des récoltes, une diminution des traitements insecticides et une augmentation du niveau de formation des agriculteurs sur les techniques de lutte, incluant la prophylaxie. Le niveau d'infestation est passé de plus de 30% avant le programme à moins de 5% un an après. L'enquête menée auprès des agriculteurs a montré que 85% d'entre eux ont noté une augmentation de la qualité et/ou de la quantité de leur récolte. Le coût de la production a également été diminué par la baisse des coûts d'achats et d'application d'insecticides.

La plus efficace des méthodes de gestion de *B. cucurbitae* est la prophylaxie, lorsque les fruits infestés sont enterrés ou placés dans un augmentorium pour briser le cycle biologique des mouches (Klungness *et al.*, 2005 ; Jang *et al.*, 2007). Vargas *et al.*, (2010) ont montré sur un site de 40 km² à Hawaii que l'action combinée durant six ans de la prophylaxie, du traitement par taches, du piégeage de masse et des lâchers de parasitoïdes diminuaient effectivement l'incidence de *C. capitata* et *B. dorsalis*. L'application de ces méthodes à grande échelle est économiquement viable, saine pour l'environnement, et réduit les mouches en dessous du seuil de nuisibilité économique avec un usage minimal d'organophosphorés et de carbamates (Mau *et al.*, 2003 ; Vargas *et al.*, 2003 ; Klungness *et al.*, 2005).

Plus encore, plusieurs auxiliaires semblent bénéficier directement de l'application du programme et la réduction subséquente de la pression phytosanitaires. Un parasitoïde du genre *Fopius* a ainsi été collecté à partir de cucurbitacées infestées et mis en élevage en laboratoire pour un possible usage ultérieur en tant qu'auxiliaire. Les agriculteurs ont également signalé un plus grand nombre d'abeilles mellifères sur

les fleurs de cucurbitacées, ce qui montre qu'ils y ont effectivement réduit leurs traitements insecticides. Ce projet a montré qu'il était possible d'adopter une approche intégrée pour réduire l'usage d'insecticides et produire des fruits de meilleure qualité.

Les fonds dédiés à ce projet, par l'AIEA et le gouvernement mauricien, étaient initialement prévus pour le transfert de technologies connues aux seuls agriculteurs de Plaine Sophie. Les premiers succès ont cependant permis d'y inclure d'autres régions. Après avoir entendu parler du succès des opérations à Plaine Sophie, d'autres régions de production à Maurice ont en effet demandé le transfert de ces technologies. Actuellement nous continuons les travaux de recherches pour y inclure la méthodologie SIT.

Remerciements

Nous tenons à remercier pour leur participation les agriculteurs de Plaine Sophie, Dubreuil et L'Esperance Trébuchet. Ce projet a été co-financé par l'AIEA (TC MAR 5/016) et le gouvernement de Maurice. Les experts de l'AIEA (Grant McQuate, Serge Quilici, Ron Mau et Don McInnis) ont largement contribué au succès de l'entreprise.

Tableau 1

Calendrier des activités pour la mise en place du programme de gestion des populations de *B. cucurbitae* à grande échelle à Plaine Sophie

ACTIVITÉ	2007				2008				2009			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
1. Suivi des populations de <i>B. cucurbitae</i>												
2. Echantillonnage et incubation au laboratoire de fruits piqués												
3. Campagne de sensibilisation												
(I) Préparation du matériel de communication												
(II) Formation des agriculteurs aux techniques de lutte												
4. Distribution des sacs plastiques et augmentoria												
5. Semis des plantes pièges												
6. Distribution des appâts protéiques et des bloquettes de C.-L.												
7. Application du traitement par taches et du piégeage de masse par les agriculteurs												
8. Inspection visuelle des cucurbites au champ												
9. Développement d'une souche SIT												

Table 1

Calendar of activities for the implementation of area wide Melon fly suppression programme at Plaine Sophie

ACTIVITY	2007				2008				2009			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
1. Monitoring of the melon fly population through trapping												
2. Regular collection and breeding of cucurbit fruits in the laboratory												
3. Implementation of sensitization campaign												
(I) Preparation of information materials such as pamphlets, documentary films												
(II) Demonstrations and workshops with cucurbit growers on crop hygiene, BAT, MAT and SIT												
4. Distribution of plastic bags / fruit cages to growers												
5. Plantation of trap crop												
6. Distribution of protein baits and MAT blocks to growers												
7. Field application of protein baits and MAT blocks by growers												
8. Inspection of cucurbits in field to determine infestation level												
9. Development of a genetic sexing strain for SIT												

Tableau 2

Moyennes (± écart-type) des taux d'infestation de cucurbitacées à Plaine Sophie de janvier 2008 à décembre 2009 par *B. cucurbitae*, *D. ciliatus* et *D. demmerezi*

CUCURBITACÉE	POIDS (KG)	TOTAL DES PUPES	B. CUCURBITAE	D. CILIATUS	D. DEMMEREZI
Calebasse	4.5	658 ± 178a	197.3 ± 37.3a	1.3 ± 1.3a	0a
Concombre	138.7	320.8 ± 34.7ab	221.8 ± 24.9a	1.8 ± 0.8a	0a
Potiron	14.3	161 ± 36.2ab	182.6 ± 69.8a	0a	0a
Citrouille	483.2	239.7 ± 38.9ab	174.4 ± 31.7a	5.5 ± 1.9a	0.1 ± 0.1a
Courgette	888.3	173.7 ± 37.9b	131.9 ± 51.7a	1.1 ± 0.6a	0a
Chouchou	26.5	0c	0b	0a	0a
F		15.528	12.916	2.919	0.992
df		5, 62			
P		0.000	0.000	0.015	0.425

Les moyennes d'une même colonne suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes selon un teste Tukey. Données log normalisées avant analyse.

Table 2

Mean (±se) infestation of incubated cucurbits at Plaine Sophie from January 2008 to December 2009 with *B. cucurbitae*, *D. ciliatus* and *D. demmerezi*

CUCURBITS	WEIGHT (KG)	TOTAL NO. OF PUPAE OBTAINED	NO. OF B. CUCURBITAE	NO. OF D. CILIATUS	NO. OF D. DEMMEREZI
Calabash	4.5	658 ± 178a	197.3 ± 37.3a	1.3 ± 1.3a	0a
Cucumber	138.7	320.8 ± 34.7ab	221.8 ± 24.9a	1.8 ± 0.8a	0a
Pumpkin	14.3	161 ± 36.2ab	182.6 ± 69.8a	0a	0a
Squash	483.2	239.7 ± 38.9ab	174.4 ± 31.7a	5.5 ± 1.9a	0.1 ± 0.1a
Zucchini	888.3	173.7 ± 37.9b	131.9 ± 51.7a	1.1 ± 0.6a	0a
Chayote	26.5	0c	0b	0a	0a
F		15.528	12.916	2.919	0.992
df		5, 62			
P		0.000	0.000	0.015	0.425

Within column means followed by the same letters are not significantly different by Tukey test. Data were log transformed before analysis.

Tableau 3

Moyennes (± écart-type) des taux d'infestation de cucurbitacées à Dubreuil de janvier 2008 à décembre 2009 par *B. cucurbitae*, *D. ciliatus* et *D. demmerezi*

CUCURBITACÉE	POIDS (KG)	TOTAL DES PUPES	B. CUCURBITAE	D. CILIATUS	D. DEMMEREZI
Calebasse	4.74	89.2 ± 69.3a	35.3 ± 24.8a	0a	16.0 ± 16.0a
Concombre	82.68	388.7 ± 50.0a	244.1 ± 39.1a	4.1 ± 3.6a	0a
Potiron	20.36	157.4 ± 38.6a	125.2 ± 57.2	0a	0a
Citrouille	3.12	178.4 ± 82.3a	240.1 ± 76.2a	2.2 ± 0.2a	0a
Courgette	1.95	74.3 ± 47.1a	114.7 ± 106.8a	0a	0a
Pigangaille	1.97	62.8 ± 26.8a	113.1 ± 65.0a	0a	0a
F		1.173	1.904	0.44	1.904
df		5, 58			
P		0.335	0.109	0.819	0.109

Les moyennes d'une même colonne suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes selon un teste Tukey. Données log normalisées avant analyse.

Table 3

Mean (±se) infestation of cucurbits at Dubreuil from January 2008 to December 2009 with *B. cucurbitae*, *D. ciliatus* and *D. demmerezi*

CUCURBITS	WEIGHT (KG)	TOTAL NO. OF PUPAE OBTAINED	NO. OF B. CUCURBITAE	NO. OF D. CILIATUS	NO. OF D. DEMMEREZI
Calabash	4.74	89.2 ± 69.3a	35.3 ± 24.8a	0a	16.0 ± 16.0a
Cucumber	82.68	388.7 ± 50.0a	244.1 ± 39.1a	4.1 ± 3.6a	0a
Pumpkin	20.36	157.4 ± 38.6a	125.2 ± 57.2	0a	0a
Squash	3.12	178.4 ± 82.3a	240.1 ± 76.2a	2.2 ± 0.2a	0a
Zucchini	1.95	74.3 ± 47.1a	114.7 ± 106.8a	0a	0a
Sponge gourd	1.97	62.8 ± 26.8a	113.1 ± 65.0a	0a	0a
F		1.173	1.904	0.44	1.904
df		5, 58			
P		0.335	0.109	0.819	0.109

Within column means followed by the same letters are not significantly different by Tukey test. Data were log transformed before analysis.

Tableau 4

Moyennes (± écart-type) des taux d'infestation de cucurbitacées à L'Espérance Trébuchet de janvier 2008 à décembre 2009 par *B. cucurbitae*, *D. ciliatus* et *D. demmerezi*

CUCURBITACÉE	POIDS (KG)	TOTAL DES PUPES	B. CUCURBITAE	D. CILIATUS	D. DEMMEREZI
Calebasse	5.85	117.6±40.4a	119.7±59.2a	7.0±5.4ab	5.85
Concombre	31.38	239.7±57.4a	121.9±31.3a	2.8±0.9ab	31.38
Potiron	8.00	129.5±111.5a	22.4±15.9a	0.2±0.2b	0
Patole	15.11	97.4±38.6a	91.8±46.6a	18.3±7.1a	0
Courgette	6.54	28.4±11.4a	27.6±13.0a	0.2±0.2b	0
Pipangaille	5.65	83.3±66.6a	66.2±36.7a	0.8±0.8b	0
F		1.319	0.761	4.576	0
df		5, 50			
P		0.273	0.582	0.002	0

Les moyennes d'une même colonne suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes selon un teste Tukey. Données log normalisées avant analyse.

Table 4

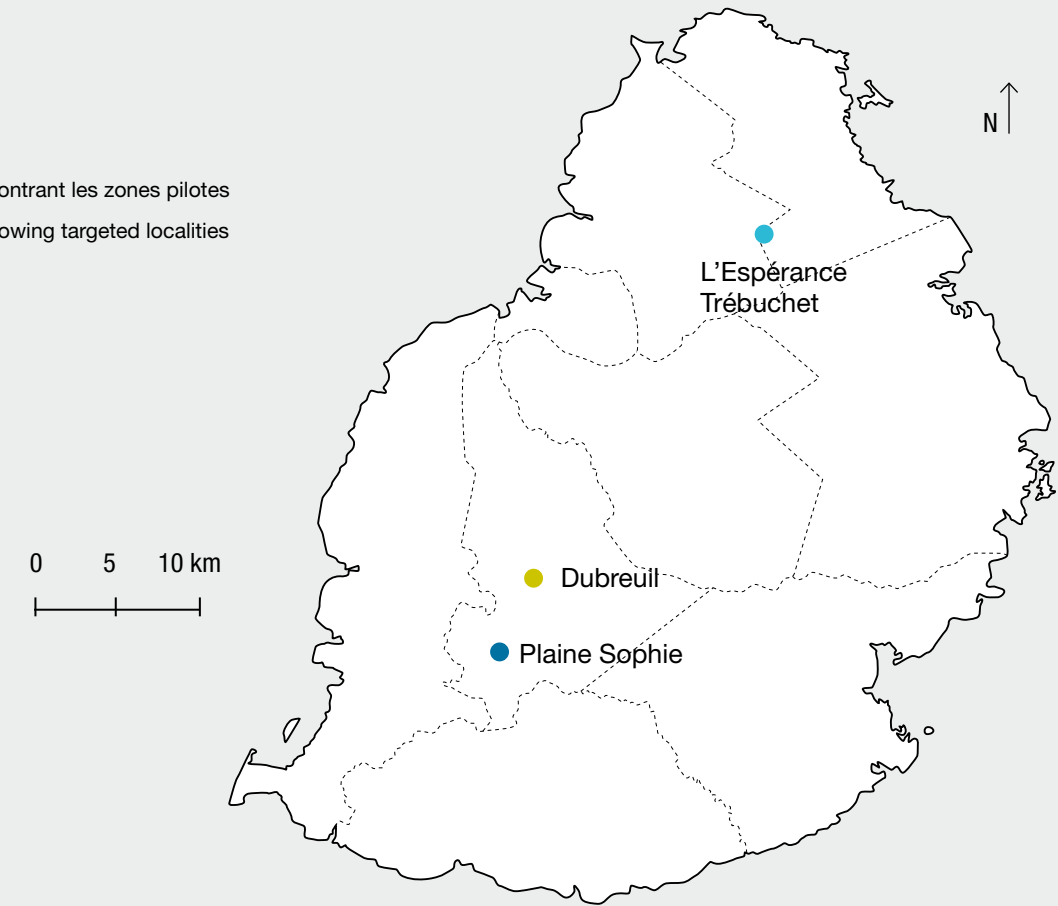
Mean (±se) infestation of cucurbits at L'Esperance Trebuchet from January 2008 to December 2009 with *B. cucurbitae*, *D. ciliatus* and *D. demmerezi*

CUCURBITACÉE	POIDS (KG)	TOTAL DES PUPES	B. CUCURBITAE	D. CILIATUS	D. DEMMEREZI
Calabash	5.85	117.6±40.4a	119.7±59.2a	7.0±5.4ab	5.85
Cucumber	31.38	239.7±57.4a	121.9±31.3a	2.8±0.9ab	31.38
Pumpkin	8.00	129.5±111.5a	22.4±15.9a	0.2±0.2b	0
Snake gourd	15.11	97.4±38.6a	91.8±46.6a	18.3±7.1a	0
Zucchini	6.54	28.4±11.4a	27.6±13.0a	0.2±0.2b	0
Sponge gourd	5.65	83.3±66.6a	66.2±36.7a	0.8±0.8b	0
F		1.319	0.761	4.576	0
df		5, 50			
P		0.273	0.582	0.002	0

Within column means followed by the same letters are not significantly different by Tukey test. Data were log transformed before analysis.

Figure 1

Carte de Maurice montrant les zones pilotes
Map of Mauritius showing targeted localities



Male melon flies / trap / day

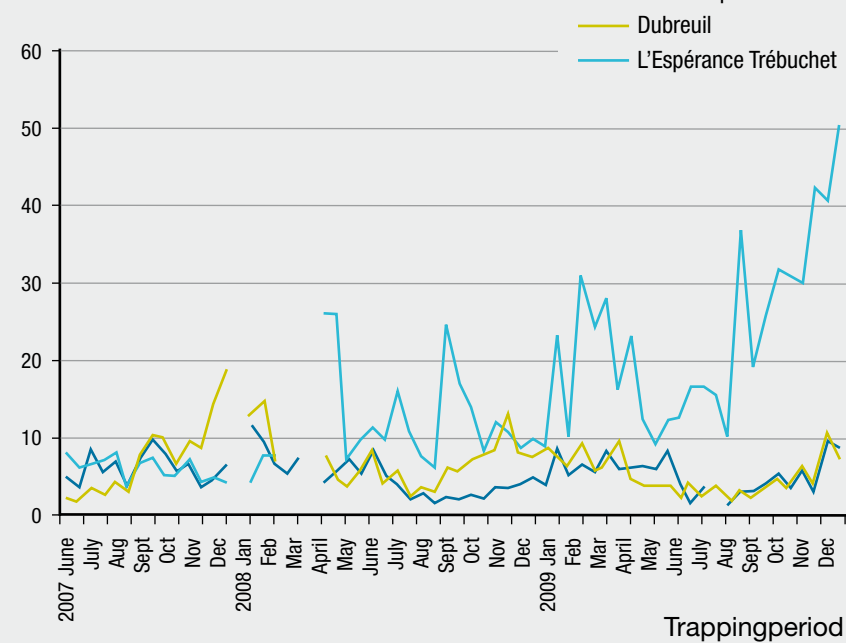


Figure 2

Moyennes des captures quotidiennes de mouches du melon à Plaine Sophie (n=90), Dubreuil (n=40) et L'Espérance Trébuchet (n=20) en pièges jaunes appâtés au cue-lure et malathion 57EC.

Mean captures of male melon flies (FTD) at Plaine Sophie (n=90), Dubreuil (n=40) and L'Esperance Trebuchet (n=20) in yellow traps baited with cue-lure and malathion 57EC

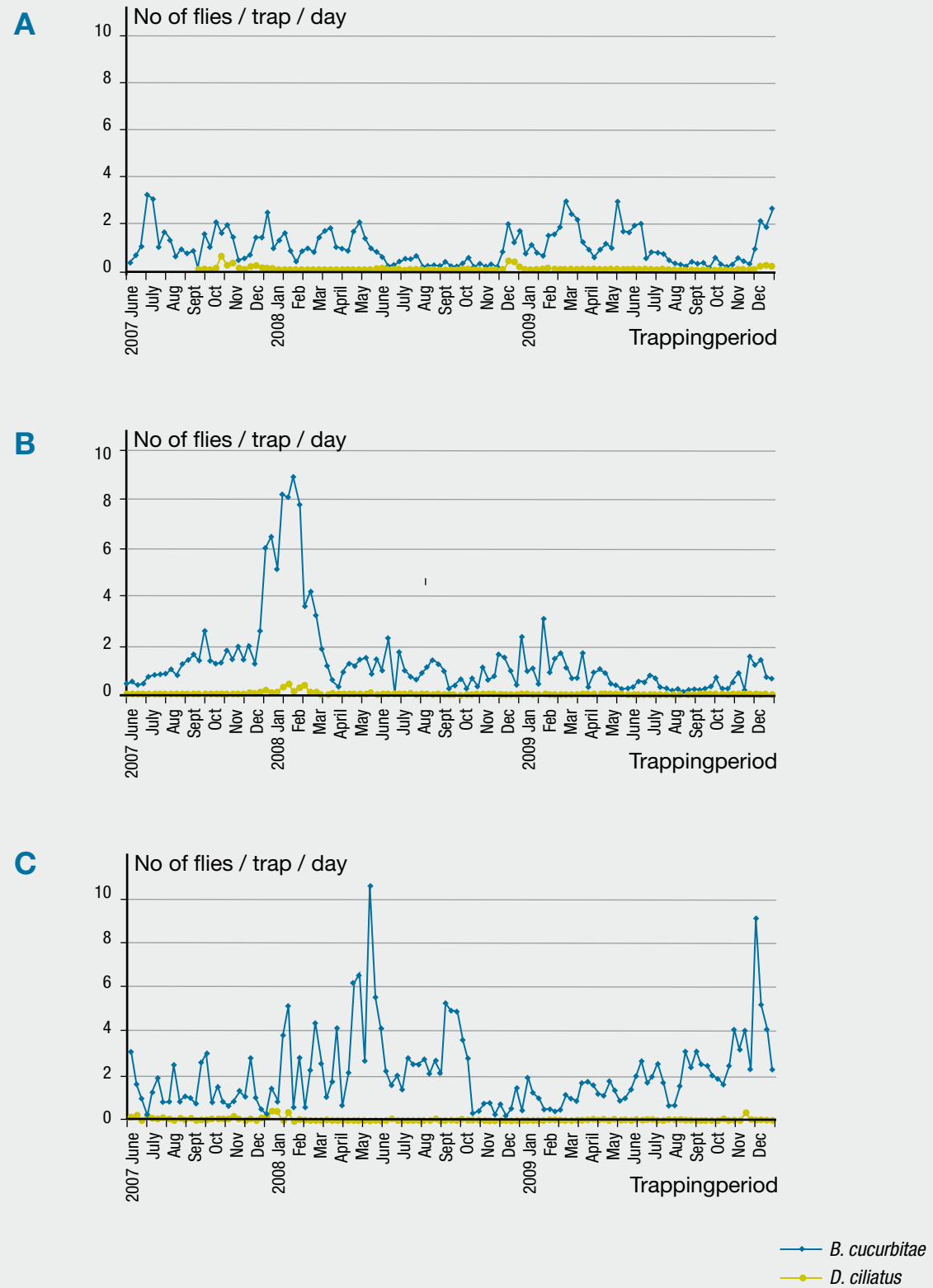


Figure 3
Captures quotidiennes moyennes en pièges appâtés au déchet de brasserie à Plaine Sophie (n=18) (A), Dubreuil (n=11) (B) et L'Esperance Trebuchet (n=10) (C)
Mean fly captures (FTD) in trap baited with waste brewer's yeast and borax at Plaine Sophie (n=18) (A), Dubreuil (n=11) (B) and L'Esperance Trebuchet (n=10) (C)

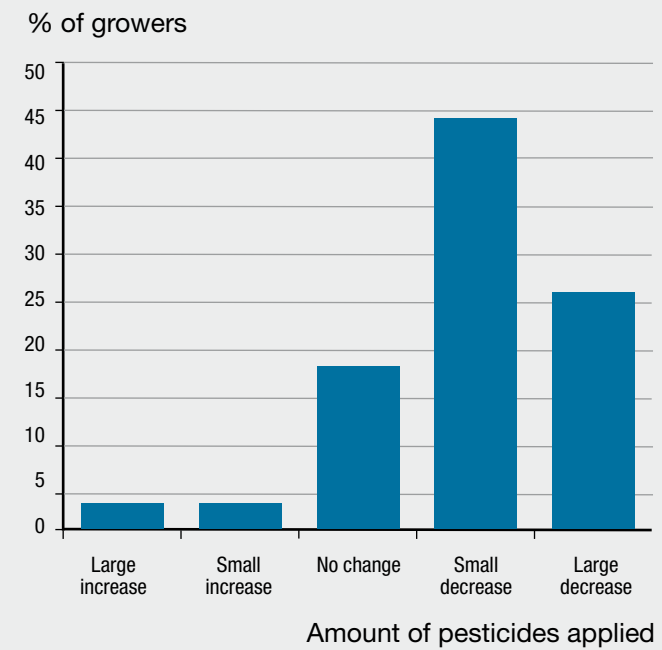


Figure 4
Auto-perception du niveau de pesticide utilisé par les agriculteurs pour le contrôle de la mouche du melon un an après le début des opérations à Plaine Sophie
Self-perception of amount of pesticides applied by growers at Plaine Sophie for the control of the Melon fly in cucurbit plantations one year after project implementation

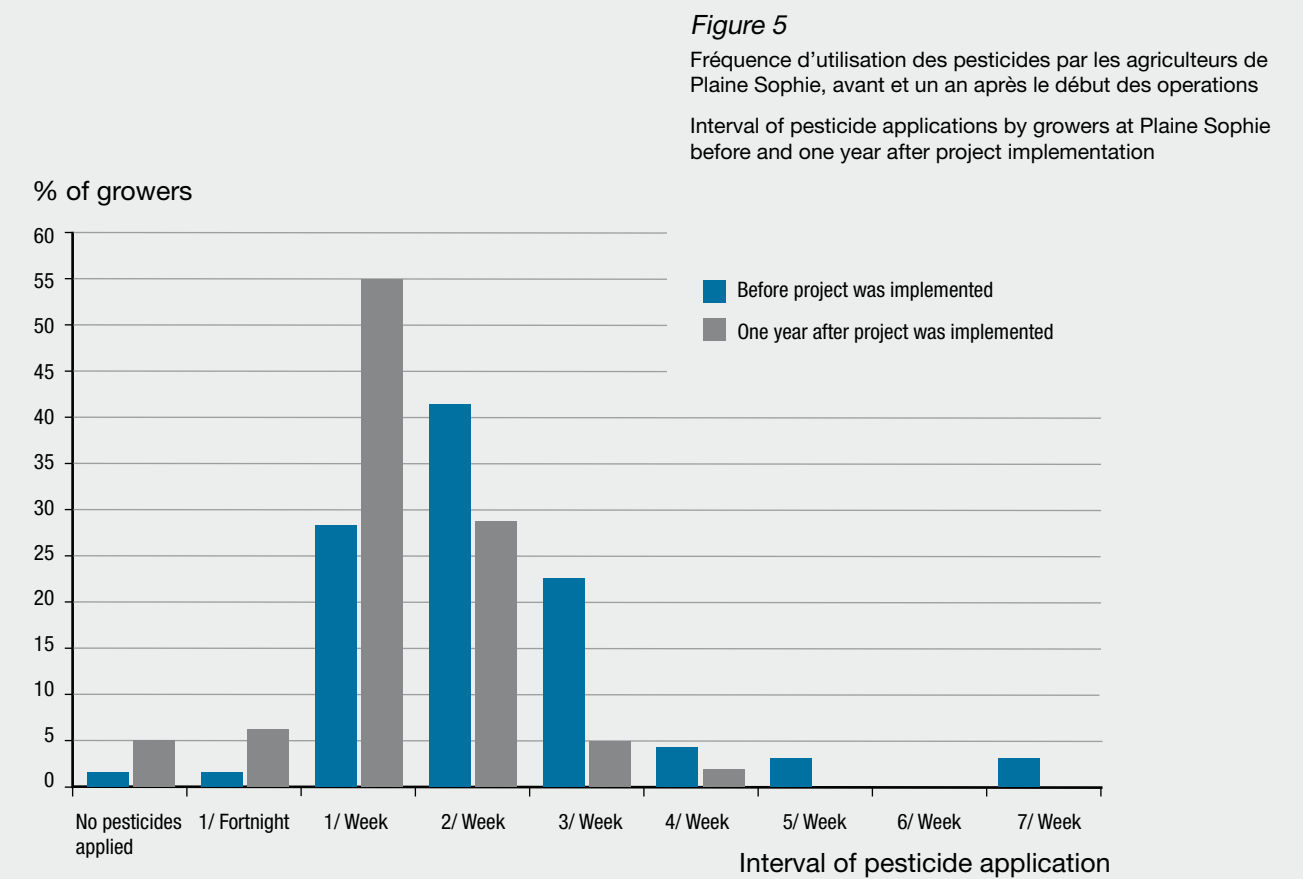


Figure 5
Fréquence d'utilisation des pesticides par les agriculteurs de Plaine Sophie, avant et un an après le début des opérations
Interval of pesticide applications by growers at Plaine Sophie before and one year after project implementation

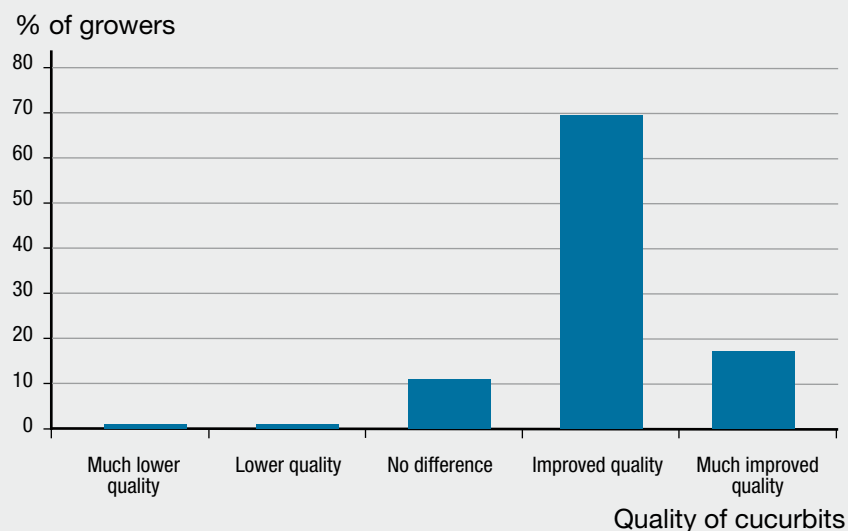
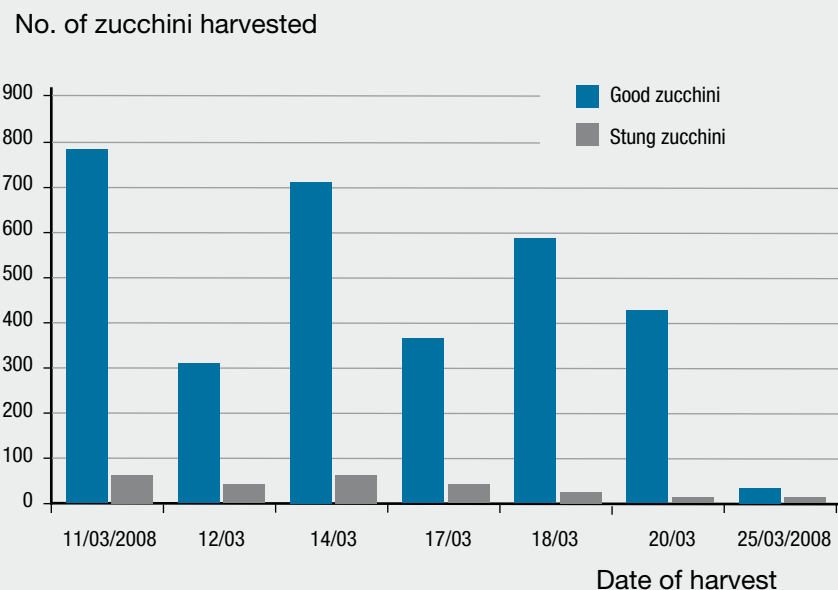


Figure 7
Qualité des courgettes récoltées à Plaine Sophie sur une surface de 25 m²
Quality of zucchini harvested at Plaine Sophie over an area of 25 m²

Figure 6
Modification de la qualité des légumes récoltés un an après le début du projet à Plaine Sophie, selon déclarations d'agriculteurs
Change in quality of harvested cucurbits observed by growers one year after project implementation



AREA-WIDE MANAGEMENT OF THE MELON FLY, *BACTROCERA CUCURBITAE* (COQUILLET) (DIPTERA: TEPHRITIDAE)

P. Sookar, M. Alleck,
I. Buldawoo, F.B. Khayrattee,
T. Choolun, S. Permaloo
& M. Rambhunjun

Entomology Division, Agricultural Services,
Ministry of Agro Industry & Food Security,
Reduit, Mauritius.

mass trapping

Abstract

The melon fly, *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett), is the most important insect pest of cucurbit crops in Mauritius causing heavy damage. To control this pest, growers make heavy use of conventional insecticide cover sprays with all their disadvantages. A project entitled 'Feasibility Study for the Suppression of the Melon Fly in Selected Areas of Mauritius – MAR 5/016' was launched in June 2007. The main objectives of the project were to produce quality cucurbits through effective environment-friendly suppression methods and minimising the use of pesticides. Growers were sensitised on the project through meetings, pamphlets, stickers and video film. As an incentive to participate fully in the project, they were all trained and given sprayers, fruit disposal cages, protein bait and MAT blocks. Fruit flies were monitored through dry traps baited with Cuelure and wet traps baited with modified waste brewer's yeast. Cucurbits were regularly collected from the fields and incubated in the laboratory to determine the infestation level. Visual inspection of small cucurbits was also carried out at weekly intervals to monitor the number of stung fruits in the fields. Cucurbit infestation was reduced from 30% to less than 5% one year later with the adoption of environment-friendly techniques of melon fly control. A decrease in the frequency of pesticide application was noted. An increase in cucurbit production was also noted. The project has demonstrated the use of an integrated approach to reduce insecticide use, and to produce better quality fruits.

Key words: Melon fly, trapping, bait sprays, male

Introduction

Fruit flies (Diptera: Tephritidae) cause large losses to fruits throughout the world, and are recognized today as major insect pests of the horticultural and vegetable industries. Fruit fly problems in Mauritius date back to the beginning of past century (Orlan & Moutia, 1960). Farmers in Mauritius have been used to control fruit flies with regular application of insecticide cover sprays at the individual farm level. This conventional method of pest control can be described as localised, uncoordinated action against segments of a pest population, resulting very often in an unsustainable spiral of insecticide application and eventual resistance. On the contrary, in an area wide (AW) insect management programme, the total population of a pest in an area or region is targeted. Such an approach adopts a preventive rather than a reactive tactic, whereby all individuals of the pest population are targeted, requiring fewer inputs and resulting in more cost effective and sustainable control (Hendrichs *et al.*, 2007; Reyes *et al.*, 2007; Vargas *et al.* 2007, Sookar *et al.*, 2008).

In this way, an AW eradication campaign was implemented with the support of the IAEA following the accidental introduction of the oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in Mauritius in 1996. In 1999, this fly was declared eradicated from Mauritius (Seewooruthun *et al.*, 2000). This AW-eradication program followed the guidelines established by the USDA-ARS in Hawaii in 1999 to control the melon fly *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett), the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Wiedemann), and

the oriental fruit fly *B. dorsalis*. The technologies included: field sanitation, protein bait sprays, male annihilation and where needed, augmentative parasitoid releases, and sterile insect releases. The effort put in the USDA-ARS project was crowned with success (Vargas *et al.*, 2010).

Cucurbit crops occupy about 30% of the cultivated area in Mauritius yielding about 24,000 tons per year. Although three of the established tephritid fruit flies *B. cucurbitae*, *Dacus ciliatus* Loew and *D. demmerezi* (Bezzi) can attack these cucurbit crops, it is the melon fly causes the highest level of infestation mainly during summer months. In 2007, a three-year project entitled 'Feasibility Study for the Suppression of the Melon Fly in Selected Areas of Mauritius – MAR 5/016 was launched. The programme was implemented in close collaboration with the IAEA to develop and integrate sustainable AW suppression methods to control this melon fly and to reduce the use of pesticides. The objectives of the programme were to carry out technology transfer and to collaborate with farmers' in the production of quality cucurbits with eco-friendly methods of fruit fly control.

Materials and Methods

Target area

The region of Plaine Sophie (20021'33.06"S 57029'24.37"E, 556 m ASL, 3000-3600 mm of annual rainfall) which covers an area of 110 ha and occupied by 135 growers was selected for the project. Cucurbits namely angled luffa *Luffa acutangulata* (L.) Roxb., bitter melon *Momordica charantia* L., cucumber *Cucumis sativus* L., pumpkin *Cucurbita maxima* Duchesne ex Lam., zucchini *C. pepo* L., snakegourd *Trichosanthes cucumerina* L., white-flowered gourd *Lagenaria siceraria* (Molina) Standley are mainly grown during the summer months while chayote *Sechium edule* (Jacq.) Sw. is cultivated the whole year round. This locality is isolated and it is surrounded by forest. The melon fly population was monitored with traps baited with cuelure and malathion since 2006. Two other vegetable growing localities namely Dubreuil (3000-3600 mm of annual rainfall) and L'esperance trebuchet (20004'18"S 57036'38"E, 87 m ASL 1200-1800 mm of annual rainfall) were kept as control.

Target species

The three species attacking cucurbits namely *B. cucurbitae*, *D. ciliatus* and *D. demmerezi* were targeted.

Calendar of activities

A calendar of activities was prepared jointly with experts from the IAEA (Table 1), the Areu and the Entomology Division. Areu was responsible for sensitising the different melon fly techniques among farmers.

The main objective of the area-wide melon fly control programme was to transfer new safer technologies rapidly to growers. The latter were continuously encouraged to participate in the control measures by applying bait sprays, practicing sanitation and mass trapping of males by the male annihilation technique. Extension tools such as pamphlets, stickers and video film on melon fly control were prepared for distribution to the growers. Talks, regular site visits and demonstrations were carried out. The life cycle and behavior of the targeted fruit flies were explained. Emphasis was laid on the importance of sanitation as growers used to leave infested cucurbits in their fields. Roosting plants were identified in presence of growers by observing resting flies under their leaves and the identified plants were then used for bait application and for hanging traps.

Suppression technologies

Three suppression technologies (sanitation, bait spraying and male annihilation) were utilized in this programme.

■ Sanitation was initially achieved by using plastic bags. During the second year of the project augmentoria commonly known as fruit disposal cages, were provided to the growers. This technique has been successfully used in Hawaii (Klungness *et al.* 2005; Jang *et al.* 2007).

■ Bait spraying. During the first year the 135 growers were given free vegetable protein hydrolysate (Garuda Chemicals, Mumbai, India) which they used as bait at the rate of 20 ml/L after mixing with either one of the following insecticides: Cyfluthrin 50 SL, Deltamethrin 2.5 EC, Cypermethrin 10 EC, Lambda-Cyhalothrin 5 CS, Fenthion 50 EC or Profenofos 500 EC at the rate of 2 ml/L. Planters carried out spot sprays of the bait mixture (5 to 10 ml) at weekly intervals under the leaves of roosting plants such as maize *Zea mays* L., guava *Psidium guajava* L., sugar cane *Saccharum officinarum* L., banana *Musa* spp. and papaya *Carica papaya*. Whereas during the second year, GF-120 Fruit Fly Bait (Dow AgroSciences, LLC) was provided to them. A 20% GF-120 bait mixture was applied at weekly intervals as spot sprays of 1 to 2 ml under the leaves of roosting plants.

