

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION.....	1
2. ETAT DES CONNAISSANCES	3
2.1. Structure d'accueil.....	3
2.2. La Réunion, un écosystème particulier	5
2.3. Mouches des fruits et des légumes.....	7
2.4. La protection contre les mouches	10
2.5. Le Synéïs Appât®	13
3. MATERIELS ET METHODES	15
3.1. Efficacité du Synéïs Appât® au champ.....	15
3.2. Comparaison de deux supports d'application du Synéïs Appât® au champ..	18
4. PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS	20
4.1. Evaluation de l'efficacité du Synéïs Appât® au champ	20
4.2. Comparaison de deux supports d'application du Synéïs Appât® au champ..	26
5. DISCUSSION.....	28
5.1. Limites des résultats	28
5.2. Comparaison par rapport aux autres études.....	29
5.3. Application possible des résultats	31
5.4. Perspectives de recherche.....	31
6. CONCLUSION	32
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	33
LEXIQUE	37
TABLE DES TABLEAUX	40
TABLE DES MATIERES.....	41
TABLES DES SIGLES ET DES ABREVIATIONS	42
LISTE DES ANNEXES	43
ANNEXES	

1. Introduction

Les mouches des légumes (Diptera :Tephritidae) sont les principaux ravageurs des cultures maraîchères dans le monde entier. A la Réunion, la diversité climatique a permis le développement de plusieurs espèces de mouches appartenant à la famille des Tephritidae. Les échanges commerciaux croissants amplifient cette prolifération. Ces mouches des fruits et légumes représentent les premiers ravageurs des systèmes horticoles sur l'île, entraînant des pertes considérables, jusqu'à 90% au niveau de la récolte (Vayssière, 1999). En 2008, 408 065 quintaux de légumes frais ont été produits dans les exploitations de La Réunion (Agreste, 2009)

Les traitements chimiques, le plus souvent utilisés par les agriculteurs, se révèlent inefficaces, coûteux et néfastes, aussi bien pour l'environnement (impact des produits phytosanitaires sur les nappes phréatiques, destruction de la biodiversité) que sur la santé humaine. D'autres moyens doivent donc être envisagés pour gérer ces populations de ravageurs.

La démarche agroécologique représente une alternative à la lutte chimique. Elle repose sur trois principes : la prophylaxie (mise en place de systèmes moins sensibles aux bioagresseurs), la gestion des habitats et la lutte biologique de conservation (Deguine *et al.*, 2008). La lutte biologique de conservation consiste en une modification de l'environnement ou des pratiques culturales pour protéger ou favoriser des ennemis naturels ou d'autres organismes de manière à réduire les effets des bioagresseurs.

Après plusieurs études, le CIRAD a observé que l'implantation de plantes pièges autour des parcelles permet d'attirer ces ravageurs. En particulier, le maïs s'est révélé être la plante la plus efficace dans ce phénomène d'attraction à La Réunion sur les cultures de Cucurbitaceae (Atiama, 2008). Afin d'empêcher les femelles gravides de revenir pondre dans les cultures, des recherches ont été menées sur différents appâts adulticides appliqués sur le maïs. Parmi ces derniers, le Synëis Appât® (Dow Agrosience), composé de 99,98% de protéines attractives et de 0,02% d'insecticide biologique, semble être le plus efficace, présentant de surcroît plusieurs avantages. En effet, la pulvérisation a lieu sur le maïs ou sur un support en plastique évitant tout contact avec la culture en place. De plus, la dose appliquée (par tâches) est très faible par rapport à un traitement chimique classique.

Cependant, les études menées à La Réunion sont récentes (début 2009), et ont été réalisées pour la plupart en milieu contrôlé (petites cages d'élevage et grandes cages cylindriques d'extérieur).

Elles mettent en évidence l'efficacité du Synëis Appât® sur trois espèces de mouches présentes à La Réunion. En grande cage, la mortalité due au Syneïs Appât ® est très satisfaisante ; 98 % d'efficacité sur *B. cucurbitae*, 86% pour *D. demmerezi*, et 60% pour *D. ciliatus* (Deguine *et al.*, 2011). Ces résultats doivent être confirmés en plein champ.

Concernant l'application du produit, l'utilisation de plantes de bordures permet la concentration de la population de mouches et par conséquent l'augmentation de l'efficacité du produit. Cependant, il a été observé que l'attractivité du GF 120®, un homologue du Syneïs Appât ®, sur *B. cucurbitae* se réduit considérablement 24h après l'application du produit et est quasi inexistante après de fortes précipitations (Prokopy *et al.*, 2003 ; Revis *et al.*, 2004). L'association du produit à un stimulus visuel permet d'augmenter le temps d'attractivité et de protéger le produit des précipitations. Delpoux (2010) a mis au point un support d'application répondant aux contraintes climatiques de La Réunion. 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 que sur treilles de chouchous. Il protège le Synéïs Appât® de la pluie. Mais son efficacité doit être confirmée pendant l'été austral, lorsque la population de mouches est à son maximum.

L'objectif du stage est ainsi de préciser les modalités d'utilisation du Synéïs Appât® en agroécosystème horticole à La Réunion. Plus particulièrement, l'étude vise à :

- Evaluer l'efficacité du Synéïs Appât® au champ
- Comparer deux supports d'application du Synéïs Appât® au champ

Tout d'abord, un état des connaissances actuelles est effectué afin de souligner l'enjeu d'une gestion agroécologique des mouches de La Réunion. Puis, la méthodologie est détaillée, en exposant les différents protocoles menés en plein champ. Les résultats sont ensuite présentés, puis interprétés afin de préciser les modalités d'application du produit. Enfin, la discussion confronte ces résultats à d'autres travaux de recherche sur le Synéïs Appât®, avant d'exposer les applications possibles de cette étude.

2. Etat des connaissances

2.1. Structure d'accueil

2.1.1. Une structure d'envergure mondiale

Le CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement), établissement public à caractère industriel et commercial, est placé sous la double tutelle du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et du ministère des Affaires étrangères et européennes.

A partir de ses directions régionales, le CIRAD mène des activités de coopération avec plus de 90 pays. La figure 1 illustre cette répartition à travers le monde.

- **Le CIRAD, en quelques chiffres**

- ❖ 1800 agents, dont 800 chercheurs.
- ❖ 3 départements scientifiques : Systèmes biologiques (Bios), Performance des systèmes de production et de transformation tropicaux (Persyst), Environnement et sociétés (ES).
- ❖ 37 unités de recherche.
- ❖ 12 directions régionales en France métropolitaine, dans l'outre-mer français et à l'étranger.
- ❖ Budget de 203 millions d'euros en 2008.

- **Mission**

En partenariat avec les pays du Sud dans leur diversité, sa mission consiste à produire et transmettre de nouvelles connaissances, afin d'accompagner leur développement. Le CIRAD s'engage donc sur des activités variées : sciences du vivant, sciences sociales et sciences de l'ingénieur appliquées à l'agriculture, à l'alimentation et aux territoires ruraux.

Il travaille sur défis complexes tels que la sécurité alimentaire, l'intensification écologique, les maladies émergentes, et le devenir des agricultures des pays du Sud.