■ Male annihilation was accomplished by placing plywood blocks (50 mm x 50 mm x 12 mm) impre-

gnated with cuelure (p-acetoxyphenylbutanone-2) and Malathion ULV. The MAT blocks were prepared by soaking plywood blocks in a mixture of cuelure and Malathion in the ratio of 3:1 for seven days. They were then given to growers for placement in their plantations. MAT blocks were placed in 1.5 L plastic bottles with one opening on the side. They were hung on roosting plants. Growers were convinced about the effectiveness of the MAT blocks after seeing dead melon flies in the traps. The distance between two MAT blocks was 20 m. A new batch of MAT blocks was given to the growers after every 3 months.

Fruit fly trapping

Yellow plastic containers of 1L capacity with four 3 cm diameter holes on the side were used as traps. A cotton wick baited with five drops cuelure and 5 drops Malathion 57EC was placed inside the trap. Eighty baited traps were hung in the region of Plaine Sophie on roosting plants. Traps were checked and relured every fortnight.

International Pheromone McPhail Trap (IPMT) with 300 ml of bait mixture (12.5% modified waste brewer's yeast mixed with 5% borax) was used to monitor female populations of *B. cucurbitae*, *D. ciliatus* and *D. demmerezi*. Traps were serviced at weekly intervals (Sookar, 2001; Sookar *et al.* 2002,2004).

Fruit sampling

As from January 2008, damaged cucurbits were collected from the field, brought to the laboratory, weighted and then placed in plastic trays on a layer of fine sand. Small holes less than 0.1 mm in diameter were made on the bottom side of the tray in order to allow the passage of water from the decay of the fruits especially cucumber. Each cucurbit species were kept in separate trays. After 10 days, the sand was sieved; pupae number recorded and then placed in plastic Petri dishes for emergence. The adult insects were then identified and counted.

Visual inspection of cucurbits in the field

The level of fruit fly infestation in selected cucurbit plantations was monitored by randomly examining young cucurbit fruits (6-8 cm length) for fruit fly punctures. The observation was done at weekly intervals and started as from the fruiting stage till the end of fruiting. A fruit with one fruit fly puncture was classified as stung. Some farmers also gave feedback on the number of good and stung cucurbit fruits at each harvest.

Survey of growers

An interviewer-administered structured questionnaire was designed in order to collect information from the growers on the following components: planter's profile, farm characteristics, pest management practices, knowledge and adoption of recommended melon fly control techniques and farmer's perceptions. The survey was carried out in July 2008 and the repeated in December 2009.

Statistical analysis

Data on fruit collection and from the survey questionnaires were exported to SPSS version 12.0 for screening, cleaning and analysis. All responses were coded so that a number represents a particular response. As part of the data cleaning process, consistency and validity checks were made and frequency runs on all variables were done to check for any existing inconsistencies and outliers. Relationships between variables were tested using the Chi Square Test.

Results

The combined impact of sanitation, bait spraying and male annihilation was determined by inspection of the male lure and protein bait trap catch on a fortnightly and weekly basis, respectively. The mean melon fly trap catch for the 3-year period was three times less at Plaine Sophie compared to the trap catch at L'Esperance Trebuchet. During the 21/2 year period, the mean melon fly trap catch at Plaine Sophie remained less than 12 FTD (FTD) (Fig. 2). *D. demmerezi* was not caught in any of the cuelure baited trap.

Trap catches of *D. ciliatus* in the protein baited IPMT trap at the three localities was zero during most months of the year with the exception of the hot summer months of December and January of the following year (Fig. 3). The melon fly population at Plaine Sophie stayed below 3 FTD during the 21/2 -year period. As from February 2008, growers at Dubreuil started to use the melon fly control techniques that were recommended at Plaine Sophie. Immediately, trap catches were reduced from 8 FTD during the months January and February to less than 3 FTD afterwards.

The mean number of pupae/kg of cucumber at Plaine Sophie in January 2008 was 115.82±7.64 compared to 81.90±38.46 one year later. There was a reduction of 29.29%. *B. cucurbitae* was the most important fruit fly species infesting cucurbits at the three localities followed by *D. ciliatus* and *D. demmerezi* (Tabs. 2, 3 and 4).

In the survey that was carried out in July 2008 at Plaine Sophie, the planters profile consisted mainly in men (94%) of 40 years old or more (74.4%) whereas the parcel size range was of 0.2 - 1 ha (70.9%). The most problematic pests encountered by 88.0% of the growers were insects and 65.8% claimed that fruit flies were the most important pests. Free MAT blocks and protein bait were utilized by 93.2% and 94.0% of the growers, respectively. After adopting sanitation, bait spraying and male annihilation, 84.8% of the growers declared that the amount of pesticides used to control fruit flies in their cucurbit plantations was reduced (Fig. 4).

Prior to the start of the project in July 2007, 68.6% of the growers were making at least four applications of pesticides in one fortnight (Fig. 4). Only 33.1% of the growers applied pesticides at the rate of 4/fortnight in July 2008 and 5.2% did not apply any pesticides as cover sprays for fruit fly control. 80.7% of the growers observed an increase in the yield of cucurbits while 87.7% noticed an improvement in the quality of the harvested produce (Fig. 5). 56.1% claimed that there was an increase in profit as a result of the production of quality cucurbits.

There was no relationship between the age of the respondents and their knowledge on the life cycle and behavior of *B. cucurbitae* ($\chi^2 = 17.835$, $df=16$ and $Asymp. Sig. = 0.334$). Visual inspection of randomly selected young zucchinis in 2008 over the harvest period showed that the level of infestation stayed below 5% (Fig. 6).

Discussion

Bactrocera cucurbitae is polyphagous with non-cucurbits as occasional hosts (i.e. of low prevalence) (White & Elson-Harris, 1994, Allwood *et al.* 1999). Vayssi re *et al.* (2007) reported that *B. cucurbitae* is an important pest with high infestation rates for several agricultural crops in western Africa. In Reunion island, *B. cucurbitae* infested 12 genera of three family plants (Cucurbitaceae, Passifloraceae, Solanaceae), whereas *D. ciliatus* infested nine genera of one family plant (Cucurbitaceae) (Vayssières, 1999). Mwatawala *et al.* (2010) reported that in Central Tanzania *B. cucurbitae* appeared to dominate most cucurbit infesters, with the exception of *D. ciliatus* which was still dominant in some cucurbitaceous crop.

In Mauritius *B. cucurbitae* was the most dominant fruit fly species in cucurbits followed by *D. ciliatus* and *D. demmerezi*. The preferred cucurbit hosts of

B. cucurbitae in order of preference were calabash, cucumber, squash, zucchini and pumpkin at Plaine Sophie. The most susceptible host at Dubreuil and L'Esperance Trebuchet was cucumber. *D. demmerezi* was only recovered from squash at Plaine Sophie and from calabash at Dubreuil. The cucurbit infesting fruit flies did not develop in chayote though they damaged the quality of the fruit by their punctures.

The area wide melon fly control programme at Plaine Sophie covering an area of 110 ha occupied by 135 cucurbit growers resulted in reduced fruit fly infestations, increased crop quality and yields, reduced pesticide use, increased knowledge by growers on fruit fly control including sanitation. The level of infestation of cucurbits which was above 30% before project implementation was reduced to less than 5% one year later. The survey results revealed that 85% of planters obtained an increase in both quality and quantity of cucurbits. The cost of cucurbit production was reduced through a decrease in use of pesticides and application costs.

The most effective method in *B. cucurbitae* management is field sanitation whereby infested cucurbits are placed in an augmentorium or buried in order to break down its reproduction cycle (Klungness *et al.* 2005; Jang *et al.* 2007). Vargas *et al.* (2010) demonstrated suppression of Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Wiedemann) and the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae), in a 40 km² area during a 6 year period with sanitation, bait sprays, male annihilation and release of parasitoids in Hawaii. Area-wide application of these techniques have proved to be economically viable, sustainable, environment friendly and have suppressed fruit flies below economic threshold levels with the minimum use of organophosphate and carbamate insecticides (Mau *et al.* 2003, Vargas *et al.* 2003, Klungness *et al.* 2005)

Even more, as a result of the AW program implementation and reduction of pesticide pressures, some beneficial insects appear to be benefice directly from it. Growers observed a higher number of honey bees visiting the cucurbit flowers. This means that growers really used less pesticide in their crops. The project demonstrated the use of an integrated approach to reduce insecticide use, and to produce better quality fruits.

The funds for the project were intended to be used to transfer of known fruit fly suppression techniques to growers of Plaine Sophie so as to reduce the use of toxic pesticides. The project which was jointly funded by the IAEA and the Government of Mauritius targeted only the region of Plaine Sophie, but

the successes in the project encouraged extension to additional regions. As growers in other localities learnt of the suppression trials at Plaine Sophie, interest developed for transferring these suppression techniques to other cucurbit growing localities in Mauritius. Works are underway for the integration of the sterile insect technique in the management of *B. cucurbitae*.

Acknowledgements

We would like to thank the growers at Plaine Sophie, Dubreuil and L'Esperance Trebuchet for their participation. This project was funded jointly by the Government of Mauritius and the IAEA (TC MAR 5/016). IAEA experts namely Dr Grant McQuate, Dr Serge Quilici, Prof Ron Mau and Dr Don McInnis contributed largely for the technical implementation of the project.

CARACTÉRISTIQUES DES COMMUNAUTÉS DES MOUCHES DES LÉGUMES SUR MAÏS DANS LES AGROSYSTÈMES À BASE DE CUCURBITACÉES DE PLEIN CHAMP

J.-P. Deguine, C. Ajaguin-Soleyn, M. Atiama, T. Atiama-Nurbel, F. Chiroleu, E. Bonnet, E. Douraguia, M.L. Moutoussamy, A. Petite, M. Tenailleau & S. Quilici

Cirad, UMR C-53 PVBMT, F-97410 Saint Pierre, La Réunion, France

Résumé

Afin de mieux contrôler les mouches des fruits (Diptera : Tephritidae) attaquant les cucurbitacées à La Réunion, nous avons étudié certaines caractéristiques des communautés présentes sur les bordures de maïs, comme les fluctuations saisonnières des populations, l'abondance relative des différentes espèces et leur sex-ratio. L'étude a été menée sur trois ans au cours de l'été austral, là où les populations de mouches des cucurbitacées présentent un maximum d'abondance, et dans une gamme d'altitude correspondant aux principales zones de culture de cucurbitacées à La Réunion (de 750 à 1150 m). Nous avons enregistré les adultes vivants, présents sur plants de maïs, à l'intérieur ou autour des champs de cucurbitacées. Cette étude confirme l'attractivité du maïs pour les trois espèces, *Bactrocera cucurbitae*, *Dacus ciliatus* et *Dacus demmerezi*, retrouvées en densités importantes pour les différentes situations étudiées. Les résultats ont montré une grande variabilité de la fluctuation saisonnière des populations en fonction des conditions locales. L'abondance relative de *B. cucurbitae* est faible (<18%) pour les sites de plus haute altitude (au-dessus de 1000 m d'altitude), dans lesquels *D. demmerezi* est l'espèce la plus répandue (> 56%). *Dacus ciliatus* montre une abondance relative variable selon les situations ; c'est l'espèce majoritaire en culture de citrouille. Le sex-ratio est également très variable d'une espèce à l'autre et d'une situation à l'autre.

Mots-clés : Tephritidae, communautés, La Réunion

Introduction

Les mouches des cucurbitacées (Diptera : Tephritidae) sont des bioagresseurs majeurs en zone tropicale. A La Réunion, elles sont considérées comme les principaux ravageurs de cultures maraîchères. La lutte chimique, qui a été la règle pendant de nombreuses années avec un usage massif d'insecticides, a montré ses limites : inefficacité, coût élevé, risques pour l'environnement et la santé humaine. Aujourd'hui, les études portent sur une gestion agro-écologique des populations des mouches, dont une étape clé est l'insertion de plants de maïs dans l'agroécosystème maraîcher. Cette technique est décrite par ailleurs (cf. J.-P. Deguine *et al.*, *Insertion du maïs dans les agroécosystèmes comme plante piège des mouches des cucurbitacées*).

La présence de plantes pièges de maïs dans l'agro-écosystème (bordures autour des parcelles, patches ou bandes dans les parcelles) a permis d'imaginer une méthode originale d'évaluation des populations de mouches et d'étude de leurs communautés. Le dénombrement in situ des mouches sur le maïs permet en effet d'avoir une estimation fidèle des populations de mouches réellement présentes dans l'agro-écosystème, contrairement aux méthodes classiques de piégeage sexuel à l'aide de paraphéromones ou de mise en émergence de fruits récoltés sur le terrain. Il est ainsi possible de caractériser certains paramètres des communautés, comme l'abondance relative ou le sex-ratio des différentes espèces de mouches (Deguine *et al.*, 2012). Cette étude vise à étudier quelques caractéristiques des communautés de mouches pendant trois ans et en différents lieux de la zone de culture des cucurbitacées.

Matériel et méthodes

L'étude a été conduite en été austral de 2008 à 2010 sur trois sites : Piton Bloc (PB) à 1000 m d'altitude, Piton Hyacinthe (PH) à 1150 m d'altitude et Tan Rouge (TR) à 750 m d'altitude. La culture pratiquée a été la courgette, sauf à TR 2009 où la citrouille a été cultivée. Les parcelles n'ont pas reçu de traitements insecticides. Des rangs de maïs entouraient les parcelles.

L'observation des mouches a concerné les trois espèces : *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett), *Dacus ciliatus* Loew et *D. demmerezi* (Bezzi). L'observation a consisté à compter les adultes juchés sur les plants de maïs, en distinguant l'espèce et le sexe. Les portions de maïs observées différaient d'un site à un autre, mais les résultats ont été ramenés à la même surface unitaire (10 m²). Au total, 147 heures d'observation ont été consacrées à cette étude.

Les variables considérées sont : la densité de mouches, l'évolution des effectifs au cours du temps, l'abondance relative des trois espèces et le sex-ratio. Les traitements statistiques ont été effectués avec la version 2.11.1 du logiciel R.

Résultats et discussion

Nombre de mouches observées et taille des populations

Au total, 18 441 mouches ont été observées et la taille moyenne cumulée des populations pour 10m² a été comparable : de 1 819 (TR 2009) jusqu'à 7 227 (TR 2010). La densité instantanée moyenne a été de 167,3 mouches pour 10 m².

Fluctuations saisonnières des populations

Elles ont été variables d'une situation à une autre. A PH 2009, le nombre de mouches est resté relativement stable (de l'ordre de 200 mouches pour 10m²). Au contraire, dans les autres situations, les populations ont soit chuté, comme à TR 2009 (1 200 mouches en janvier à 200 mouches en février), soit augmenté comme à TR 2010 (50 mouches en mars à 500 mouches en avril).

Abondance relative des trois espèces

De manière globale, les abondances relatives des espèces ont différencié significativement d'une situation à une autre. Une espèce a représenté plus de la moitié des effectifs dans chaque situation : *B. cucurbi-*

tae à TR 2010 (68%), *D. ciliatus* à TR 2009 (51%) et *D. demmerezi* à PB 2008 (57%) et PB 2009 (56%). L'abondance globale, sur toutes les situations donne les proportions suivantes : *D. demmerezi* (37%), *D. ciliatus* (36%) et *B. cucurbitae* (27%).

Sex ratio (% femelles)

En premier lieu, une variabilité considérable a été enregistrée pour ce critère entre les différentes situations. A PB 2008 le sex ratio de *B. cucurbitae* (60.57%) a été significativement supérieur au sex ratio de *D. demmerezi* (49.66%), lui-même significativement supérieur au sex ratio de *D. ciliatus* (37.72%). Au contraire, à TR 2010, les sex ratios ont été équilibrés et non significativement différents de 50% : *B. cucurbitae* (53.22%), *D. ciliatus* (48.38%) et *D. demmerezi* (47.46%). Globalement, en considérant l'ensemble des populations observées au cours des trois années, le sex ratio de *B. cucurbitae* (53.25%) a été supérieur à celui de *D. demmerezi* (48.78%) et *D. ciliatus* (44.59%).

Discussion

Ces observations montrent que les mouches des légumes présentent de fortes populations lors de l'été austral, ce qui peut entraîner des dégâts préjudiciables. Elles sont en phase avec les études conduites par d'autres auteurs, non seulement sur les mouches des cucurbitacées (Vayssières & Carel, 1999), mais aussi sur les mouches attaquant les vergers (Duyck *et al.*, 2004) ou la tomate (Brévault & Quilici, 2007). Notre étude confirme aussi la présence simultanée des trois espèces dans les zones situées entre 750 m et 1150 m d'altitude. Ceci est en accord avec les observations de Dhillon *et al.*, (2005) sur *B. cucurbitae* à l'échelle mondiale ainsi que celles d'Etienne (1972) et de Vayssières & Carel (1999) sur les trois espèces considérées à La Réunion.

Les résultats montrent clairement une grande variabilité des caractéristiques des communautés des mouches des cucurbitacées. Les fluctuations saisonnières changent d'un lieu à un autre et d'une année à l'autre. Les abondances relatives et le sex ratio sont également très différents d'une situation à une autre. Ceci laisse entendre que les caractéristiques des communautés de mouches sont influencées par des facteurs biotiques et abiotiques, à une échelle locale comme à une échelle plus globale.

La plupart des études des communautés des mouches sont effectuées à l'aide de pièges à para-

phéromones ou de récoltes de fruits piqués mis en émergence. La méthode utilisée dans notre étude apporte un éclairage nouveau et complémentaire. Elle prend en compte les trois espèces et les deux sexes, contrairement au piégeage des adultes par des paraphéromones. Elle donne également la représentation réelle des populations d'adultes dans les agroécosystèmes, alors que les résultats obtenus à partir de fruits mis en émergence dépendent, aussi, de la capacité des mouches à se développer dans les fruits.

L'étude montre également que les populations de mouches passent l'essentiel de leur temps sur les feuilles de maïs, qui est une plante très attractive pour elles (Atiama *et al.*, 2012). Ceci confirme les observations obtenues à Hawaï (Nishida & Bess, 1957 ; McQuate *et al.*, 2003 ; McQuate & Vargas, 2007). L'utilisation de plants de maïs comme plantes pièges des mouches représente ainsi une composante essentielle de la protection agroécologique des cultures maraîchères contre les mouches.

CHARACTERIZATION OF THE VEGETABLE FLIES COMMUNITIES ON CORN IN CUCURBIT AGROECOSYSTEMS

J.-P. Deguine, C. Ajaguin-Soleyen,
M. Atiama, T. Atiama-Nurbel, F. Chiroleu,
E. Bonnet, E. Douraguia, M.L. Moutoussamy,
A. Petite, M. Tenailleau & S. Quilici

Cirad, UMR C-53 PVBMT, F-97410 Saint Pierre, La Réunion, France

Abstract

In order to better control the vegetable flies (Diptera: Tephritidae) attacking cucurbit crops in Reunion, we studied the pest populations inhabiting corn borders. We considered seasonal population variations, their specific composition and sex ratio. The study was carried out for three years during summertime (when the populations are maximal), at an altitude (750 – 1150 m) representative of the main cucurbit growing areas in Reunion. We visually recorded the adults present on corn, within or around the cucurbit crops. The attractiveness of corn is confirmed for the three pest species, *Bactrocera cucurbitae*, *Dacus ciliatus* and *Dacus demmerezi*, which were found at high densities in the different sites. Local conditions greatly influenced the seasonal population variations. The relative abundance of *Bactrocera cucurbitae* is weak (< 18%) at the higher altitude sites (above 1 000 m), where *D. demmerezi* is predominant (> 56%). The relative abundance of *Dacus ciliatus* is variable: it is the predominant species in squash crops. Sex ratio was also shown to be variable, depending on the species and the site.

Keywords: Tephritidae, communities, Reunion

Introduction

Cucurbit flies (Diptera: Tephritidae) are major tropical pests, and are the main pests of vegetable crops in Reunion. Chemical controls, such as insecticides, have been used in great quantities for years, but have drawbacks: low efficiency, high costs and risks for the environment and human health. Today, studies are pursuing an agroecological control of fly populations. One method is the planting of corn borders within the agroecosystem (*cf.* J.-P. Deguine *et al.*, *Implementation of corn within agroecosystems as a*

trap plant for cucurbit flies). The presence of corn plants within the agroecosystem (borders around the field, patches or stripes inside) which are attractive to pests, has enabled the development of a new methodology to evaluate fly population densities and communities. Numbering flies in situ allows the accurate assessment of fly present in the field, unlike the traditional methods of field sampling or sexual trapping with parapheromones. Thus, we can identify the features of some communities, including their relative specific abundance and their sex ratio (Deguine *et al.* 2012). We present here our assessment of these features, data for which has been collected over three years in different cucurbit growing areas in Reunion.

Material and Methods

Experimental sites

The study was carried out during the austral summer, from 2008 to 2010 in three sites: Piton Bloc (PB, alt. 1000 m), Piton Hyacinthe (PH, 1150 m), and Tan Rouge (TR, 750 m). The cucurbits grown were courgette except TR in 2009 (squash). No fields were sprayed with chemicals. All were surrounded by a corn border.

Fly observations

We observed three pest species: *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett), *Dacus ciliatus* Loew and *D. demmerezi* Bezzi. We counted the number of adults settling on corn, recorded their sex and species. Land was counted in units of 10m². Observations were carried out for a total of 147 hours. We assessed fly density, temporal population variations, relative abundance of each species and sex ratio.

Results

Fly numbers

A total of 18 441 flies were observed, with numbers ranging from 1 819 in TR in 2009 to 7 227 in TR in 2010. Mean density was 167.3 flies / 10 m².

Seasonal variations

Fly populations varied in the experimental sites. In some sites, density remained constant, as was the case in PH in 2009 (about 200/10m²) but in other sites it could be seen to decrease as observed in TR in 2009 (from 1 200 in January to 200 in February), or increase as observed in TR in 2010 (50 in March to 500 in April).

Relative abundance

Relative abundance also varied in the experimental sites, but each site had its own dominant species which accounted for more than 50% of fly numbers: *B. cucurbitae* in TR 2010 (68%), *D. ciliatus* in TR 2009 (51%), *D. demmerezi* in PB 2008 (57%) and 2009 (56%). Pooling all situations together, the overall relative abundance is *D. demmerezi*: *D. ciliatus*: *B. cucurbitae* 37%: 36%: 27%.

Sex ratio (% female)

Here again, we noticed a large variation between sites. In PB 2008, the sex ratio of *B. cucurbitae* was 60.57%, higher than *D. demmerezi* (49.66%) and *D. ciliatus* (37.72%). On the other hand, in TR 2010, the sex ratios were similar (53.22%, 47.46% and 48.38%, respectively). Combining all sites, sex ratios were 53.25%, 48.78% and 44.59% respectively.

Discussion

These observations show that fly populations are much higher during summer, which may cause heavy yield losses. Our results match previous results collected on vegetable flies (Vayssières & Carel, 1999) as well as fruit flies (Duyck *et al.*, 2004). Our study also confirms the simultaneous presence of the three species at the altitudes ranging from 750m to 1 150 m, supporting the observations of Dhillon *et al.* (2005) for worldwide *B. cucurbitae* populations, and Etienne (1972) and Vayssières & Carel (1999) in Reunion.

The results clearly show a large variability in the characteristics of fly communities, with each parameter

differing between locations. We believe that they are influenced by both local and global biotic and abiotic factors.

Most ecological surveys of fly communities are carried out with sexual trapping or field sampling. Our methodology brings a complementary insight to parapheromonal trapping, for it considers both sexes of the three species. Moreover, it gives an estimation of the actual field presence of the adults within the agroecosystem, contrary to field sampling which depends on the flies' ability to successfully complete their life cycle in the fruits. Finally, this study supports the observation that flies spend most of their time settling on corn leaves, an efficient attraction plant (Atiama *et al.* 2012, McQuate & Vargas 2007, McQuate *et al.* 2003, Nishida & Bess, 1957). Using corn plants as attractants for fly pests is therefore an essential component of the agroecological protection of vegetable crops against cucurbit flies.

RYTHME CIRCADIEN ET ACTIVITÉ DES MOUCHES DES FRUIT (DIPTERA: TEPHTRITIDAE) NUISIBLES AUX CUCURBITACÉES À LA RÉUNION

T. Atiama-Nurbel, C. Ajaguin-Soleyn, M. Atiama, E. Bonnet, E. Douraguia, T. François, B. Gilles, M.-L. Moutoussamy, A. Petite, S. Quilici, M. Tenailleau & J.-P. Deguine

Cirad, UMR C-53 PVBMT, F-97410 Saint Pierre, La Réunion, France

Résumé

Les mouches des légumes (Diptera, Tephritidae) (*Bactrocera cucurbitae*, *Dacus demmerezi*, *D. ciliatus*) sont les principaux ravageurs des cultures de cucurbitacées à La Réunion. Dans le cadre d'une gestion agroécologique de ces ravageurs, l'acquisition de nouvelles connaissances sur les interactions entre ces mouches et les plantes, qu'elles soient cultivées (cucurbitacées) ou insérées dans l'agrosystème (plantes pièges) est indispensable. Durant l'été austral, les populations de mouches des trois espèces ont été dénombrées à vue sur des agroécosystèmes à base de cucurbitacées (courgette : *Cucurbita pepo*) et de plantes pièges (maïs : *Zea mays*). En agroécosystème de courgette, il apparaît que le maïs héberge la quasi-totalité des populations de mouches présentes dans l'agrosystème et qu'elles constituent un lieu de vie préférentiel des mouches. Leurs activités y sont les suivantes : repos, déplacement, alimentation, certaines activités de reproduction (lek, accouplement). Par ailleurs, les femelles gravides quittent les bordures pour aller pondre sur les fruits de courgette, selon des rythmes circadiens différents selon les espèces de mouches.

Mots-clés : Tephritidae, plantes pièges, maïs, Cucurbitaceae, ponte

Introduction

A La Réunion, les mouches des légumes (Diptera : Tephritidae) *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett), *Dacus ciliatus* Loew et *D. demmerezi* (Bezzi) sont des ravageurs considérables des cultures de Cucurbitaceae. *Bactrocera cucurbitae* est l'espèce dont la bioécologie a été la plus largement étudiée compte tenu de sa large répartition (Dhillon, 2005). Les études bioécologiques ont mis notamment en évidence l'existence d'interactions importantes entre

les adultes de *B. cucurbitae* et la végétation non-hôte en bordure de champ (Nishida & Bess, 1957). En effet, les mâles et les femelles adultes s'abritent et se reposent dans la végétation bordant les champs de cucurbitacées, seules les femelles se déplacent le matin dans le champ pour pondre dans les fruits de cucurbitacées, alors que les mâles restent dans les abords de la végétation environnante. Le maïs (*Zea mays*) est utilisé comme plante piège à La Réunion dans des systèmes de culture de plein champ (Atiama-Nurbel *et al.*, 2012), son attractivité pour *B. cucurbitae* a également été démontrée à Hawaii (Nishida & Bess 1957, McQuate *et al.*, 2003). A La Réunion, étant donné que ces trois espèces de mouches cohabitent, il est nécessaire d'étudier leur bioécologie dans des agroécosystèmes à base de cucurbitacées et de maïs. Au sein de ces agroécosystèmes, notre objectif spécifique était d'étudier dans plusieurs situations les activités et les rythmes circadiens de ces trois espèces sur le maïs et sur la culture par le biais d'observations au champ. A notre connaissance, aucune autre étude ne s'est concentrée sur les activités et les rythmes circadiens de ces trois espèces ensemble par des comptages au champ des populations. Cette étude pourra contribuer à la mise au point de méthodes de protection durables contre ces ravageurs.

Matériel et méthodes

Description des sites

L'étude a été conduite en été austral de 2008 à 2010 sur trois sites : Piton Bloc (PB) à 1000 m d'altitude, Piton Hyacinthe (PH) à 1150 m d'altitude et Tan Rouge (TR) à 750 m d'altitude. La culture pratiquée a été la courgette, sauf à TR 2009 où la citrouille a été cultivée. Les parcelles n'ont pas reçu de traitements insecticides. Des rangs de maïs entouraient les parcelles.

Observations des mouches adultes

Les observations consistent au dénombrement à vue des mouches adultes en distinguant l'espèce et le sexe de chaque individu observés sur les rangs de maïs et sur la culture de cucurbitacées. Les observations sont réalisées toutes les heures de 7h à 17h. Chaque observation a été réalisée selon le même protocole dans les différentes situations bien que la taille des sections de maïs observées et le temps alloué aux observations ont été différents selon l'arrangement des parcelles de cucurbitacées et des plantations de maïs. Les nombres de mouches observées ont été ramenés à des unités de surface équivalentes et ont été analysés avec le logiciel R (version 2.11.1, R DevelopmentCore Team, 2010, Vienna, Austria)

Résultats

Rythmes circadiens

Quels que soient le site et l'année d'observation, les niveaux de populations de mouches (sexe et espèce confondus) présentes sur les bordures de maïs sont considérablement supérieurs à ceux sur les cultures et ceci tout au long de la journée (7h à 17h), avec néanmoins des fluctuations en fin de journée. Les mouvements entre bordure et culture sont effectués par les femelles, aucun mâle n'est observé sur la culture quelle que soit l'heure de la journée. Pour *D. demmerezi*, un nombre maximum de femelles a été observé sur la culture en fin de journée (16h-19h) alors qu'un nombre de mâles quasi nul est observé tout au long de la journée. Il en est de même pour les deux autres espèces, seuls les pics de présence des femelles sur culture se produisent à des heures différentes : entre 10h et 15h pour *B. cucurbitae*, entre 10h et 13h pour *D. ciliatus*.

Activités des mouches

Les activités diurnes des mouches sont multiples. Elles peuvent être liées à la reproduction (lek, accouplement et ponte), à l'alimentation (observée très rarement) mais elles concernent principalement le repos ou refuge (« roosting » en anglais). Sur les bordures de maïs, dans les différentes situations, 95% des activités des mouches sont des activités dites de roosting. Le maïs constitue donc un site de roosting pour les mâles et femelles des trois espèces. Sur ces bordures se produisent également des activités liées à la reproduction : dans chacun des sites et des dates d'observations, des dizaines de leks et

d'accouplements ont été observés en fin de journée à l'approche du crépuscule. Les accouplements ont ensuite lieu et se terminent avant le début de la nuit, mais dans plusieurs cas des observations ont mis en évidence le maintien des couples pendant toute la nuit jusqu'au lever du jour suivant.

Sur la culture, seules des femelles ont été recensées, leur activité principale étant la ponte sur les fruits. La présence sur la culture est restreinte à une période très spécifique de la journée selon l'espèce de mouche considérée (cf. plus haut). De plus l'observation des comportements de ponte des femelles a permis de mettre en évidence des préférences de stades phénologiques d'hôtes différentes selon les espèces de mouches. Les pontes de *D. ciliatus* se produisent majoritairement de façon isolée dans des fruits très petits (ovaires non fécondés) et des fleurs mâles non ouvertes. Les pontes de *D. demmerezi* se produisent en grand nombre sur le même fruit en général très gros (au stade ultime de leur maturation).

Discussion

Nos observations en plein champ révèlent que les trois espèces de Dacini passent l'essentiel de leur temps sur les bordures de maïs. Ainsi, quels que soient le jour d'observation et le site, les comptages horaires des mouches sur la parcelle de cucurbitacées et sur les bordures de maïs montrent les tendances suivantes : (i) la quasi-totalité des mouches adultes se retrouve tout au long de la journée sur les bordures de maïs ; (ii) les niveaux de populations sur la courgette sont faibles ou quasi-nuls, à l'exception de quelques heures de la journée ; alors que les mâles restent sur les bordures toute la journée, seules les femelles migrent sur la parcelle de courgette cultivée à un moment précis de la journée dans le but de pondre.

Lors des différentes observations effectuées, 95% des mouches observées sur maïs ont une activité de repos ou de court déplacement de type roosting. Nos observations rejoignent parfaitement les résultats obtenus à Hawaii (McQuate & Vargas, 2007) : les adultes viennent sur les plantes de bordure pour s'y abriter, se reposer ou encore s'alimenter une partie de la journée et également la nuit. En outre, les bordures constituent le siège de certaines activités liées à la reproduction, telles les leks et les accouplements.

La ponte constitue apparemment la principale activité des mouches qui n'est pas localisée sur les plantes de bordure, avec un pic de fréquentation de

la parcelle de courgette par les femelles coïncidant avec la période de ponte. Les femelles s'orientent vers la parcelle de courgette pour pondre selon un rythme circadien propre à chaque espèce : *B. cucurbitae* entre 10h et 15h, *D. ciliatus* entre 10h et 14h et *D. demmerezi* entre 16h et 19h. Ces résultats sont cohérents avec les quelques références sur le sujet (Nishida & Bess, 1957 ; Vayssières 1999).

Grâce aux connaissances acquises dans la présente étude, on peut comprendre qu'il y a lieu de considérer les plantes de bordure comme un lieu de gestion de ces populations dans les systèmes de plein champ. Une fois les mouches concentrées (« piégées ») sur les plantes de bordure, il est possible d'envisager leur élimination (Cook *et al.*, 2007) afin d'empêcher les femelles de migrer du maïs vers la courgette pour aller y pondre. Ceci peut-être envisagé par des procédés originaux, comme par exemple à Hawaii, avec la technique du push-pull assisté à l'aide de traitements par tâches sur les bordures à base de produits parfaitement adaptés (Moreno & Mangan, 2003).

L'étude des rythmes circadiens et des activités des mouches des cucurbitacées ouvre des perspectives de recherche multiples. Des travaux similaires sur *Neoceratitis cyanescens* (Bezzi) en culture de tomate de plein champ (Brévault and Quilici, 2000) ont révélé que les rythmes et les activités de cette espèce sont les mêmes que ceux des trois espèces de la présente étude. Il serait intéressant d'élargir ce genre d'étude à d'autres espèces de Tephritidae présentes à La Réunion (*Ceratitis capitata* (Wiedemann), *C. rosa* (Karsch), *C. catoirii* Guérin-Méneville et *B. zonata* (Saunders)). Les résultats sur les préférences de *D. demmerezi* et *D. ciliatus* en termes de stades du fruit-hôte attaqués ouvrent d'autres champs d'investigation sur la spécialisation d'hôte. De plus, il conviendrait d'étudier les interactions entre ces plantes de bordure et les parasitoïdes de mouches des cucurbitacées ou d'autres ravageurs.

CIRCADIAN RHYTHMS AND ACTIVITIES OF FRUIT FLIES DIPTERA, TEPHRITIDAE ATTACKING CUCURBITS IN LA RÉUNION

T. Atiama-Nurbel, C. Ajaguin-Soleyen, M. Atiama, E. Bonnet, E. Douraguia, T. François, B. Gilles, M.-L. Moutoussamy, A. Petite, S. Quilici, M. Tenailleau & J.-P. Deguine

Cirad, UMR C-53 PVBM, F-97410 Saint Pierre, La Réunion, France

Abstract

Fruit flies attacking cucurbits (Diptera Tephritidae) (*Bactrocera cucurbitae*, *Dacus demmerezi*, *Dacus ciliatus*) are major pests in La Réunion. As part of the agroecological management of these pests, we need a better understanding of the interactions between these flies, cultivated (Cucurbitaceae), and trap plants. During the austral summer, populations of three species of flies were counted on courgette (*Cucurbita pepo*) and corn trap plants (*Zea mays*). With courgette, it appears that all fly species are attracted to corn, which thus constitutes an excellent settling site. Fly activity recorded included resting, movement, feeding and breeding activities (lek, mating). In addition, gravid females leave the borders to lay their eggs in courgette fruits, according to a species-specific circadian rhythm.

Key words: Tephritidae, trap plants, corn, Cucurbitaceae, oviposition

Introduction

Bactrocera cucurbitae (Coquillett), *Dacus ciliatus* (Loew), and *D. demmerezi* (Bezzi) (Diptera, Tephritidae) are major pests of cucurbit crops in Reunion. The bioecology of *B. cucurbitae* has been the most studied due to its wide distribution (Dhillon, 2005). The studies have highlighted, for example, the strong interactions between adult *B. cucurbitae* and the non-host vegetation around the crop (Nishida & Bess, 1957). Actually, both sexes nest in the surrounding vegetation, but only females visit the field in the morning to lay eggs in cucurbit fruits. Corn (*Zea mays*) is used as a trap plant in cucurbit agroecosystems in Reunion (Atiama-Nurbel *et al.*, 2012). Its attraction for *B. cucurbitae* was also shown in Hawaii (Nishida and Bess, 1957; McQuate *et al.*, 2003). As these

three species are sympatric in Reunion, we must explore their bioecology within the corn and cucurbit agroecosystems there. We thus studied their specific activity and circadian rhythm on corn and cucurbits by field observations. This study contributes to the implementation of sustainable protection methods against these pests.

Material & Methods

Experimental sites

The study was carried out during the austral summer, from 2008 to 2010, in three sites: Piton Bloc (PB, alt. 1000 m), Piton Hyacinthe (PH, 1150 m), and Tan Rouge (TR, 750 m). All were courgette crops, except TR in 2009 (pumpkin), surrounded by corn borders. No insecticide was used on the crops.

Adult observations

Observations including counting adults on corn and cucurbit and distinguishing the sex and species of each individual. Observations were made hourly from 7 am to 5 pm with a similar methodology, though the length of corn sections studied and the time allocated varied depending on the structure of the crop. The number of flies was computed to equivalent unitary surface, and statistically treated with R software (version 2.11.1, R DevelopmentCore Team, 2010, Vienna, Austria).