- **Stratégie**

Le CIRAD concentre ses recherches autour de six axes scientifiques prioritaires qui sont déclinés dans le tableau 1.

L'intensification écologique consiste à concevoir des systèmes de production durables, plus économes en intrants et moins nocifs pour l'environnement. Des variétés mieux adaptées à leur milieu peuvent être créées, et des techniques de lutte contre les maladies et les ravageurs inventées. Il est nécessaire de bien comprendre le fonctionnement de la nature afin d'exploiter ses ressources sans la détruire, et rompre avec les pratiques fondées sur l'utilisation intensive et massive de pesticides, d'engrais chimiques, d'eau et d'énergie fossile (CIRAD, 2011).

2.1.2. Le CIRAD à La Réunion

L'île de la Réunion accueille le deuxième dispositif du CIRAD en France, après Montpellier.

Les recherches sont programmées et financées pour six ans, de 2008 à 2013, dans le cadre d'un accord-cadre signé le 24 avril 2008 entre l'Etat (Direction de l'Agriculture et de la Forêt), la Région Réunion et le CIRAD. Le budget à la Réunion provient à presque 60 % du CIRAD et l'Etat, 20 % de l'Union Européenne (Feader, Feder) et plus de 20 % par la Région Réunion. Les installations sont réparties sur deux sites principaux : Saint-Denis et Saint-Pierre.

- **Le Pôle de Protection des Plantes (3P)**

Le pôle de protection des plantes situé à Saint-Pierre est spécialisé en recherche et expérimentation végétale. Il regroupe des partenaires et des équipements de haut niveau, voués à la recherche et l'accueil de scientifiques à l'échelle régionale et internationale. La plate-forme appuie les recherches du dispositif « Biodiversité et santé végétale ».

La plate-forme dispose de 3 000 m² de bureaux, laboratoires, quarantaines, serres, d'un centre de ressources documentaires, mais aussi de 5 ha de parcelles. Les équipements sont partagés avec ses partenaires: l'Université de la Réunion, le Laboratoire national de protection des végétaux et la Fédération départementale des groupements de défense contre les organismes nuisibles (FDGDON).

- **L'UMR PVBMT**

Le stage est réalisé au sein de l'UMR PVBMT (Unité Mixte de Recherche Peuplements Végétaux et Bioagresseurs en Milieu Tropical). L'organigramme est présenté en annexe I. Les recherches et les formations associées de l'unité concernent la protection des cultures tropicales et la préservation de la biodiversité des écosystèmes terrestres. Plus précisément, la mission s'effectue dans l'équipe « Dynamiques écologiques et interactions au sein des agrosystèmes ». Elle vise à mieux comprendre les facteurs qui prévalent à la mise en place des communautés insectes/plantes et les interactions qui s'établissent en leur sein ou entre elles.

2.2. La Réunion, un écosystème particulier

La Réunion est une île volcanique de l'Océan Indien, appartenant à l'archipel des Mascareignes. Elle se situe à environ 700 km à l'est de Madagascar et à 200 km au sud-ouest de l'île Maurice. D'une superficie de 2 512 km², et inhabitée jusqu'en 1665, elle compte aujourd'hui, trois siècles et demi plus tard, plus de 800 000 habitants. Elle est dotée d'un endémisme naturel exceptionnel. Administrativement, la Réunion est à la fois une région d'outre-mer et un département d'outre-mer français.

2.2.1. Contexte naturel

- **Climat et pluviométrie**

Le climat réunionnais est un élément majeur en matière de risques naturels à la Réunion. L'île de la Réunion est soumise à un climat tropical humide. On y distingue deux saisons :

- La saison « des pluies » ou « saison chaude »

L'été austral (novembre à avril). Les températures sont élevées : 26°C en moyenne pour le littoral, et 17°C en moyenne à 1 500 m d'altitude. L'humidité y est forte et les précipitations sont abondantes. C'est la période de formation de l'ensemble des dépressions tropicales dans le bassin sud-ouest de l'Océan Indien.

- La saison « fraîche » ou « sèche ».

L'hiver austral (mai à octobre). Les températures sont douces, voire fraîches pour les Hauts de l'île. Sur le littoral, la température moyenne est de 21°C, contre 12°C en moyenne à 1 500 m d'altitude. De plus, les pluies sont généralement peu abondantes. Par ailleurs, le régime des alizés, vents réguliers dont la direction dominante est orientée est /sud-est, est plus prononcé en cette saison hivernale.

Le climat réunionnais (cartes en annexe II) est très largement influencé par le relief de l'île. Il est par conséquent soumis à de grandes variabilités sur l'ensemble du territoire. L'île compte un grand nombre de microclimats. De manière plus globale, on y distingue la « côte au vent », à l'Est, directement soumise aux alizés et présentant une pluviométrie importante quelque soit la saison ; et la « côte sous le vent » à l'Ouest, relativement protégée des alizés et où le climat est globalement plus sec.

L'île de la Réunion détient des records climatiques concernant la pluviométrie. Pour des périodes de pluies s'étalant de 12 heures à quinze jours, l'île détient tous les records mondiaux de précipitations.

- **Pédologie**

La répartition des différents types de sols de La Réunion est une conséquence de l'âge des coulées volcaniques et des différents types de climat de l'île. Les sols cultivés se répartissent en six grands ensembles (andosols, andosols perhydratés, sols bruns andiques, sols bruns, sols ferrallitiques, sols vertiques). Les prairies sont essentiellement cultivées sur

des andosols perhydratés. Les productions maraîchères et les vergers sont surtout cultivés sur des andosols.

- **Géologie et relief**

L'île est bâtie sur deux grands domaines géologiques.

- Les deux tiers nord-ouest sont constitués de formations volcaniques anciennes issues du Piton des Neiges.
- Le tiers sud-ouest est bâti sur les flancs récents du massif volcanique actif du Piton de la Fournaise.

L'île de la Réunion, de par la jeunesse de son histoire volcanique, a été façonnée de telle sorte que ses reliefs sont tourmentés : cirques, falaises littorales, remparts de près de 1000 m de haut et ravines encaissées. Ses reliefs abrupts et majestueux, sont soumis à une forte érosion rapide, et à des mouvements de terrain pouvant prendre une ampleur considérable.

2.2.2. Contexte agricole

La surface agricole utile (SAU) occupe environ un cinquième du territoire (figure 2). Le territoire non agricole (surfaces artificialisées, zones volcaniques, zones humides ...) a augmenté depuis l'année 2000 avec l'extension de l'espace urbain liée à la démographie de l'île pour atteindre 65000 ha.

La diversité des climats entraîne des productions très variées : cultures purement tropicales (mangue, canne à sucre, vanille...) et productions de zones tempérées (pomme de terre, élevages laitiers...).

Le territoire agricole est dominé par la canne à sucre (57 %), les pâturages (29 %), les cultures fruitières (7 %) et légumières (3,7 %) (DAAF, 2011).

En 2007, 7 000 exploitations agricoles sont dénombrées à La Réunion. Leur nombre est en diminution de plus de 25 % par rapport à 2000, et de moitié par rapport à 1989. Les petites exploitations disparaissent alors que celles de plus de 5 hectares persistent. Cela entraîne une réduction de la population active agricole. La même année, l'agriculture représentait 2,4 % du produit intérieur brut réunionnais. Trois postes ayant un ordre de grandeur comparable constituent l'essentiel de la valeur de la production agricole réunionnaise en 2007 : la canne à sucre (95 millions d'euros) ; les fruits et légumes (115.8 millions d'euros) et les produits de l'élevage (105.3 millions d'euros) (DAAF, 2011).

En annexe III, une fiche de synthèse sur l'agriculture réunionnaise est disponible.

2.3. Mouches des fruits et des légumes

A La Réunion, les mouches des fruits et légumes sont considérées comme les ravageurs n°1 des cultures maraîchères, pouvant détruire jusqu'à l'intégralité de la production.

Elles causent des dégâts directs sur les cultures (fruits piqués invendables), ainsi que des dégâts indirects (développements de microorganismes au niveau des blessures causées par l'oviposition). Les femelles peuvent pondre (figure 3) une grande quantité d'œufs pendant leur vie d'adulte et se déplacent rapidement de fruits en fruits, ce qui en fait un ravageur redoutable. Les pertes dues aux mouches (figure 4) peuvent atteindre 90% de la récolte si aucune mesure n'est prise (Vayssières, 1999). Les fruits perdent en qualité et leur coût augmente notamment à cause des barrières limitant les exports sur le marché international (Nishida, 1957).

Les Tephritidae s'attaquant aux fruits et légumes font l'objet de nombreuses études en raison de leur importance économique (White & Elson-Harris, 1992). En effet, elle constitue l'une des plus grandes familles de diptères comprenant environ 4500 espèces (The Diptera Site, 2011). La sous-famille des Dacinae regroupe les ravageurs des cultures, et est elle-même divisée en trois tribus. Seules les deux étudiées dans ce rapport sont présentées: les Ceratitidini et les Dacini.

2.3.1. Caractéristiques et reconnaissance des mouches

Les mouches présentées ci-dessous sont celles qui sont retrouvées sur les essais 2009, 2010, 2011 à La Réunion. En effet, la majorité des expérimentations ont lieu sur des Cucurbitaceae, avec exceptionnellement une étude sur Solanaceae cette année.

La distinction entre les adultes mâles et femelles repose sur la présence chez la femelle d'un ovipositeur à l'extrémité de l'abdomen. Leur morphologie est exposée en annexe IV. La figure 5 illustre les descriptions des mouches des tribus Dacini et Ceratitidini présentées ci-dessous.

- **Les Dacini**

Cette tribu est composée de deux genres, *Dacus* et *Bactrocera*, et comporte environ 700 espèces décrites, bien que de nouvelles espèces soient régulièrement identifiées.

- Position taxonomique

Les Mouches des Cucurbitaceae appartiennent à l'ordre des Diptera, au sous-ordre des Brachycera Cyclorrhapha, à la super famille des Tephritoidea et à la famille des Tephritidae (Delvare & Aberlenc, 1989). Les trois espèces de mouches nuisibles aux Cucurbitaceae à La Réunion appartiennent à la sous-famille des Dacinae et à la tribu des Dacini (White & Elson-Harris, 1992): *Bactrocera cucurbitae*, *Dacus demmerezi* et *Dacus ciliatus*.

➤ Caractéristiques et reconnaissance des trois espèces

➤ *Bactrocera cucurbitae*

La Mouche du melon, a été introduite à La Réunion à partir de l'île Maurice, qu'elle avait probablement colonisée à partir de l'Inde en raison du grand nombre d'échanges commerciaux entre ces deux pays (Etienne, 1982). L'adulte, de couleur orangée, possède un scutum avec trois lignes médianes jaunes parallèles, deux larges bandes jaunes latérales et deux macules noires frontales. Les ailes portent trois taches noires.

➤ *Dacus demmerezi*

La Mouche des Cucurbitaceae de l'Océan Indien, est considérée comme originaire de Maurice, où elle a été décrite par Bezzi en 1923 (Orlan & Moutia, 1960). Elle est présente également à Madagascar (Paulian, 1953) et à La Réunion (Etienne, 1982). L'adulte est de couleur brune à brune-orangée, il porte deux macules noires frontales, deux soies scutellaires et une ligne latérale jaune remontant de la plaque latérale dorsale jusqu'au scutum. Les ailes sont caractérisées par une grande nervure sur laquelle est centrée une tache sombre diffuse.

➤ *Dacus ciliatus*

La Mouche éthiopienne des Cucurbitaceae, est probablement originaire d'Éthiopie où, elle est très largement distribuée (Maher, 1957). A La Réunion, elle a été signalée en 1964 par Pointel (Etienne, 1982). L'adulte de couleur rouge-orangée porte deux macules noires frontales et deux soies scutellaires. De plus, ses ailes sont transparentes avec une ligne costale noire qui se termine par une bande apicale.

• **Les Ceratitidini**

➤ *Neoceratitis cyanescens*

La mouche de la tomate est inféodée aux Solanacées, et plus particulièrement aux tomates. Elle est probablement une espèce indigène malgache introduite à La Réunion, puis à Maurice où les premiers dégâts sont mentionnés dans les années 50 (Orlan & Moutia, 1960). Sur l'île de La Réunion, son aire de répartition s'étend du littoral jusqu'à 1500 m d'altitude, en fonction des plantes-hôtes disponibles (Etienne, 1982). Ses ailes sont très enfumées, son abdomen généralement rouge, et une large bande jaune est visible sur son scutellum.

➤ *Ceratitis rosa*

La mouche du Natal est également originaire d'Afrique du Sud-Est (Baliraine *et al.*, 2004) et se rencontre également dans les Mascareignes (De Meyer, 2001). Elle a été détectée pour la première fois à La Réunion en 1955 (Etienne, 1973). Comme *C. capitata*, elle s'attaque à presque toutes les cultures fruitières. Elle est considérée comme la plus nuisible des trois *Ceratitis* présentes à La Réunion. Elle a colonisé toute les régions de l'île, du littoral jusqu'à 1500m d'altitude. Son abdomen est jaune-orange, et présente un réseau de lignes jaunes délimitant trois zones noires distinctes. Le mâle possède une forte pilosité noire sur les tibias postérieurs.

2.3.2. Cycle biologique des Tephritidae

Les Dacini et les Ceratitidini sont des insectes holométaboles. Les femelles pondent en général dans les jeunes fruits localisés grâce à divers stimuli. Le cycle, dont la durée diffère selon les espèces, se déroule en plusieurs étapes (White & Elson-Harris, 1992). Par exemple, le cycle des mouches des Cucurbitaceae, illustré par la figure 6, se déroule ainsi :

- Œuf : il est en général blanc et allongé. Les paquets d'œufs sont pondus dans les premiers millimètres sous l'exocarpe du fruit.
- Larve (asticot) : elle se développe dans le fruit en consommant sa pulpe et passe par trois stades. Juste avant la pupaison, l'asticot, de couleur ivoire avec une partie antérieure allongée munie de deux crochets buccaux noirs, sort du fruit en sautant, tombe au sol et s'y enfouit pour se nymphoser.
- Pupe : elle a la forme d'un tonnelet de couleur jaunâtre avec des stries transversales brunes.
- Adulte : après émergence, on considère que dix jours sont nécessaires pour qu'il atteigne la maturité sexuelle.