Results

Circadian rhythms

Whatever the site, the year of observation, the species and the sex, the number of flies on corn borders was much greater than on the cucurbit. This was the case for the whole day, with some variations, however, at the end of the day. Females were observed moving between border and crop, but very few males were observed on the cucurbit at any time. A larger number of *D. demmerezi* females was observed on cucurbits from 4 pm to 7 pm. The two other species exhibit a similar behavior, with a difference in the time of maximal presence on the crop: 10 am - 3pm for *B. cucurbitae* and 10 am - 1 pm for *D. ciliatus*.

Fly activities

Flies have several diurnal activities. They include breeding (lek, mating, and egg laying), feeding (rarely observed) and, most importantly, nesting (resting and walking). On corn borders, this latter activity actually accounted for 95% of observations for both sexes. In each site, many leks and matings were observed at the end of the day. Most mating ends at sunset, but in some cases mating continued during the night until dawn. On cucurbits, the main activity of females was oviposition. Moreover, we observed specific phonologic preferences for egg laying females: *D. ciliatus* prefers to lay isolated eggs in unfertilized ovaries and closed male flowers, *D. demmerezi* lays large clusters of eggs in ripe fruits only.

Discussion

These field observations show that the three Dacini species spend most of their time nesting on corn borders. These observations match the results from Hawaii (McQuate & Vargas, 2007): adults stay on non-host vegetation to rest, mate or forage for food and/or shelter. The main activity of flies outside the border is oviposition, when females fly into the crop at a precise species-specific time. These results are consistent with the scarce existing data (Nishida & Bess, 1957; Vayssières, 1999). Similar studies were carried out on *Neoceratitis cyanescens* (Bezzi) on tomato crops (Brévault and Quilici 2000), showing a similar pattern of behaviors for this species.

Corn borders are thus an important site for the management of pest flies within the agroecosystem. Once they are concentrated, or “trapped”, on border plants, they may be eliminated (Cook *et al.*, 2007) to

prevent the females from laying eggs in the crop. This may be achieved either with push-pull, or with bait sprays which use a mixture of proteins and biological insecticide, killing the flies after ingestion (Moreno & Mangan, 2003).

There are many different research possibilities on the circadian activities of cucurbit flies. The phonological preferences of *D. demmerezi* and *D. ciliatus* also offer new perspectives in terms of host specialization. Finally, it would be of interest to study the interactions between border plants and the parasitoids of cucurbit flies, or of other pests.

STRUCTURATION GÉNÉTIQUE DES POPULATIONS ET COMPÉTITION LARVAIRE AU SEIN DU COMPLEXE DES DACINI

C. Jacquard, J.-P. Deguine, H. Delatte & S. Quilici

Cirad, UMR C-53 PVBMT,
F-97410 Saint Pierre, La Réunion, France

Résumé

À La Réunion, les cultures de cucurbitacées subissent des dommages considérables en raison de l'attaque de mouche des fruits (Diptera : Tephritidae). Un complexe de trois espèces (*Bactrocera cucurbitae*, *Dacus ciliatus* et *D. demmerezi*) coexistant sur l'île est capable d'infester 16 espèces différentes de cucurbitacées. Une meilleure connaissance de l'écologie et de la génétique des populations est une condition préalable pour développer des méthodes de gestion rationnelles et durables contre ces ravageurs. Nos objectifs sont de (i) décrire la variabilité génétique présente chez *B. cucurbitae* et tenter de retracer ses processus de colonisation ; (ii) d'évaluer l'impact de la compétition larvaire pouvant exister au sein d'un même fruit hôte, tant au niveau intra- qu'interspécifique. Afin d'étudier la variabilité génétique et la structuration des populations de *B. cucurbitae*, des cucurbitacées infestées cultivées et sauvages ont été récoltées selon un gradient altitudinal pendant l'été et l'hiver 2009, puis ramenées au laboratoire et conservées jusqu'à l'émergence des adultes. Pour mesurer les effets de la compétition larvaire sur le taux de survie des larves et sur le poids des pupes, des infestations artificielles de courgettes ont été réalisées avec des larves de stade L1 selon cinq niveaux d'infestation. Nous avons montré l'existence d'une population bien différenciée de *B. cucurbitae* à La Réunion. Le continent africain semble être le point d'entrée majeur des invasions. D'autre part, nous avons mis en évidence l'existence de stratégies différentes des larves de ces trois espèces, face à une augmentation de la compétition au niveau intra- et interspécifique au sein d'un même fruit hôte. Alors que les larves de *B. cucurbitae* maintiennent une bonne survie, celles de *D. demmerezi* montrent une augmentation de la mortalité, mais le poids des pupes qui survivent demeure élevé.

Mots-clés : microsatellites, structuration des populations, migration, compétition larvaire intra- et interspécifique, Dacini, Tephritidae

Introduction

Depuis plus d'un siècle, l'île de La Réunion est le siège d'invasions biologiques d'espèces exotiques résultant directement ou indirectement des activités humaines (échanges commerciaux, agriculture...). La tribu des Dacini appartenant à la famille des Tephritidae représente un groupe de ravageurs causant des dégâts au niveau de 16 espèces de cucurbitacées (Vayssières, 1999), principalement à cause de l'oviposition des femelles et du développement des larves dans les fruits.

L'enjeu actuel est de passer de la lutte à base de chimie à des méthodes de prévention des pullulations de ces ravageurs plus respectueuses de l'environnement. Pour cela, depuis plusieurs années, le Cirad a engagé des recherches ayant pour but d'avoir une meilleure connaissance de l'écologie et du comportement de ces espèces au sein de leur milieu naturel, en vue d'adopter des méthodes de lutte plus spécifiques de leur population, en adéquation avec l'environnement. Trois espèces de mouches (*Bactrocera cucurbitae* (Coquillett), *Dacus ciliatus* Loew et *D. demmerezi* (Bezzi) appartenant à cette tribu d'importance économique majeure ont donc été choisies comme modèle biologique afin d'étudier la structuration génétique de leurs populations ainsi que la compétition larvaire pouvant exister entre elles.

Aucune étude spécifique n'a encore vraiment élucidé les mécanismes de la compétition entre ces trois espèces sur l'île. Par conséquent, notre objectif sera : (i) d'analyser la structuration génétique des populations de l'espèce la plus invasive (*B. cucurbitae*) en vue de déterminer s'il existe des populations liées à certaines plantes-hôtes ou à des zones géographiques précises, (ii) de mettre en évidence au sein de ce complexe des mécanismes de compétition tant intra- qu'interspécifique permettant de mettre en lumière les niches écologiques occupées par chacune de ces espèces.

Matériel et méthodes

Structuration génétique des populations de *B. cucurbitae*

Deux récoltes de légumes infestés aux champs ont été réalisées au cours de l'été 2009 (de février à avril) puis en hiver austral (de juillet à septembre) sur toute l'île de La Réunion selon un gradient altitudinal : 0-400 m, 400-600 m et 600-1200 m. Les légumes ont été ramenés au laboratoire et conditionnés jusqu'à l'émergence des adultes de *B. cucurbitae* qui ont été sexés et conservés à -20°C dans de l'alcool à 90%. L'extraction de l'ADN fut réalisée selon un protocole adapté de Baruffi *et al.*, (1995) et Delatte *et al.*, (2010). L'ADN de chaque individu a été ensuite amplifié par PCR multiplex à l'aide de dix marqueurs microsatellites (Delatte *et al.*, 2010). Après vérification de l'amplification sur gel d'agarose à 4%, le géotypage des individus a été réalisé à l'aide d'un séquenceur ABI Prism 3100 Genetic Analyzer® (Applied Biosystem) et l'interprétation des résultats du géotypage a été faite à l'aide du logiciel Genemapper v4 (Applied Biosystem). L'assignement des individus à l'intérieur de clusters a été réalisé sous Structure 2.3.3. (Pritchard *et al.*, 2000) avec le nombre probable de populations K variant de 1 à 10 (dix répétitions par population). Un deuxième jeu de données a été pris en compte, comprenant des individus de La Réunion et des continents africain et asiatique (Virgilio *et al.*, 2010) afin d'estimer les flux de gènes entre les populations et retracer l'origine possible des individus de La Réunion (sous le logiciel Migrate-n 3.1.1.6 (Beerli & Felsenstein, 2001))

Compétition larvaire intra- et interspécifique

Les trois espèces étudiées sont élevées en chambre climatique (25°C ± 1°C, HR 60% ± 10%, LD 12:12) d'après la technique décrite par Duyck & Quilici (2002) et Duyck *et al.*, (2004). Des infestations de courgettes (*Cucurbita pepo*) d'un poids moyen de 100 g avec des larves de stade L1 ont été réalisées en conditions de laboratoire. Concernant l'étude de la compétition larvaire intra spécifique, cinq niveaux d'infestation ont été choisis, chacun répété cinq fois, selon des densités de 1 larve L1 pour 2, 1, 0.5 ou 0.25 g de courgette.

Afin d'étudier l'effet de la compétition larvaire interspécifique tout en limitant l'existence possible de la compétition intraspécifique, une densité de 1 larve L1 par gramme de courgette a été choisie dans les infestations croisées réalisées pour les trois couples d'espèces : *B. cucurbitae* / *D. ciliatus*, *B. cucurbitae* / *D. demmerezi*, et *D. ciliatus* / *D. demmerezi*. Pour chaque couple

d'espèces, cinq niveaux d'infestations croisées ont été réalisées : 0% (espèce 1) et 100% (espèce 2), 25%-75%, 50%-50%, 75%-25% et 100%-0%. Pour chacun des niveaux d'infestations cinq répétitions ont été réalisées. Cinq jours après infestation, les pupes ont été récoltées par tamisage, pesées individuellement et regroupées par classes de poids de 1 mg dans l'attente de l'émergence des adultes qui débute 7 à 10 jours après la récolte des pupes.

Différents paramètres démographiques ont été mesurés : le poids pupal, la durée de développement, le taux de survie larvaire, le taux d'émergence des adultes et leur sex-ratio. Des analyses de variance ont été réalisées sur les données après vérification de la normalité à l'aide du logiciel R (version R 2.14.0.).

Résultats et discussion

Structuration génétique et origine des populations de *B. cucurbitae* à La Réunion

À La Réunion, nous avons prouvé l'existence de trois clusters distincts de *B. cucurbitae*, distinguables des groupes d'individus provenant des continents africain et asiatique. Génétiquement, ces trois clusters sont faiblement diversifiés et aucun bottleneck récent n'a été observé, ce qui indique qu'aucune réduction récente ou expansion des populations n'a pu être mise en évidence sur l'île.

Ces clusters montrent des distributions spatiales différentes sur l'île, leur structuration génétique étant liée à des facteurs climatiques (pluviométrie) et topologiques (altitude) mais n'est pas liée à la nature des plantes hôtes (cultivées ou sauvages). Ainsi, les individus du cluster 2 se retrouvent préférentiellement à l'Est de l'île contrairement à ceux du cluster 3 qui prédominent dans l'Ouest de l'île. Seuls les individus appartenant au cluster 1 semblent être plus plastiques avec une présence sur toute l'île malgré une prépondérance marquée dans le Nord-est de La Réunion. Nous pouvons émettre l'hypothèse que cette hétérogénéité spatiale est présente sur l'île depuis les premiers stades de la colonisation et que celle-ci est en train de disparaître au fil du temps.

D'intenses flux de gènes ont été mis en évidence entre les trois clusters à La Réunion d'après les analyses réalisées sous Migrate-n. Ces échanges de gènes indiquent donc qu'il n'y a pas de complète isolation reproductive sur l'île et la présence possible d'hybrides. De plus, l'analyse complète des données de La Réunion avec celles au niveau mondial montrent que l'Afrique semble être la source la plus

probable des individus présents à La Réunion bien que nous ayons également confirmé l'origine ancestrale Asiatique de ceux-ci.

Des études complémentaires seraient nécessaires afin de valider ou non les hypothèses suivantes concernant l'origine probable des ces trois clusters sur l'île de La Réunion : (i) il y a eu trois introductions distinctes de *B. cucurbitae*, (ii) il y a eu un seul inoculum à partir duquel trois populations de sont distinguées à cause de l'effet de fondation ou de la dérive génétique, (iii) les trois clusters représentent les premiers stades d'une différenciation d'une population, possible grâce à des adaptations locales à l'environnement et qui dépendra du degré d'isolement reproducteur entre les trois inoculums.

Compétition larvaire intra-spécifique

De manière générale, à l'issue des infestations de courgettes réalisées, le poids pupal des trois espèces de Dacini diminue avec l'augmentation du nombre de larves présents au sein d'un même fruit-hôte. Quel que soit le niveau d'infestation, les pupes de plus fort poids sont retrouvées chez *D. demmerezi*. *Bactrocera cucurbitae* semble être l'espèce la moins affectée par la compétition larvaire intra-spécifique : quand la densité larvaire augmente au sein du fruit hôte, la majorité des larves peut se développer et donner des pupes de petite taille et de faible poids. Ce résultat tend à expliquer la dominance numérique de *B. cucurbitae* comparée aux deux autres espèces.

L'espèce dont les paramètres de développement (taux de survie larvaire, émergence...) sont les plus affectés par une augmentation du nombre de congénères dans le même fruit hôte est *D. demmerezi*. De plus, pour cette même espèce, il semble qu'avoir un fort poids pupal requiert un certain niveau de larves au sein du fruit-hôte, ce qui pourrait être expliqué par une plus grande capacité à dégrader la pulpe des fruits pour cette espèce. Une relation linéaire négative entre le poids pupal et le temps de développement a été trouvée seulement pour *B. cucurbitae* et *D. ciliatus* : les pupes de poids élevé possèdent donc une durée de développement plus courte et vont sortir du fruit rapidement, tandis que les pupes de faible poids prennent plus de temps à se développer au sein du fruit hôte.

Compétition larvaire interspécifique

Si l'on considère le temps de développement larvaire et le taux de survie (de l'éclosion des œufs à l'émergence des adultes), il semblerait que *D. demmerezi*

soit avantagée par rapport aux deux autres espèces étudiées, en situation de compétition interspécifique au sein d'un même fruit hôte. Les larves de *B. cucurbitae* présentent un développement larvaire et un taux de survie supérieurs en présence de celles de *D. ciliatus* plutôt que de celles de *D. demmerezi*, ou de celles de leurs congénères.

Cependant, lors de cette étude au laboratoire, *D. ciliatus* peuvent avoir été désavantagée par rapport aux deux autres espèces du fait de la difficulté à obtenir des œufs à partir de l'élevage disponible, la faible vigueur des larves obtenues à partir de la mise en ponte, et le taux de survie larvaire très faible obtenu sur des courgettes du marché. Néanmoins, il semblerait que *D. ciliatus* raccourcisse la durée de son développement larvaire, sans affecter le poids pupal, lorsque ses larves sont en compétition avec *D. demmerezi* et avec *B. cucurbitae*. Ces résultats sous-entendent une plus faible capacité compétitrice de *D. ciliatus* comparée aux deux autres Dacini.

Etant donné l'effet de la plante-hôte sur le développement larvaire de *D. ciliatus*, décelé lors des expérimentations sur la compétition larvaire interspécifique, il serait intéressant d'étudier le développement des larves et le comportement de ponte des femelles de cette espèce en situation de choix, en présence de différentes sortes de courgettes. De telles études permettraient de mieux définir les meilleurs hôtes pour le développement des larves de *D. ciliatus* tout en observant si le choix des femelles pour le site d'oviposition est lié à la performance de la descendance.

Remerciements

Nous remercions Christophe Simiand, Jim Payet, Serge Glénac, Marie-Ludders Moutoussamy, Cédric Ajaguin-Soleym et Antoine Franck pour l'aide technique au laboratoire et les récoltes de légumes au champ. Ce travail a été soutenu par les subventions de La Région Réunion et de l'Union Européenne.

GENETIC STRUCTURE OF POPULATIONS AND LARVAL COMPETITION WITHIN THE DACINI COMPLEX

C. Jacquard, J.-P. Deguine, H. Delatte & S. Quilici

Cirad, UMR C-53 PVBMT,
F-97410 Saint Pierre, La Réunion, France

Abstract

In Réunion, the fruit fly Diptera Tephritidae causes considerable damage to cucurbit crops. Three species, *Bactrocera cucurbitae*, *Dacus ciliatus*, and *Dacus demmerezi*, coexist in the island and affect 16 different species of Cucurbitaceae. A good knowledge of ecology and population genetics is a prerequisite to develop sound and sustainable management of these species. Our goal was to describe the genetic variability of *B. cucurbitae* and attempt to trace its colonization path; to identify the distribution of these species on the island in relation to abiotic and biotic factors and to assess the impact of larval competition at the intra- and interspecific level. To study genetic variability and distribution, infested cucurbits, both farmed and wild, were picked randomly according to altitude (summer and winter of 2009), and then brought to the laboratory until adult emergence. To measure the effect of larval competition on survival rate of larvae and on pupal mass, squash were artificially infested with L1 larvae at five levels of infestation. We showed the existence of a well-differentiated population of *B. cucurbitae* in Réunion. The African continent seems to be the flies' main entry point. The larvae of these species were found to have different strategies when faced with increased intraspecific larval competition in the same fruit. While larvae of *B. cucurbitae* tend to survive, *D. demmerezi* has a relatively high mortality albeit the pupal weight of survivors remains high.

Key words: microsatellites, population structure, migration, intra and interspecific larval competition, Dacini, Tephritidae.

Introduction

For more than a century, Reunion has been invaded by many exotic pests as a direct or indirect result of human activity (commerce, agriculture). The Dacini

family (Diptera: Tephritidae) is a major pest group attacking 16 cucurbit species (Vayssières 1999) by laying their eggs inside. The current priority is to shift from chemical control to more environmentally-friendly management methods. Thus, the Cirad has been carrying out research to better understand their bioecology and behavior in their natural environment. Three fly species of this family, *Bactrocera cucurbitae*, *Dacus ciliatus* and *D. demmerezi*, have major economic importance and have been selected as models to study population genetics as well as the larval competition induced by their sympatric coexistence.

At present, no study has ever explained the intra-specific competition mechanisms between the three Dacini species. Our goal is therefore to (i) analyze the population genetics of the most invasive species, *B. cucurbitae*, in order to pinpoint specific host plants or geographical areas, and (ii) show any inter- or intra-specific competition mechanisms, in order to understand their ecological niche.

Material and methods

Genetic structure of *B. cucurbitae* populations

Infested fruit were collected on two different occasions during summer (February-April) and winter (July-September) 2009 on the whole island along an altitude gradient: 0-400 m, 400-600 m and 600-1200 m. Fruits were kept in a laboratory until the emergence of *B. cucurbitae* adults, which were then sexed and kept in 90° alcohol at -20°C. DNA extraction of each individual was achieved using adapted Baruffi *et al.* (1995) and Delatte *et al.* (2010) methodology. DNA was amplified by multiplex PCR using 10 microsatellite markers Delatte *et al.* (2010) then checked on 4% agarose. Each individual was genotyped using

an ABI Prism 3100 Genetic Analyser (Applied Biosystem) sequencer. Their allocation into clusters was computed by the Structure 2.3.3 software (Pritchard *et al.* 2000), with K (possible populations) ranging from 1 to 10 (10 repetitions per population). A second dataset of individuals from Reunion, Africa and Asia was studied (Virgilio *et al.* 2010), to assess the inter-populations gene flows and determine the potential origin of Reunion flies (using the Migrate-n 3.1.6 software (Beerli & Felsenstein 2001))

Inter- and intra-specific larval competition

The three species were reared in controlled conditions (25±1°C; 60±10% RH; 12:12 LD). Cucurbitae pepo courgettes (mean weight 100g), were infested with L1 larvae, at five levels of infestation (each of them with five replicates): one larva per 1, 2, 0.5, 0.25 or 0.125 g of courgettes. Furthermore, in order to assess inter-specific competition with a reduced potential impact of intra-specific competition, we chose a density of one larva per gram of courgette for the cross infestations: *B. cucurbitae* / *D. ciliatus*, *B. cucurbitae* / *D. demmerezi* and *D. ciliatus* / *D. demmerezi*. For each of these species couples, we examined five infestation levels (five replicates each): 100:0%, 75:25%, 50:50%, 25:75% and 0:100%. Pupae were extracted five days after infestation, weighted and conserved until adult emergence.

Demographic parameters we recorded were pupal weight, development duration, larval survival, adult emergence rate and sex ratio. They were computed (Anova) using the R software (2.1.14.0).

Results and discussion

Genetic structure of *B. cucurbitae* populations

We showed the existence of three genetic clusters of *B. cucurbitae* in Reunion, different from African and Asian groups. They were not genetically diverse and no bottleneck effect was noticed, suggesting that no recent population expansion or reduction occurred in Reunion. These results also show a diverse geographic distribution throughout the island: their genetic structure could be linked to climatic (rainfall) and topologic (longitude) parameters, but not to host plants. Cluster 2 individuals were predominantly found in eastern areas of the island, while cluster 3 individuals were mostly in the west. Cluster 1 individuals were found all over the island, with a higher proportion in the north east. We suppose this spatial heterogeneity has been present since

early colonization of the island, but has been diminishing over time. Strong gene flows were identified between these clusters. There is therefore no reproductive isolation and interbreeding is probably present. Moreover, an analysis of the Reunion and world dataset show that flies in Réunion most probably originated in Africa, though we also identified Asia as the original source.

More studies are needed to confirm whether these three clusters are: (i) three different introductions of *B. cucurbitae*, (ii) a single introduction followed by diversification induced by genetic drift, or (iii) the first phase of population diversification triggered by adaptations to the local environment and influenced by reproductive isolation.

Intra-specific competition

Overall, there was an inverse relationship between pupal weight and larvae density. Whatever the level of infestation was, *D. demmerezi* pupae weighed the most. *Bactrocera cucurbitae* was the species least affected by intra-specific larval competition: when larval density increased, the larval survival rate remained high though surviving pupae were lighter. This result could explain the predominance of *B. cucurbitae* compared with the two other Dacini in Reunion. On the other hand, *D. demmerezi* was the most affected by competition in terms of its larval and pupal survival rate. A negative linear correlation was shown between pupal weight and development time for *B. cucurbitae* and *D. ciliatus* only.

Inter-specific larval competition

Survival rate and immature development duration (from egg to adult) of *D. demmerezi* was favourable by comparison with the two other species in an inter-specific competition situation. *Bactrocera cucurbitae* larvae had a higher survival rate when in the presence of *D. ciliatus* than when in the presence of *D. demmerezi* or in intra-specific competition conditions. It must be noted, however, that *D. ciliatus* larvae could be artificially out-competed due to their weaknesses (few available eggs from rearing) and their low survival rate on market bought courgette. Nevertheless, their development duration appeared to decrease without any effect on pupal weight, when they were in competition with *D. demmerezi* or *B. cucurbitae*. This points to a weaker competitive ability of *D. ciliatus* compared to the two other Dacini. The host plant had an effect on the larval development of *D. ciliatus* in inter-specific experiments (results not shown). It would be

of interest to study the larval development and the egg-laying behavior of *D. ciliatus* females in certain situations with several types of zucchini. Such studies could enable better host fruits to be chosen, and to determine if the females' decisions are linked to the survival of its offspring.

Acknowledgments

We thank Christophe Simiand, Jim Payet, Serge Glénac, Marie-Ludders Moutoussamy, Cédric Ajaguin-Soleyn and Antoine Franck for their technical help and for their assistance during fruit field collections. This work was funded by Région Réunion, European Union and Cirad.

L'AUGMENTORIUM, UN OUTIL DE PROPHYLAXIE CONTRE LES TEPHRITIDAE À LA RÉUNION

M. Atiama, C. Ajaguin-Soleyn, T. Atiama-Nurbel, J. Belizaire, J. Duval, M.-L. Moutoussamy, C. Petitgas, S. Quilici, M. Tenailleau & J.-P. Deguine

Cirad, UMR C-53 PVBMT,
F-97410 Saint Pierre, La Réunion, France

Résumé

À La Réunion, trois espèces de mouches des fruits (Diptera : Tephritidae) provoquent d'importants dégâts sur cucurbitacées. Utilisée depuis longtemps, la lutte chimique contre ces mouches se révèle inefficace, d'où le choix de s'orienter vers une protection agroécologique de ces cultures. Dans cette démarche, les mesures prophylactiques reposent sur l'utilisation d'un augmentorium. Il s'agit d'une structure ressemblant à une tente dans laquelle on dépose régulièrement les fruits piqués infestés ramassés au champ. L'augmentorium, précédemment utilisé à Hawaï, empêche ainsi une ré-infestation de l'agroécosystème par une nouvelle génération d'adultes de mouches qui émergeraient dans l'augmentorium. Par ailleurs, un filet à la maille adaptée, placé sur le toit de l'augmentorium, permet de relâcher dans la nature les parasitoïdes des mouches. L'objectif de l'étude est de mettre au point et d'évaluer la technique de l'augmentorium dans les conditions de l'agriculture réunionnaise. En premier lieu, une enquête montre que la technique de l'augmentorium reçoit un très bon accueil de la part des agriculteurs et des particuliers. Dans un second temps, la mise au point d'un augmentorium réunionnais souligne l'importance du choix de la maille. La maille retenue offre une efficacité totale avec 100% de mouches piégées et 100% de parasitoïdes capables de sortir. En troisième lieu, plusieurs dizaines d'agriculteurs utilisent l'augmentorium depuis 2009 : ils considèrent cette technique simple, efficace, respectueuse de l'environnement et peu coûteuse. À terme, l'utilisation de cette technique peut être envisagée aussi bien en ville qu'à la campagne, reliant ainsi protection agroécologique des cultures et écologie urbaine.

Mots-clés : augmentorium, gestion agroécologique, protection, Tephritidae, parasitoïdes.

Introduction

Les mouches des fruits sont parmi les pestes les plus nuisibles à l'agriculture à l'échelle mondiale (Bateman, 1972 ; White & Elson-Harris, 1992). À La Réunion, huit espèces de Tephritidae économiquement sont nuisibles et constituent une menace majeure pour les cultures légumières et fruitières (Etienne, 1982 ; Quilici *et al.*, 2005 ; Ryckewaert *et al.*, 2010). Quatre espèces attaquent les cultures fruitières (ex : mangue, agrumes) : *Bactrocera zonata* (Saunders), *Ceratitidis rosa* (Karsh), *Ceratitidis capitata* (Wiedemann) et *Ceratitidis catoirii* Guérin-Méneville (Etienne, 1982 ; Quilici *et al.*, 2005). Une espèce provoque essentiellement des dégâts sur la famille des solanacées : *Neoceratitidis cyanescens* (Bezzi). Les trois dernières espèces attaquent les cucurbitacées : *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett), *Dacus ciliatus* Loew et *Dacus demmerezi* Bezzi, générant des dégâts pouvant atteindre 100% de la récolte (Vayssières *et al.*, 2008). La protection chimique actuellement déployée ne donne pas satisfaction : elle se révèle inefficace (Vayssières *et al.*, 2008), coûteuse, dangereuse pour la santé humaine et peu respectueuse ni de l'environnement ni de la biodiversité. Aujourd'hui, l'enjeu est de passer de cette démarche curative basée sur la lutte chimique à une démarche de prévention des infestations de ravageurs, basée sur un fonctionnement écologique plus équilibré et durable des agrosystèmes. C'est aujourd'hui ce virage vers une gestion agroécologique des mouches des légumes qui est mis en œuvre à La Réunion, s'inspirant à la fois des principes de protection agroécologique des cultures (Deguine et Ferron, 2006 ; Deguine *et al.*, 2008) et d'expériences étrangères, notamment à Hawaï (Liquidó, 1991 ; 1993). C'est là-bas qu'a été mis au point une technique originale de prophylaxie reposant sur un outil appelé augmentorium (Klunness *et al.*, 2005 ; Jang *et al.*, 2007). L'augmen-

torium est une sorte de tente fermée en toile, dont une partie du toit est constituée d'un morceau de filet à moustiquaire. Placée à proximité de la parcelle cultivée, cette structure permet aux agriculteurs d'y déposer régulièrement les fruits piqués ramassés sur leur parcelle. L'augmentorium séquestre les adultes des mouches qui émergent des fruits piqués, qui finissent par mourir. Au contraire, la dimension de maille de la structure permet aux parasitoïdes adultes plus petits (deux espèces principalement : *Fopius arisanus* (Sonan) parasitoïde de *B. zonata*, et *Psytallia fletcheri* (Silvestri) parasitoïde de *B. cucurbitae*) qui émergent des larves parasitées de mouches, de s'échapper, « augmentant » ainsi leur population. L'objectif de la présente étude est de concevoir, mettre au point et évaluer un augmentorium adapté au contexte réunionnais.

Matériel et méthodes

Enquête sur la prophylaxie

Il s'agit ici de mesurer l'intérêt de l'utilisation de l'augmentorium en milieu producteur ainsi qu'auprès de particuliers. En 2009, une enquête a été effectuée à l'Entre-Deux, un village du sud de l'île ayant une vocation horticole marquée (fruits et légumes). Le problème des mouches des fruits et des légumes y est bien connu, à la fois des producteurs maraîchers et des particuliers possédant des arbres fruitiers dans leur jardin. L'enquête a concerné 30 agriculteurs et 90 habitants du village.

Choix de la maille et des constituants de l'augmentorium

Afin que les modèles d'augmentorium utilisés à Hawaï soient fonctionnels à La Réunion, ces derniers doivent être adaptés aux insectes concernés, c'est-à-dire aux mouches et aux parasitoïdes présents à La Réunion. Les premiers travaux de mise au point ont eu lieu à partir de 2008 et se sont premièrement focalisés sur la taille de la maille à placer au niveau de la partie supérieure de l'augmentorium. Il s'agit du paramètre clé décidant de l'efficacité de l'augmentorium en matière de séquestration des mouches et d'augmentation des parasitoïdes. Des essais ont ainsi été menés au Cirad Réunion, s'inspirant de ceux d'Hawaï concernant le choix de la maille. Quatre différents types de mailles (3 achetées sur le marché local et celle utilisée pour les augmentoria de Hawaï) ont été testés en laboratoire à la fois pour la séquestration des différentes espèces de mouches présentes à La Réunion et pour l'entrée et la sortie des parasitoïdes.

Dans un second temps, différentes enquêtes sur questionnaires visant à obtenir des informations permettant la mise au point d'un prototype d'augmentorium ont été réalisées. Ces enquêtes, réalisées auprès de sept agriculteurs AB, se sont intéressées à des aspects concernant la technique de l'augmentorium avant, pendant et après une année d'utilisation. Ces différents questionnaires permettent de dégager des idées concernant la conception, l'amélioration et les modalités d'utilisation les appropriées de l'augmentorium.

Evaluation de l'augmentorium

Entre 2009 et 2010, deux types d'augmentorium mis au point ont été distribués à quelques dizaines d'agriculteurs. Leur avis a ensuite été consulté afin de connaître l'accueil de la technique en milieu paysan.

Résultats et discussion

Etude sur la perception de la protection contre les mouches et de l'intérêt de l'augmentorium

Vingt-cinq des trente agriculteurs questionnés, cultivant des cucurbitacées ou des solanacées, sont sensibilisés au problème des mouches des légumes. Ils estiment globalement leurs dégâts à plus de 40% de pertes de production, atteignant même plus de 80% pour sept d'entre eux. Les particuliers, quant à eux, sont 70% à affirmer être confrontés à des dégâts significatifs des mouches sur leurs arbres fruitiers dans leur jardin. Actuellement, agriculteurs (70%) et particuliers (53%) s'accordent sur l'inefficacité des traitements insecticides contre les mouches. Pourtant, 100% des agriculteurs traitent une à deux fois par semaine. Particuliers et agriculteurs utilisent néanmoins en partie d'autres techniques recommandées comme le piégeage de masse (60% des agriculteurs), ou d'autres moins recommandées comme les bouteilles jaunes engluées (37% des agriculteurs et 38% des particuliers). En revanche la prophylaxie contre les mouches, depuis longtemps recommandée, n'est pas pratiquée par les agriculteurs qui jugent cette technique non moderne, et par les particuliers qui sont 84% à ne pas en connaître l'utilité. Face à l'inefficacité des insecticides, 90% des agriculteurs sont prêts à s'engager dans une démarche nouvelle si son efficacité est démontrée. Ainsi, la majorité des agriculteurs (83%) et des particuliers (84%) se disent prêts à utiliser l'augmentorium.

Mise au point d'un augmentorium réunionnais et modalités d'utilisation

Parmi les quatre mailles testées, une s'est réveillée adaptée et efficace pour l'ensemble des mouches et des parasitoïdes présents sur l'île (taille : 1.9 mm x 1.9 mm, forme parallélogramme) (Deguine *et al.*, 2011). Au laboratoire, sur d'importants effectifs d'insectes, la maille sélectionnée retient l'ensemble des mouches testées (*C. capitata*, la plus petite des Tephritidae présentes, *B. cucurbitae* et *B. zonata*). De plus, la maille laisse passer les deux espèces de parasitoïdes d'intérêt (68% et 98% de sortie en moyenne pour *P. Sletcheri* et *F. arisanus*).

Les discussions avec les agriculteurs ont permis l'élaboration d'un premier prototype d'augmentorium adapté au cahier des charges AB. Malgré une satisfaction globale, plusieurs défauts majeurs ont été perceptibles, notamment la toile qui s'est réveillée insuffisamment solide face aux conditions climatiques (vents violents, parfois de type cyclonique, alternance marquée du soleil et de la pluie, inondation de l'augmentorium en zone de forte pluviométrie) et le transport difficile de la structure. Ainsi, à l'issue de ces constatations, deux autres prototypes d'augmentorium ont été mis au point. Le modèle actuellement disponible sur le marché est vendu aux agriculteurs par une société réunionnaise (Takamaka Industries).

D'intéressantes avancées ont pu être effectuées concernant les modalités d'utilisation de l'augmentorium en plein champ. En effet, la fréquence de ramassage se révèle hautement liée au type de culture. Alors qu'un ramassage quotidien en pleine période de production de courgettes semble nécessaire, cette fréquence s'abaisse à un ou deux ramassages par semaine pour des cultures de chou chou. Le délai d'ouverture de l'augmentorium après le dépôt des fruits est fixé à un mois (durée du cycle des mouches des légumes) même si une durée de cinq à six semaines peut être envisageable pour plus de sécurité. Dans ce contexte, l'utilisation de deux augmentoria par parcelle de manière cyclique se révèle être une bonne solution.

Accueil de l'augmentorium en milieu producteur

Depuis 2009, 81 augmentoria des deux modèles mis au point ont été distribués dans le cadre du projet Gamour à des agriculteurs conventionnels et à des fermes certifiées AB. Le bilan de l'emploi de ces deux types d'augmentorium est très positif puisque tous les agriculteurs en sont satisfaits. Ils évaluent concrètement l'efficacité de la technique, d'une

part en observant des quantités importantes de mouches restées prisonnières dans l'augmentorium, et d'autre part en notant des réductions significatives des dommages causés sur les légumes. De plus, le temps consacré au ramassage et au dépôt des fruits piqués se révèle finalement peu important, au regard du temps consacré auparavant aux traitements insecticides classiques.

Conclusion

La prophylaxie utilisant l'augmentorium peut devenir le meilleur élément d'une protection agroécologique contre les mouches et pourrait être considéré comme un potentiel et significatif outil de contrôle biologique, par le fait qu'il libère des parasitoïdes, diminue les populations de mouches et produit du compost. De plus, au vu des bons résultats de l'enquête de satisfaction, cette technique pourrait contribuer à remplacer partiellement voire totalement l'utilisation d'insecticide pour la protection des légumes mais aussi des fruits en milieu agricole ou chez les particuliers.

THE AUGMENTORIUM: A SANITATION TOOL AGAINST TEPHRITID PESTS IN REUNION

M. Atiama, C. Ajaguin-Soleyn, T. Atiama-Nurbel, J. Belizaire, J. Duval, M.-L. Moutoussamy, C. Petitgas, S. Quilici, M. Tenailleau & J.-P. Deguine

Cirad, UMR C-53 PVBMT, F-97410 Saint Pierre, La Réunion, France

Abstract

In Reunion, three fruit flies (Diptera, Tephritidae) cause serious damage to cucurbit crops. Chemical control has now been proven to be ineffective, which has led us to develop an agroecological management system for these pests. Sanitation relies on the use of an augmentorium. This is a tent-like structure where infested fruits are placed. Originally developed in Hawaii, the augmentorium prevents any further reinfestation of the agroecosystem. Moreover, a mesh placed on the roof allows parasitoids to escape and to return to the field. This study aims to assess the efficacy of the augmentorium in Reunion field conditions. An initial survey showed that augmentoria are appreciated by farmers and private garden owners. Secondly, a suitable mesh size needs to be chosen for augmentoria in Reunion. Once chosen, it provides a total protection, locking in 100% of the flies and allowing 100% of the parasitoids to escape. Thirdly, many farmers have been using the augmentorium since 2009. They consider it as simple, efficient, cheap and environmentally-friendly. Eventually, augmentoria could be used in urban areas as well, thus linking agroecological crop protection to urban ecology.

Keywords: augmentorium, agroecological management, crop protection, Tephritidae, parasitoids.