2.3.3. Rythme circadien des mouches

A la Réunion, plusieurs études récentes se sont intéressées au rythme circadien des mouches des Cucurbitaceae. Une tendance globale est enregistrée.

En effet, Petite (2009) étudie les mouvements des adultes mouches de Cucurbitaceae au sein du système «courgette+ bande de maïs». Pour trois dates, la densité de mouches sur le maïs augmente brusquement le matin entre 7h et 8h, et diminue entre 16h et 18h (figure en annexe V). Les conclusions d'Atiama (2008) et de Bonnet (2010) pour le même système mais dans des localités différentes sont semblables.

2.4. La protection contre les mouches

2.4.1. La lutte agrochimique inefficace

La mise en place de méthodes de lutte efficaces contre ces ravageurs s'avère très difficile, sachant que les différents stades du cycle biologique sont localisés dans divers sites: les œufs et les larves se développent dans les fruits tandis que la puppe est enfouie dans le sol. La plupart des méthodes de lutte ciblent donc le stade adulte. Pour obtenir une efficacité optimale, la lutte doit être menée pendant la période de préoviposition (période de maturation sexuelle) de la femelle afin d'empêcher la ponte. Il existe actuellement deux approches de lutte chimique contre les mouches : la lutte chimique classique et la lutte chimique raisonnée. La première est la plus couramment utilisée par les agriculteurs malgré les conséquences sanitaires et écologiques néfastes qu'elle engendre. Elle consiste en la pulvérisation d'insecticides pendant la période de sensibilité des fruits, (Roessler, 1989). Des résultats assez bons ont été attribués à la lutte chimique, du fait notamment qu'il n'a pas été réellement recensé de résistance aux insecticides chez les *Dacini* pendant longtemps (Roessler, 1989). Actuellement, il est admis que la lutte chimique, contre les ravageurs et plus particulièrement, contre les Mouches des Cucurbitaceae, mène à des impasses économiques, environnementales et sociales (Deguine *et al.*, 2008). Afin de limiter ces effets néfastes, la lutte chimique raisonnée a été envisagée. Celle-ci apporte une attention accrue aux modalités de traitements (fréquence, techniques d'application) et aux choix des insecticides (doses, familles). Néanmoins, cette lutte reste peu satisfaisante car elle reste basée sur l'agrochimie dont on connaît aujourd'hui les limites (Deguine *et al.*, 2008).

2.4.2. Les méthodes de lutte existantes à travers le monde

Les méthodes culturelles sont un complément indispensable afin d'abaisser les populations de mouches en dessous des seuils de nuisance. Par exemple, une méthode prophylactique consiste à collecter puis détruire ou isoler tous les fruits infestés qui constituent des réservoirs de mouches (Nishida & Bess, 1957).

La lutte par suppression des mâles ou « Male Annihilation Technique» (MAT) a été mise au point par Steiner (1955). Cette méthode vise les mâles que l'on attire et tue grâce à un attractif sexuel (Cue Lure ®) associé à un insecticide placé dans le même dispositif. Le Cue Lure ® s'est avéré particulièrement puissant pour attirer les mâles *B. cucurbitae* à Hawaii (Mc Gregor, 2007). A La Réunion, cet attractif n'attire que les mâles de *B. cucurbitae* et de *D. demmerezi*. Dans ce contexte, cette méthode ne peut être utilisée seule car elle pourrait provoquer un remplacement de ces espèces par *D. ciliatus* qui n'est pas attirée.

La lutte autocide ou « Sterile Insect Technique» (SIT) a été conçue par E.F Knipping (1955). Elle est basée sur l'élevage, la stérilisation par radiations ionisantes ou par chimiostérilisation et le lâcher d'un nombre suffisant de mâles stériles compétitifs en vue de les mettre en compétition avec la population de mâles sauvages. Le ratio de mâles stériles doit être suffisant pour permettre la diminution du potentiel reproductif de la population cible. Des succès d'éradication de populations de *B. cucurbitae* sur diverses îles d'Hawaii ont été obtenus (Steiner *et al.*, 1965 ; Îto & Koyama, 1982 ; Shiga, 1989 ; Kakinohana *et al.*; 1997).

La lutte biologique: les premiers travaux contre les Tephritidae ont commencé au début du siècle. Une des premières actions fut menée à Hawaii contre *B. cucurbitae* par Fullaway (1920) grâce à des lâchers de *Psytalia fletcheri* Silvestri (Braconidae) un parasitoïde larvopupal. Contre *D. ciliatus* à l'île Maurice, Moutia (1934) introduisit *Opiusphaeo stigma* Wilkinson à partir de l'Afrique du Sud. A La Réunion, après des introductions massives de plusieurs espèces de parasitoïdes, Etienne (1974) a reconnu des résultats très limités dans leur établissement. *Psytalia fletcheri* provenant d'Hawaii a été acclimaté avec succès à La Réunion à la fin des années 90 (Quilici *et al.*, 2004).

La lutte biotechnique: ce terme a été utilisé pour la première fois par Bolier dans les années 80. Cette lutte consiste en l'utilisation des connaissances sur le comportement des espèces en réponse à des stimuli olfactif et visuel pour une meilleure manipulation des populations (attraction, piégeage, ...).

2.4.3. La gestion agroécologique des ravageurs

La protection des cultures contre les mouches, qui a longtemps reposé sur une base agrochimique est aujourd'hui à la croisée des chemins à cause des nombreux risques provoqués par ces pratiques. L'enjeu est de développer d'autres procédés s'affranchissant des intrants chimiques. Le programme IPM (Integrated Pest Management), mis en place dans les années 1970, a constitué les prémices d'une lutte raisonnée. Cette lutte a généralement intégré uniquement la lutte biologique et chimique dans une démarche curative. L'enjeu actuel serait de passer à une démarche de prévention des infestations de mouches, basée sur un fonctionnement écologique plus équilibré et durable des agrosystèmes. Cette approche s'appuie sur une gestion agroécologique des communautés végétales (plantes cultivées et non cultivées) et animales (insectes ravageurs, insectes utiles, pollinisateurs) à des échelles de temps et d'espace élargies (Deguine *et al.*, 2008).

- **Bases conceptuelles de l'agroécologie**

La notion d'agroécologie n'est apparue qu'à partir des années 1970 avec la naissance du terme agroécosystème (Harper, 1974). La définition présentée par Dalgaard *et al.* (2003) est désormais admise dans la communauté scientifique : l'agroécologie est l'étude des interactions entre plantes, animaux, hommes et environnement à l'intérieur des agroécosystèmes. Le principe fondateur de la gestion agroécologique d'un agrosystème est de restaurer la biodiversité en s'inspirant des systèmes naturels et ceci dans le but de se rapprocher du fonctionnement des écosystèmes naturels (Nicholls & Altieri, 2004). On considère que c'est la diversité des espèces qui explique le plus largement la stabilité et la durabilité des écosystèmes naturels (Dupraz, 2006), qu'on a souvent traduit par la règle des 5M « Making Mimics Means Managing Mixtures » (imiter la Nature impose de mélanger les espèces).

- **La gestion agroécologique**

Dans le cas de la gestion de ravageurs, la conception d'agroécosystèmes défavorables à long terme à leur développement, et moins vulnérables à leur invasion, infestation et pullulation, repose sur l'élaboration de solutions d'ordre agroécologique (Deguine *et al.*, 2008). La santé des cultures et la stabilité de la production résultent d'un équilibre écologique entre les cultures, le sol, les nutriments, la lumière, l'humidité et les divers composants de la biocénose (Deguine *et al.*, 2008). Pour rendre l'agroécosystème peu sensible aux ravageurs, les agroécologues cherchent à se rapprocher du fonctionnement des écosystèmes naturels. Ils s'appuient sur deux principales bases de travail visant à se rapprocher de ces écosystèmes durables:

- l'incorporation de diversité végétale au sein de l'agroécosystème
- la conservation et l'amélioration de la santé des sols (fertilité, activité biologique, structure, ...) (Altieri, 1999).

Outre les techniques classiques de protection intégrée, l'accent est mis sur les pratiques culturales et les modalités de gestion des peuplements végétaux favorisant le maintien ou la création d'habitats favorables à la faune utile indigène et/ou défavorables à la faune nuisible. La protection agroécologique des cultures s'opère à des échelles de temps et d'espaces élargies, passant du simple cycle de culture à plusieurs années et de la parcelle à l'agroécosystème ou au paysage. Elle associe la gestion de peuplements végétaux (cultures et plantes non cultivées aux abords des parcelles comme dans l'agroécosystème en son entier) à celle de peuplements animaux tels que ravageurs, auxiliaires divers et pollinisateurs (Deguine *et al.*, 2008). La protection agroécologique des cultures implique donc une action concertée entre les différents acteurs concernés, notamment les agriculteurs et les gestionnaires de l'espace.

- **Le projet GAMOUR**

Le CIRAD, en partenariat avec de nombreux acteurs du monde agricole a conçu un projet de Gestion Agroécologique des MOUches des légumes à La Réunion : GAMOUR. Ce projet a démarré en 2009. Il est innovant à la fois par l'approche et les techniques agroécologiques transférées pour la première fois avec et chez les agriculteurs et par la motivation des nombreux partenaires à s'engager dans une nouvelle façon de penser l'agriculture, plus durable, plus saine et plus respectueuse de l'environnement. Le CIRAD, a mis au point un paquet technologique de gestion agroécologique des mouches : le SP5. L'utilisation de produits chimiques dans ce paquet technique est supprimée. Appliqué à grande échelle dans le temps et dans l'espace, il permet de gérer les populations de mouches afin qu'elles ne causent plus de dégâts significatifs sur les cultures.

Il s'agit de la combinaison de la Surveillance avec la Prophylaxie, les Plantes pièges, le Piégeage de masse, les Parasitoïdes & prédateurs et les Pratiques agroécologiques (d'où SP5). La figure 7 expose ce paquet technique. Le détail de chacune des actions est présenté en annexe VI.

Les plantes pièges sont utilisées comme procédé d'attraction-répulsion «*push-pull*». Il repose sur l'utilisation d'un ensemble de stimuli modifiant le comportement des insectes. La stratégie consiste, d'une part, à réduire les populations des ravageurs en les repoussant pour qu'ils ne s'installent pas dans les cultures et, d'autre part, à les attirer sur d'autres

peuplements végétaux situés en bordures où leur concentration pourra faciliter leur éventuelle élimination. (Deguine *et al*, 2008).

La voie considérée ici associe le « push pull » à la technique « attract & kill ». Cette dernière repose sur l'utilisation d'appâts adulticides comme le Synéïs Appât® sur des plantes de bordures afin d'empêcher les femelles gravides d'aller pondre dans les cultures.

2.5. Le Synéïs Appât®

- **Composition**

Le Synéïs Appât® est composé de spinosad (0,02%), la matière active, ainsi que majoritairement (99,98%) de protéines de maïs, de sucres et de composés stimulant l'appétence des insectes cibles comme l'acétate d'ammonium. Le spinosad, synthétisé par une bactérie du sol *Saccharopolyspora spinosa*, est un mélange de spinosines A et D. La composition du produit permet d'associer une action d'attraction de l'insecte (figure 8) avec un effet insecticide. Son homologue est le GF120®, utilisé à Hawaii dans le cadre d'un programme de protection des cultures (HAWPM).

- **Mode d'action**

Le spinosad agit principalement par ingestion mais il peut aussi avoir une action par contact sur certains insectes. Lorsqu'il est absorbé, le spinosad atteint le système nerveux central et agit au niveau d'un site spécifique du récepteur d'acétylcholine, distinct de celui des autres insecticides. Il dépolarise les neurones qui commandent les muscles moteurs. Cela provoque une hyperexcitation nerveuse (Salgado, 1998) qui est suivie par une paralysie des muscles. Le ravageur ne peut plus s'alimenter et meurt. Quand le processus est engagé, il n'est pas réversible.

- **Efficacité**

L'homologue du Synéïs Appât®, le GF120®, a été utilisé avec succès à Hawaii contre *B. cucurbitae* et *B. dorsalis* dans le cadre du « HAWPM program ». Il est communément appliqué sur la végétation bordant la parcelle pour contrôler les populations de mouches des légumes (Prokopy *et al.*, 2004). En effet, en étudiant le comportement des mouches, il a été montré que les attractifs protéinés ont leur efficacité qui se voit augmentée lorsqu'ils sont appliqués sur la végétation environnante de la parcelle cultivée (Nishida & Bess, 1957). Il a été démontré que le GF120®, associé à des plantes pièges était efficace pour prévenir l'entrée de femelles *B. cucurbitae* âgées de 4 semaines sur une parcelle de concombres (Prokopy *et al.*, 2003). Cependant, dans la pratique, des variations importantes d'efficacité sont observées entre les agriculteurs : la densité de plantation et l'espèce de plantes piège choisie peuvent modifier l'efficacité du GF120® (Vargas, 2009). Les symptômes liés à l'ingestion apparaissent immédiatement (paralysie de l'insecte, perte de la fonction de vol), la mortalité en revanche apparaît quelques heures après. En grandes cages, le GF120® peut être efficace jusqu'à 14 jours (Mangan, 2005).

- **Effets non intentionnels**

Bien que le GF120® soit considéré comme une bonne alternative aux insecticides à large spectre en raison de son faible impact sur l'environnement et de sa non-toxicité pour les mammifères, les avis sont partagés sur ses effets collatéraux, notamment sur les ennemis naturels des mouches des légumes. Les études se multiplient à ce sujet. Williams *et al.* (2003), ont créé une banque de données regroupant toutes les informations publiées, sur l'effet du GF120® sur les prédateurs et les parasitoïdes des mouches des légumes. Au vu des publications, les hyménoptères parasitoïdes sont plus sensibles au spinosad que les prédateurs. Leur durée de vie et leur capacité de reproduction en sont affectées.