Introduction

Fruit flies are one of the most harmful pests in the world (Bateman, 1972; White et Elson-Harris, 1992). In Reunion, eight tephritid species make up the main vegetable and fruit pests (Etienne, 1982; Quilici *et al.* 2005; Ryckewaert *et al.* 2010). Four species attack orchards (e.g. mangoes and citrus): *Bactrocera zonata* (Saunders); *Ceratitidis rosa* (Karsh), *Ceratitidis capitata* (Wiedemann) and *Ceratitidis catoirii* Guérin-Méneville (Etienne, 1982; Quilici *et al.* 2005). One species is spe-

cific to Solanaceae: *Neoceratitis cyanescens* (Bezzi). The three last species are cucurbit specialists: *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett), *Dacus ciliatus* Loew and *Dacus demmerezi* Bezzi. They cause up to 100% yield loss (Vayssières *et al.* 2008). Chemical protection is currently used but does not provide satisfactory results: it is inefficient (Vayssières *et al.* 2008), costly and harmful for both human health and the environment. Today, the goal is to shift from this curative chemical methodology to a preventive one based on the ecology of agroecosystems. This shift is currently ongoing in Reunion, relying on agroecological crop protection principles (Deguine et Ferron, 2006; Deguine *et al.* 2008) and previous foreign experience, especially from Hawaiian (Liquidó, 1991, 1993). A special sanitation technique was developed there, using a tool called an augmentorium (Klungness *et al.* 2005; Jang *et al.* 2007). This is a closed tent-like structure with a roof consisting of mesh. Set up next to the crop, the structure is used by the farmers who place infested fruit inside. Adult flies emerging from the fruits are locked inside and eventually die. On the other hand, the mesh allows the smaller parasitoids to escape, especially the two braconid species *Fopius arisanus* (Sonan) and *Psytalia fletcheri* (Silvestri), parasitoids of, respectively, *B. zonata* and *B. cucurbitae*. The present study aims to conceive, develop and evaluate an augmentorium adapted to conditions in Reunion.

Material & Methods

Preliminary survey

In 2009, a survey was carried out in Entre-Deux, a small village in the south of Reunion with a strong horticulture (fruits and vegetables). The fruit and vegetable fly problem is well known there by both farmers and private garden owners. The survey included 30 farmers and 90 inhabitants.

Choice of mesh and other components

To make the Hawaiian models usable in Reunion, they must be adapted to local flies and parasitoids. The work started in 2008 and initially focused on the mesh size to be used in the augmentorium. This is a key factor in terms of fly sequestration and parasitoid augmentation. Trials were carried out in Cirad Reunion. Four mesh types, including the one used in Hawaii, were tested in laboratory conditions. Secondly, we conducted interview-based surveys to collect information for the development of a new Reunion augmentorium. Seven organic farmers gave feedback before, during and after a one-year trial of the augmentorium.

Assessment of the augmentorium by farmers

Two types of augmentoria were provided to several dozen farmers in 2009 and 2010. Their feedback was collected in order to shed light on the success of the technique.

Results and discussion

Preliminary survey

Twenty five of the 30 farmers interviewed, growing Cucurbitaceae or Solanaceae, are affected by vegetable pests. They estimate their losses to be more than 40%, sometimes as high as 80% for seven of them. Seventy per cent of the private garden owners also experience significant losses due to the flies. Meanwhile, 70% of farmers and 53% of private owners agree that insecticides are ineffective against flies. Nevertheless, 100% of the farmers do spray their crop once to twice a week. Both farmers and private owners use alternative techniques such as mass trapping (60% of farmers) or glued yellow bottles (37% of farmers, 38% of private owners). On the other hand, sanitation is not practiced. Farmers consider it old-fashioned and private owners are not aware of it. 90% of farmers would adopt a new methodology if proven effective. Thus, 83% of farmers and 84% of private owners state that they are ready to use an augmentorium.

Choice of the mesh and other components

During the laboratory tests, one of the meshes tested was found to be adapted to all flies and parasitoids in Reunion. Even with large amounts of insects, this mesh retained all the tested flies (*C. capitata*, the

smaller one, *B. cucurbitae* and *B. zonata*). Furthermore, both parasitoids could pass through the mesh (mean rates of escape 68% and 98% for *P. Fletcheri* and *F. arisanus* respectively). Discussions with farmers allowed the development of a first augmentorium matching the requirements of organic farming. Several major drawbacks were pinpointed, particularly the cloth which was found to be too fragile for severe climatic conditions. Two other models were subsequently developed, which are currently built and sold by a local Reunion company (Takamaka Industries). Improvements could still be made to the augmentorium's use in the field. Frequency of collection is closely linked to crop type: daily collection appears necessary for courgettes, though one or two collections per week are sufficient for chayote. A minimum delay of one month after the last drop is required before opening the augmentorium (average life cycle duration of cucurbit flies), but a longer delay of five to six weeks is more prudent. Thus, the alternate use of two augmentoria per field is recommended.

Assessment of the augmentorium by farmers

Since 2009, 81 augmentoria consisting of two different models have been delivered to conventional and organic farmers. The outcome is largely positive: all of them were satisfied. The effectiveness of the technique was assessed by quantifying sequestered flies and by a significant increase in yield. Moreover, less manpower time devoted to fruit collection when compared to traditional chemical spraying.

Conclusion

Sanitation using an augmentorium may be the best component of agroecological protection against fruit flies. It could also be considered a potential tool for biocontrol because it releases parasitoids, decreases fly populations and produces compost. Finally, taking into account the positive feedback from the farmers, this technique could allow the partial or total suppression of chemicals for both crops and private gardens.

INSERTION DU MAÏS DANS LES AGROÉCOSYSTÈMES COMME PLANTE-PIÈGE DES MOUCHES DES CUCURBITACÉES

J.-P. Deguine, T. Atiama-Nurbel, E. Douraguia, A. Petite, S. Duhautois, E. Bonnet, C. Ajaguin-Soleyn, M.-L. Moutoussamy & S. Quilici

Cirad, UMR C-53 PVBMT, F-97410 Saint Pierre, La Réunion, France

Résumé

La littérature indique que les adultes de nombreuses espèces de Tephritidae s'attaquant aux légumes passent la majeure partie de leur vie en dehors des parcelles de culture. L'étude a pour objectif de proposer des modalités d'insertion de plantes pièges dans les agroécosystèmes, en vue de gérer les populations des adultes des mouches des cucurbitacées présentes à La Réunion (*Bactrocera cucurbitae*, *Dacus ciliatus* et *D. demmerezi*). Des observations conduites en grandes cages de comportement montrent que, parmi les plantes pièges candidates, le maïs est la plus attractive pour les deux espèces de mouches étudiées. De nombreuses observations in situ ont été conduites dans quatre localités durant trois ans. Elles ont consisté à dénombrer les mouches adultes sur les plantes cultivées (courgette, citrouille) et sur les plants de maïs. En premier lieu, quelle que soit l'espèce et quel que soit le sexe, les adultes de mouches sont observés à plus de 90% sur les plants de maïs. Plusieurs modalités d'insertion du maïs sont comparées et peuvent être proposées : des bordures autour des parcelles de cultures ; des patches ou des bandes à l'intérieur des parcelles. En deuxième lieu, l'étude des mouches sur les plants de maïs contribue à la mise au point d'une méthode de dénombrement des populations d'adultes. En troisième lieu, l'étude montre également que certains diptères utiles, comme les adultes de syrphes, se concentrent également sur les plants de maïs en floraison et qu'ils peuvent avoir un rôle accru de pollinisation et de prédation de ravageurs.

Mots clés : Tephritidae, plantes pièges, *Zea mays*, La Réunion

Attractivité in situ du maïs

Les mouches des cucurbitacées (Diptera, Tephritidae) sont des bioagresseurs majeurs en zone tropicale. A La Réunion, elles sont considérées comme les principaux ravageurs de cultures maraîchères. La lutte chimique, qui a été la règle pendant de nombreuses années avec un usage massif d'insecticides, a montré ses limites : inefficacité, coût élevé, risques pour l'environnement et la santé humaine. Aujourd'hui, les études portent sur une gestion agroécologique des populations des mouches. Cette gestion agroécologique repose sur l'insertion de plants de maïs dans l'agroécosystème maraîcher.

Les plants de maïs, de par leur attractivité vis-à-vis des mouches des cucurbitacées (Atiama-Nurbel *et al.*, 2012), jouent le rôle de plantes pièges en y concentrant les populations de mouches. Il est ensuite possible de les gérer, par exemple en utilisant des appâts adulticides (Deguine *et al.*, 2012). Dans cette situation, plus aucun insecticide n'est épandu sur les cucurbitacées cultivées et les pertes de production sont minimales. Cette technique d'utilisation de plantes de maïs, en tant que plantes-pièges des mouches des légumes, est maintenant adoptée avec succès en milieu producteur (Deguine *et al.*, 2012).

L'attractivité du maïs a été confirmée in situ dans les différents essais mis en place pendant plusieurs années. Le maïs est attractif pour les trois espèces, *B. cucurbitae*, *D. ciliatus* et *D. demmerezi* ; les mouches sont retrouvées en densité importante pour les différentes situations étudiées (167 à 607 mouches pour 10 m² de maïs). A titre d'illustration, sur 7285 adultes dénombrés sur maïs et sur courgette à Tan Rouge en 2010, plus de 99% sont observés sur le maïs. De manière plus détaillée, en ramenant le nombre de mouches à une surface et un temps d'observation comparables entre le maïs et la courgette, le rapport entre les nombres d'adultes sur la courgette et le maïs est de l'ordre de un pour mille à Piton Bloc en 2008.

Modalités d'insertion du maïs dans l'agroécosystème

Plusieurs modalités d'insertion du maïs ont été comparées et peuvent être proposées : des bordures autour des parcelles de cultures; des patches ou des bandes à l'intérieur des parcelles. L'efficacité de ces différentes formes d'implantation de plantes pièges est assurée.

Méthode d'observation in situ des populations de mouches

En outre, la présence de plantes pièges de maïs dans l'agroécosystème (bordures autour des parcelles, patches ou bandes dans les parcelles) fournit une méthode complémentaire d'évaluation des populations de mouches et d'étude de leurs communautés. Le dénombrement in situ des mouches sur le maïs permet en effet d'avoir une estimation fidèle des populations de mouches réellement présentes dans l'agroécosystème, contrairement aux méthodes classiques de piégeage sexuel à l'aide de paraphéromones ou de mise en émergence de fruits récoltés sur le terrain. Il est ainsi possible de caractériser certains paramètres des communautés, comme l'abondance relative ou le sex-ratio des différentes espèces de mouches (Deguine *et al.*, 2012).

Concentration d'insectes utiles (syrphes) sur le maïs

Enfin, en plus de concentrer les mouches des légumineuses, les plants de maïs abritent d'autres arthropodes, en particulier des insectes utiles. C'est le cas des Syrphes, qui sont à la fois des pollinisateurs, des prédateurs et des indicateurs d'un bon fonctionnement écologique de l'agroécosystème. Une étude menée en 2010 révèle que l'insertion de maïs concentre des populations importantes de trois espèces de Syrphidae : *Allograpta nasuta* (Macquart), *Episyrphus circularis* (Hull) et *Melanostoma annulipes* (Macquart). La fonction pollinisatrice de cette dernière espèce est montrée, un pic d'abondance des adultes étant observé vers 8h30 le matin, ce qui correspond à la période de libération maximale du pollen par le maïs. Les populations d'autres insectes pollinisateurs (en particulier les abeilles) sont d'ailleurs observées en grand nombre dans les parcelles de Cucurbitaceae dès que des plants de maïs sont insérés dans l'agroécosystème (Duhautois, 2010).



Figure 1

Modalités d'implantation de plantes pièges de maïs dans les agroécosystèmes à base de Cucurbitaceae :

- bordure (en haut) ;
- bandes (au centre) ;
- patches (en bas).

Implementation modalities of trap plants within cucurbit agroecosystems:

- border (top),
- stripes (middle),
- patches (bottom).

IMPLEMENTATION OF CORN WITHIN AGROECOSYSTEMS AS A TRAP PLANT FOR CUCURBIT FLIES

J.-P. Deguine, T. Atiama-Nurbel, E. Douraguia, A. Petite, S. Duhautois, E. Bonnet, C. Ajaguin-Soleyn, M.-L. Moutoussamy & S. Quilici

Cirad, UMR C-53 PVBMT, F-97410 Saint Pierre, La Réunion, France

Abstract

Numerous species of cucurbit flies are known to spend most of their lifespan outside of the crop. We aim here to study the modality of implementation of attractive trap plants within the agroecosystem in order to manage the cucurbit fly pests in Reunion (*Bactrocera cucurbitae*, *Dacus ciliatus* and *D. demmerezi*). Field cage observations show that corn is the most attractive plant for the two studied species. Numerous field observations were moreover done in four sites for three years. Their goal was to count adult flies on cultivated crops (courgette, squash) and corn plants. Whatever the sex and the species are, more than 90% of the recorded flies were observed on corn. Different implementation modalities are compared for corn: borders around the cultivated field, patches or stripes within. Secondly, the study of flies on corn contributed to the elaboration of a method for adult populations counting. Thirdly, we showed that numerous beneficial dipterous, as syrphid adults are, are also concentrated on flowering corn. They may have an increased activity of pollination and predation.

Keywords: Tephritidae, trap plants, *Zea mays*, Reunion

In situ corn attractiveness

Cucurbit flies (Diptera: Tephritidae) are major tropical pests. In Reunion, they are the main pests for cucurbit growers. Chemical control used to be the rule for long time but its drawbacks are now well known: inefficient, expensive, and harmful for human health and environment. Today, studies aim to develop an agroecological management of fly populations. It relies on the implementation of corn plants within the agroecosystem.

Corn is known to be attractive for cucurbit flies (Atiama-Nurbel *et al.*, 2012). They play the role of trap plants by concentrating fly populations on them. They may thereafter be suppressed using adulticid baits (Deguine *et al.*, 2012). Thus, no insecticide has to be sprayed on the crop any longer and yield losses are minimal. This technique is now successfully used in the field (Deguine *et al.*, 2012).

Corn attractiveness was in situ confirmed in different trials carried out for several years. It is attractive for the three species *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett), *Dacus ciliatus* Loew and *D. demmerezi* (Bezzi). Flies have been observed at high densities in the different situations (167 to 607 flies per 10m² of corn). As an example, more than 99% of the 7 285 flies counted within the cucurbit agroecosystem were observed on corn (Tan Rouge 2010). More precisely, by computing the fly numbers to an unitary step of time and space, the density of adults on corn is about one thousand times higher than on cucurbits (Piton Bloc 2008).

Corn implementation modalities

Several implementation modalities were compared and may be proposed: borders around the field, or patches or stripes within (Fig. 1). The efficiency of these different modalities is ensured.

In situ observation method

Moreover, the presence of corn trap plants in the agroecosystem (borders, patches or stripes) provides a complementary method to evaluate and study the fly populations. In situ counting gives an accurate assessment of flies actually occurring within the ecosystem, contrary to the classi-

cal methods of parapheromonal sexual trapping or fruit sampling. We thus may estimate demographic parameters as sex ratio or specific relative abundance (Deguine *et al.*, 2012).

Concentration of beneficial syrphid flies on corn

Finally, more than concentrating pest flies, corn houses other arthropods including beneficial. Syrphidae (Diptera) are for example pollinators, predators, and indicators of the well ecological functioning of the agroecosystem. A 2010 study showed that corn implementation triggered the concentration of three syrphid species: *Allograpta nasuta* (Macquart), *Epi-syrphus circularis* (Hull) and *Melanostoma annulipes* (Macquart). The pollinator function of this latter has been shown, their abundance being maximal at 8h30 AM, i.e. at the same time as corn pollen maximal releasing. Populations of other pollinators, especially honeybees, are also observed at higher levels as soon as corn is implemented within the agroecosystem (Duhautois, 2010).

GESTION AGROÉCOLOGIQUE DES POPULATIONS DE MOUCHES DES LÉGUMES EN CULTURE DE CHOUCHOU (*SECHIUM EDULE*)

J.-P. Deguine, T. Atiama-Nurbel, E. Douraguia, B. Gilles, T. François, S. Quilici, C. Ajaguin-Soleyen & M.-L. Moutoussamy

Cirad, UMR C-53 PVBMT, F-97410 Saint Pierre, La Réunion, France

Résumé

Le chouchou est une plante particulièrement appréciée à La Réunion, soit pour les feuilles (chouchou sauvage), soit pour les fruits (chouchou cultivé sous treille). Les producteurs de chouchou et les partenaires de la filière imputent aux mouches des cucurbitacées des dégâts considérables ayant conduit à la forte réduction des surfaces cultivées de manière intensive sous treille. L'objectif de l'étude est d'évaluer l'incidence réelle des trois espèces de mouches concernées en culture de chouchou. Les expérimentations ont été conduites au champ et au laboratoire de 2008 à 2011. Si les adultes sont présents sous les treilles et si les femelles peuvent effectivement piquer les fruits, il n'y a pas d'incidence sur la croissance des fruits (longueur, largeur). Parmi les nombreux chouchous piqués, collectés et ramenés au laboratoire, peu d'entre eux ont donné lieu à des émergences d'adultes. Les mouches ont des difficultés à y effectuer leur cycle biologique (notamment *B. cucurbitae* et *D. demmerez*) : le fruit du chouchou semble réagir aux piqûres, en formant des cavités emprisonnant les œufs et les jeunes larves, qui ont ainsi tendance à mourir. La grande majorité des fruits qui tombent de la treille et que l'on retrouve par terre ne sont pas piqués et ne sont pas infestés. Ces chutes de fruits ne semblent pas liées aux mouches des cucurbitacées.

Mots clés : *Sechium edule*, Tephritidae, protection des cultures, La Réunion.

Introduction

Le chouchou (*Sechium edule*) est une plante très appréciée à La Réunion. Traditionnellement entretenu à l'état sauvage pour ses feuilles, il est maintenant cultivé sous treille pour ses fruits. De nombreux fruits tombent à terre, représentant une perte de pro-

duction significative. Les agriculteurs attribuent ces chutes à trois mouches des fruits visibles à l'intérieur des treilles : *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett), *Dacus ciliatus* Loew et *D. demmerez* (Bezzi). Cette observation provoque l'épandage massif d'insecticides sur les treilles. Cette étude vise à déterminer l'incidence réelle des mouches en culture de chouchou.

Matériel et méthodes

Les expériences ont été menées en 2008 et 2009, dans des treilles de chouchou situées à divers endroits de l'île. En 2008, des centaines de fruits ont été ramassés sur un site unique pour évaluer le stade sensible du fruit. Dans le même temps, nous avons suivi le développement de 20 fruits récemment piqués au champ. De plus, 120 fruits piqués ont été ramassés en 2008 sur deux sites, et 20 fruits ont été ramassés chaque semaine en 2009 sur un site. Tous ces fruits ont été ramenés au laboratoire où le développement des mouches jusqu'à émergence des adultes a été suivi pendant 15 jours.

Nous avons également placé des filets anti-oiseaux sous les treilles de trois champs en 2009, pour collecter les fruits tombant de la treille avant qu'ils ne touchent le sol. Ces fruits ont été ramenés au laboratoire pour compter le nombre de piqûres et leur niveau d'infestation.

Enfin, au laboratoire, nous avons exposé des chouchous à des femelles de mouche gravides (huit par femelle). Ces chouchous ont ensuite été disséqués et les sites de piqûre examinés.

Résultats

Au champ, les fruits de moins de 6 cm de long ne semblent pas affectés par les piqûres des femelles. Deux à quatre semaines après avoir été piqués, ces fruits ne montrent plus aucune différence par rapport aux fruits non piqués. Ces résultats sont confortés par les tests d'émergence. Seul un des 120 fruits collectés en 2008, et cinq des 219 collectés en 2009, ont donné des émergences de mouches. *Dacus ciliatus* semble être la seule mouche capable de se développer sur chouchou, non seulement dans les fruits collectés au champ mais également dans ceux artificiellement infestés au laboratoire. En disséquant les fruits piqués, nous avons pu observer une « réaction de défense » face aux œufs et larves L1 de *B. cucurbitae* et *D. demmerezi* (Fig. 1). Enfin, les observations sur filets anti-oiseaux ont montré que seuls 13 des 197 fruits tombés des treilles étaient infestés, ce qui signifie que 93% au moins étaient tombés pour d'autres raisons.

Conclusion

Cette étude montre pour la première fois l'incidence réelle des mouches des légumes sur les chouchous produits à La Réunion : bien que les mouches soient présentes dans les treilles, ces ravageurs ne sont pas responsables des pertes significatives enregistrées par les agriculteurs.

Ceci suggère que la protection chimique utilisée contre les mouches sous les treilles n'est pas appropriée, surtout si l'on considère les effets secondaires négatifs de ces traitements. Le stress physiologique de la treille surchargée, causé par la culture intensive du chouchou, pourrait être la cause principale des chutes de fruits et demande des recherches ultérieures.

Les principales perspectives de recherche concernant les interactions entre les mouches des légumes et le chouchou sont les suivantes : tester l'hypothèse du stress physiologique pour la chute des fruits ; étudier l'influence des piqûres sur le devenir de l'aspect du fruit pour la commercialisation ; étudier les effets variétaux ; étudier les mécanismes de réaction du fruit à la piqûre ; et enfin mesurer la réduction des populations de mouches et de piqûres avec le paquet technique Gamour.

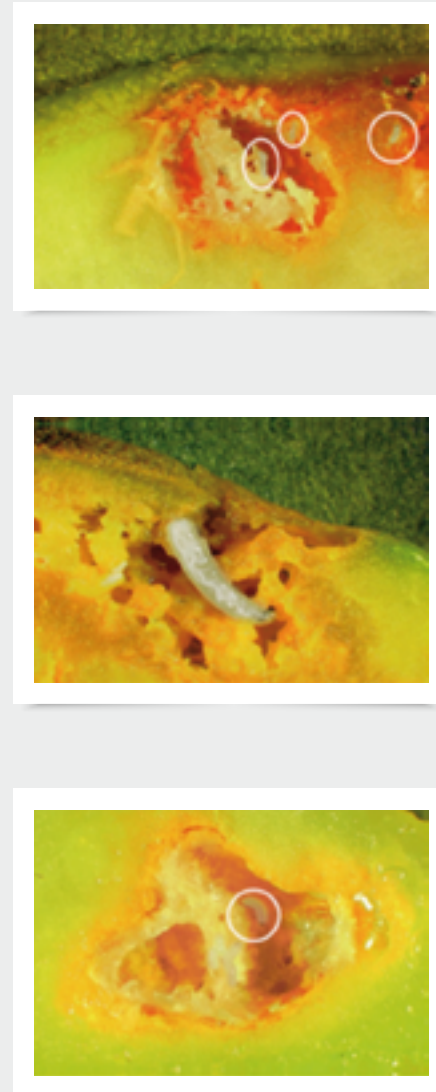


Figure 1

État des larves cinq jours après la ponte dans un fruit de chouchou.

- En haut : larves L1 de *B. cucurbitae* mortes (cercles blancs) ;
- au centre : L3 vivante de *D. ciliatus* ;
- en bas : L1 morte de *D. demmerezi* (cercle blanc).

Condition of fly larvae five days after the egg laying in a chayote fruit.

- Top: dead *B. cucurbitae* L1 larvae (white circles) ;
- middle: living *D. demmerezi* L3 ;
- bottom: dead *D. demmerezi* L1.

AGROECOLOGICAL MANAGEMENT OF VEGETABLE FLY PESTS IN CHAYOTE CROPS (*SECHIUM EDULE*)

J.-P. Deguine, T. Atiama-Nurbel, E. Douraguia, B. Gilles, T. François, S. Quilici, C. Ajaguin-Soleyen & M.-L. Moutoussamy

Cirad, UMR C-53 PVBMT, F-97410 Saint Pierre, La Réunion, France

Abstract

Chayote is appreciated in Reunion for its leaves (wild chayote) and its fruits (cultivated in arbours). Chayote producers claim that cucurbit flies are responsible for heavy yield losses, which leads to decreased intensively cultivated areas. The objective here is to evaluate the incidence of the three fly species on chayote crops. Field and lab trials were carried out from 2008 to 2011. Adults are actually present under the arbors, and females lay eggs in the fruits, but we showed this has no subsequent impact on fruit growth (length and width). Numerous infested chayotes were collected and brought to the laboratory, but few of them gave fly adult emergences. Flies (especially *Bactrocera cucurbitae* and *Dacus demmerezi*) experience lifecycle difficulties: chayote appear to react to infestations by forming sclerotized cavities around the fly eggs and larvae, which eventually die. Most fruit which fall to the ground are not infested. These fruit drops are not linked to cucurbit pest flies.

Keywords: *Sechium edule*, crop protection, Reunion

Introduction

Chayote is a popular vegetable in Reunion Island. Traditionally and extensively cultivated for its leaves, its arbors are nowadays intensively cultivated for fruit. A high number of fruit which falls to the ground causes significant yield loss. Farmers attribute this to three fruit fly species (*Bactrocera cucurbitae* (Coquillett), *Dacus ciliatus* Loew and *D. demmerezi* (Bezzi)) nesting within the arbor. This causes heavy used of insecticide sprays on chayote arbors. This study therefore aims to evaluate the real incidence of fruit flies in chayote crops.

Material and Methods

The experiments were conducted in 2008 and 2009, and observations in arbor crops were performed at different sites on the island. In 2008, hundreds of fruit were collected at a single site (Entre-Deux) to study the vulnerable stage of the chayote fruit. Meanwhile, we surveyed the development of 20 recently infested fruits and 20 healthy ones in the field.

In addition, 120 infested fruit were collected in 2008 in two sites (Salazie and Entre-Deux), and 20 fruits were collected per week in Salazie in 2009 for adult emergence in laboratory conditions over 15 days. Moreover, bird nets were placed under three arbors in 2009 to collect falling fruits before they reached the ground, and their infestation level was checked. Finally, eight chayotes were exposed to gravid females in the lab and then dissected.

Results

Females did not lay their eggs in fruits less than 6 cm long in the field. Two to four weeks after being stung, the fruit did not show any morphological difference compared to healthy fruits.

This observation was supported by the lab emergence trials: only one of the 120 stung fruits collected in 2008, and only five of the 219 collected in 2009 gave fly adult emergence. *Dacus ciliatus* was the only species able to emerge from these field collected infested fruits and the artificially-infested fruits. A defense reaction of the fruit to eggs or L1 larvae of *B. cucurbitae* and *D. demmerezi* was also observed by dissecting infested fruit in the lab (Fig. 2). The fruit formed a rounded hollow cavity with sclerotized walls around the eggs, preventing the L1 from feeding on the flesh and thus making them starving to death.

Finally, other field observations showed that only 13 of 197 fallen fruit were actually infested by larvae, meaning that 93% of fruits fell for other reasons.

Conclusion

This study provided the first results on the actual incidence of fruit flies in chayote crops in Reunion. Although adult flies actually nest in chayote arbors and do infest the fruits, these pests are not responsible for the significant losses reported by the farmers.

This suggests that the chemical protection used against fruit flies in chayote crops is not appropriate, especially when one considers the secondary harmful effects of the chemical treatments. The main cause of fruit drops could be physiological shedding due to the intensive cultivation of overloaded crops. This requires further research.

To conclude, there are numerous research perspectives about the interactions between flies and chayote: the physiological shedding hypothesis; the influence of infestation on the evolution of fruit's appearance for commercial purposes; cultivar effects; mechanisms of the fruit defense reaction; and finally, the decline in fly populations due to the application of the Gamour package and the corresponding reductions in damage caused.

EFFICACITÉ DU SYNÉIS-APPÂT® EN TRAITEMENT PAR TÂCHES CONTRE *BACTROCERA CUCURBITAE*, *DACUS DEMMEREZI* ET *D. CILIATUS*

J.-P. Deguine, T. Atiama-Nurbel, E. Douraguia, M. Gratecap, P.-N. Folio, M. Atiama, C. Ajaguin-Soleyn, M.-L. Moutoussamy & S. Quilici

Cirad, UMR C-53 PVBMT, F-97410 Saint Pierre, La Réunion, France

Résumé

Les adultes des mouches des cucurbitacées présentes à La Réunion se concentrent sur des plantes attractives, telles que le maïs, lorsqu'elles sont disposées à proximité des parcelles cultivées. Pour gérer les populations de ces ravageurs, il est envisagé d'utiliser des appâts adulticides en traitements par tâches sur ces plantes pièges. L'objectif de l'étude est de mesurer l'efficacité du Synéis-appât®, spécialité disponible en France, composé à plus de 99% de protéines ayant un effet d'attractivité et à moins de 1% de spinosad, un insecticide biologique. Des essais en grandes cages de comportement et en petites cages d'élevage montrent qu'à la dose de 1:5, le produit est très efficace sur *B. cucurbitae* et *D. demmerezi* et moyennement efficace sur *D. ciliatus*. Pour cette espèce, le temps de réponse au produit avant mortalité est retardé par rapport aux deux autres. Ces résultats sont confirmés dans des expérimentations conduites en plein champ. Un support d'application du Synéis-appât®, en forme de parapluie, a été mis au point pour les conditions de forte pluviométrie qui pourraient lessiver les traitements par tâches sur les plants de maïs.

Mots clés : Tephritidae, Synéis-appât®, push-pull assisté, La Réunion.

Introduction

Pour empêcher les femelles de mouches (*Bactrocera cucurbitae* (Coquillett), *Dacus demmerezi* (Bezzi) et *D. ciliatus* Loew) d'aller pondre sur les parcelles cultivées lorsque les mouches des légumes sont concentrées sur les plantes pièges, on a envisagé d'utiliser des appâts adulticides en traitements par tâches sur ces plantes pièges, comme cela est pratiqué dans différentes parties du monde sur les Tephritidae (Burns *et al.*, 2001 ; Prokopy *et al.*, 2003 ;

KunYaw *et al.*, 2005 ; Piñero *et al.*, 2009). Nos études ont visé à mesurer, sur les trois espèces de mouches des légumes, l'efficacité du Synéis-appât®, spécialité disponible en France, composé à 99,8% de protéines ayant un effet d'attractivité et à 0,2% de spinosad, un insecticide biologique. Les essais ont été effectués en grandes cages de comportement et en plein champ. Les trois espèces de mouches des légumes ont été prises en compte et l'effet « sexe » a également été étudié dans les essais en grandes cages.

Comportement d'attractivité des mouches vers un piège à base d'appâts adulticides

Des essais en grandes cages ont permis de décrire le comportement des mouches en présence de ce support. Le comportement des mouches est découpé en cinq phases : (1) les adultes volent vers le parapluie jaune en atterrissant sur la partie externe. Par la suite, (2) ils se dirigent vers l'intérieur et (3) montent vers le sommet. Les mouches se retrouvent alors en contact avec l'appât et se nourrissent du produit (4). Après digestion, les mouches tombent et meurent (5).

Efficacité du Synéis-appât® en grandes cages

L'efficacité du Synéis-appât® sur les trois espèces de mouches des légumes a été évaluée sur des mouches âgées de six à neuf jours. Des essais en grandes cages de comportement et en petites cages d'élevage montrent qu'à la dose de 1:5,

le produit est très efficace sur *B. cucurbitae* et *D. demmerezi* et moyennement efficace sur *D. ciliatus*. Pour cette espèce, le temps de réponse au produit avant mortalité est retardé par rapport aux deux autres. Quinze minutes après l'application, l'attractivité est supérieure pour *B. cucurbitae* ($21.7 \pm 1.8\%$) par rapport à *D. demmerezi* ($7.6 \pm 2.4\%$) et *D. ciliatus* ($2.7 \pm 1.4\%$). La mortalité finale est significativement supérieure pour *B. cucurbitae* ($94.6 \pm 0.7\%$) que pour *D. demmerezi* ($85.7 \pm 2.1\%$) et *D. ciliatus* ($60.4 \pm 4.4\%$). Le sexe n'a pas d'effet sur la mortalité pour chacune des espèces (Deguine *et al.*, 2012).

Essais d'efficacité en plein champ

Ces résultats sont confirmés dans des expérimentations conduites en plein champ. Elles témoignent d'une réelle efficacité du produit qui entraîne la mort des mouches après qu'elles aient été attirées par le Synéis-appât® et qu'elles en aient consommé. Le produit se révèle également plus efficace sur *B. cucurbitae* que sur *D. demmerezi* et *D. ciliatus*. De manière générale, l'évolution des densités de mouches dans les heures qui suivent le traitement présente toujours la même tendance : une augmentation dans les trois premières heures suivie d'une diminution progressive au cours du temps (Fig. 1). On en déduit donc que la portée du produit n'est pas limitée aux bordures sur lesquelles il est appliqué mais atteint même les plantes hôtes avoisinantes. On peut prédire trois phases après l'application du Synéis-appât® :

- effet attractivité à court terme (quelques heures après l'application) ;
- effet insecticide à court terme (quelques heures après l'application) ;
- effet insecticide à moyen terme (quelques jours après l'application).

Mise au point d'un support d'application du Synéis-appât®

Dans la mesure du possible, on utilise le Synéis-appât® en l'épandant sur des plantes pièges (maïs) plantées en bordure des parcelles cultivées. Cependant, cette technique n'est pas adaptée aux zones où la pluviométrie est très abondante (lessivage du produit). On a donc cherché à concevoir un support où on applique le produit, en le protégeant des précipitations.

Un support d'application du Synéis-appât® répondant à certaines contraintes climatiques de La Réunion a été comparé à un témoin fabriqué à Taïwan (« parapluie jaune »), puis mis au point à partir de matériaux locaux. Le choix de la couleur du support a été déterminé après étude comparative : le support jaune attire beaucoup plus les mouches que les supports blanc, rouge ou transparent.

Ce dispositif, correspondant à une demi-bouteille jaune horizontale imprégnée du produit au niveau de la face intérieure, est utilisable aussi bien sur parcelles de Cucurbitaceae (positionné au niveau des bordures de maïs) que sous des treilles de choux-chous. Il protège le Synéis-appât® de la pluie. Dans les essais au champ (trois lieux, deux années), les effectifs de mouches ont été comptabilisés sur les deux types de supports traités au Synéis-appât® pendant trois jours. L'efficacité du support se traduit par la proportion de mouches accédant au produit appliqué sous le support. Au total, le parapluie jaune attire autant de mouches de fruits et légumes (520 mouches) que la demi-bouteille jaune horizontale (509 mouches) : il n'y a aucune différence significative entre les deux supports. Le support fabriqué localement peut donc être utilisé, au même titre que le « parapluie jaune » importé.

Conclusion

L'ensemble des essais effectués avec le Synéis-appât® a montré, comme dans d'autres pays, une bonne efficacité sur les espèces de mouches des légumes qui sont présentes à La Réunion. L'utilisation de cet appât adulticide s'intègre parfaitement dans un programme de protection agroécologique des cultures. De plus, ce produit vient d'être homologué sur certaines cultures tropicales (litchi, mangue, carambole, fruit de la passion, avocat, papaye, goyave et corosol). Les perspectives de recherche concernent l'efficacité sur *D. ciliatus*, l'alternative au Synéis-appât®, les effets non intentionnels, et l'efficacité sur d'autres espèces de mouches.

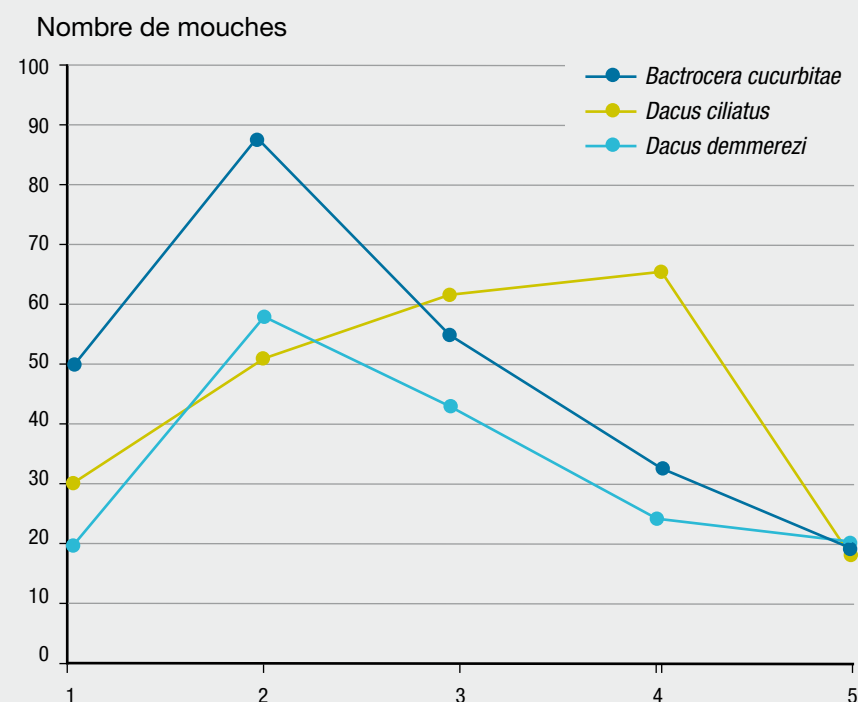


Figure 1

Efficacité du Synéis-appât® au champ sur les trois espèces de mouches des légumes présentes à La Réunion. Moyennes du nombre de mouches observées sur les taches d'appât, entre une et cinq heures après application.

Field efficiency of Synéis-appât® against the three cucurbit fly species in Reunion. Mean number of flies counted on baited spots, between one and five hours after application.