D'autres impacts néfastes ont été répertoriés. Wang (2006) a observé une forte sensibilité au GF120® de trois espèces de Tephritidae introduites à Hawaii pour lutter contre certaines adventices. La fiche signalétique du Synéïs Appât® note un effet létal du produit sur les abeilles en pulvérisation directe.

L'utilisation du spinosad doit être par conséquent soigneusement contrôlée, lorsqu'il est appliqué dans un plan de protection nécessitant la conservation de parasitoïdes, ou de pollinisateurs.

- **Intérêt en protection agroécologique**

Le Synéïs Appât® possède plusieurs caractéristiques qui lui donnent une place privilégiée dans la gestion agroécologique des mouches des légumes. Très actif en faible quantité, il n'est pas nécessaire de le pulvériser sur la parcelle et il est généralement utilisé en association avec des plantes pièges qui concentrent préalablement la population de mouches à l'extérieur de la parcelle (Deguine *et al.*, 2011). Son application se fait par « tâches » (figure 9) espacées de cinq mètres environ (Prokopy *et al.*, 2003) et doit être renouvelée au minimum toutes les semaines, du fait de la perte d'efficacité qui apparaît avec le vieillissement du produit (Vargas *et al.*, 2008). Ainsi la quantité de produit utilisée par les agriculteurs est plus faible qu'avec les insecticides à large spectre.

Des études réalisées sur la toxicité résiduelle du produit, ont montré qu'il se dégrade rapidement au champ (trois à sept jours de toxicité post application), réduisant ainsi les risques environnementaux (Williams, 2003).

Depuis mai 2008, le spinosad est autorisé en agriculture biologique. En effet, cette substance naturelle est inscrite à l'annexe II du règlement 2092/91/EC (règlement N° 404/2008, publié au Journal Officiel le 7 mai 2008). De plus, elle est produite par un micro-organisme qui n'est pas génétiquement modifié (Dow AgroSciences, 2011).

3. Matériels et méthodes

3.1. Efficacité du Synéïs Appât® au champ

Comme expliqué dans le préambule, la présente étude intègre l'exploitation des résultats obtenus en 2009 et 2010 sur les essais au champ. Le protocole détaillé ci-dessous correspond à l'essai 2011 sur la parcelle B à Tan Rouge. Les protocoles de 2009 et 2010 étant très semblables, seules les particularités liées à ces années sont précisées.

3.1.1. Essai 2011, parcelle B, Tan Rouge

- **Dispositif expérimental**

La parcelle expérimentale est localisée à Tan Rouge (commune de Saint-Paul) à une altitude de 750 m chez M. Serge Glénac.

Il s'agit d'un dispositif « grande parcelle » avec répétitions ; quatre pour les cultures de citrouilles (*Cucurbita pepo*) et deux pour les tomates (*Solanum lycopersicum L.*).

Le plan de la parcelle B est présenté sur la figure 10.

Deux parcelles élémentaires couplées forment une sous-parcelle. L'une est composée d'une bordure traitée, et l'autre n'est pas traitée. Chaque parcelle élémentaire est délimitée sur ses quatre côtés par une bordure de maïs (*Zea mays*) semée sur un rang. Les autres plans de parcelles sont disponibles en annexe VII.

La figure 11 illustre une partie du dispositif mis en place sur la parcelle B à Tan Rouge en 2011 lors du premier traitement au Synéïs Appât® (le 18.04.11). Au premier plan, la bordure de maïs est visible, et juste derrière une culture de citrouilles (à gauche la placette PE2 et à droite la placette PE1).

❖ Conditions culturales

Le principe est d'avoir, lorsque la fructification de la culture démarre, des plants de maïs suffisamment développés pour servir d'abris aux mouches. Chaque culture est donc plantée à une date précise. La citrouille est plantée le 15 janvier 2011 avec du fumier à géranium. La bordure de maïs est mise en place le 25 janvier 2011. Les tomates sont semées sous serre au CIRAD le 19 mars 2011, puis repiquées le 26 mars avec Vegethumus® (amendement organique) sur la parcelle.

L'observation sur les bordures se fait par placette. L'ensemble de la parcelle représente 26 placettes (1 à 26). Dix points d'observations, correspondant aux endroits de traitement au Synéïs Appât® (S1 à S10), sont situés au milieu de chaque placette. Pour les cultures, six placettes élémentaires sont délimitées (PE1 à PE6).

❖ Traitement

Les traitements ont lieu sur les bordures des parcelles élémentaires deux fois par semaine, le lundi et le jeudi, à 9h. Le produit utilisé est le Synéïs Appât®, appliqué à la

concentration de 1:5 (10 ml de produit pour 40 ml d'eau). L'application se fait par taches à l'aide d'un pulvérisateur à main, à environ un mètre de hauteur et espacées de dix mètres les unes des autres. En cas de pluie, aucun rattrapage n'est effectué.

- **Protocole d'observation**

Pour chaque application du biopesticide, quatre observations ont lieu sur les bordures de maïs et dans les cultures de tomates et courrouilles. Elles concernent l'ensemble des parcelles élémentaires traitées et non traitées. Le premier comptage est réalisé à 8h (H-1), soit une heure avant le traitement sur les parcelles. Trois autres comptages ont lieu après le traitement, à 12h (H+3), 15h (H+6) et le lendemain à 9h (H+24).

Sur les bordures de maïs traitées, on distingue les zones où le produit est appliqué (tache) et les zones non traitées (hors-tache). A l'intérieur de la parcelle, le déplacement se fait selon une marche lente. Lors du comptage, on distingue l'espèce et le sexe des mouches des légumes et fruits. L'évaluation de l'efficacité du produit se fait selon le nombre total de mouches attirées au niveau des différentes unités d'observation (placettes, zone tache/hors-tache).

3.1.2. Essai 2011, parcelle A, Tan Rouge

Les parcelles A et B sont distantes d'une centaine de mètres

L'ensemble de la parcelle A représente 39 placettes (1 à 39). Vingt-deux points d'observations, correspondent aux endroits de traitement au Synéïs Appât® (S1 à S22), à l'intersection entre deux placettes. Pour les cultures, six placettes élémentaires sont délimitées (PE1 à PE6).

3.1.3. Essai 2010, Piton Bloc

Les parcelles expérimentales sont localisées à Piton Bloc (Petite-Ile) chez M. Guy-René Hoareau. La parcelle A, témoin (bordure non traitée), est constituée d'une culture de courgette avec deux rangs de maïs en bordure. La parcelle B contient également une culture de courgettes, mais la bordure est traitée au Synéïs Appât®. L'application est espacée à un intervalle de cinq mètres entre les taches.

3.1.4. Essai 2009, Piton Hyacinthe

La parcelle expérimentale est située à Piton Hyacinthe chez M. Ivano DAMOUR.

La parcelle est composée de cultures de courgettes, et de maïs en bordure traité. L'intervalle entre les taches est de sept mètres. Le Synéïs Appât® est appliqué à la concentration 1:10 (10 ml de produit pour 90 ml d'eau).

- **Analyse statistique**

Tous les tests statistiques, effectués au seuil de 5%, sont réalisés à partir du logiciel R (version 2.13.0, R Development Core Team, 2009, Vienne, Autriche). Une partie des

graphiques est obtenue par ce logiciel, l'autre par le tableur Microsoft Excel (Pack Office 2007).

Pour les données liées à l'étude, le facteur « placette » augmente les degrés de liberté mais renforce le risque d'erreur de type 1 (Rabas *et al.*, 2005) car les données sont corrélées dans le temps et dans l'espace. Afin de minimiser ces erreurs, un modèle mixte linéaire généralisé (GLMM) est appliqué.

Le GLMM est réalisé en adoptant une distribution de Poisson sur les erreurs avec la fonction de lien log puisqu'on réalise des comptages. Dans ce modèle, la réponse des variables est fonction des données brutes. Elle est la combinaison linéaire d'effets fixes et d'effets aléatoires (Littell *et al.* 1996).

Les effets fixes sont les facteurs « date d'observation », « lieu », « espèce » et « sexe des mouches ». L'effet aléatoire correspond au facteur « heure » d'observation des mouches sur les bordures de maïs traitées dont les modalités sont les différentes heures. Seules les données sur bordures de maïs traitées sont analysées.

Le GLMM prend uniquement en compte les situations où l'effectif de mouches pour l'ensemble des heures d'observation est au minimum égal à deux fois le nombre de placettes constituant la bordure de maïs de la parcelle (cf. plan de parcelles).

Dans les résultats, un test est « significatif » si la p-value est comprise entre 0.05 et 0.01, « hautement significatif » si la p-value est comprise entre 0.01 et 0.001 et « très hautement significatif » pour une p-value inférieure à 0.001. La p-value est la probabilité que la statistique de test soit supérieure à la valeur observée sous l'hypothèse nulle.

3.2. Comparaison de deux supports d'application du Synéïs Appât® au champ

- **Dispositif expérimental**

Au total, l'essai est répété sept fois (sept dates) dans trois lieux différents : Petite-Ile (3), Etang-Salé (2), et Dassy (St Pierre, 500 m d'altitude) (2). Les dispositifs sont placés sur des piquets à dix mètres d'intervalle et à un mètre de hauteur. Les deux types de pièges, disposés en alternance, entourent des parcelles composées de cultures différentes (pas spécialement des *Curcubitaceae*). La présence d'une bordure de maïs n'a pas d'importance. Ils sont laissés pendant une durée de quatre jours.

Deux types de pièges sont utilisés : le parapluie jaune (figure 12) et la demi-bouteille jaune horizontale (figure 13).

- Parapluie jaune (pj)

Le support de référence d'application du Synéïs Appât® est un « parapluie jaune » appelé aussi « umbrella trap ». Il est fabriqué à Taïwan et utilisé dans ce pays contre les Mouches des fruits. Il est composé d'un cône en plastique jaune (12 cm de diamètre, 12 cm de hauteur et 1 mm d'épaisseur) et d'une attache en plastique (6 cm de longueur) permettant d'accrocher le support.

- Demi-bouteille jaune horizontale (db)

Ce support réunionnais est une bouteille jaune (bouteille d'huile) coupée en deux dans le sens de la hauteur. Chaque extrémité de la demi-bouteille a été ensuite coupée. Sa dimension finale est de 13.5 cm de longueur, 7 cm de diamètre. Le Synéïs Appât® est appliqué sur la face intérieure de la bouteille. La demi-bouteille est suspendue sous la treille ou dans les bordures de maïs grâce à des fils de fer situés à chaque extrémité de la bouteille.

- ❖ Traitement

Le produit utilisé est le Synéïs Appât®, avec une dose de 1:5 (10ml de produit pour 40 ml d'eau). L'application se fait à l'aide d'un pulvérisateur à main en appliquant le produit sur la face intérieure du support. Le support est au préalable enduit de glue (Kollant S.P.A, Padova, Italie) afin de retenir les mouches et de pouvoir les comptabiliser.

- **Protocole d'observation**

Après avoir été relevés, les pièges sont observés en laboratoire. On distingue uniquement les espèces de mouches, car le sexe est trop délicat à déterminer, engluées sur la face intérieure du support.

L'évaluation de l'efficacité de chaque dispositif, en termes d'attractivité, se fait selon le nombre total de mouches collées.

- **Analyse statistique**

L'analyse est effectuée à l'aide d'un modèle linéaire généralisé (GLM) avec une distribution de Poisson sur les erreurs avec la fonction de lien log puisqu'on réalise des comptages. En effet, les données brutes sont obtenues par comptage et la taille de l'échantillon n'est pas connue. En cas de sur-dispersion des données, une distribution quasi-Poisson est appliquée. Le test de comparaison multiple utilisé correspond alors au test de Fisher, sinon le test est fondé sur le Chi2.

Dans les résultats, un test est dit significatif si la p-value est comprise entre 0.05 et 0.01, hautement significatif pour une p-value comprise entre 0.01 et 0.001 et très hautement significatif pour une p-value inférieure à 0.001.

4. Présentation et analyse des résultats

4.1. Evaluation de l'efficacité du Synéïs Appât® au champ

4.1.1. Efficacité à l'échelle du cycle de culture

❖ En 2009 et 2010

L'essai 2009 est constitué d'une seule parcelle avec la bordure de maïs traitée. On rappelle aussi que l'essai de 2010 est constitué de deux parcelles éloignées de plusieurs mètres : la bordure de maïs de la parcelle B est traitée, celle de la parcelle A ne l'est pas.

La figure 14 illustre l'évolution des populations de mouches de Cucurbitaceae (moyenne de mouches par mètre de bordure) sur le maïs (traité ou non traité), une heure avant l'application du Synéïs Appât® pour les années 2009 (Piton Hyacinthe), 2010 (Piton Bloc) et 2011 (Tan Rouge).

En 2009, la population initiale (avant traitement) est de 1,33 mouches/mètre de maïs traité le 14.04.09. Sur une durée de neuf jours (soit après deux applications au Synéïs Appât), la population diminue et atteint un minimum le 23.04.09 avec 0,21 mouche/m. Une légère augmentation est observée après le troisième traitement (0,55 mouche/m le 27.04.09), suivie d'une diminution (0,21 mouche/m le 04.05.09). Aucune parcelle témoin n'est mise en place mais des observations sur les bringelliers marrons (*Solanum mauritianum*) situés à côté de la parcelle traitée permettent d'observer l'évolution des populations de mouches sur une zone non traitée. Les populations y sont relativement constantes pendant toute la durée de l'essai. Cela permet de confirmer l'efficacité du traitement qui entraîne une diminution des populations de mouches sur les bordures traitées.