EFFICIENCY OF SYNÉIS-APPÂT® BAIT SPRAYS AGAINST CUCURBIT PEST FLIES (DIPTERA: TEPHRITIDAE)

J.-P. Deguine, T. Atiama-Nurbel, E. Douraguia, M. Gratecap, P.-N. Folio, M. Atiama, C. Ajaguin-Soleyen, M.-L. Moutoussamy & S. Quilici

Cirad, UMR C-53 PVBMT, F-97410 Saint Pierre, La Réunion, France

Abstract

Adult cucurbit flies in Reunion tend to congregate on attraction plants such as corn which are replanted next to cultivated crops. Bait sprays on these plants manage these pests. This study aims to assess the efficiency of Synéis-Appât®, available in France and containing more than 99% proteins and less than 1% spinosad, a biological insecticide. Field cage and rearing cage trials showed that a dose of 1:5 is effective against *Bactrocera cucurbitae* and *Dacus demmerezi*, though less so against *D. ciliatus*. These results were confirmed by field trials. A protection device was designed for use in heavy rainfall conditions to avoid the bait spots on corn leaves from being washed away.

Keywords: Tephritidae, Synéis-Appât®, assisted push-pull, Reunion

Introduction

Bait sprays prevent female cucurbit flies (Diptera: Tephritidae) laying their eggs on crops when they congregate on border attraction plants, as has already been demonstrated in other parts of the world (Burns *et al.*, 2001; Prokopy *et al.*, 2003; KunYawet *et al.*, 2005; Piñero *et al.*, 2009). Our study aimed to assess the effectiveness against cucurbit fly pests of Synéis-Appât®, a biological insecticide sold in France and containing 99.8% proteins and 0.2% spinosad. Trials were carried out in rearing and field cages then in the field. The three species of pest flies were studied, as was the “sex” effect in cage trials.

Attractiveness of baited crops to flies

Using field cage trials, we described the behavior of flies in the presence of yellow trap baited with Synéis-Appât®: (1) flies are attracted to the trap and land on the external part, then (2) crawl inside and (3) climb to the top. Flies are then in contact with the bait on which they (4) feed. They thereafter (5) fall and die.

Cage trials for assessment of Synéis-Appât®

Field and rearing cage trials showed that a 1:5 dose of Synéis-Appât® is fully effective against 6-9 day old *B. cucurbitae* and *D. demmerezi*, and moderately effective against *D. ciliatus* which respond more slowly to the bait. Fifteen minutes after application, the attraction to *B. cucurbitae* was greater ($21.7 \pm 1.8\%$) than to *D. demmerezi* ($7.6 \pm 2.4\%$) and *D. ciliatus* ($2.7 \pm 1.4\%$). The eventual mortality was also greater for *B. cucurbitae* ($94.6 \pm 0.7\%$) than *D. demmerezi* ($85.7 \pm 2.1\%$) and *D. ciliatus* ($60.4 \pm 4.4\%$), without taking into account the “sex” effect (Deguine *et al.* 2012).

Field trials

These results were confirmed in the field, Synéis-Appât® killing the flies after feeding upon it. It is still more effective against *B. cucurbitae* than against the two other cucurbit flies. Generally, fly density after application was always the same: it increased for the three first hours (short term attraction effect), followed by a progressive decrease during the next few hours (short term killing effect) and days (mid term killing effect) (Fig. 1). We concluded the effective range of the bait is not restricted to the borders plant it is applied on but even the surrounding vegetation.

Design of a protection device for Synéis-Appât®

As frequently as possible, Synéis-appât is sprayed on border corn plants sown around the cultivated crops. This methodology is however useless in locations experiencing high rainfall where the bait is washed away. We therefore designed a protection device which was compared to a yellow umbrella-shaped trap used in Hawaii, as a control.

This device is half a yellow plastic bottle with bait applied to the interior top surface. *Bactrocera cucurbitae* flies were significantly more attracted toward yellow traps than white, red or translucent ones. This device may be used in plant borders around cucurbit crops as well as under chayote arbors. It successfully protected the bait from rain. The effectiveness of this device against cucurbit flies was assessed in three-day long field trials at three sites, over two years. In total, the control umbrella trap attracted as many flies (520) as the half bottle one (509). The locally-designed trap may thus be used in place of the Hawaiian one.

Conclusion

These trials showed that Synéis-Appât® is effective against cucurbit flies in Reunion. This product may be used in an agroecological crop protection program. Moreover, it was recently registered in France for use with vegetable and tropical fruit crops like mango, star-fruit, avocado, guava and chayote. Research perspective deal with the undesirable effect of Synéis-Appât® on non-pest dipterous species.

UN SYSTÈME DE PIÉGEAGE SEXUEL SANS INSECTICIDE CONTRE *BACTROCERA CUCURBITAE* ET *DACUS DEMMEREZI* : MISE AU POINT ET EFFICACITÉ EN MILIEU PRODUCTEUR

T. Atiama-Nurbel, C. Ajaguin-Soleyen, M. Atiama, M.-L. Moutoussamy, S. Quilici, M. Tenailleau & J.-P. Deguine

Cirad, UMR C-53 PVBMT, F-97410 Saint Pierre, La Réunion, France

Résumé

Les mouches des légumes (Diptera : Tephritidae) (*Bactrocera cucurbitae*, *Dacus demmerezi* et *D. ciliatus*) sont d'importants ravageurs des cultures de cucurbitacées à La Réunion. L'une des techniques de gestion largement utilisée contre ces deux espèces est le piégeage de masse des mâles, utilisant un piège fabriqué par Takamaka Industries, contenant du cue-lure (paraphéromone) et un insecticide. Compte-tenu des restrictions d'utilisation des produits phytosanitaires et de la demande des agriculteurs AB afin de rendre compatible le piégeage des mouches avec leur cahier des charges, il est nécessaire de mettre au point un système de piégeage sexuel sans insecticide. La mise au point de ce système s'est inspirée de modèles construits à Hawaii, notamment à partir de bouteilles d'eau minérale en plastique présentant des ouvertures prolongées par des tubes à l'intérieur de la bouteille. La présente étude établit le processus de sélection du piège sans insecticide parmi plusieurs modèles différant par le nombre d'ouvertures (quatre ou huit) et leur emplacement sur la bouteille (bas ou haut). De plus, l'efficacité (nombre de mouches des deux espèces capturées) de ces pièges a été comparée à celle du modèle Takamaka de référence, afin de déterminer le nombre de pièges sans insecticide à utiliser en équivalence à un piège de référence avec insecticide. Le piège avec quatre tubes dans la partie inférieure de la bouteille a été retenu comme celui le plus efficace. En utilisation avec le cue-lure, la préconisation est d'utiliser trois pièges sans insecticide pour un piège référence avec insecticide afin de piéger un nombre équivalent de mouches.

Mots-clés : piégeage de masse, cue-lure, sans insecticide, piège bouteille.

Introduction

Sur l'île de La Réunion, trois espèces de mouches appartenant à la famille des Tephritidae (*Bactrocera cucurbitae* (Coquillett), *Dacus ciliatus* Loew et *D. demmerezi* (Bezzi)) provoquent des pertes de récolte pouvant atteindre 90% (Ryckewaert *et al.*, 2010). Ces mouches s'attaquent aux cucurbitacées comme la courgette (*Cucurbita pepo*), le concombre (*Cucumis sativus*), la citrouille (*Cucurbita maxima*) ou le chou chou (*Sechium edule*) et sont considérés à La Réunion comme les principaux ravageurs de ces cultures (Ryckewaert *et al.*, 2010). Le piégeage sexuel est utilisé dans de nombreuses régions du monde soit pour évaluer l'évolution des populations (piégeage de surveillance) soit dans le but de réduire leur population (piégeage de masse). A La Réunion, ce piégeage repose sur l'utilisation de pièges contenant à la fois une paraphéromone attirant les mâles adultes (cue-lure), et un insecticide ayant un effet choc en tuant les adultes piégés dès leur entrée dans le piège (DDVP). Le cue-lure n'attire que les mâles de *B. cucurbitae* et *D. demmerezi*, pas ceux de la troisième espèce *D. ciliatus*. Des pièges commerciaux sont distribués par l'entreprise Takamaka sur l'île. Cependant, de nouvelles lois ne permettent plus l'utilisation du système commercialisé à cause du DDVP qu'il contient. L'objectif est donc de mettre au point un système de piégeage sans insecticide pour la surveillance et la gestion des populations de mouches des légumes. Les objectifs spécifiques sont (I) de concevoir un type de piège efficace, simple d'utilisation et sans insecticide en testant plusieurs dispositifs, puis (II) de comparer différentes variantes du type de piège retenu, afin d'en retenir la plus efficace.

Matériels et méthodes

Dispositif expérimental et variables considérées

Quatre essais ont été menés pour comparer l'efficacité de différentes modalités de piégeage. Ils ont été réalisés durant l'état austral 2007-2008 (décembre à février) dans différentes localités de la région sud de l'île de La Réunion selon un dispositif randomisé de cinq blocs. Les différents systèmes de piégeage étaient disposés sur des parcelles non traitées, cultivées en courgette, chez des agriculteurs AB ou AR situés dans le bassin maraîcher du sud de l'île (Bassin Plat, Dassy, Entre-deux, Etang-salé, Piton Hyacinthe et Tampon).

Chacun des pièges à tester contenait une plaquette de cue-lure, et dans les essais avec des insecticides ils contenaient une plaquette de DDVP. Les systèmes de piégeage étaient maintenus sur les parcelles durant plusieurs semaines (deux à quatre semaines selon le cas). Les mouches capturées étaient relevées une fois par semaine, ramenées au laboratoire et comptées en distinguant les espèces (*B. cucurbitae* et *D. demmerezi*).

Essais et modalités de piégeage comparés

Les essais 1 à 3 visaient à choisir le prototype de piège le plus efficace et le plus adapté en testant plusieurs modèles. L'essai 1 a comparé l'efficacité du piège commercial standard (Takamaka Industries) à différents pièges dérivés de celui-ci. Ces prototypes dérivés ont été conçus à partir du modèle standard avec un rétrécissement des ouvertures, soit par du grillage, soit par des cônes en plastique.

L'essai 2 a comparé l'efficacité du piège commercial standard avec des bouteilles d'eau minérale en plastique munies d'ouvertures constituées par des tubes à microcentrifugation (Eppendorf Safe-lock® 2.0ml) dont l'extrémité avait été coupée. Les pièges comparés différaient par le nombre d'ouvertures (quatre ou huit) et la position de celles-ci sur la bouteille (en haut ou en bas). L'ensemble des pièges (bouteilles et références) contenait de l'insecticide.

L'essai 3 visait à comparer l'efficacité sans insecticide de divers modèles conçus à partir de bouteilles d'eau minérale en plastique. Cinq modalités différentes d'ouverture ont été testées : trois modalités de pièges avec ouvertures prolongées par des tubes à microcentrifugation (huit ouvertures en bas, quatre en bas ou quatre en haut), une modalité avec quatre grands trous prolongés par un cône en plas-

tique se rétrécissant vers l'intérieur, et une modalité avec quatre trous prolongés par un cône en grillage se rétrécissant vers l'intérieur.

L'essai 4 visait à comparer finalement le piège de référence avec insecticide au candidat à son remplacement : la bouteille plastique, sans insecticide, percée de quatre trous dans sa partie basale prolongés par des tubes à l'intérieur.

Résultats

Essai 1

L'efficacité est significativement supérieure pour les pièges de types Takamaka avec insecticide (de 20 à 60 mouches capturées en moyenne par semaine) comparé à ceux sans insecticide (aucune mouche). Un système de piégeage sans insecticide doit donc être conçu à partir d'un autre type de piège.

Essai 2

Le piège Takamaka classique capture significativement plus de *B. cucurbitae* que les pièges bouteilles à quatre ouvertures, cependant la capture du piège bouteille à huit trous en bas n'est significativement pas différente de celle du Takamaka classique. Avec un insecticide à l'intérieur, le piège Takamaka est plus efficace que les bouteilles en plastique percées et prolongées à l'intérieur par des tubes.

Essai 3

En l'absence d'insecticide, les cinq modalités de bouteille en plastiques avec des trous et des tubes ne présentent pas de captures de mâles de *B. cucurbitae* significativement différentes. Cependant, par rapport aux autres types de bouteilles, la bouteille avec quatre trous en bas semble donner les meilleurs résultats en moyenne.

Essai 4

Les piégeages de *B. cucurbitae* et de *D. demmerezi* dans chacune des localités montrent que le piège de référence Takamaka avec insecticide capture significativement plus de mouches qu'une bouteille plastique sans insecticide, munie de quatre trous et de tubes : 4, 4 fois moins de mâles de *B. cucurbitae* (9853 mouches contre 2192) et 1, 7 fois moins de mâles de *D. demmerezi* (6347 mouches contre 3754) dans les pièges bouteilles en considérant l'ensemble des captures et des lieux.

Discussion

Le système de piégeage des mouches des légumes, reposant sur l'utilisation d'une paraphéromone et d'un insecticide, est appelé à être remplacé. Or, le piège de référence ne présente d'intérêt que s'il est utilisé avec un insecticide, les évasions des mouches en l'absence d'insecticide étant trop aisées. Un système alternatif de piégeage est proposé : il s'agit d'une bouteille en plastique, dans laquelle sont percées quatre trous dans la base inférieure de la bouteille, ces trous étant prolongés à l'intérieur par des petits tubes. La bouteille contient la paraphéromone, mais ne contient pas d'insecticide, les mouches restant prisonnières après avoir été capturées.

Dans des comparaisons au champ, ce nouveau type de piège montre une efficacité moindre que le piège de référence. Cependant, utilisé en milieu producteur (situation de non choix), le nouveau modèle a montré son efficacité. Pour tenir compte de ces résultats, une prochaine expérimentation visera à comparer un piège Takamaka avec insecticide à plusieurs bouteilles en plastique sans insecticide. Nous considérerons l'hypothèse de prendre trois bouteilles pour un piège, d'après les premières observations qualitatives que nous avons faites.

Ce nouveau concept de piège permet son utilisation en AB, et également dans une protection agroécologique des cultures (Deguine *et al.*, 2008). Dans le réseau de surveillance Gamour, ce piège s'est révélé très représentatif des populations d'adultes au champ (Deguine *et al.*, 2011) et a été particulièrement bien appréciée par les producteurs : simple, facile et rapide à fabriquer, coût peu élevé, pas d'insecticide, effet psychologique positif lié au fait que l'on voit la couche de cadavres au fond de la bouteille transparente. Dans le cadre de l'extension du programme Gamour, la demande des agriculteurs est forte et ce système de piégeage est appelé à être vulgarisé.

IMPLEMENTATION AND FIELD ASSESMENT OF AN INSECTICIDE-FREE TRAP AGAINST *BACTROCERA CUCURBITAE* AND *DACUS DEMMEREZI* (DIPTERA : TEPHRITIDAE)

T. Atiama-Nurbel, C. Ajaguin-Soleyen, M. Atiama, M.-L. Moutoussamy, S. Quilici, M. Tenailleau & J.-P. Deguine

Cirad, UMR C-53 PVBMT, F-97410 Saint Pierre, La Réunion, France

Abstract

Vegetable flies (Diptera: Tephritidae) (*Bactrocera cucurbitae*, *Dacus demmerezi*) are major pests of cucurbit crops in Reunion. One widely used management technique is mass trapping using a Takamaka Industries trap baited with cuelure (parapheromone) and an insecticide. Due to new legacy limitations on insecticides and organic farming regulations, the sexual trapping method must be insecticide-free. The trap technique was inspired by similar traps observed in Hawaii, using empty plastic bottles with lateral openings (tubular invaginations). We compared two models, with four or eight openings, placed high or low on the bottle. Finally, we compared the efficacy of this trap with the reference Takamaka Industries trap to know how many insecticide-free traps are needed to replace a single Takamaka Industries trap in the field. The trap with four low openings was the most effective. We recommend using three of them to obtain similar results to a Takamaka Industry trap.

Keywords: mass trapping, cue lure, insecticide-free, bottle.

Introduction

Three Tephritidae flies cause up to 90% yield loss to cucurbit crops in Reunion: *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett), *Dacus ciliatus* Loew and *Dacus demmerezi* Bezzi (Ryckewaert *et al.* 2010). They are the main pests of courgette (*Cucurbita pepo*), cucumber (*Cucumis sativus*), pumpkin (*Cucurbita maxima*) and chayote (*Sechium edule*). Sexual trapping is used world-wide, either to monitor fly populations or to suppress them by mass trapping. In Reunion, this technique uses traps containing cuelure, a parapheromone attracting males of *B. cucurbitae* and

D. demmerezi, and an insecticide (DDVP) killing flies quickly after they enter the trap. These traps are sold in Reunion by Takamaka Industries, but DDVP is no longer certified. We thus intended to develop an insecticide-free trapping method, by (i) developing a simple and efficient insecticide-free trap, and (ii) measuring its effectiveness against flies.

Material & Methods

Experimental device and sites

Four trials were carried out during the austral summer (December to January) in 2007 and 2008 in a five block randomized methodology. Traps were set up in unsprayed courgette fields on organic and integrated farms in Southern Reunion (Bassin Plat, Dassy, Entre-Deux, Etang Salé, Piton Hyacinthe and Le Tampon). Each trap contained a cuelure block, with or without a DDVP plug. The trial lasted from two to four weeks. Captured flies were counted and identified weekly.

Trap comparison

Trials 1-3 aimed to select the most effective prototype. Trial 1 compared the commercial standard trap (Takamaka Industry) to other ones derived from it, with openings narrowed inwards by metallic mesh or plastic cones. **Trial 2** compared the Takamaka Industries trap to plastic mineral water bottles with lateral openings of uncapped plastic tubes (Eppendorf Safe-lock 2 mL). The traps had four or eight openings, placed at the base or at the top of the bottle. Every trap contained DDVP. **Trial 3** compared five different insecticide-free traps: eight with openings

at the base, four with openings at the base, four with openings at the top, four with large inward openings using plastic cones and four with large inward openings using metallic mesh. Finally, trial four compared the Takamaka Industries trap to the insecticide-free plastic bottle with four openings at the base. The results were statistically analyzed with the R software.

Results

Trial 1

the reference Takamaka Industries trap collected a mean of 20-60 flies per week, but no fly was collected by the other traps without insecticide.

Trial 2

The Takamaka Industries trap collected significantly more *B. cucurbitae* than the four-hole bottle traps, but no more than the eight-hole bottle traps. With insecticide, the Takamaka Industries traps collected more flies than any plastic bottle traps.

Trial 3

Without insecticide, every plastic bottle trap collected the same number of *B. cucurbitae* males, though the plastic bottle trap with four openings at the base tended to capture more (179 ± 32 flies / week / trap).

Trial 4

The Takamaka Industries trap with insecticide captured significantly more flies than the plastic bottle trap with four openings at the base and without insecticide: respectively, 173 ± 34 vs 74 ± 15 *D. demmerezi* males in Piton Hyacinthe, and 789 ± 175 vs 207 ± 39 *B. cucurbitae* males in Etang Salé.

Discussion

The reference mass trapping technique with insecticide is about to be replaced. We showed, however, that the current reference trap is useless without insecticide because it enable flies to escape. We proposed an alternative plastic bottle trap with four openings at the base. Uncapped plastic tubes placed inside prevent flies from escaping. This traps do not contain any insecticide, the flies cannot escape from this fish trap-like system. However, these bottle traps captured fewer flies than the reference trap: about four times fewer *B. cucurbitae* and two times fewer

D. demmerezi males. Given these results, we recommend substituting each Takamaka Industries trap with three bottle traps to get the same results without insecticide.

This new trapping system is authorized for organic farming and may also be used in agroecological crop protection (Deguine *et al.*, 2008). Used in the Gamour monitoring network, it gave a satisfactory overview of fly populations in the field (Deguine *et al.*, 2011). It was also particularly appreciated by farmers for being simple, easy and quick to produce, cheap, and psychologically rewarding thanks to the dead flies visible inside the transparent bottle. It has been requested by farmers for the future Gamour extension.

LÂCHERS DE *PSYTTALIA FLETCHERI* (SILVESTRI) (BRACONIDAE : OPIINAE) SUR CULTURES DE CUCURBITACÉES À LA RÉUNION

M. Marquier, C. Clain, B. Albon & E. Roux

FDGDON-Réunion, 97460 Saint-Paul, La Réunion, France

Résumé

Trois espèces de mouches des légumes (Diptera : Tephritidae), *Bactrocera cucurbitae* (Coquillet), *Dacus demmerezi* (Bezzi) et *D. ciliatus* Loew, sont les principaux ravageurs des cultures de cucurbitacées à La Réunion. Leur contrôle, exclusivement basé sur une protection chimique, a montré ses limites. Le projet Gamour a pour objectif de promouvoir une gestion agroécologique des mouches des légumes à La Réunion. Dans ce contexte, notre étude a pour objectif d'étudier la faisabilité et la pertinence de l'utilisation d'un auxiliaire parasitoïde, *Psytalia fletcheri* (Silvestri), en tant qu'agent de lutte biologique contre les trois espèces de mouches des cucurbitacées. Des lâchers de *P. S Fletcheri* ont été réalisés de 2009 à 2011 sur cinq parcelles de cucurbitacées. De 1 600 à 11 200 parasitoïdes ont été lâchés selon les parcelles. Le parasitisme de *P. S Fletcheri* a été suivi sur des courgettes artificiellement infestées au laboratoire (sentinelles) et/ou sur des échantillons de fruits piqués récoltés au terrain. Le taux de parasitisme moyen est quasi nul avant les lâchers et relativement modéré après (de 0 à 10% selon les parcelles). Sur les parcelles où l'espèce *B. cucurbitae* est absente, le taux de parasitisme reste nul malgré les lâchers. Dans une approche coût-efficacité, des lâchers inondatifs de *P. S Fletcheri* ne sont pas pertinents pour gérer les populations de mouches des légumes. Par contre dans une approche agroécologique, sur des parcelles situées de 0 à 800 m d'altitude (zone de présence de *B. cucurbitae*), des lâchers inoculatifs permettront d'enrichir la biodiversité de la faune auxiliaire et de sensibiliser les agriculteurs à l'intérêt de diminuer leur emploi de pesticides.

Mots-clés : lutte biologique par augmentation, parasitoïde, Tephritidae.

Introduction

Trois espèces de mouches des légumes (Diptera : Tephritidae), *Bactrocera cucurbitae* (Coquillet), *Dacus demmerezi* (Bezzi) et *D. ciliatus* Loew, sont les principaux ravageurs des cultures de cucurbitacées à La Réunion. Ces mouches pondent leurs œufs dans les fruits qui sont ensuite consommés par les larves. Les dégâts au champ sont très variables selon la culture, le lieu et la période, mais ils atteignent fréquemment la totalité de la production (Vayssières, 1999 ; Ryc-kewaert *et al.*, 2010). Le contrôle des mouches des légumes, exclusivement basé sur l'utilisation systématique de pesticides (une ou deux fois par semaine) a montré ses limites.

Le projet Gamour a débuté en 2009 avec la conception du paquet technique à destination des agriculteurs, baptisé SP5 pour Surveillance, Prophylaxie, Plantes pièges, Piégeage de masse, Prédateurs & Parasitoïdes et Pratiques agroécologiques. *Psytalia fletcheri* (Silvestri) (Braconidae : Opiinae) est un parasitoïde larvo-pupal des mouches des légumes (Hurtrel, 2000). Il a été acclimaté avec succès à La Réunion, à partir d'Hawaii, à la fin des années 90 (Quilici *et al.*, 2004) afin de lutter contre *B. cucurbitae*. Notre étude a pour objectif d'étudier la faisabilité et la pertinence de l'utilisation de *P. S Fletcheri*, en tant qu'agent de lutte biologique par augmentation contre les trois espèces de mouches des cucurbitacées. Pour cela nous avons évalué l'évolution du taux de parasitisme après des lâchers du parasitoïde sur des parcelles de cucurbitacées.

Matériel et méthodes

Les parcelles expérimentales.

L'étude a été menée de 2009 à 2011 sur cinq parcelles présentant des conditions culturelles et environnementales différentes. Les caractéristiques des

parcelles sont les suivantes :

- La Caroline, Bras Panon (2009), 10m² de courgette, sur une exploitation AB à 160 m d'altitude, gestion des mouches par un piégeage de masse.
- Tan Rouge, Saint Paul (2010), 1 000 m² de courgette, à 750 m d'altitude, aucune gestion des mouches.
- Piton Bloc A, Petite-Ile (2011), 1 200 m² de courgette, sur une exploitation conventionnelle à 1045 m d'altitude, gestion des mouches avec le pack technique Gamour (prophylaxie, plantes-pièges et piégeage de masse).
- Piton Bloc B, Petite-Ile (2011), 2 500 m² de courgette, sur une exploitation conventionnelle à 885 m d'altitude, gestion des mouches avec le pack technique Gamour.
- Bois de Nèfles, Saint Denis (2011), 3 000 m² de cucurbitacées et cultures maraîchères diverses, sur une exploitation AB à 500 m d'altitude, gestion des mouches avec le pack technique Gamour.

Les lâchers de *P. S Fletcheri*

Les parasitoïdes provenaient de l'élevage de la FDGDON où ils ont été élevés sur *B. cucurbitae*. Ils ont été lâchés au stade adulte environ une semaine après leur émergence afin que les femelles soient accouplées et pondent dès le lâcher au terrain. Pour chaque parcelle, les quantités de parasitoïdes lâchés ont varié en fonction des capacités de production de l'élevage (Tab. 1).

Les suivis

Nous avons réalisé un suivi bimensuel à La Caroline (11 observations de septembre à janvier 2009) et des suivis hebdomadaires à Tan Rouge (12 observations de juin à août 2010), à Piton Bloc A (six observations de mars à mai 2011), à Piton Bloc B (cinq observations d'avril à mai 2011) et à Bois de Nèfles (sept observations de juin à août 2011). Les suivis ont été arrêtés par l'arrachage des cultures de cucurbitacées.

Les observations

Les observations ont été réalisées (I) sur des échantillons de cucurbitacées piquées récoltées au champ, dont le nombre variait en fonction des disponibilités sur la parcelle ; (II) et/ou sur des courgettes artificiellement infestées au laboratoire (sentinelles) déposées au terrain grâce à un dispositif adapté pour collecter

les pupes, sur les parcelles de La Caroline (2009), de Tan Rouge (2010) et de Bois de Nèfles (2011).

Après leur récolte au terrain, les cucurbitacées piquées ont été pesées et mises en culture individuellement au laboratoire pendant sept jours (25±2 °C, 70±5% HR). Pour les cucurbitacées piquées et les sentinelles, les pupes ont été récupérées par filtrage ou flottaison, puis elles ont été mises à émerger pendant deux semaines au laboratoire. Les mouches et les parasitoïdes émergés ont été identifiés et comptabilisés. Le taux de parasitisme de *P. S Fletcheri* a été estimé par le pourcentage de *P. S Fletcheri* obtenus parmi les insectes émergés des pupes récupérées.

Résultats et discussion

Les populations de mouches des légumes sur les parcelles expérimentales

Les observations sur cucurbitacées piquées ont montré que la composition des populations de mouches des légumes variait en fonction des conditions culturales et notamment de l'altitude. A La Caroline (2009) et Bois de Nèfles (2011), nous avons observé en majorité l'espèce *B. cucurbitae* complétée par *D. ciliatus*. *Dacus demmerezi* était quasi-absente de ces parcelles situées à moins de 600 m d'altitude. A l'inverse, sur les parcelles de Piton Bloc A et B (2011) situées à plus de 800 m d'altitude, nous avons observé une prédominance des espèces *D. demmerezi* et *D. ciliatus*, alors que *B. cucurbitae* était quasi-absente. A Tan Rouge (2010) à 750 m d'altitude, nous avons observé les trois espèces de mouches avec une dominance de *D. demmerezi* (Tab. 2). Ces observations concordent avec la répartition et l'abondance connues des Dacini en fonction de l'altitude à La Réunion (Vayssières & Carel, 1999).

Le niveau d'infestation (quantité de mouches émergées par gramme de fruit) variait également d'une parcelle à l'autre en fonction de la culture, de la période, des modes de gestion des mouches utilisés et/ou du poids moyen des cucurbitacées piquées récoltées (Tab. 2).

Le parasitisme de *P. S Fletcheri*

Seuls les résultats obtenus à partir des échantillons de fruits piqués sont présentés dans cet article. Les données obtenues avec les sentinelles n'étaient pas exploitables à cause d'une absence régulière de pupes liée à des résidus de pesticides dans les courgettes, à un ensoleillement trop fort des courgettes au terrain et/ou à la prédation par les fourmis.

Le parasitisme naturel avant les lâchers.

Aucun parasitoïde n'a été obtenu à partir des cucurbitacées piquées avant les lâchers de *P. S Fletcheri* à La Caroline (2009), Piton Bloc A et B (2011) et Bois de Nèfles (2011) (Tab. 3). A Tan Rouge (2010), un taux de parasitisme de 3% a été observé avant les lâchers. Toutefois, une autre espèce signalée à La Réunion (Wharton *et al.*, 1999), *P. insignipennis* (Granger), est naturellement présente sur le site (*P. Rousse, com. pers.*). Nous n'avons pas fait la distinction entre les deux espèces lors de notre étude.

Le nombre limité d'observations réalisées avant les lâchers ne permet pas d'affirmer que *P. Fletcheri* était absent des parcelles maraîchères ou de leur environnement. Néanmoins, le parasitoïde n'assurait pas naturellement un contrôle efficace des mouches des légumes.

L'impact des lâchers sur le parasitisme au champ

Suite aux lâchers de *P. S Fletcheri* à La Caroline (2009), nous avons observé un parasitisme moyen de 10% et maximal de 40%. A Tan Rouge (2010) et Saint Denis (2011), suite aux lâchers en début de fructification de la culture, nous avons observé des taux de parasitisme moyens de 2 et 3% et maximaux de 9 et 16%. A Piton Bloc A et B (2011), aucun parasitisme n'a été observé après les lâchers.

Au laboratoire, *P. S Fletcheri* est capable d'effectuer son cycle de développement sur *D. demmerezi* et *D. ciliatus*, mais les taux de réussite sont plus faibles que sur *B. cucurbitae*, son hôte principal (*S. Quilici, com. pers.*). A Piton Bloc A et B, *B. cucurbitae* était absente et la capacité du parasitoïde à parasiter les deux espèces de *Dacus* était inexistante. Peu d'études ont évalué la spécificité de *P. S Fletcheri* et encore moins au champ. Au vu de ces résultats, les lâchers de *P. S Fletcheri* apparaissent pertinents en dessous de 800 m d'altitude, zone où *B. cucurbitae* prédomine (Vayssières & Carel, 1999).

Sur les parcelles de La Caroline, de Tan Rouge et de Bois de Nèfles, nous avons observé une augmentation des taux de parasitisme de *P. S Fletcheri*, mais ceux-ci sont restés relativement faibles. Même avec des lâchers inondatifs (plus de 1 000 guêpes lâchées /m²), le taux de parasitisme moyen obtenu (10%) est insuffisant pour un contrôle efficace des mouches des légumes.

A Hawaii, dans le cadre d'une étude similaire, des lâchers inondatifs de *P. S Fletcheri* (de 12 à 260 guêpes lâchées /m²), ont conduit à une augmentation des

taux de parasitisme jusqu'à 19% sur courgette et 30% sur calabasse-lierre (*Coccinia grandis*) (Purcell & Messing, 1996 ; Vargas *et al.*, 2004 ; Harris *et al.*, 2010). Ces taux sont plus élevés que ceux obtenus dans notre étude. Ceci est certainement lié au fait que *B. cucurbitae* est la seule espèce présente sur cucurbitacées à Hawaii.

Toutefois, le taux de parasitisme est un indicateur qui sous estime l'action du parasitoïde. En effet, celui-ci peut entraîner une mortalité des pupes parasitées sans pour autant achever son cycle de développement (Bautista *et al.*, 2004). D'autres indicateurs comme le taux de mortalité des mouches peuvent alors être utilisés pour compléter l'évaluation de l'action de *P. S Fletcheri* (Harris *et al.*, 2010).

Conclusion

Dans une logique coût / efficacité, les lâchers de *P. S Fletcheri* n'apportent pas un plus au pack technique déjà développé sur les parcelles pilotes du projet Gamour (prophylaxie, plantes-pièges et piégeage de masse). Par contre, des lâchers de type inoculatifs permettent de renforcer ou de rétablir la biodiversité sur des parcelles maraîchères longtemps perturbées par l'emploi de pesticides. Ils sont également intéressants pour sensibiliser les agriculteurs sur la faune auxiliaire et les inciter à réduire au strict nécessaire les traitements phytosanitaires sur leurs cultures.

Remerciements

Nous tenons à remercier les techniciens de la FDGDON, Yannick, Vincent et Johnny, pour la production de *P. S Fletcheri* et les suivis au terrain ; Baptiste, Toulassi, Cédric, Pascal et Jean-Philippe pour leur collaboration ; et les agriculteurs, T. Hubert, S. Glénac, G. Barret, M. Barret et M. Jolet pour la mise à disposition des parcelles expérimentales.

Tableau 1

Quantité de *P. fletcheri* lâchée sur chaque parcelle expérimentale.

PARCELLE	LA CAROLINE	TAN ROUGE	PITON BLOC A	PITON BLOC B	BOIS DE NÈFLES
<i>P. Sletcheri</i> lâchés (semaine)	1 500 (S44) 3 250 (S46) 350 (S48) 1 800 (S50) 2 300 (S52) 2 000 (S01)	2 000 (S24) 350 (S26)	1 600 (S13)	3 000 (S17)	1 500 (S25) 1 500 (S27)
Total	11 200	2 350	1 600	3 000	3 000
Total /m²	1 120	2,35	1,33	1,20	2,00

Table 1

number of *P. fletcheri* released into each experimental site

SITE	LA CAROLINE	TAN ROUGE	PITON BLOC A	PITON BLOC B	BOIS DE NÈFLES
<i>P. Sletcheri</i> released (week)	1 500 (W44), 3 250 (W46), 350 (W48), 1 800 (W50), 2 300 (W52), 2 000 (W01)	2 000 (W24), 350 (W26)	1 600 (W13)	3 000 (W17)	1 500 (W25), 1 500 (W27)
Total	11 200	2 350	1 600	3 000	3 000
Total /m²	1 120	2,35	1,33	1,20	2,00

Tableau 2

Composition des populations de mouches des légumes et quantité de mouches émergées /g de fruit sur les parcelles expérimentales, obtenue à partir des échantillons de cucurbitacées piquées récoltées au terrain.

PARCELLE	LA CAROLINE	TAN ROUGE	PITON BLOC A	PITON BLOC B	BOIS DE NÈFLES
Fruits observés	39	69	80	64	34
Pds moyen / fruit (g)	12,1 ± 9,8	18,1 ± 25,2	175, 8 ± 100,3	183,4 ± 119,2	19,7 ± 22,2
Total pupes	484	1 512	975	1 181	610
<i>B. cucurbitae</i>	180	361	1	1	350
<i>D. demmerezi</i>	0	478	687	522	0
<i>D. ciliatus</i>	40	157	202	541	100
Mouches /g	0,42	1,04	0,07	0,16	0,90

Table 2

Fy populations composition, and infestation rates, calculated from field sampled fruits.

SITE	LA CAROLINE	TAN ROUGE	PITON BLOC A	PITON BLOC B	BOIS DE NÈFLES
Number of fruits	39	69	80	64	34
Fruit average weight	12,1 ± 9,8	18,1 ± 25,2	175, 8 ± 100,3	183,4 ± 119,2	19,7 ± 22,2
Collected pupae	484	1 512	975	1 181	610
<i>B. cucurbitae</i>	180	361	1	1	350
<i>D. demmerezi</i>	0	478	687	522	0
<i>D. ciliatus</i>	40	157	202	541	100
Infestation rate (flies / g)	0,42	1,04	0,07	0,16	0,90

Tableau 3

Taux de parasitisme observés sur les parcelles expérimentales, obtenus à partir des échantillons de cucurbitacées piquées récoltées au terrain.

PARCELLE	LA CAROLINE	TAN ROUGE	PITON BLOC A	PITON BLOC B	BOIS DE NÈFLES
Moyenne avant les lâchers	0 % (n=12)	3 % (n=16)	0 % (n=33)	0 % (n=22)	0 % (n=3)
Moyenne après les lâchers, maximum	10 % (n=27), 40 %	2 % (n=53), 9 %	0 % (n=47), 0 %	0 % (n=42), 0 %	3% (n=31), 16 %

Table 3

Parasitism rates calculated from field sampled stung cucurbits..

SITE	LA CAROLINE	TAN ROUGE	PITON BLOC A	PITON BLOC B	BOIS DE NÈFLES
Before releases (means)	0 % (n=12)	3 % (n=16)	0 % (n=33)	0 % (n=22)	0 % (n=3)
After releases (means and maxima)	10 % (n=27), 40 %	2 % (n=53), 9 %	0 % (n=47), 0 %	0 % (n=42), 0 %	3% (n=31), 16 %

AUGMENTATIVE RELEASES OF *PSYTTALIA FLETCHERI* (HYMENOPTERA: BRACONIDAE) INTO CUCURBIT CROPS ON REUNION ISLAND

M. Marquier, C. Clain, B. Albon, E. Roux

FDGDON-Réunion 97460 Saint-Paul, La Réunion, France.

Abstract

Three major pest flies (Diptera: Tephritidae) of cucurbit crops occur in Reunion: *Bactrocera cucurbitae* (Coquillet), *Dacus demmerezi* (Bezzi) and *D. ciliatus* (Loew). Chemical control does not provide satisfactory control of fly populations. The Gamour project aims to promote agroecological management of these pests. In this context, our objective was to study the feasibility and relevance of augmentative releases of the parasitoid *Psytalia fletcheri* (Hymenoptera: Braconidae) as a beneficial auxiliary for biological control.

From 2009 to 2011, five cucurbit crops were selected for trials. We released into each of them a total of 1600 to 11200 parasitoid wasps. The parasitism rate of *P. Sletcheri* was then recorded using artificially lab-infested fruits (sentinels) and/or fruit samples collected within the field. Mean parasitism was almost nil before the releases and relatively limited thereafter (range 0-10%). The parasitism of sentinels was nil on crops where no *B. cucurbitae* were recorded. Augmentative releases of *P. Sletcheri* appear therefore not relevant in a cost-benefit analysis. On the other hand, inoculative releases of parasitoids in low altitude agrosystems (below 800 m) could locally increase the biodiversity of beneficials and promote environmentally friendly methods for farmers.

Keywords: biological control, Opiinae, parasitoid wasp, augmentative releases, Tephritidae

Introduction

Three vegetable fly species (Diptera: Tephritidae) cause major damage to cucurbit crops in Reunion: *Bactrocera cucurbitae* (Coquillet), *Dacus demmerezi* Bezzi and *Dacus ciliatus* Loew. They lay eggs within the fruits which are thereafter consumed by the larvae. Damage is highly variable depending on the location, the crop and the season, but it often affects the

whole crop (Vayssières, 1999; Ryckewaert *et al.* 2010). The current control strategies mainly rely on pesticide spraying (once or twice per week) and have shown their limitations (Deguine *et al.* 2011). The Gamour project was begun in 2009 with the development of a technical package for farmers called SP5, including monitoring, sanitation, bait sprays, mass trapping, biological control and agroecological engineering.

Psytalia fletcheri (Silvestri) (Braconidae: Opiinae) is a larval-pupal parasitoid of vegetable flies (Hurtrel, 2000). It was successfully introduced into Reunion from Hawaii in the late 90s (Quilici *et al.*, 2004) to control *B. cucurbitae*. Our study intends to assess the feasibility and relevance of using *P. Sletcheri* as an auxiliary to control the three pest fly species through augmentative releases. Hence we surveyed the increase in parasitism rates after parasitoid releases into infested cucurbit crops.

Material and methods

Experimental sites

The study was conducted from 2009 to 2011 on five sites, each with different growing and environmental conditions. The sites were:

- La Caroline, Bras Panon (2009): 10m² of squash on an organic farm (alt. 160 m), with mass trapping as control strategy.
- Tan Rouge, St Paul (2010): 1000 m² of squash (alt. 750 m), with no other control strategy.
- Piton Bloc A, Petite Ile (2011): 1200 m² of courgette on a conventional farm (alt. 1045m) using the Gamour technical package (sanitation, bait sprays and mass trapping).
- Piton Bloc B, Petite Ile (2011), 2500 m² of courgette on a conventional farm (alt. 885m) using the Gamour technical package.

■ Bois de Nèfles, Saint Denis (2011), 3000 m² of various cucurbit and vegetable crops on an organic farm (alt. 500 m) using the Gamour technical package.

***Psytalia fletcheri* releases**

The parasitoids were reared at FDGDON, on *B. cucurbitae*. Adults were released about one week after they emerged, for females to be mated in order to lay eggs immediately after release. The number of released adults into each site is shown in table 1.

Monitoring

Monitoring took place fortnightly at La Caroline (11 observations from September to January 2009), and weekly at Tan Rouge (12 observations, June to August 2010), Piton Bloc A (six observations, March to May 2011), Piton Bloc B (five observations, April to May 2011) and Bois de Nèfles (seven observations, June to August 2011). Monitoring was stopped at the final cucurbit harvest.

Observations

We collected (i) cucurbit field samples, the size of which varied according to the availability of vegetables; and/or (ii) artificially lab-infested courgettes (sentinels), placed in the field using a specially developed system enabling the collection of pupae at La Caroline (2009), Tan Rouge (2010) and Bois de Nèfles (2011).

The field sampled cucurbits were weighed and individually incubated for seven days (25±2 °C, 70±5% HR). The pupae from sampled and sentinel cucurbits were collected by sieving or floating, then stored for two weeks in laboratory conditions for emergence. The emerging flies and parasitoids were identified and counted. The parasitism rate by *P. Sfletcheri* was the number of parasitoids divided by the number of collected pupae.

Results and discussion

Vegetable fly populations in the experimental sites

The sampled cucurbits showed that the composition of the fly populations varied with the growing and environmental conditions, particularly with altitude. At La Caroline (2009) and Bois de Nèfles (2011), *B. cucurbitae* was predominant, followed by

D. ciliatus. *Dacus demmerezi* was virtually absent from these low-altitude sites (below 600m). At Piton Bloc A and B (2011), both sites being located above 800m, *D. demmerezi* and *D. ciliatus* were the main species and *B. cucurbitae* virtually absent. The three species were present at Tan Rouge (2010) though *D. demmerezi* was predominant (Table 2). These observations agree with the known altitudinal distribution of Dacini flies in Reunion (Vayssières & Carel, 1999). The infestation rate (flies / g) also varied by crop, season, control strategy and mean weight of sampled fruit (Table 2).

***Psytalia fletcheri* parasitism rates**

The data from sentinel courgettes were insufficient due to pesticide residue in the fruit, ant predation and excessive sunlight. We thus present only data from sampled fruits. No parasitoids were collected from infested cucurbits before the releases at La Caroline (2009), Piton Bloc A et B (2011) and Bois de Nèfles (2011) (Table 3). A 3% natural parasitism rate was observed at Tan Rouge (2010). It was noted, however, that another parasitoid species, *P. insignipennis* (Granger), naturally occurs there (*P. Rousse, pers. com.*). We did not differentiate these two closely related species. The limited amount of observations made before the releases do not necessarily mean that *P. Sfletcheri* was absent, but in any case it did not give any effective control of vegetable flies.

Following the inundative releases at La Caroline, we observed a mean parasitism rate of 10%, ranging up to 40% (Table 3). At Tan Rouge and Saint Denis, following the inoculative releases at the beginning of the crop cycles, we observed mean parasitism rates of 2-3%, ranging up to 9 and 16%, respectively. No parasitism was observed at Piton Bloc A and B (2011).

In laboratory conditions, *P. Sfletcheri* successfully develops on *D. demmerezi* and *D. ciliatus*, though its success rate is lower than on its main host, *B. cucurbitae* (*S. Quilici, pers. com.*). At Piton Bloc A and B, *B. cucurbitae* was absent and no successful development was noted on *Dacus* species. These results suggest that *P. Sfletcheri* should not be released above 800m altitude, above which *B. cucurbitae* is not present (Vayssières & Carel, 1999).

In La Caroline, Tan Rouge and Bois de Nèfles, an increase in parasitism rates was observed, though they remained low. Even augmentative releases of more than 1000 wasps/m² did not push the mean parasitism rate beyond 10%, providing no useful control of vegetable flies. A similar study in Hawaii

showed that augmentative releases of *P. Sfletcheri* (12-260 wasps/m²) on courgette (*Cucurbita pepo* L.) and (*Coccinia grandis*) increased parasitism rates to 19% and 30% respectively (Purcell et Messing, 1996; Vargas *et al.*, 2004; Harris *et al.*, 2010). These higher rates could be due to the fact that *B. cucurbitae* is the only cucurbit fly occurring in Hawaii.

It must nevertheless be stated that the parasitism rate underestimates the actual parasitoid action, which may actually increase the host mortality without completing their own life cycle (Bautista *et al.*, 2004). Other indicators, such as immature fly mortality rates, should therefore be used to complete the assessment of *P. Sfletcheri* (Harris *et al.*, 2010).

Conclusion

In terms of cost and efficiency, augmentative releases of *Psytalia fletcheri* are not a worthy addition to the Gamour technical package (sanitation, bait sprays and mass trapping). On the other hand, small inoculative releases might reinforce or restore the auxiliary fauna in sites where the biodiversity has long been disrupted by insecticide use. They also may play an important education role, by sensitizing the farmers to the need to reducing pesticide use.

Acknowledgments

We would like to thank the FDGDON technicians, Yannick, Vincent and Johnny, for the production of parasitoids and field surveys; Baptiste, Toulassi, Cédric, Pascal and Jean-Philippe for their collaboration; and finally the farmers, T. Hubert, S. Glénac, G. Barret, M. Barret and M. Jolet for providing us with the experimental sites.

RAPPROCHEMENTS GAGNANTS EN AGROÉCOLOGIE : GAMOUR ET SCV ?

J. Martin

Cirad, UR SCA, Station de la Bretagne,
BP 20, 97408 Saint Denis Messagerie cedex 9, France

Entre autres productions à son actif, le projet Gamour a élaboré une boîte à outils destinée aux producteurs de cucurbitacées réunionnais pour protéger leur production contre les mouches des légumes. L'élaboration de cette boîte à outils est fondée sur l'agroécologie et le renforcement de la biodiversité fonctionnelle. Parmi les outils, on trouve notamment P2, P4 et P5 respectivement pour (i) plantes de bordures, (ii) prédateurs et parasitoïdes, (iii) pratiques agroécologiques. Soit en termes d'écologie : accroissement direct de la diversité végétale spécifique pour P2, accroissement indirect de la diversité animale pour P4 et plus généralement toute mesure susceptible d'accroître la diversité végétale et animale dans l'exploitation ou dans son voisinage pour P5.

Les SCV ou semis direct sur couverture végétale permanente sont des systèmes conservatoires des sols et des cultures élaborés pour préserver la ressource sol contre les dégâts de l'érosion hydrique et/ou éolienne et la dégradation de leur fertilité. Conceptualisés au Brésil par Lucien Ségué dans les années 80 (<http://agroecologie.cirad.fr>), ils y sont popularisés sous la dénomination SPD pour Sistema de Plantio Direto et celle de SSD pour Sistema Siembra Directa dans le reste de l'Amérique Latine. Ils ont été adaptés à des conditions naturelles et socio-économiques très variées (Madagascar, Asie du Sud-Est, Afrique...). Pour ses écrits sur les SCV en anglais, le Cirad utilise l'expression DMC pour Direct seeding Mulch-based Cropping systems. Cependant, à l'international, c'est sous l'expression CA / No Till pour Conservation Agriculture / No Tillage que les SCV sont désignés et recensés dans les statistiques sur l'évolution des pratiques agricoles (Derpsch & Friedrich, 2009).

Les trois piliers des SCV sont (A) l'absence de travail du sol excepté de façon très limitée au niveau des sillons de semis ou des poquets, (B) la biodiversité résultant de la phytodiversité accrue par la suppression des monocultures, la restauration de la rotation des cultures et l'introduction de plantes

de services et (C) la couverture du sol résultant des résidus des cultures commerciales ou des cultures dédiées à la production de phytomasse (Derpsch & Friedrich, 2009). Au cœur du système se trouve le sol, revitalisé par les SCV en surface et en profondeur respectivement par la litière et les racines, à la façon de l'écosystème forestier, modèle auquel il se raccroche fonctionnellement (Husson *et al.*, 2002). Les piliers ABC sont d'ailleurs la base de l'ambitieux programme brésilien lancé en 2010, baptisé également ABC pour Agriculture à Bas Carbone, soit à faible taux d'émission de gaz à effet de serre, avec séquestration de carbone dans les sols (www.agricultura.gov.br/abc/).

Dédié à minimiser les dégâts des mouches des légumes, Gamour met en œuvre différents leviers agroécologiques tendant à maximiser la biodiversité aérienne sur les sites de production. Dédiés à préserver et restaurer la ressource sol mise à mal par les monocultures conventionnelles, les leviers agroécologiques mis en œuvre par les SCV tendent à maximiser la biodiversité du sol en surface et en profondeur. Biodiversité aérienne d'une part, souterraine d'autre part, ces deux approches agroécologiques ne peuvent-elles se compléter pour générer de la valeur ajoutée écologique et agricole ?

Les SCV, une révolution agroécologique ?

A l'occasion des 250 ans de l'Académie d'agriculture de France, une session spéciale fut dédiée en octobre 2010 à l'histoire de l'évolution des espèces cultivées et des milieux de culture, revisitée à l'aune l'intensification écologique (www.academie-agriculture.fr). Papy et Goldringer (2011) lors d'un exposé magistral intitulé « Cultiver la biodiversité » y firent observer que l'abandon du système de la rotation biennale ou triennale prévalant au moyen-âge (une ou deux

années de céréales puis jachère labourée à plusieurs reprises) au profit de systèmes de polyculture élevage avec abandon de la jachère et introduction de prairies temporaires et de légumineuses (systèmes ayant pris tout leur essor après la révolution française) a constitué *de facto* une authentique intensification écologique. Dans les Cerrados (savanes du centre-ouest brésilien), l'abandon de la monoculture de soja avec travail du sol au profit des SCV avec succession soja-céréale tropicale (maïs, sorgho ou mil) a de la même façon représenté un levier essentiel pour l'essor de l'agro-industrie de cette immense région. L'introduction de ces céréales et autres plantes de service jouant le rôle de « pompes biologiques », « plantes couvrantes » devenant par la suite des couvertures mortes ou « mulch », y a constitué une révolution agroécologique. Lucien Ségué, chercheur du Cirad pionnier de cette approche dans les années 80 (Landers, 1999), a récemment été honoré de deux distinctions brésiennes à ce titre.

Les SCV, de la protection des sols à la protection des cultures ?

La santé d'une culture n'est pas indépendante de l'état du sol, de son profil racinaire et de son statut nutritionnel. Il est désormais connu et reconnu qu'une nutrition azotée trop abondante et brutale accélère le développement des colonies de pucerons et autres piqueurs-suceurs (Chaboussou, 1980 ; Deguine *et al.*, 2008). Sur cotonnier, la sévérité de la ramulose (maladie fongique foliaire due à *Colletotrichum gossypii* var. *cephalosporioides*) a pu être reliée à des épisodes de stagnations d'eau dues aux semelles de labour (« clay pan ») lors des fortes pluies (stress d'anoxie racinaire paralysant momentanément la plante), stagnations évitées ou atténuées en SCV grâce à des profils racinaires plus filtrants (Ségué *et al.*, 2004). Actuellement, le Cirad et des partenaires brésiliens, boliviens et malgaches travaillent dans le cadre du projet Garp financé par l'ANR à l'atténuation de la pyriculariose du riz par les leviers agronomiques mis en œuvre dans les SCV (ANR, 2009). Cette maladie fongique qui atteint tous les organes aériens, panicules comprises, est très sensible aux variations du statut azoté de la culture, lui-même très dépendant du système de culture. Dans le même ordre d'idée et plus généralement, face à des cultures infestées par exemple par des nématodes phytophages, le réflexe doit-il être de recourir à un nématicide (en général biocide puissant à très large spectre) ou de s'interroger sur l'appauvrissement de la vie du sol et le retour trop fréquent des mêmes cultures (Cadet, 1998) ?

Les SCV à La Réunion

L'histoire des SCV à La Réunion est associée à l'agriculture des Hauts de l'Ouest où depuis la fin du 19^e siècle s'était développée la production d'huile essentielle de géranium Rosat. Les cultures de géranium étaient installées sur friches et sur jachères itinérantes à graminées (*Setaria pallidifusca*). Les années 70 sont marquées par des mutations socio-économiques : exode de la population vers les bas, développement d'ateliers de diversification dans les hauts (cultures maraîchères, fruitières ou florales et élevages de poulets, porcs ou cabris). L'agriculture se fixe, la culture sur jachère est abandonnée, et avec l'introduction des herbicides, le géranium et autres et autres cultures sarclées sont cultivés sur sol nu. Erosion des sols et rendements en baisse accompagnent rapidement ces évolutions. L'adaptation des SCV à ces conditions conduisit dans les années 90 à la mise au point de systèmes impliquant l'utilisation de paille exogène (canne à sucre) ou produite sur place pour fournir une couverture (avoine). Ces systèmes impliquaient également des plantes fourragères pérennes telles que le kikuyu *Pennisetum clandestinum* ou le lotier velu *Lotus uliginosus* cultivées en couloirs pour retenir le sol et fournir de la paille pour les cycles de production suivants (géranium en rotation avec diverses cultures maraîchères telles la pomme de terre ou l'artichaut) (Chabanne *et al.*, 1998 ; Chabanne *et al.*, 2001).

SCV et herbicides : une histoire mêlée mais non indémêlable...

Historiquement, le développement des SCV est indéniablement associé à celui des herbicides, au point que certains auteurs présentent l'utilisation des herbicides comme un des piliers constitutifs des SCV. Exemple hautement significatif : au Brésil, la plaque commémorative du premier semis de soja réalisé en SCV en octobre 1972 par et chez Herbert Bartz à Rolandia (Parana) porte le sceau de la firme agrochimique ICI, obtentriche du paraquat et promotrice des premières expériences de recherche et de production sur les SCV (Bolliger *et al.*, 2006). En effet, pour palier à l'absence du travail du sol et de ses effets nettoyants, l'usage d'un désherbant total servit de rampe de lancement aux SCV en permettant à la fois de neutraliser le couvert végétal précédant et de créer une couverture pour le semis suivant (lui-même réalisé avec un semoir adapté). Le paraquat fut supplanté par le glyphosate (Monsanto) quelques années plus tard, plus efficace notamment sur les vivaces. Le 2,

4-D joue également un rôle important dans le développement des SCV, en éliminant les dicotylédones dans les couverts de graminées, neutralisés ensuite au glyphosate avant le semis de la culture de rente. Le développement postérieur des herbicides sélectifs utilisables en grandes cultures, et plus récemment celui de variétés génétiquement transformées pour résister à des herbicides totaux, concomitant du perfectionnement continu des semoirs pour semis direct, a conduit à la situation actuelle, avec un développement considérable des SCV, principalement dans les Amériques, mais aussi dans les autres parties du monde (Derspich & Friedrich, 2009). En l'occurrence, l'agrochimie des herbicides a été *de facto* l'alliée des équilibres agrobiologiques rétablis par les SCV dont l'enjeu majeur a été et reste la conservation et la bonification de la ressource sol.

Cependant, les herbicides ne sont pas consubstantiels des SCV. Les désherbants totaux peuvent être remplacés par un ou plusieurs passages de rouleau à cornières pour rabattre et neutraliser un couvert végétal avant d'y semer une nouvelle culture. Le *Rodale Institute*, organisme américain dédié à la recherche en agriculture biologique, en propose d'ailleurs des modèles améliorés (<http://www.cropproller.com/>). De surcroît, les herbicides peuvent être totalement exclus des SCV, comme cela fut démontré au Paraguay il y a une dizaine d'années, moyennant une succession serrée de cultures de rente et de plantes de service (Kliwer, 2003). Le principe est d'occuper en permanence le terrain de manière à laisser le moins d'opportunités de développement aux adventices. Ce système est exigeant en matière de gestion du calendrier de travail et d'organisation des chantiers. Les plantes de service alternent avec les cultures de rente, et outre leur rôle d'occupation du terrain et d'étouffer les adventices, elles assurent de nombreuses fonctions, dont celles de fournir une litière, de recycler des nutriments ou pour les légumineuses d'injecter de l'azote dans le système. A noter qu'au départ, le profil du sol doit permettre une bonne croissance des cultures (avec le cas échéant correction préalable du profil de sol par exemple en termes d'acidité ou de porosité).

SCV et paysages, phytodiversité et biodiversité

Dans les grandes plaines et plateaux du centre des deux Amériques, les SCV couvrent des immensités, mobilisant dans les cas extrêmes d'impressionnants enchainements de batteries de moissonneuses et de semoirs. Il est notoire que les SCV ont contribué

dans ces régions à augmenter la biodiversité agricole par le jeu des rotations de cultures et de l'introduction des plantes de service, mais il faut aussi reconnaître que lorsqu'ils sont appliqués à des unités de gestion gigantesques, la phytodiversité instantanée est à certaines périodes de l'année quasiment nulle sur des centaines ou des milliers d'hectares, ce qui est de nature à exacerber les contraintes phytosanitaires.

A l'opposé, l'exemple des petites exploitations familiales engagées au Paraguay dans l'agriculture biologique (avec le soutien d'organisations favorisant une bonne valorisation commerciale de leur production), qui concentrent en peu d'espace (quelques hectares) un maximum de phytodiversité : cultures vivrières, de rente et plantes de service (Martin *et al.*, 2010). Ces cultures sont-elles mêmes souvent conduites en association selon plusieurs configurations, avec par exemple alternance de plusieurs rangs de coton avec un rang de maïs et de niébé, et en bordure des arbustes à fleurs ; les plantes de service sont elles-mêmes souvent semées en mélange de deux ou trois espèces (Silvie *et al.*, 2010).

De même à La Réunion, où l'espace est très limité et la population importante, les unités de gestion agricole sont souvent inférieures à l'hectare et s'insèrent dans un paysage en mosaïque résultant d'importantes variations des conditions naturelles et d'occupation des sols. Malgré ces conditions propices à un bon niveau de biodiversité naturelle, le projet Gamour a démontré la possibilité de renoncer aux insecticides et d'accroître la biodiversité pour rendre viable et durable la production de cucurbitacées.

Cette démarche fut partiellement mise en œuvre par un grand producteur de soja au Brésil qui renonça aux insecticides chimiques anti-chenilles, moyennant une forte prise de risque et une baisse de production partiellement compensée par la baisse de son prix de revient (Séguy, *comm. pers.*) ; la population de ravageurs fut *in extremis* régulée par des ennemis naturels, mais cette démarche aurait pu être moins risquée et plus efficace avec un paysage plus fragmenté. D'où l'intérêt de leur ménager dans l'espace agricole des habitats sous forme de haies naturelles ou implantées et de bandes enherbées ou semées.

Conclusion

Augmenter à bon escient la phytodiversité au sein des paysages agricoles et au sein même des cultures est assurément un axe majeur de l'intensification écologique (Papy & Goldringer, 2010 ; Griffon, 2010 ; Cirad, 2011). Même si les projets de recherche sont nécessairement à contour délimité, il importe de tenter chaque fois que possible d'élargir leur cadre d'intervention pour étendre le champ des régulations écologiques pouvant entrer en jeu. Cela a été l'attitude de Gamour, projet de gestion agroécologique des mouches des légumes qui au-delà de l'entomofaune s'intéresse aux possibilités supplémentaires de régulation écologique offertes par les SCV via leur abordage agroécologique de la gestion du sol et du profil racinaire (*sensu lato*, car des niveaux d'agrochimie parfois élevés persistent dans certains modèles de SCV notamment avec l'utilisation des herbicides). En retour les chercheurs et praticiens travaillant sur les SCV pourront s'inspirer de l'approche et des acquis de Gamour et des projets même inspiration (Cirad La Réunion et Mayotte, 2011) pour s'affranchir davantage de l'agrochimie et progresser ainsi dans la voie de l'agroécologie *sensu stricto*, dont il nous faut continuer d'apprendre à découvrir et à manier les leviers pour fonder une agriculture réellement durable.

DMC AND GAMOUR: A WINNING COMBINATION IN AGROECOLOGY?

J. Martin

Cirad, UR SCA, Station de la Bretagne,
BP 20, 97408 Saint Denis Messagerie cedex 9, France

The Gamour project has allowed cucurbit growers in Reunion to protect their crops against fruit flies. The technique relies on agroecological principles, strengthening functional biodiversity. It includes (i) border crops, (ii) predators and parasitoids and (iii) agroecological practices. Ecologically, it means (i) a direct increase in specific vegetal biodiversity, (ii) an indirect increase in animal biodiversity and (iii) any practice increasing the overall biodiversity within the agroecosystem.

Direct seeding Mulch-based Cropping systems (DMC) is a conservation system for soils and crops which protect them from water and wind erosion and the decline in fertility which may result. It was developed by Lucien Seguy in the 80's (<http://agroecologie.cirad.fr>) in Brazil. It was later adapted to other climatic and socio-economic conditions in Madagascar, Africa and South-East Asia. It is internationally referred to as CA / No Till (Conservation Agriculture / No Tillage), and is statistically inventoried in the evolution of agricultural practices (Derpsch & Friedrich, 2009). DMC's three main features are (A) the near absence of tillage, (B) the biodiversity produced by the increased phytobiodiversity following cessation of monoculture, restoration of crop rotation and use of sanitizing plants, and (C) the soil cover formed from the remains of crops, including biomass crops (Derpsch & Friedrich, 2009). Soil is the focal point of the system. With DMC, it is restored using litter and roots, like the forest model on which the system is based (Husson *et al.* 2002). These three features also form the basis of the 2010 ABC Brazilian program (www.agricultura.gov.br/abc/).

Gamour uses several agroecological techniques to maximize the aerial biodiversity within the growing areas and to minimize losses from cucurbit flies. Similarly, DMC maximizes aerial and soil biodiversity. Could these two agroecological approaches be combined to increase ecological and agricultural benefits?

Is DMC an agroecological revolution ?

On the occasion of the 250th birthday of the Académie d'Agriculture de France, a session was dedicated to the history of the evolution of cultivated species and environments, with a new concern of ecological intensification (www.academie-agriculture.fr). Papy and Goldringer (2011) showed that ending the biennial or triennial fallow of the Middle Ages for a more mixed farming system including cattle rearing, provisional grasslands and leguminous plants, was for all intents and purposes an early ecological intensification. Similarly, in Brazilian Cerrados, shifting from soy monoculture to DMC with a succession of soy-tropical cereal helped improve the agricultural industry in this huge region. There, the introduction of these cereals was a local agroecological revolution. Other plants acting as cover plants or biological pumps were also used and the mulch was subsequently integrated into the soil. Cirad scientist Lucien Séguy, a pioneer in the 80s (Landers, 1999), was recently honored with two Brazilian awards for his achievements.

DMC: from soil protection to crop protection?

The vigour of a crop strongly depends on the health of the soil, the root pattern and the nutritional status. We now know that too rich nitrogen feeding favors the development of aphid colonies (Chaboussou, 1980; Deguine *et al.*, 2008). The severity of ramulosis on cotton (fungal foliar disease caused by *Colletotrichum gossypi* var. *cephalosporioides*) has been linked to water stagnation on clay pan, especially during heavy rain. This stagnation is avoided or suppressed with DMC thanks to more filtering root patterns (Séguy *et al.* 2004). Today, Cirad and its Brazilian, Bolivian and Malagasy partners work on the

Garp project, funded by ANR, a project which aims to reduce pyriculariosis on rice using DMC (ANR, 2009). This fungal disease harms the aerial parts of the plant. It is highly sensitive to the variations of the nitrogen level of the crop, thus the agricultural practices. Similarly, for phytophagous nematodes, should broad spectrum nematicides be used, given that they greatly diminish the soil biodiversity (Cadet, 1998)?

DMC in Reunion

DMC in Reunion is historically linked to the agriculture in the Western highlands, where geranium Rosat has been grown since the late 19th century for its essential oils. The 70's brought social and economic change: people left the highlands to move to the lower parts of the island; agricultural diversification (horticulture and rearing). Agriculture became fixed, without fallows, and the introduction of herbicides enabled crops to be grown on bare soils. Direct consequences are soil erosion and decreasing yields. In the 90's, the adaptation of DMC to these conditions led to the development of new practices, using oat or sugarcane straw as soil cover. Perennial fodder plants (kikuyu *Pennisetum clandestinum* or greater bird's-foot trefoil *Lotus uliginosus*) were also used, sown in strips to retain the soil and provide mulch for the following crops (Chabanne *et al.* 1998 ; Chabanne *et al.* 2001).

DMC and herbicides: a tangled history which needs to be untangled

The development of DMC is closely linked with herbicide development, with some authors considering the latter a fundamental pillar of the former. To compensate for the absence of tillage and its cleaning effect, total herbicides were used to neutralize the previous vegetal cover and prepare for seeding. In Brazil, paraquat was later replaced by glyphosat, more effective against perennial weeds. 2,4-D also played a role in the development of DMC by suppressing the dicotyledons in grass cover, themselves subsequently neutralized by glyphosate before commercial crop planting. The development of specific herbicides for major crops, or more recently the apparition of genetically modified cultivars resistant to total herbicides, has led to the current situation, with a huge expansion of DMC mainly in the Americas but also around the world (Derpsch & Friedrich, 2009). Thus agrochemistry has aided the restoration

of agrobiological balances using DMC, whose main goal was and still is the conservation and improvement of soil health.

However, herbicides are not part of DMC. Total herbicides may be replaced by a roll angle to neutralize a former vegetal cover before a new seeding. The American *Rodale Institute*, which specializes in organic farming, offers improved models (<http://www.cropproller.com/>). Herbicides have been totally eradicated from DMC as was the case in Paraguay ten years ago, using a close succession of fodder and commercial crops (Kliwer, 2003). The main goal was to permanently occupy the soil to avoid weed development. It requires a precise work schedule. More than simply occupying the soil, fodder plants provide a litter, recycle nutrients and, for Fabaceae, bring nitrogen into the system.

DMC and farmland phytodiversity and biodiversity

In the great plains and plateaus of the Americas, DMC covers huge areas, mobilizing large squadrons of harvesters and drills. DMC is known to have improved agricultural biodiversity in these regions by crop rotation and the introduction of fodder plants, but applied to huge areas, the immediate phytodiversity in some periods of the year is nearly nil. Unfortunately, this tends to exacerbate the phytosanitary constraints.

On the other hand, small familiar organic farms in Paraguay manage to cram a high level of phytodiversity into several hectares including food, commercial and fodder crops (Martin *et al.* 2010). These crops are often grown in several configurations, e.g. with alternating rows of corn and cowpea and blossoming trees in the borders. Fodder crops are often sown in mixes of two or three species (Silvie *et al.* 2010). Similarly, in Reunion where space is limited and the population is high, farms are often less than one hectare, within a fragmented mosaic of natural and artificial surroundings. Although these conditions apparently favour a high level of natural biodiversity, the Gamour project showed that in order to make cucurbit growing more sustainable, insecticide use must be discontinued.

This target was partially achieved by a large soy grower in Brazil, who gave up insecticide against caterpillars, running a risk of yield decreases, though partly made up by lower protection costs (Séguy, com. pers). Pest populations were controlled by beneficial auxiliaries, but this work would

have been less risky and more effective in a more diversified environment. Hence the importance of using vegetal habitats, including artificial or natural hedges and flower or grass strips on farmland.

Conclusion

Increasing phytodiversity on farmland and even within crops is a critical component of ecological intensification (Papy and Goldringer, 2010; Griffon, 2010; Cirad, 2011). When possible, research fields must be enlarged to include current ecological processes. This was the approach used by Gamour, which is interested in the additional opportunities of DMC beyond the regulation of entomofauna. DMC Users and scientists may now find inspiration in Gamour and similar projects (Cirad La Réunion et Mayotte, 2011) to free themselves of agrochemistry, thus progressing towards agroecology *sensu stricto*, in order to build a truly sustainable agriculture.

4. VISITE DE TERRAIN

/ FIELD VISIT

GAMOUR : SYNTHÈSE DES ÉCHANGES DE LA JOURNÉE CONSACRÉE AUX PRODUCTEURS SUR DEUX SITES PILOTES, ENTRE-DEUX ET PETITE-ILE

K. Le Roux & W. Suzanne

Farre Réunion, Pôle 3P, 97410 St Pierre, France

Gamour a été conçu, dès son origine, sur le postulat que la participation et l'adhésion des agriculteurs seraient primordiales pour la réussite du projet. De plus, Gamour a comme objectif de proposer in fine aux agriculteurs de La Réunion une protection agro-écologique économiquement viable face à la problématique des mouches des légumes sur cucurbitacées. Cet objectif ne pouvait pas être réalisé que sur la base d'études, d'expérimentations en situation contrôlée. La confrontation avec le terrain, et par conséquent avec les producteurs, ne pouvait pas être évitée.

C'est pourquoi Gamour a pendant trois ans mis en œuvre sur trois sites pilotes des expérimentations pour valider et améliorer le paquet technique élaboré et conçu au départ. Le séminaire final du projet a mis en exergue cette dimension essentielle en consacrant une journée complète à la visite de deux des trois sites pilotes, à savoir l'Entre-Deux et Petite-Ile. Ainsi, près de 90 personnes, dont 65 agriculteurs, ont pu visualiser sur le terrain les pratiques Gamour sur cinq exploitations différentes et échanger avec les agriculteurs pionniers du projet.

Nous nous proposons dans ce document de synthétiser les échanges entre les agriculteurs en s'appuyant sur les différents éléments du paquet technique Gamour et surtout sur les mots des agriculteurs pour expliquer et décrire Gamour. La figure 1 illustre les principales remarques liées au matériel développé dans le cadre du projet, et plus particulièrement pour la prophylaxie avec l'augmentorium. La figure 2 résume les remarques principales concernant les suites à donner au projet selon les agriculteurs.



À l'issue de cette journée très enrichissante pour tous les acteurs présents, le transfert des techniques Gamour auprès des agriculteurs de La Réunion est la tâche à laquelle les organismes de développement agricole, et en particulier la Chambre d'Agriculture, doivent s'atteler avec la plus grande conviction pour perpétuer l'esprit Gamour.



« Pour moi l'augmentorium ,
c'est minimum 50% de l'efficacité
de l'ensemble de la caisse à outils.
Sans augmentorium, c'est impossible
d'appliquer Gamour. »

« L'augmentorium c'est l'outil essentiel !
C'est ça qui nous permet de faire baisser
énormément la pression des mouches
en début de saison. »

« Je me suis rendu compte que
les dimensions de l'augmentorium étaient
un peu limites quand on commence
Gamour. On a beaucoup de fruits piqués.
Les années suivantes les quantités jetées
sont très faibles comparées à avant. »

« Au début, il faut que les agriculteurs
soient accompagnés sur le terrain,
sinon ils pourraient se décourager très vite.
Ce n'est pas évident et il faut rester vigilant
sur la prophylaxie. Avec un petit peu de
persévérance, on y arrive. »

Les agriculteurs pionniers s'approprient
de plus en plus l'outil et tentent même de
l'optimiser. De suite les agriculteurs qui
découvrent Gamour se sont pris au jeu et
cherchent à en savoir plus.

Figure 1

Utilisation de l'augmentorium et prophylaxie

« Beaucoup de mes collègues attendent
de pouvoir acheter le matériel nécessaire
pour appliquer du Gamour. »

« Il faut qu'il y ait des formations
pour que tous les agriculteurs appliquent
cette méthode, sinon nos efforts
ne serviront à rien. »

« - Où pourra-t-on acheter
les plaquettes ?
- Combien va coûter un augmentorium,
pour ceux qui veulent adopter
les méthodes Gamour ? »

« -Est-ce que c'est une variété de maïs
particulière qu'il faut planter ?
Où peut-on en trouver ? »

Les inquiétudes des agriculteurs,
pionniers et néophytes, portent sur
la diffusion de la méthode suite à la fin
du projet.

Figure 2

Gamour, et après?



SUMMARY OF THE FIELD VISITS TO THE TWO PILOT AREAS OF ENTRE-DEUX AND PETITE ILE

K. Le Roux & W. Suzanne

Farre Réunion, Pôle 3P, 97410 St Pierre, France

From the beginning, the Gamour project has assumed that cucurbit flies could only be effectively managed with an agroecological approach. The aim of the Gamour project was to offer farmers in Reunion economically sustainable agroecological protection against cucurbit fly pests. This could be only achieved with studies and field trials. Gamour took place over a period of three years in three pilot areas, during which time the technical package was validated and improved. The final symposium devoted a whole day to visiting the two pilot areas, Entre-Deux and Petite-Ile. More than 90 people, including 65 farmers, gained an overview of the Gamour methodology on five different farms, and were also able to talk to Gamour pioneer farmers.



This document summarizes the field visit and the different components of Gamour's technical package and presents the farmers' feedback on their Gamour experience. Figure 1 presents the main remarks related to the equipment developed within the project, especially the augmentorium used for sanitation. Figure 2 shows the questions asked about the post-Gamour extension.

Following this successful field visit day, agricultural organizations, particularly the Chambre d'Agriculture, will extend the technique to other farmers in Reunion.

« To my sense, the augmentorium makes half of the job. No Gamour without it. »

« The augmentorium is the crucial tool ! That's the way to get the flies pressure lower when the season starts. »

« Initially, I realized that the augmentorium was too small, because of the large amount of vegetables to drop. But the quantities were far smaller for the following years. »

« Initially, farmers have to be supported, in spite of it they could get discouraged and give up quickly. That's not easy, one must keep vigilant with sanitation. But it may be achieved with a little bit of effort. »

Pioneer farmers appropriate and even improve Gamour's tools. Thus, farmers discovering Gamour thereafter take interest into knowing more.

Figure 1
Sanitation and use of the augmentorium

« Many of my colleagues expect Gamour's equipment to be sold in order to start on their fields. »

« Education sessions have to be organized for the farmers to apply this methodology. If not, our efforts will be wasted. »

« Where will I buy the pheromone baits ? How much will be the augmentorium, for those who intend to apply the Gamour methodology ? »

« Shall I use a special corn cultivar ? Where can I find it ? »

Both pioneer and intending farmers worry about the future extension of the methodology, beyond the end of the project.

Figure 2
Gamour, et après?

1. PERSPECTIVES RÉGIONALES

/ REGIONAL PERSPECTIVES

LES DIFFICULTÉS LIÉES À L'ÉVALUATION DU TRANSFERT EN MARAÎCHAGE

P. Rousse

Chambre d'Agriculture de La Réunion, 24 rue de la Source, 97400 St Denis, France

Problématique

Sur de nombreux plans, les résultats de Gamour sont particulièrement encourageants. Les éléments qui traduisent le mieux son appropriation par les agriculteurs sont à la fois les résultats de l'enquête de satisfaction (cf. J. Busnel *et al.*, *Bilan et appropriation des pratiques par les agriculteurs*), et sa nomination aux trophées de l'Agriculture Durable en 2011. Pourtant, ces réussites se doublent d'une certaine frustration lorsqu'il s'agit de produire des indicateurs de résultats robustes et globaux (cf. P. Rouse *et al.*, *Résultats technico-économiques en milieu producteur*). Le succès de l'application sur le terrain s'exprime surtout par une satisfaction générale des agriculteurs et par un faisceau convergent de résultats issus de situations diverses. Pourquoi cette difficulté à produire des indicateurs globaux sur la réduction des pertes ou l'évolution des rendements ? Mettons à part les facteurs liés à la variabilité géographique des conditions phytosanitaires entre les zones pilotes : leur importance est considérable mais hors de propos dans cet exposé. Il s'agit ici de dresser un aperçu des difficultés structurelles ou conjoncturelles liés à la filière elle-même.

Hétérogénéités structurelles

La filière maraîchage, à la Réunion, est caractérisée par sa très forte hétérogénéité, comme en témoigne l'enquête préliminaire menée auprès des exploitations Gamour (Fontaine & Augusseau, 2009). La culture des cucurbitacées peut être qualifiée d'opportuniste : mis à part les treilles de chou chou, pérennes, le calendrier cultural prévisionnel et l'implantation spatiale des parcelles sont extrêmement volatils. Moins de six mois après le début des opérations sur le terrain, un quart des parcelles initialement cartographiées n'était plus valable.

A cela s'ajoute que la plupart des agriculteurs ont une formation sur le tas (moins de 25% avec un diplôme agricole) et sont réticents à s'intégrer dans

la filière organisée (moins de 15% sont inscrits dans une OP). De ces deux éléments découle une conséquence majeure qui est la faible traçabilité des productions et des modes de production. La majeure partie des données récoltées pour l'observatoire des impacts repose donc sur des déclarations d'agriculteur. Quelle que soit la bonne foi de l'agriculteur interrogé, ce type de donnée est toujours à manipuler avec précaution. A titre d'exemple, la figure 1 expose la divergence qui a pu être mesurée entre les tonnages de courgette vendus par une même exploitation, selon les chiffres cités par l'agriculteur (nombre de caisses vendues) et par son OP (bons de livraison après pesée). Les deux sources donnent une divergence oscillant entre -60% et +150% pour une même semaine, sans constante de correction possible.

Une autre difficulté structurelle de la filière maraîchage repose sur la faiblesse historique des interactions entre les organismes techniques d'accompagnement des agriculteurs (Roche & Augusseau, 2009). Un tiers des exploitations maraîchères est complètement isolé, sans conseil technique régulier. Les deux autres tiers reçoivent plus ou moins régulièrement des visites de techniciens référents appartenant à divers organismes technico-scientifiques réunionnais (Chambre, FDGDON, Armefflor, Cirad ou OP) dont ils apprécient les conseils. Cependant, si l'on peut noter des interactions parfois fortes entre les organismes (Gamour en est un exemple), il n'existe quasiment pas de capitalisation de l'information recueillie par ces différents organismes. Un état des lieux de la filière et son évolution dans le temps à La Réunion est donc une gageure.

Hétérogénéité conjoncturelle

Les productions de cucurbitacées sont également affectées par une série d'impondérables, comme les aléas climatiques et économiques. Ainsi, la

zone de Petite-Ile a été affectée par la sécheresse de août 2010 jusqu'à la fin de Gamour, handicapant grandement la mise en place des parcelles. L'apparition ponctuelles de problèmes phytosanitaires autres comme l'oïdium on parfois affecté les rendements, leur impact réel étant cependant secondaire. Enfin, le système de commercialisation des cucurbitacées passe majoritairement par le marché de gros où les prix de vente sont fortement variables, avec une prédictibilité moyenne. Nous avons eu des exemples de cultures bien menées, avec des rendements très satisfaisants pour l'agriculteur, puis tout simplement abandonnées sur pied lorsque les prix du marché étaient trop faibles.

Enfin, le suivi technique Gamour a mis en lumière toute une série d'évènements plus anecdotiques mais empêchant l'utilisation des données recueillies. Citons par exemple le mystérieux voleur de choux de l'Entre-Deux, qui a pu faire disparaître chaque semaine la moitié de la production d'un agriculteur pendant six mois...

Conclusion

La combinaison de ces multiples facteurs empêche l'utilisation de la majorité des données récupérées auprès des agriculteurs. De septembre 2009 à juillet 2011, les visites du suivi technique hebdomadaire auprès des agriculteurs Gamour ont permis de recueillir et centraliser 643 fiches de résultats technico-économiques pour l'observatoire des impacts. Après tri des informations, seules 16% de ces fiches ont effectivement pu être traitées pour produire les indicateurs de résultats cités.

Peut-on pour autant conclure que 84% du suivi technique a été inutile. Certes non, si l'on considère les autres aspects de ce suivi. Tout d'abord, il permet de garder un contact régulier avec les agriculteurs. Il crée et consolide donc l'indispensable lien de confiance nécessaire au transfert de technologie. Lors de l'évaluation finale, 75% des agriculteurs interrogés considéraient que l'accompagnement technique a été bon. C'est également le meilleur moyen de formation des agriculteurs à ces méthodes simples mais nouvelles comme prévoir l'installation de bordures de maïs ou appliquer un attractif en taches. Il nous permet enfin d'ajuster nos recommandations initiales en fonction des remarques et résultats glanés sur les exploitations.

D'un point de vue plus général, ce suivi permet d'obtenir un bruit de fond de la situation immédiate. Ce bruit de fond est intraduisible sous forme d'indicateurs, mais permet à tout instant de prendre la température du projet sur le terrain et donc de le piloter quotidiennement. Enfin, cette expérience de suivi à grande échelle d'un programme de transfert en recherche et développement s'est révélée particulièrement riche d'enseignements, leçons qui seront réutilisées dans les futurs programmes tels que Biophyto.

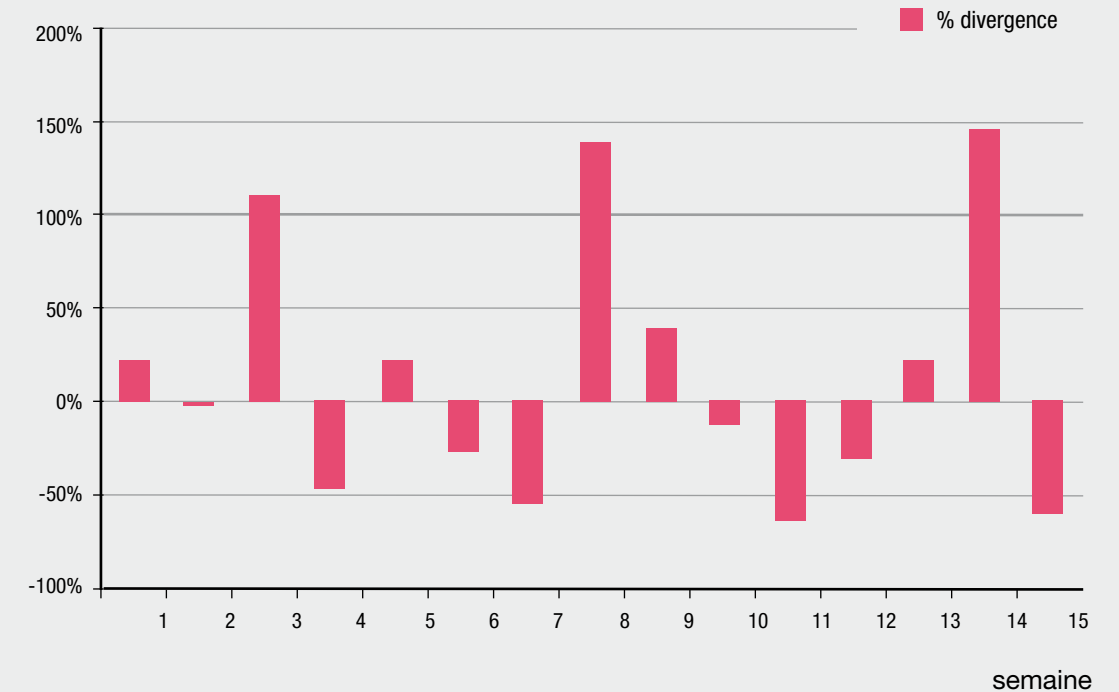
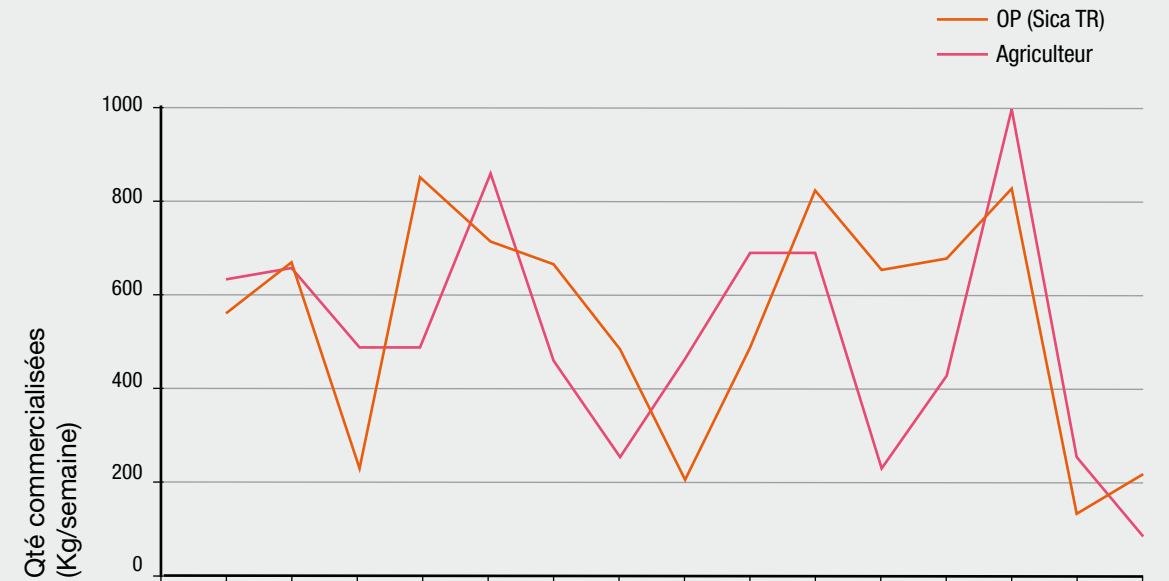


Figure 1

Étude de la fiabilité des données recueillies. Comparaison hebdomadaire des quantités de courgette commercialisées par une exploitation maraîchère de Piton Hyacinthe, selon les déclarations agriculteurs ou les bons de livraison à son OP (données observatoire des impacts / SicaTR).

Reliability assessment of the collected data. Weekly comparison of the courgette quantities sold by a farm in Piton Hyacinthe, according to farmer's declaration (red) or OP's bills (brown). The green bars below pinpoint the percent of divergence between both data sources (data: Impacts observatory / SicaTR).

THE DIFFICULTIES LINKED TO THE ASSESSMENT OF EXTENSION

P. Rousse

*Chambre d'Agriculture de La Réunion,
24 rue de la Source, 97400 St Denis, France*

Problem

The results of the Gamour project have been particularly encouraging on several levels. Adoption rate by farmers and the results of the satisfaction survey have been very positive (Busnel & Augusseau, 2011) and the project was acknowledged at the 2011 sustainable agriculture awards. However, obtaining reliable overall performance indicators has not been easy (cf. P. Rousse, *field technical and economic results*). Gamour's success in the field is reflected in the satisfaction surveys and in the excellent results. Why has it been so problematic to produce overall performance indicators on the reduction of crop losses or yield rises? Aside from geographical and phytosanitary differences between the pilot areas (which are critical but not relevant to this topic), I hereby give an overview of the structural and conjunctural difficulties inherent in the vegetable growing industry.

Structural heterogeneity

In Reunion, the vegetable industry is characterized by its strong heterogeneity, revealed in the preliminary studies carried out on Gamour farms (Fontaine & Augusseau 2009). Cucurbit cultivation may be described as opportunist: except the permanent chayote arbors, the spatial and temporal cropping pattern is highly unpredictable. As a result, about a quarter of the initial field mapping was totally useless six months after the project started. Moreover, most of farmers were self-educated (less than 25% had an agricultural qualification) and were reluctant to get involved in producers' organizations (less than 15% are members). The consequence is that most field results are unreliable. Most of the results handled by the impact register rely on information given by farmers. Irrespective of the good faith of the farmers interviewed, such data have to be taken with care. For example, figure 1 illustrates the difference between yield figures for the same farm, according to either

the farmer's declaration (number of sold crates), or the figures reported by their producer organisation. Both sources show a difference oscillating between -60% and +150% for a same week, without any possible correction constant.

Another structural difficulty relies on the traditional poor association between farmers and agricultural organisations (Roche & Augusseau, 2009). One third of the farms are completely isolated, without any regular technical support. The remainder are regularly visited by various technico-scientific organisations in Reunion (Chambre d'Agriculture, FDGDON, Armefflor, Cirad or producers' organisations). Their advice is appreciated. Though there can be some good cooperation between these organisations (Gamour, for example), there is nearly no data sharing between them. The vegetable production industry in Reunion is currently quite problematic.

Conjunctural heterogeneity

Cucurbit crops are also affected by unpredictable factors, including economical and climatic hazards. Thus, Petite Ile has experienced a long period of drought since August 2010, impairing any crop settlement. Other phytosanitary threats, such as fungi, could also affect the yield, though their true impact was assessed to be minor. Finally, most of the vegetables are sold at wholesale market, where prices are highly variable with a low predictability. We saw, for example, well maintained crops, giving strong yields, which were ultimately given up by the farmers due to low market prices.

Finally, the weekly technical support brought to light some more bizarre events, preventing data from being collected. For example there was the mysterious chayote thief of Entre Deux, who cleaned up half of a farm production for six months.

Conclusion

These numerous factors prevented from obtaining a complete set of field data. Weekly technical support visits took place between September 2009 and July 2011. 643 technico-economical forms were completed and entered into the impacts registry. After meticulous sorting, only 16% of the data could actually be used to give performance indicators. Does this mean that 84% of the support work was worthless? No, if we take into account the other aspects of the support. First, it allowed farmers to remain in regular contact. It created and maintained a tie which was crucial for the extension. During the final survey, 75% of the farmers declared the support to be good. It is also the best way to train farmers about these methods, simple though totally new for the farmers, such as planting corn borders. Finally, it enabled us to adjust our initial recommendations depending on results collected from farms.

The technical support gave us a continual snapshot of the immediate situation. This cannot be quantified by an indicator but allowed us to see how the project was faring in the field, which facilitated its management. Finally, this large-scale knowledge-transfer project was a precious source of information for future projects such as Biophyto.

TRANSFERT GAMOUR AUPRÈS DES PRODUCTEURS

Y. Soupapouille & D. Vincenot

Chambre d'Agriculture de La Réunion,
24 rue de la Source, 97400 St Denis, France

La Chambre d'Agriculture assurera le transfert de la technique Gamour auprès de producteurs de cucurbitacées dès le début de l'année 2012.

Organisme de développement, chef de file du projet Gamour de 2009 à 2011, la Chambre d'Agriculture a pour objectif de diffuser et de valoriser les techniques de productions répondant aux ambitions d'une agriculture durable et respectueuse de l'environnement. A ce titre, Gamour représente un système de production agricole exemplaire en parfaite adéquation avec les objectifs du Plan Ecophyto 2018 : réduire de 50% l'utilisation des pesticides d'ici 2018.

La mise en oeuvre de la technique Gamour nécessitera une formation et un suivi technique pendant au moins un cycle de culture de cucurbitacées. Les modalités de transfert impliqueront une coordination de travail entre les différents partenaires. Un Comité de suivi du transfert Gamour sera mis en place par la Chambre d'Agriculture. Il regroupera les partenaires impliqués dans la mise en oeuvre du projet. Il se réunira au moins deux fois par an.

Les partenaires impliqués et leur champ d'action

■ **La Chambre d'Agriculture** : 1 ETP sera consacré à la formation et au suivi des agriculteurs, réparti entre Eric Poulbassia, conseiller maraîchage dans l'Est, et Laurent Payet, conseiller maraîchage dans le Sud. L'intervention ponctuelle de Frédéric Amany, conseiller maraîchage dans l'Ouest, viendra en appui en fonction des besoins. La Chambre d'Agriculture contribuera à la formation des techniciens des OP (demande de l'Arop-FL) ou d'autres structures comme le Gab.

■ **L'Arop-FL** coordonnera le suivi et les formations des agriculteurs adhérents aux OP.

■ **La FDGDON** contribuera aux formations des agriculteurs.

■ **Le Gab** assurera le suivi et la formation auprès de ses adhérents.

■ **Farre** financera à 50% l'achat de 30 augmentorium pour ses adhérents et participera aux programmes de formation et de suivi.

■ **Le Cirad** veillera à la bonne application du protocole Gamour et apportera ses conseils pendant toute la phase de transfert.

■ **La Daaf** déterminera les modalités d'utilisation du piégeage des mouches (piégeage de masse ou piégeage de surveillance).

■ **L'Armefflor** suivra le dossier de demande d'homologation du piégeage de masse des mouches des légumes.

Les modalités d'intervention

Les techniciens impliqués dans la formation et le suivi des agriculteurs adhérents à Gamour interviendront par bassins de production de cucurbitacées : Piton Hyacinthe, Salazie, Petite-Ile et l'Entre-Deux.

Il est recommandé de réactiver et de s'appuyer sur le « noyau » existant de producteurs impliqués dans le projet au cours des années 2009-2011. A ce titre, la formation Gamour sera réalisée dans chaque bassin de production dès mars 2012 et se décomposera en deux demi-journées. Un courrier d'invitation sera envoyé aux adhérents de la FDGDON, de l'Armefflor, de l'Arop-FL. Les maraîchers indépendants pourront être prévenus par téléphone par les conseillers maraîchage de leur secteur. La première demi-journée sera théorique et rappellera les principes de Gamour. La deuxième demi-journée sera pratique avec visite de terrain et remise du livret technique.

Après formation, les agriculteurs intéressés qui voudront bénéficier d'un suivi technique signeront une convention de suivi valable pour un cycle de culture. Les visites consisteront en cinq passages minimum afin de vérifier le bon état du dispositif Gamour et de conseiller l'agriculteur pendant tout le cycle de culture. Les phases importantes de suivi sont les suivantes : aménagement des parcelles (semis du maïs), semis de la culture, vérification de l'état du dispositif avant la nouaison, et suivi de la protection pendant la période de production (installation des augmentorium, propreté de la parcelle, etc.).

ADOPTION OF GAMOUR TECHNIQUES

Y. Soupapouille & D. Vincenot

Chambre d'Agriculture de La Réunion,
24 rue de la Source, 97400 St Denis, France

The Chambre d'Agriculture will be in charge of facilitating the adoption of Gamour techniques by farmers, from early 2012 on. The Chambre d'Agriculture in Reunion is in charge of agricultural development, coordinating Gamour between 2009 and 2011. It aims to promote a sustainable and environmentally-friendly agriculture. In this respect, Gamour is an exemplary innovative production system, fully meeting Ecophyto 2018 objectives, i.e. a 50% reduction in pesticide use before 2018.

The implementation of the Gamour technique beyond the current pilot sites will need technical field support for at least one cucurbit crop cycle. It will involve a coordinated partnership between different organisations. Thus, a "Gamour extension unit" will be formed by the Chambre d'Agriculture, with twice-yearly meetings for all those involved in the project.

Their respective mission statements are the following:

■ **La Chambre d'Agriculture** will appoint two members of staff to train farmers, Eric Poulbassia (Eastern region), and Laurent Payet (Southern region). Frederic Amany (West), shall provide additional support if necessary. La Chambre d'Agriculture will also contribute to the training of technicians for producers' organisations (as requested by Arop-FL) and other agencies like Gab.

■ **Arop-FL** shall coordinate the training sessions for its members.

■ **FDGDON** shall contribute to the training sessions.

■ **Gab** will train and support organic farmers.

■ **Farre** will fund half the cost of 30 augmentorium for its members. Cirad will check that the methodology is being applied correctly, and will provide advice during the extension period.

■ **Daaf** will define the modalities of fly trapping (male eradication or monitoring network).

■ **Armefflor** will file applications for the certification of parapheromone blocks for trapping.

Intervention modalities

The technicians who will train future Gamour farmers will operate in the cucurbit growing areas of Piton Hyacinthe, Salazie, Petite Ile and Entre Deux. We recommend relying on the present core of growers who were involved in the project from 2009 to 2011. The education sessions will start from March 2012, comprising two half-days. An invitation will be sent to FDGDON, Armefflor and Arop-FL members. Independent growers will be invited by phone by the technicians of their area.

The first half-day will be a theoretical tutorial on Gamour. The second will be a practical field visit where the Gamour field guide will be distributed to farmers. Following the session, growers interested in technical supported will be recruited for a one crop cycle contract. The support consists of at least of five visits to check methodology and provide advice. The main items checked are the corn borders, crop seeding and traps (which must be installed before fructification). Follow-up of the crop during the production stage (mainly for sanitation purposes).

TRANSFERT DE LA MÉTHODOLOGIE GAMOUR EN AB À LA RÉUNION

Mireille Jolet

*Groupement des Agriculteurs Biologiques,
Ferme Lou Cachet, 97421 St Louis*

Pertinence de la méthode Gamour en AB

Face au problème des mouches des cucurbitacées, les agriculteurs travaillant en AB disposent de peu de moyens de protection. Gamour représente une méthodologie d'intérêt pour ces agriculteurs, puisqu'il s'agit d'une méthodologie alternative réduisant au minimum l'utilisation de pesticides de synthèse. En effet, les composantes du paquet technique Gamour sont totalement compatibles avec le cahier des charges de l'AB. C'est le cas du Synéis Appât®, et également des pièges à paraphéromones sans insecticide développés pour le projet. Les autres éléments du paquet technique (prophylaxie, lutte biologique de conservation, pratiques agroécologiques...) sont le fondement même de l'agriculture biologique.

Modalités de transfert

L'efficacité de la méthode ayant été démontrée en milieu professionnel, l'étape à venir est son transfert aux agriculteurs. Le Gab se fera le relais de ce transfert aux agriculteurs AB. En tant qu'association regroupant les agriculteurs de l'île, le Gab pourra jouer le rôle de relais technique en assurant la formation de ses membres et en assurant la distribution du matériel (plaquettes de paraphéromones, augmentoria...). Notre association joue également un rôle dans la sensibilisation du grand public, en particulier auprès des plus jeunes. Les démonstrations vers ces publics aideront à la diffusion de ces méthodologies alternatives. Enfin, le Gab pourra contribuer à l'information générale au sujet de cette méthodologie en mettant en lien son blog avec le site internet Gamour.

Limites et perspectives de la méthode Gamour

D'après les observations effectuées par les techniciens, l'une des principales limitations de Gamour est son efficacité moindre lorsque les parcelles protégées sont situées au voisinage d'exploitations protégées différemment. L'extension de la méthode au plus grand nombre est donc également la clé de son propre succès. Nous proposons d'utiliser des relais supplémentaires vers les agriculteurs, comme des campagnes d'information collective à l'image des campagnes de dératisation. La distribution d'augmentoria peut également être incitative. Enfin, les jardins des particuliers représentant également des foyers d'infestation potentiels, ceux-ci pourraient être impliqués par la distribution de petits augmentoria par les communautés de communes, de la même manière que se font les distributions de composteurs.

EXTENSION OF GAMOUR METHODOLOGY TO ORGANIC FARMING IN REUNION

Mireille Jolet

*Groupement des Agriculteurs Biologiques,
Ferme Lou Cachet, 97421 St Louis*

Application of Gamour methodology to organic farming

Confronted with cucurbit pest flies, organic farmers are virtually unarmed in the battle against these pests. Gamour is therefore a solution for them, as it is an alternative methodology using very low quantities of artificial pesticides. Gamour is fully in compliance with organic farming regulations. Synéis Appât® (Dow Agrosciences, ????) was registered in June ???? for use in organic farming, as are the insecticide-free parapheromonal traps developed for the project. The remaining components of the technique (sanitation, biological control and agroecological practices) form the basis of organic farming.

Extension modalities

Its effectiveness having been proven, the next step is to pass on the technique to other organic farmers. Gab will coordinate this knowledge transfer. In its role as the organic farming association in Reunion, Gab will offer technical support to its members, train them and provide equipment (parapheromonal blocks, augmentoria). The association also organizes outreach projects, such as demonstrations, for the general public, especially for kids. Additionally, Gab will link its blog to the Gamour website.

Limitations and perspectives

Field observations showed that one of the main limitations of Gamour methodology is its reduced efficacy when located in the vicinity of fields using different protection methods. The key to the project's success is thus to ensure that it is adopted by the largest possible number of farmers. We therefore recommend a public information campaign; provision of augmentoria may also be needed. Similarly, private gardens are potential sources of pests: their owners must be persuaded to use small augmentoria, similar to composters.

SITUATION DES MOUCHES DES FRUITS À MADAGASCAR

C. Raelijaona

Direction de la Protection des Végétaux,
BP 1042 Antananarivo, Madagascar

Introduction

La diversité du climat à Madagascar permet la production de fruits et légumes tropicaux et tempérés. Malheureusement, comme partout dans le monde entier et particulièrement dans la zone de l'Océan Indien, les dégâts occasionnés par les mouches de fruits et légumes ne sont pas négligeables. La lutte contre ces déprédateurs est quasiment nulle pour les raisons suivantes :

- le coût des produits est assez élevé et hors de portée des producteurs
- le produit adéquat n'est pas disponible sur le lieu de production
- lu tout simplement ce n'est pas dans l'habitude des paysans.

Mouches des fruits à Madagascar

Madagascar héberge une cératite endémique et polyphage, *Ceratitis malgassa* Munro. C'est l'espèce qui bloque les exportations des fruits même vers les îles sœurs de l'Océan Indien. *Ceratitis cosyra* (Walker) est l'espèce qui attaque les mangues du Nord et du Nord-Ouest. Pour le moment, elle n'a pas été capturée sur les Hauts Plateaux, au Sud et dans le Moyen Ouest : sa présence n'y est pas encore confirmée. *Ceratitis manjakatombo* Hancock a été signalée, quelques spécimens ont été capturés dans des pièges placés dans des vergers de pêches et de prunes sur les hauts plateaux. Des spécimens de *Ceratitis capitata* (Wiedemann) ont été capturés dans des pièges dans la région Est. Jusqu'à maintenant cette espèce est localisée dans la ville de Tamatave, surtout à côté d'un grand marché de produits locaux.

Bactrocera invadens Drew, Tsuruta & White vient d'être détectée à Tamatave en décembre 2010, et à Mahajanga en septembre 2011. Des missions de délimitation des zones infestées sont actuellement en cours.

Dans les années 60, un programme de lutte intégrée contre *C. malgassa* a été mené par l'Inra. Des parasitoïdes ont été introduits et lâchés dans les environs de la capitale. La prophylaxie et le piégeage ont accompagné l'utilisation des parasitoïdes, mais aucun résultat ne nous permet aujourd'hui de dire si ces parasitoïdes se sont acclimatés ou non. Les recherches se sont arrêtées quand l'Inra a cessé ses activités à Madagascar. Aujourd'hui, quelques producteurs essaient de diminuer l'incidence des attaques en utilisant le malathion mais les résultats ne sont pas du tout satisfaisants. La plupart se contentent de récolter les quelques fruits qui ne sont pas piqués. Depuis 1988, un plan de surveillance contre ce déprédateur a été mis en œuvre dans les vergers d'agrumes à Antananarivo.

Depuis 2003, des projets de coopération technique (TCP) en collaboration avec l'AIEA permettent à la Direction de la Protection des Végétaux de travailler avec une association de paysans pour élaborer et mettre en œuvre une stratégie qui pourra être appliquée sous forme de lutte intégrée, en favorisant la méthode des insectes stériles combinée avec la technique de suppression des mâles et la prophylaxie. La possibilité d'introduire des parasitoïdes est en cours d'étude.

Aucune lutte n'est appliquée contre les autres cératites, un réseau de piégeage reste en permanence dans les localités où ces espèces ont été découvertes.

Les mouches des légumes

Les espèces de mouche des légumes inventoriées à Madagascar sont *Dacus ciliatus* Loew et *D. demmerezi* (Bezzi) sur les cucurbitacées, et *Neoceratitis cyanescens* (Bezzi) sur tomate. Le malathion et le spinosad sont les produits homologués. Quelques

producteurs les utilisent lorsqu'ils sont disponibles, sinon c'est la pratique paysanne qui prédomine (couverture ou enveloppement des fruits avec les feuilles de la plante ou la paille de riz).

En 2006, en collaboration avec l'AIEA, des tests d'efficacité du GF 120® (spinosad) ont été effectués avec des producteurs de melon. En 2007, l'utilisation en traitement par taches combiné avec la technique de piégeage de masse des mâles a fait baisser le niveau d'attaque de *D. demmerezi*, mais comme il est difficile de convaincre les paysans sur la pratique de la prophylaxie le rendement est resté stationnaire.

Depuis deux ans, une stratégie de lutte intégrée est mise en œuvre avec un maraîcher AB dans le cadre du TCP cité plus haut. Des tests sur la pratique du traitement par taches des plants de bordure de maïs avec le GF 120® sont réalisés. Les résultats sont satisfaisants, la perte en fruits véreux a diminué de 60 à 10%. La mise en place d'un augmentorium est prévue dans ce site. En comparaison avec le projet Gamour, nous prévoyons d'étendre la méthode. Il nous faut alors contacter des associations ou des groupements encadrés par des religieux avec qui il serait plus facile de vulgariser la méthode intégrée de protection.

THE FRUIT FLY SITUATION IN MADAGASCAR

C. Raelijaona

Direction de la Protection des Végétaux,
BP 1042 Antananarivo, Madagascar

Introduction

Madagascar has a diverse climate which allows the production of both temperate and tropical fruits. Unfortunately, like in the rest of the world and particularly in the Indian Ocean, fruit flies can cause significant damage. Management of these pests is nearly inexistent since growers cannot afford chemicals, or the chemical needed may not be available. Some growers are simply not aware of their existence.

Fruit flies in Madagascar

Madagascar is home to one endemic and polyphagous fly, *Ceratitis malgassa* (Munro, 1939). The presence of this species precludes fruit exports, even to neighbouring Indian Ocean islands. *Ceratitis cosyra* (Walker, 1849) attacks mangoes in north and northwest areas of the country. It has not yet been reported on the High Plateaus, nor in the south or west. *Ceratitis manjakatampo* (Hancock, 1984) have been collected in traps set in plum and peach orchards on High Plateaus. A few *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824) have been also trapped in the east. At present, this species is limited to Tamatave, particularly around a large fruit market. *Bactrocera invadens* (Drew, Tsuruta & White, 2005) was reported in December 2010 in Tamatave. Mapping missions are currently defining the infested areas.

During the 60's, an IPM program was conducted by INRA to control *C. malgassa*. Parasitoids were introduced and released into the vicinity of the capital. Sanitation and trapping were carried out with biological control, but these parasitoids have not been certified, and research was dropped when INRA left the island. Today, some farmers attempt to control the flies using malathion, without any satisfactory result however. Most of them thus just pick the few remaining uninfested fruits. A pest monitoring program has been in place since 1988 in the citrus orchards of Antananarivo. Technical cooperation projects have been underway since 2003, with the support of IAEA,

bringing together the Direction de la Protection des Végétaux and farmers' associations with the aim of developing and implementing an IPM strategy. This strategy mainly uses sterile insect releases combined with sanitation and male eradication. We are currently examining the feasibility of new introductions of parasitoids. No control strategy has been implemented for the other *Ceratitis* spp., though they are still monitored in locations where they were first reported.

Vegetable flies

In Madagascar, *Dacus ciliates* (Loew, 1862), and *D. demmerezi* (Bezzi, 1917) have been observed on cucurbits, and *Neoceratitis cyanescens* (Bezzi, 1923) on tomatoes. Malathion and spinosad are the chemicals used to treat. Some farmers use them when available, though traditional practices tend to be predominant (bagging or covering fruits with leaves or rice straw). In 2006, with the support of AIEA, trials were carried out to assess the efficacy of GF-120 TM (spinosad) on melon. In 2007, bait sprays and mass trapping were successful on *D. demmerezi* infestations, but these results had no further consequence since growers did not bother to use the sanitation utility. A new IPM strategy has been implemented on one organic farm over the last two years as part of the aforementioned cooperation. Trials of bait sprays with GF-120 on corn borders have been carried out. Most have given good results, with yield losses dropping from 60% to 10%. An augmentorium is expected. This methodology will be proposed to other farms, as was the case with Gamour. The adoption of the IPM method will be easier if supported by associations or religious groups.

ECHANGES ET COOPÉRATION DANS L'OCÉAN INDIEN

E. Jeuffrault¹, S. Quilici²

1. Daaf Réunion, Boulevard de la Providence,
97489 St Denis Cédex, France

2. Cirad, UMR C-53 PVBMT,
F-97410 Saint Pierre, La Réunion, France

Déjà une histoire vraie de mouches...

En matière de lutte contre les mouches, la coopération régionale est un fait. Les travaux de recherche débutent dans les années 70. A Maurice et La Réunion se mettent en place des initiatives de lutte autocide et de lutte biologique contre plusieurs espèces invasives de Tephritidae. Mais il faut attendre le démarrage en 1996 du PRMF pour leur donner réellement une dimension régionale. Ce premier programme associe les efforts de recherche de Maurice, La Réunion et les Seychelles, Madagascar et les Comores étant associés en tant qu'observateurs. Il s'agit principalement de la mise en place d'un large réseau de surveillance, qui permet en particulier la détection de *Bactrocera cucurbitae* aux Seychelles en 1999 et l'éradication rapide de *Bactrocera dorsalis* à Maurice en 1996. A La Réunion, le PRMF a permis entre autres la réalisation de thèses doctorales sur les mouches des fruits et leurs parasitoïdes. Le PRMF s'est achevé en 2000.

En 2001, le PRPV reprend une partie des actions menées contre les mouches. Il permet la mise en place de formations sur les méthodes d'élevage et de lutte dans les pays de la zone Océan Indien, ainsi que des campagnes d'inventaires faunistiques permettant par exemple de mieux connaître les Tephritidae des Comores. A ces travaux collaboratifs s'ajoutent des initiatives plus locales, en particulier des programmes de recherche et de gestion à grande échelle, financés par la FAO et l'AIEA. Ces initiatives permettent là aussi l'amélioration des connaissances qui sont partagées par les échanges régionaux.

2010 : IRACC et e-PRPV

Ces deux programmes régionaux permettent à la fois la continuation et l'élargissement de la coopération. L'IRACC a pour objectif d'adapter la petite agriculture des îles de la Région Océan Indien à cette évolution globale. Le e-PRPV est l'élargissement et la pérennisa-

tion du feu PRPV, achevé en 2008. Là encore, ces deux programmes comportent un volet sur les Tephritidae.

Ils visent l'amélioration des connaissances et le partage du savoir-faire contre ces ravageurs (composante 2), en particulier par l'alimentation d'une base de données en ligne sur les organismes nuisibles de la Région. Ils visent également l'amélioration des capacités opérationnelles des parties prenantes (composante 3) par la coordination du réseau d'acteur et le renforcement des pôles de compétences en diagnostic. Enfin, et c'est ce qui nous concerne plus directement aujourd'hui, ces programmes visent à la fois à informer et sensibiliser les différents publics en matière d'agroécologie (composante 1) tout en appuyant le développement des petites exploitations agricoles (composante 4) : c'est l'objectif de surveillance et de gestion des populations de ravageurs dans l'océan Indien. Par cet objectif, IRACC et e-PRPV soutiennent le développement de l'agriculture raisonnée et l'agriculture biologique, la mise en place de projets expérimentaux pilotes, l'amélioration de la qualité des sols cultivés et de l'environnement, et la mise en place des échanges entre producteurs.

Le projet Gamour est donc par définition une initiative s'inscrivant dans cet objectif régional. Plus largement, IRACC et e-PRPV ont pour charge d'harmoniser les méthodes de gestion des populations dans les différents pays de la Région. Leurs ambitions, à partir de 2012, sont d'établir un volet régional commun de gestion des ravageurs. L'expérience acquise lors des trois années de Gamour est particulièrement précieuse pour cette harmonisation.

En tant que point focal national pour la France-Réunion, j'ai donc aujourd'hui le plaisir de transférer les guides techniques élaborés lors de Gamour à M. Tahina Rakotondralombo, coordinateur régional de l'IRACC à la Commission de l'Océan Indien.

Souhaitons aujourd'hui un avenir régional à Gamour !

INTERRELATIONSHIPS AND COOPERATION IN INDIAN OCEAN

E. Jeuffrault¹, S. Quilici²

1. Daaf Réunion, Boulevard de la Providence,
97489 St Denis Cédex, France

2. Cirad, UMR C-53 PVBMT,
F-97410 Saint Pierre, La Réunion, France

A long history of fly pests

Regional cooperation has long been part of fly management. Work began in the 70s. In Mauritius and Reunion, research began on autocid and biological control of several invasive tephritid species. But it was in 1996, with the beginning of PRMF (Programme Régional de Lutte contre les Mouches des Fruits), that management became truly regional. This first program pooled the research efforts of Mauritius, Reunion and Seychelles (Madagascar and Comoros were observers). The setting up of a large monitoring network enabled early detection of *Bactrocera cucurbitae* (Coquillet) in the Seychelles in 1999, and the quick eradication of *B. dorsalis* (Hendel) in Mauritius in 1996. In Reunion, PRMF enabled PhD theses to be written on fruit flies and their parasitoids. It ended in 2000.

In 2001, PRPV (Programme Régional de Protection des Végétaux) signalled a new program of action against fruit flies. It organised sessions on control and breeding methods in the Indian Ocean countries, as well as faunistic surveys which provided a better knowledge of Tephritidae in Comoros. In addition, there were local initiatives, particularly research and management programs funded by FAO and IAEA. They also improved knowledge which was shared between countries.

2010: IRACC and e-PRPV

These two regional programs will continue and improve cooperation. The IRACC (Initiative Régionale Agroécologie – Changement Climatique), aims to help small-scale agriculture of the Indian Ocean islands adapt to global climate change. E-PRPV is the enlargement and continuation of PRPV, which came to an end in 2008. Both programs have a fruit

fly element, aiming to improve and share the current knowledge on these pests (component 2), particularly by the implementation of an online database. They also intend to improve the operational capacity of the stakeholders (component 3) through the coordination of an actor network and to improve diagnostic facilities.

Finally, these two programs are designed to inform and educate audiences on agroecology (component 1), and support the development of small farms at the same time (component 4). The goal is to monitor and manage pest populations throughout the Indian Ocean. Thus, IRACC and e-PRPV support the development and integration of organic farms by setting up pilot projects, improving the quality of the environment and soil and making exchange between farmers easier. Thus, Gamour ties in with this regional objective. More generally speaking, IRACC and e-PRPV intend to standardize control strategies in the region. From 2012, their ambition is to apply a shared framework for pest management. This is why the three-year Gamour project was so beneficial. As national focal point for France-Reunion, I'm therefore pleased to hand over the Gamour field guides to Mr. Tahina Rakotontralombo, regional IRACC coordinator. May Gamour have a successful regional future!

SIGLES ET ACRONYMES / ACRONYMS AND INITIALS

- **AB :**
Agriculture Biologique (organic farming)
- **Adar :**
Association de Développement Agricole et Rural
- **AIEA :**
Agence Internationale de l'Energie Atomique
- **Anova :**
ANalysis Of VAriance
- **ANR :**
Agence Nationale pour la Recherche
- **Aphis :**
Animal and Plant Health Inspection Service
- **AR :**
Agriculture Raisonnée
(integrated farming)
- **Areu :**
Agricultural Research and Extension Unit
- **Armefflor :**
Association Réunionnaise pour
la Modernisation de l'Economie
Fruitière, Légumière et HORTICOLE
- **Arop-FL :**
Association Réunionnaise des Organisations de Producteurs
en Fruits et Légumes
- **ASP :**
Agence de Services et de Paiements
- **AWPM :**
AreaWide Pest Management
- **Cirad :**
Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique
pour le Développement
- **C-L :**
Cue-Lure
- **Daaf :**
Direction de l'Alimentation, l'Agriculture et la Forêt
- **DDVP :**
Dichlorvos (2, 2-dichlorovinyl dimethyl phosphate)
- **DMC :**
Direct seeding Mulch-based Cropping systems
- **DUT :**
Diplôme Universitaire Technologique
- **Endure :**
European Network for the DURable Exploitation of crop protection
- **e-PRPV :**
Elargissement et Pérennisation du PRPV
- **ETP :**
Equivalent Temps Plein
- **FAO :**
Food and Agriculture Organization
- **Farre :**
Forum de l'Agriculture Raisonnée et Respectueuse de l'Environnement
- **FDGDON :**
Fédération Départementale des Groupements de Défense
contre les Organismes Nuisibles
- **Gab :**
Groupement des Agriculteurs Biologiques
- **Gamour :**
Gestion Agroécologique des MOUCHES des légumes à la Réunion
- **GPS :**
Global Positioning System
- **HawFlyPM :**
Hawaii fruit Fly Pest Management
- **HDA :**
Hawaii Department of Agriculture
- **IAEA :**
International Atomic Energy Agency
- **ICM :**
Integrated Crop Management
- **Inra :**
Institut National de la Recherche Agronomique
- **IPM :**
Integrated Pest Management
- **IRACC :**
Initiative Régionale Agroécologie – Changement Climatique
- **MAAP :**
Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la
ruralité et de l'aménagement du territoire
- **ME :**
Methyl Eugenol
- **OP :**
Organisation de Producteurs
- **Pic :**
Protection Intégrée des Cultures
- **PRMF :**
Programme Régional de Lutte contre les mouches des Fruits
- **PRPV :**
Programme Régional de Protection des Végétaux
- **Pure :**
Pesticide Use Reduction in Europe
- **Rex :**
Réseau d'EXcellende
- **RMT :**
Réseau Mixte Technologique
- **SCV :**
Semis direct sur Couverture Végétale permanente
- **SicaTR :**
Société d'Interêt Collectif Agricole Terre Réunionnaise
- **SIG :**
Système d'Information Géographique
- **SIT :**
Sterile Insect Technique
- **TB :**
Terre Bourbon
- **USDA-ARS :**
United States Department
of Agriculture, Agricultural Research Service
- **VSC :**
Volontaire au Service Civique

REFERENCES

■ ANR, 2009. **Présentation des projets financés au titre de l'édition 2009 du Programme SYSTERRA.**

<http://www.agence-nationale-recherche.fr/>

■ Allwood A.J., Chinajariyawong A., Drew R.A.I., Hamacek E.L., Hancock D.L., Hengsawad C., Jinapin J.C., Jirasurat M., Kong Krong C., Kritsaneepai-boon S., Leong C.T.S. & S. Vijaysegaran, 1999. **Host plant records for fruit flies (Diptera: Tephritidae) in South-East Asia.** The Raffles Bulletin of Zoology. Supplement 7. 92 pp.

■ Allwood A. J., Vueti E.T., Leblanc L. & Bull R., 2002. **Eradication of introduced *Bactrocera* species (Diptera: Tephritidae) in Nauru using male annihilation and protein bait application techniques.** In: Veitch C. R & Clout M.N. (eds) **Turning the tide: the eradication of invasive species**, pp. 19-25. Proceedings of the International Conference on Eradication of Island Invasives, 8-12 February 2010, Auckland, New Zealand. IUCN Publications Services Unit, Cambridge, U. K.

■ Atiama-Nurbel T., Deguine J.-P. & Quilici S., 2012. **Maize more attractive than napier grass as non-host plants for *Bactrocera cucurbitae* and *Dacus demmerezi*.** Arthropod-Plant Interactions 6(3) : 395-403.

■ Attoumani-Ronceux A., Aubertot J.-N., Guichard L., Jouy L., Mischler P., Omon B., Petit M.-S., Pleyber E., Reau R. & Seiler A., 2010. **Guide pratique pour la conception de systèmes de culture plus économes en produits phytosanitaires. Application aux systèmes de polyculture.** http://agriculture.gouv.fr/IMG/GUIDE_STEPHYopt.pdf

■ Aubertot J.-N., Pinochet X. & Doré T., 2004a. **Analysis of the effects of sowing date and nitrogen availability during vegetative stages on phoma stem canker (*Leptosphaeria maculans*) development on two winter oilseed rape cultivars.** Crop Protection 23 : 635-645.

■ Aubertot J.-N., Schott J.J., Penaud A., Brun H. & Doré T., 2004b. **Methods for sampling and assessment in relation to the spatial pattern of phoma stem canker (*Leptosphaeria maculans*) in oilseed rape.** European Journal of Plant Pathology 110 : 183-192.

■ Aubertot J.-N., Sohbi Y., Brun H. & Penaud A., 2005. **Phomadidacte: a computer-aided training**

program for the assessment of phoma stem canker severity of oilseed rape. Proceedings of the 5th Conference of the European Federation for Information Technology in Agriculture, Food and Environment & 3rd World Congress on Computers in Agriculture and Natural Resources, 25-28 July 2005, Vila Real, Portugal.

■ Aubry M., Baudoin Y., Belizaire J., Broc A., De Bouvre C., Duffourc V., Enault C., Fontaine A., Guezello C., Lauzel L., Mahe E., Mariaye A., Michalon L. & Pellet L., 2009. **Etude de faisabilité du projet Gamour sur la commune de l'Entre Deux.** Mémoire, Université de La Réunion, Saint Denis, France, 166 pp.

■ Baruffi L., Damiani G., Guglielmino C.R., Bandi C., Malacrida A.R. & Gasperi G., 1995. **Polymorphism within and between Populations of *Ceratitis capitata* - Comparison between RAPD and Multi-locus Enzyme Electrophoresis data.** Heredity 74 : 425-437.

■ Bateman M.A., 1972. **The ecology of fruit flies.** Annual Review of Entomology 17 : 493-518.

■ Bautista R.C., Harris E.J., Vargas R.I. & Jang E.B., 2004. **Parasitization of Melon fly (Diptera: Tephritidae) by *Fopius arisanus* and *Psytalia fletcheri* (Hymenoptera: Braconidae) and the effect of fruit substrates on host preference by parasitoids.** Biological Control 30(2) : 156-164.

■ Beerli P & Felsenstein J. 2001. **Maximum likelihood estimation of a migration matrix and effective population sizes in *n* subpopulations by using a coalescent approach.** Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 98(8) : 4563-4568.

■ Bolliger A, Jakob M., Amado T.J.C., Skóra Neto F., dos Santos Ribeiro M.d.F., Calegari A., Ralisch R. & de Neergaard A., 2006. **Taking stock of the Brazilian «Zero-till revolution»: a review of landmark research and farmers' practice.** Advances in Agronomy 91 : 47-110.

■ Brévault T & Quilici S., 2007. **Influence of habitat pattern on orientation during host fruit location in tomato fruit fly, *Neoceratitis cyanescens*.** Bulletin of Entomological Research 97 : 637-642.

■ Burns R. E., Harris D. L., Moreno D. S. & Eger J.E., 2001. **Efficacy of spinosad bait sprays to control Mediterranean and Caribbean fruit flies (Diptera : Tephritidae) in commercial citrus in**

Florida. Florida Entomologist 84 : 672-678.

■ Cadet P., 1998. **Gestion écologique des peuplements de nématodes phytoparasites tropicaux : importance des facteurs édaphiques et ruissellement.** Cahiers Agricultures 7 : 187-194.

■ Chabanne A., Boyer J., Michellon R. & Séguy L., 2001. **Plant covers, soil macrofauna and geranium cropping.** agroecologie.cirad.fr/content/.../1000245643.pdf

■ Chabanne A., Michellon R., Séguy L. & Techer P., 1998. **La conception des systèmes agricoles durables à base de semis directs dans des couvertures végétales pour les hauts de l'Ouest à la Réunion.** Actes de l'atelier international Gestion Agrobiologique des Sols et des Systèmes de Culture, 23-28 mars 1998, Antsirabe, Madagascar.

■ Chaboussou F., 1980. **Les plantes malades des pesticides : bases nouvelles d'une prévention contre maladies et parasites.** Debarde, Paris, France, 271 pp.

■ Chandler L. D. & Faust R.M., 1998. **Overview of area-wide management of insects.** Journal of Agricultural Entomology 15 : 319-325.

■ Cirad La Réunion et Mayotte, 2011. **Vers une mangue sans insecticide...** http://reunion-mayotte.cirad.fr/actualites/mangue_sans_insecticide

■ Cirad, 2011. **Inventer une nouvelle agriculture.** <http://www.cirad.fr/innovation-expertise/competences-et-expertises/inventer-une-agriculture-ecologiquement-intensive-pour-nourrir-la-planete>

■ Christenson L.D. & Foote R.H., 1960. **Biology of fruit flies.** Annual Review of Entomology 5 : 171-192.

■ Deguine J.-P., Atiama-Nurbel T., Douraguia E. & Rousse P., 2010. **L'augmentorium, un outil de protection agroécologique des cultures. Conception, mise au point et évaluation en milieu producteur à La Réunion.** Cahiers Agricultures 20(4) : 261-265.

■ Deguine J.-P., Atiama-Nurbel T. & Quilici S., 2011. **Net choice is key to the augmentorium technique of fruit fly sequestration and parasitoid release.** Crop Protection 30(2) : 198-202.

■ Deguine J.-P., Atiama-Nurbel T., Douraguia E., Chiroleu F. & Quilici S., 2012. **Species diversity within a community of the curcubit fruit flies *Bactrocera cucurbitae*, *Dacus ciliatus*, and *Dacus demmerezi* roosting in corn borders near cucur-**

bit production areas of Reunion Island. Journal of Insect Science 12 : 32.

■ Deguine J.-P., Douraguia E., Atiama-Nurbel T., Chiroleu F. & Quilici S., 2012. **Field cage study of spinosad-based bait efficacy on *Bactrocera cucurbitae*, *Dacus ciliatus* and *Dacus demmerezi* in Reunion Island.** Journal of Economic Entomology 105 : 1358-1365.

■ Deguine J.-P. & Ferron P., 2006. **Protection des cultures, préservation de la biodiversité, respect de l'environnement.** Cahiers Agricultures 15 : 307-11.

■ Deguine J.-P., Ferron P. & Russell D., 2008. **Sustainable pest management for cotton production. A review.** Agronomy for Sustainable Development 28 : 113-137.

■ Deguine J.-P., Ferron P. & Russell D., 2008. **Protection des cultures : de l'agrochimie à l'agroécologie.** Quae, Versailles, France, 187 pp.

■ Delatte H., Virgilio M., Simiand C., Risterucci A.M., de Meyer M. & Quilici S., 2010. **Isolation and characterization of microsatellite markers from *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett).** Molecular Ecology Resources 10(3) : 576-579.

■ Derpsch R. & Friedrich T., 2009. **Global overview of conservation agriculture adoption. Proceedings of the 4th World Congress on Conservation Agriculture,** 4-7 February 2009, New Delhi, India, pp. 429-438.

■ Deytieux V., Cellier V., Agerberg Armand J.M., Boll R., Poncet C. & Aubertot J.-N., 2010. **QuantIPest, a European collaborative platform to help quantify pest populations and injuries in the field.** Proceedings of the Endure International Conference, 23-24 November, Paris, France.

■ Dhillon M.K., Singh R., Naresh J.S. & Sharma H.C., 2005. **The melon fruit fly, *Bactrocera cucurbitae*: a review of its biology and management.** Journal of Insect Science 5 : 40.

■ Duhautois S., 2010. **Structuration des communautés de Diptères sur le maïs, *Zea mays*, utilisé comme plante piège à La Réunion.** Master 2 Biologie de l'évolution et écologie (BEE), Université Montpellier 2, 37 pp.

■ Duyck P.F. & Quilici S., 2002. **Survival and development of different life stages of three *Ceratitis* spp. (Diptera : Tephritidae) reared at five constant temperatures.** Bulletin of Entomological Research 92 : 461-469.

- Duyck P.F., David P. & Quilici S., 2004. **A review of relationships between interspecific competition and invasions in fruit flies (Diptera : Tephritidae).** Ecological Entomology 29 : 511-520.
- Etienne J., 1972. **Les principales Trypétides nuisibles de l'île de La Réunion.** Annales de la Société Entomologique de France 8 : 485-491.
- Etienne J., 1982. **Etude systématique, faunistique et écologique des Tephritides de La Réunion.** Thèse de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, Paris, France, 100 pp.
- Faust R. M. & Chandler L.D., 1998. **Future programs in area-wide pest management.** Journal of Agricultural Entomology 15 : 371-376.
- Fontaine A. & Augusseau X., 2009. **Diagnostic des exploitations maraichères du projet Gamour.** Mémoire, Université de La Réunion, Saint Denis, France, 61 pp.
- Griffon M., 2011. **Pour des agricultures écologiquement intensives.** Editions de l'Aube, La Tour d'Aigues, France, 144 pp.
- Guezello C., 2009. **Conception d'un réseau de surveillance des populations de mouches des légumes dans les sites pilotes.** Mémoire, Université de La Réunion, Saint Denis, France, 72 pp.
- Harris E.J., Bautista R.C., Vargas R.I., Jang E.B., Eitam A. & Leblanc, L., 2010. **Suppression of Melon fly (Diptera: Tephritidae) populations with releases of *Fopius arisanus* and *Psytalia fletcheri* (Hymenoptera: Braconidae) in North Shore Oahu, HI, USA.** BioControl, 55(5) : 593-599.
- Hendrichs J., Kenmore P., Robinson A.S. & Vreysen M.J.B., 2007. **Area-wide integrated pest management: principles, practice and prospects.** In Vreysen M.J.B, Robinson A.S. & Hendrichs J. (Eds) **Area-wide control of insect pests from research to field implementation**, pp 3-34. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 789 pp.
- Hurltel B., 2000. **Biologie du développement et écologie comportementale de deux parasitoïdes de mouches des fruits à La Réunion.** Thèse doctorale, Université de Rennes 1, Rennes, France, 157 pp.
- Husson O., Chabanne A., Ha Dinh T. & Séguy L., 2002. **Les systèmes de culture sur couverture végétale. Principes fondamentaux.** Séminaire PAOPA, 23-24 septembre 2002, Hanoï, Viet-Nam.
- Jang E.B., Klungness L.M. & Grant T., 2007. **Extension of the use of augmentoria for sanitation in a cropping system susceptible to the alien tephritid fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Hawaii.** Journal of Applied Sciences for Environmental Management 11(2) : 239-248
- Kliewer I., 2003. **Alternativas de controle de plantas daninhas sem herbicidas. Proceedings of the 2nd World Congress of Conservation Agriculture**, August 2003, Foz de Iguacu, Parana, Brasil.
- Klungness L.M., Jang E.B., Mau R.F.L., Vargas R.I., Sugano J.S. & Fujitani E., 2005. **New approaches to sanitation in a cropping system susceptible to tephritid fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Hawaii.** Journal of Applied Sciences for Environmental Management 9 : 5-15.
- KunYaw H., ShiCheng H. & ChienChung C., 2005. **Effectiveness of spinosad bait in the control of Oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae) in guava orchards.** Journal of Taiwan Agricultural Research 54 : 162-168
- Landers J.N., 1999. **Technology transfer mechanisms for the new direct sowing techniques in the savannahs of Central Brasil.** Actes de l'atelier international Gestion Agrobiologique des Sols et des Systèmes de Culture, 23-28 mars 1998, Antsirabe, Madagascar.
- Lindquist D.A., 2000. **Pest management strategies: Area-wide and conventional.** In: Tan K.H. (Ed) **Area-Wide Control of Fruit Flies and other Insect Pests**, pp 13-19. Proceedings of the International conference on area-wide control of insect pests, and 5th international symposium on fruit flies of economic importance, May 28- June 2 1998, Penerbit Universiti Sains Malaysia, Pulau Pinang, Malaysia.
- Lô-Petzer E., Bousset L., Jeuffroy M.H., Salam M.U., Pinochet X., Boillot M. & Aubertot J.-N., 2009a. **Sippom-WOSR: a Simulator for Integrated Pathogen POPulations Management to manage phoma stem canker on Winter Oilseed Rape. I. Description of the model.** Field Crop Research 118 : 73-81.
- Lô-Petzer E., Aubertot J.-N., Bousset L., Salam M.U. & Jeuffroy M.H., 2009b. **Sippom-WOSR : a Simulator for Integrated Pathogen POPulations Management to manage phoma stem canker on Winter Oilseed Rape. II. Sensitivity analysis.** Field Crop Research 118 : 82-93.
- Liquido N.J., 1991. **Fruit ground as reservoir of resident Melon fly (Diptera: Tephritidae) populations in papaya orchards.** Environmental Entomology, 20 : 620-625.
- Liquido N.J., 1993. **Reduction of Oriental Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) populations in papaya orchards by field sanitation.** Journal of Agricultural Entomology 10(2) : 163-170.
- Martin J., Silvie P. & Debru J., 2010. **Le coton biologique au Paraguay. 1. Construction de la filière et contraintes économiques.** Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 14(2) : 289-297.
- Mau R.F.L., Sugano J.S. & Jang E.B., 2003. **Farmer education and organization in the Hawaii areawide fruit fly pest management program. In Recent trends on sterile insect technique and area-wide integrated pest management: economic feasibility, control projects, farmer organization and Dorsalis complex control study**, pp. 47-57. Research Institute of Subtropics, Okinawa, Japan.
- Mau R. F. L., Jang E. B. & Vargas R.I., 2007. **The Hawaii fruit fly area-wide fruit fly pest management programme: influence of partnership and a good education programme.** Pp. 671-683. In Vreysen, M.J.B., Robinson A. S. & Hendrichs H. (Eds.), **Area-wide control of insect pests: from research to field implementation.** Springer, Dordrecht, The Netherlands, 789 pp.
- McGregor A. M., Vargas R.I. & Mau R.F.L., 2007. **An economic evaluation of the Hawaii Fruit Fly Area-Wide Pest Management Program.** USDA-ARS Pacific Basin Agricultural Research Center Internal Report, Hawaii, USA, 83 pp.
- McQuate G.T., Jones G.D. & Sylva C.D., 2003. **Assessment of corn pollen as a food source for two tephritid Fruit Fly Species.** Environmental Entomology 32 : 141-150.
- McQuate G.T., Sylva C.D. & Jang E.B., 2005a. **Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) suppression in persimmon through bait sprays in adjacent coffee plantings.** Journal of Applied Entomology 129 : 110-117.
- McQuate G.T., Peck S.L., Barr P.G. & Sylva C.D., 2005b. **Comparative evaluation of spinosad and phloxine B as toxicants in protein baits for suppression of three fruit fly (Diptera: Tephritidae) species.** Journal of Economic Entomology 98: 1170-1178.
- McQuate G.T. & Vargas R.I., 2007. **Assessment of attractiveness of plants as roosting sites for the Melon fly, *Bactrocera cucurbitae*, and Oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis*.** Journal of Insect Science 7 : 57.
- Nishida T & Bess H.A., 1957. **Studies on the ecology and control of the Melon fly *Dacus (Strumeta) cucurbitae* Coquillett (Diptera: Tephritidae).** Hawaii Agricultural Experimental Station Technical Bulletin 34 : 2-44.
- Nishida T., Bess H.A. & Ota A., 1957. **Comparative effectiveness of malathion and malathion-yeast hydrolysate bait sprays for control of Melon fly.** Journal of Economic Entomology 50 : 680-684.
- Oerke E.C., 2006. **Crop losses to pests.** Journal of Agricultural Science 144 : 31-43.
- Orian J.E.A. & Moutia L.A., 1960. **Fruit flies of economic importance in Mauritius.** Revue Agricole et Sucrière de l'île Maurice 39(3) : 142-150.
- Papy F. & Goldringer I., 2011. **Cultiver la biodiversité.** Courrier de l'Environnement de l'Inra 60 : 55-62.
- Peck S.L. & McQuate G.T., 2000. **Field tests of environmentally friendly malathion replacements to suppress wild Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) populations.** Journal of Economic Entomology 93 : 280-289.
- Piñero J. C., Mau R. F. L. & Vargas R. I., 2009a. **Managing Oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae), with spinosad-based protein bait sprays and sanitation in papaya orchards in Hawaii.** Journal of Economic Entomology 102 : 1123-1132.
- Piñero J. C., Mau R. F. L., McQuate G.T. & Vargas R.I., 2009b. **Novel bait stations for attract-and-kill of pestiferous fruit flies.** Entomologia Experimentalis et Applicata. 133 : 208-216.
- Pritchard J.K., Stephens M. & Donnelly P., 2000. **Inference of population structure using multilocus genotype data.** Genetics 155(2) : 945-959.
- Prokopy R. J., Papaj D.R., Hendrichs J. & Wong T. T. Y., 1992. **Behavioral responses of *Ceratitis capitata* flies to bait spray droplets and natural food.** Entomologia experimentalis et applicata 64 : 247-257.
- Prokopy R.J., Miller N.W., Piñero J.C., Barry J.D., Tran L.C., Oride L.K. & Vargas R.I., 2003. **Effectiveness of GF-120 fruit fly bait spray applied to border area plants for control of melon flies (Diptera: Tephritidae).** Journal of Economic Entomology 96: 1485-1493.
- Purcell M. & Messing R.H., 1996. **Ripeness effects of three vegetable crops on abundance of augmentatively released *Psytalia fletcheri***

(Hym.: Braconidae): improved sampling and release methods. Entomophaga 41(1) : 105-116.

■ Quilici S., Hurtrel B., Messing R.H., Montagneux B., Barbet A., Gourdon F., Malvolti A. & Simon A., 2004. **Successful acclimatization of *Psytalia fletcheri* (Braconidae: Opiinae) for biological control of the Melon fly, *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae), on Reunion Island.** Proceedings of the 6th International Symposium on Fruit flies of Economic Importance, 6-10 May 2002, Stellenbosch, South Africa.

■ Reyes J., Carro X., Hernandez J., Méndez-Campo C., Esquivel H., Salgado E. & Enkerlin W., 2007. **A multi-institutional approach to create fruit fly-low prevalence and fly-free areas in Central America.** In Vreysen M.J.B., Robinson A.S. & Hendrichs J. (Eds) **Area-wide control of insect pests from research to field implementation**, pp 627-640. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 789 pp.

■ Roche A., 2009. **Caractérisation des systèmes d'encadrement des producteurs Gamour et des besoins en information des acteurs du projet.** Mémoire, Institut polytechnique de Bordeaux, Bordeaux, France, 72 pp.

■ Schneider O., Roger-Estrade J., Aubertot J.-N. & Doré T., 2006. **Effects of seeders and tillage equipment on vertical distribution of oilseed rape stubble.** Soil and Tillage Research 85 (1-2) : 115-122

■ Seewooruthun S.I., Permalloo S. & Sookar P., 2005. **Assessment of attractants for fruit fly (Diptera: Tephritidae) management.** Proceedings of the 7th Meeting of Agricultural Scientist, 6 May 2005, Reduit, Mauritius.

■ Seewooruthun S.I., Permalloo S., Gungah B., Soonnoo A.R. & Alleck M., 2000. **Eradication of an exotic fruit fly from Mauritius.** In: Tan K.H. (Ed) **Area-Wide Control of Fruit Flies and other Insect Pests**, pp 389-394. Proceedings of the International conference on area-wide control of insect pests, and 5th international symposium on fruit flies of economic importance, May 28- June 2 1998, Penerbit Universiti Sains Malaysia, Pulau Pinang, Malaysia.

■ Silvie P., Martin J., Debru J. & Vaissayre M., 2010. **Le coton biologique au Paraguay. 2. Production et contraintes agronomiques.** Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement 14(2) : 311-320.

■ Sookar P., 2001. **Modification and evaluation of waste brewer's yeast.** MSc thesis, University of Mauritius, Mauritius.

■ Sookar P., Seewooruthun S. I. & Khayrattee, F., 2002. **Assessment of protein baits for the monitoring and control of fruit flies.** Revue Agricole et Sucrière de l'île Maurice 80(3) & 81(1-3) : 287-294.

■ Sookar P., Facknath S., Permalloo S. & Seewooruthun S.I., 2004. **Evaluation of modified waste brewer's yeast as a protein source for the control of the Melon fly, *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett).** Proceedings of the 6th International Symposium on Fruit flies of Economic Importance, 6-10 May 2002, Stellenbosch, South Africa.

■ Sookar P., Seewooruthun S.I. & Khayrattee F.B., 2004. **Modification and laboratory evaluation of waste brewer's yeast, a local substitute for protein hydrolysate in Melon fly bait.** Proceedings of the 6th Meeting of Agricultural Scientists, 8-9 May 2003, Reduit, Mauritius.

■ Sookar P., Permalloo S., Gungah B., Alleck M., Seewooruthun S.I. & Soonnoo A.R., 2006. **An area wide control of fruit flies in Mauritius.** In Sugaya, R.L., Zucchi R.A., Ovruski S.M. & Sivinski, J. (Eds) **Fruit flies of economic importance: from basic to applied knowledge**, pp 261-269. Proceedings of the 7th international symposium on fruit flies of economic importance, 10-15 September 2006, Salvador, Brazil. Press Color Gráficos Especializados, Salvador, Brazil.

■ Stark J. D., Vargas R.I. & Miller N.W., 2004. **Toxicity of spinosad in protein bait to three economically important tephritid fruit fly species (Diptera: Tephritidae) and their parasitoids (Hymenoptera: Braconidae).** Journal of Economic Entomology 97 : 911 - 915.

■ Tan K.H., 2000. **Area-wide control of fruit flies and other insect pests.** CABI, Wallingford, UK, 782 pp.

■ Touron, S., 2010. **Documentation de l'outil informatique Gamour.** Rapport de stage Cirad, France, 17 pp.

■ Vargas R.I., Peck S.L., McQuate G.T., Jackson C.G., Stark J.D. & Armstrong J.W., 2001. **Potential for area-wide integrated management of Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) with a braconid parasitoid and a novel bait spray.** Journal of Economic Entomology 94 : 817-825.

■ Vargas R.I., Jang E.B & Klunghness L.M., 2003. **Area-wide pest management of fruit flies in hawaiian fruits and vegetables.** In **Recent trends on sterile insect technique and area-wide integrated pest management: economic feasibility, control projects, farmer organization and Dor-**

salis complex control study, pp. 37-46. Research Institute of Subtropics, Okinawa, Japan.

■ Vargas R.I., Long J., Miller N.W., Delate K., Jackson C.G., Uchida G.K., Bautista R.C. & Harris, E.J., 2004. **Releases of *Psytalia fletcheri* (Hymenoptera: Braconidae) and sterile flies to suppress Melon fly (Diptera: Tephritidae) in Hawaii.** Journal of Economic Entomology 97(5) 1531-1539.

■ Vargas R.I., Miller N.W. & Stark J.D., 2003. **Field trials of spinosad as a replacement for naled ddvp, and malathion in methyl eugenol and cue-lure bucket traps to attract and kill male Oriental fruit flies and Melon flies (Diptera: Tephritidae) in Hawaii.** Journal of Economic Entomology 96 : 1780-1785.

■ Vargas R.I., Stark J.D., Mackey B. & Bull R., 2005. **Weathering trials of Amulet Cue-lure and methyl eugenol "attract and kill" stations with male melon flies and oriental fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Hawaii.** Journal of Economic Entomology 98 : 1551-1559.

■ Vargas R.I., Mau R. F. L. & Jang E.B., 2007. **The Hawaii fruit fly area-wide management program: accomplishments and future directions.** Proceedings of the Hawaiian Entomological Society 39 : 99-104.

■ Vargas R.I., Mau R.F.L., Jang E.B., Faust R. M. & Wong L., 2008a. **The Hawaii Fruit Fly Area-Wide Pest Management Program.** In Koul O., Cuperus G.W. & Elliott N.C. (Eds) **Areawide IPM: theory to implementation**, pp 300-325. CABI Books, London, UK, 590 pp.

■ Vargas R.I., Stark J.D., Hertlein M., Mafra-Neto A., Coler R. & Piñero J.C., 2008b. **Evaluation of Splat with spinosad and methyl eugenol or cue-lure for "attract-and-kill" of Oriental and Melon fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Hawaii.** Journal of Economic Entomology 101 : 759-768.

■ Vargas R.I., Piñero J. C., Mau R.F.L., Stark J. D., Hertlein M., Mafra-Neto A., Coler R. & Getchell A., 2009a. **Attraction and mortality of Oriental fruit flies (Diptera: Tephritidae) to Splat-Mat-methyl eugenol with spinosad.** Entomologia Experimentalis et Applicata 131 : 286-293.

■ Vargas R.I., Stark J.D., Burns R. E., Mau R.F.L., Cook P. & Piñero J.C., 2009b. **Captures in methyl eugenol and cue-lure detection traps with and without insecticides and with a Farma Tech solid lure and insecticide dispenser.** Journal of Economic Entomology 102 : 552-557.

■ Vargas R.I., Piñero J. C., Jang E. B., Mau R.F.L., Stark J.D., Gomez L., Stoltman L. & Mafra-Neto A., 2010a. **Response of Melon fly (Diptera: Tephritidae) to weathered Splat-Spinosad-Cue-Lure.** Journal of Economic Entomology 103 : 1594-1602.

■ Vargas R.I., Mau R.F.L., Stark J.D. & Piñero J.C., 2010b. **Evaluation of methyl eugenol and cue-lure traps with solid lure and insecticide dispensers for monitoring and male annihilation in Hawaii.** Journal of Economic Entomology 103 : 409-415.

■ Vayssières J.-F., 1999. **Les relations insectes-plantes chez les Dacini (Diptera Tephritidae) ravageurs des Cucurbitaceae à La Réunion.** Thèse doctorale, Université Paris XII, Paris, France.

■ Vayssières J.F. & Carel Y., 1999. **Les Dacini (Diptera Tephritidae) inféodées aux Cucurbitaceae à La Réunion : gamme de plantes-hôtes et stades phénologiques préférentiels des fruits au moment de la piqûre pour des espèces cultivées.** Annales de la Société Entomologique de France 35 : 197-202.

■ Vayssières J.-F., Rey J.Y. & Traoré L., 2007. **Distribution and host plants of *Bactrocera cucurbitae* in West and Central Africa.** Fruits 62 : 391-396.

■ Vayssières J.-F., Carel Y., Coubes M. & Duyck, P.F., 2008. **Development of immature stages and comparative demography of the two cucurbit-attacking fruit flies in Reunion Island: *Bactrocera cucurbitae* and *Dacus ciliatus* (Diptera Tephritidae).** Environmental Entomology 37 : 307-314.

■ Virgilio M., Delatte H., Backeljau T. & de Meyer M., 2010. **Macrogeographic population structuring in the cosmopolitan agricultural pest *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae).** Molecular Ecology 19(13) : 2713-2724.

■ Wharton R.A., Quilici S., Hurtrel B. & Mercado I., 1999. **The status of two species of *Psytalia* Walker (Hymenoptera: Braconidae: Opiinae) reared from fruit-infesting Tephritidae (Diptera) on the Indian Ocean islands of Reunion and Mauritius.** African Entomology 7(1): 85-90.

■ White I.E. & Elson-Harris M.M., 1992. **Fruit flies of economic significance: their identification and bionomics.** CABI, Wallingford, UK, 601 pp.

■ Willocquet L., Aubertot J.-N., Lebard S., Robert C., Lannou C. & Savary S., 2008. **Simulating multiple pest damage in varying winter wheat production situations.** Field Crops Research 107(1) : 12-28.

ANNEXE : REVUE DE PRESSE / APPENDIX : PRESS REVIEW

V. Duffourc

FDGDON-Réunion,
97460 Saint-Paul, La Réunion, France

Radio & télévision / TV & radio broadcasts

- **Antenne Réunion** 6, 8, 10 décembre 2011
Terre d'ici, tant de Gamour à partager
- **Réunion première** 23 novembre 2011
Bulletin d'informations et interview J-P. Deguine
- **Antenne Réunion** 14 juin 2011
Terre d'ici Gamour
- **Réunion 1^{ère} radio** 9 mai 2011
description de la FDGDON (foire de Bras panon)
- **Antenne Réunion** 18 mai 2010
Terre d'ici : les premiers fruits de Gamour
- **Réseau FAR** 11 mai 2010
La 3^{ème} de mille roches s'exprime sur le projet Gamour
- **Réseau FAR** 08 mai 2009
Interview Pascal Rousse

Presse écrite / Print media

- **La Croix** novembre 2011
Une technique douce et efficace pour lutter contre la « mouche des légumes »
- **Campagne et environnement** novembre 2011
Les méthodes Gamour
- **Le journal de l'île** 28 novembre 2011
Développer la mangue BIO
- **Le journal de l'île** 18 novembre 2011
Les mouches des légumes
- **Témoignage** 18 novembre 2011
Gamour pour lutter contre la mouche des légumes
- **Réunion première** 18 novembre 2011
Pack écolo contre les mouches
- **l'info.re** 18 novembre 2011
Gamour : la solution écologique contre la mouche des légumes
- **Orange** 18 novembre 2011
Lutter contre les mouches des légumes
- **Radio festival** 18 novembre 2011
Présentation de Gamour
- **Getlocalnews** 17 novembre 2011
Gamour pour lutter contre les mouches des légumes
- **Imaz press** 17 novembre 2011
Gamour pour lutter contre les mouches des légumes
- **Le journal de l'île** 29 juin 2011
Ces ravageur qui attaquent nos cultures (couverture)
- **Le quotidien** 2 avril 2011
Sale temps pour les mouches
- **z'infos 974** 1 avril 2011
Deux maraîchers de Petite-Ile primés pour leur culture sans insecticide

- **Phytoma** Mars 2011
Gamour, l'agroécologie en action à la Réunion : Gestion agro-écologique des mouches des légumes à la Réunion, en route vers une agriculture écologiquement intensive
- **Grand dossier dans Le Quotidien**
10 octobre 2010
- **Memento** juillet 2010
agriculture raisonnée, redonnons raison à la nature
- **Quotidien des jeunes** 26 mai 2010
Gamour : les jeunes et l'agriculture

- **z'infos 974** avril 2009
Gamour ou la lutte contre les mouches des légumes
- **Témoignages** avril 2009
En route vers l'agroécologie avec Gamour
- **Le Quotidien** 2 avril 2009
Ces autres méthodes de lutte
- **Réussir fruits & Légumes** mars 2009
Contre l'attaque des mouches
- **Le Quotidien** 12 mai 2008
Pour en finir avec les mouches des légumes