Comme en 2009, la moyenne de mouches sur la bordure traitée en 2010 diminue régulièrement entre chaque traitement (figure 14). Elle varie de 3,50 mouches/m (le 26.02.10) à 1,10 mouches/m (le 01.03.10). Sur la bordure non traitée, la moyenne initiale est légèrement plus élevée (5,10 mouches/m mais dès le 02.02.11, mais la diminution est ensuite du même ordre de grandeur que sur la bordure traitée.

❖ 2011

On rappelle que l'essai de 2011 est constitué de deux parcelles distinctes (A et B), chacune divisée en deux zones : l'une est composée d'une bordure traitée et l'autre d'une bordure non traitée.

Comme exprimé dans le préambule, l'année 2011 est particulière. En effet, les effectifs dénombrés sont très faibles et les conditions agronomiques des parcelles n'ont pas permis une bonne synchronisation de la mise en place des bordures de maïs et des cultures.

Cela ne permet pas de dégager une tendance d'évolution des effectifs, comme le montre la figure 14.

En effet, pour la parcelle A et B, la moyenne de mouches est toujours inférieure à 1 mouche par mètre.

En 2009 et 2010, entre deux traitements consécutifs (3-4 jours), les populations de mouches sur la bordure de maïs diminuent. Globalement, sur plusieurs semaines et en période de forte population de mouches, le Synéïs Appât® est efficace au champ.

En 2010, les populations sur la bordure non traitée suivent la même tendance que celles sur la bordure traitée. Une explication possible est que la parcelle traitée et la parcelle non traitée sont trop proches l'une de l'autre et que la distance d'attractivité des mouches par le Synéïs Appât® est supérieure à la distance entre les parcelles traitées et les parcelles non traitées.

4.1.2. Efficacité entre deux traitements

- **Tendance d'évolution des populations**

La figure 15 illustre l'évolution des populations de mouches sur la bordure de maïs traitée au Synéïs Appât® pour chaque heure d'observation (H-1, H+3, H+6, H+24, H+48, H+72), espèces (Bc : *B. cucurbitae*, Dd : *D. demmerezi*, Dc : *D. ciliatus*), et sexes confondus, en 2009 à Piton Hyacinthe (quatre dates) et en 2010 à Piton Bloc (quatre dates).

- ❖ 2009

Pour les quatre dates, une augmentation des populations est visible juste après le traitement au Synéïs Appât (entre H-1 et H+3). Entre H+3 et H+6, les populations diminuent dans tous les cas sauf pour la dernière observation (04.05.09). Entre H+6 et H+24, les courbes sont variables : pour deux dates (14.04.11 et 27.04.11) les populations augmentent, pour les deux autres, elles diminuent.

- ❖ 2010

La tendance est exactement la même. Les populations augmentent juste après le traitement (entre H-1 et H+3). Entre H+3 et H+48, les populations diminuent dans tous les cas (avec des variations possibles entre deux heures d'observation).

Pour 2011, les courbes sont présentées en annexe VIII.

En 2009 et 2010, deux tendances se dégagent.

1/ Les populations de mouches sur le maïs augmentent dans les trois heures qui suivent le traitement.

2/ Elles diminuent ensuite pendant les trois jours qui suivent.

- **La tendance se confirme-t-elle pour chaque espèce et sexe ?**

Pour chaque année, il y a quatre dates d'observations, trois espèces comptabilisées, et deux sexes différenciés, soit un total de 24 situations possibles.

On rappelle que les résultats sont obtenus par l'application d'un GLMM (cf. Matériels et méthodes). La condition d'acceptation du modèle est la suivante : l'effectif de mouches pour l'ensemble des heures d'observation est au minimum égal à deux fois le nombre de placettes constituant la bordure de maïs de la parcelle (cf. plan de parcelles).

Il y a 20 situations pour 2009, et 19 situations pour 2010. De plus, l'analyse ne porte que sur les situations où l'effectif le plus élevé est supérieur à une mouche par placette.

Pour 2009, 18 situations sont comptabilisées, et pour 2010, 17 situations.

Plus les effectifs sont élevés, plus l'analyse est pertinente. Ainsi, pour chaque année une analyse détaillée est réalisée sur l'espèce dominante. C'est l'espèce *B. cucurbitae* en 2009 et *D. demmerezi* en 2010, ce qui représente au total huit situations. La figure 16 illustre l'évolution des populations de *B. cucurbitae* à Piton Hyacinthe (14.04.09 et 20.04.09) entre H-1 et H+24, et *D. demmerezi* à Piton Bloc (26.01.10 et 15.02.10) entre H-1 et H+48, sur la bordure de maïs traitée au Synéïs Appât®.

❖ Tendances

Les tendances observées dans la figure 15 sont vérifiées. En effet, pour les huit situations, les populations augmentent entre H-1 et H+3, et diminuent après H+3.

Les résultats du modèle dans les autres situations sont présentés dans les figures en annexe IX.

Le tableau 2 permet de visualiser un bilan des tendances d'évolution des populations de mouches de Cucurbitaceae pour les autres situations en 2009 et 2010,

Pour la majorité des situations, les mêmes tendances d'augmentation et de diminution (comptabilisées indépendamment) sont vérifiées. En effet, 85% des situations présentent une augmentation jusqu'à H+3, suivie pour 64% d'une diminution jusqu'à H+6.

❖ Analyse statistique

- L'augmentation entre H-1 et H+3 n'est significative que dans deux cas sur huit (mâles de Dd) (p -value=0,0023 le 15.02.10 et p -value<0,001 le 26.01.10).
- La diminution entre H+3 et H+6 est significative dans cinq cas sur huit (p -value<0,001 le 14.04.09 pour les mâles et femelles et le 15.02.10 pour les mâles, le 26.01.10 p -value=0,0159 pour les mâles, et p -value=0,03603 pour les femelles).
- La diminution globale des effectifs après un ou deux jours n'est significative que dans un cas sur huit (femelles de Dd le 15.02.10) (p -value<0,001)

En annexe X, un détail des résultats des différences significatives du modèle est présenté pour ces huit situations.

Les résultats pour les années 2009 et 2010 (parcelles de courgettes ou citrouilles) convergent et permettent de dégager deux tendances principales.

1/ L'application du Synéïs Appât® engendre une augmentation des populations pendant quelques heures.

2/ Les populations diminuent ensuite.

*Les études de 2011 ne permettent pas de confirmer ou d'infirmer ces résultats. Par ailleurs, l'efficacité du Synéïs Appât® sur les tomates (*Solanum lycopersicum* L.) ne peut être prouvée.*

Ces évolutions s'expliquent par le mode d'action du Synéïs Appât® sur le maïs: la phase d'augmentation reflète l'effet « attractivité » du produit (appât protéiné), et la diminution montre l'effet « insecticide » (spinosad).

Au-delà de six heures, l'évolution est variable: aucune tendance ne se dégage. Une hypothèse avancée est que les conditions extérieures ont un fort impact sur la rémanence de l'application : une pluie peut lessiver le produit appliqué sur les feuilles et annuler son efficacité.

- **Différence d'efficacité sur les espèces**

La figure 17 illustre l'évolution des populations de mouches pour les espèces *B. cucurbitae* (Bc), *D. ciliatus* (Dc), *D. demmerezi* (Dd), sur bordure de maïs traitée en 2009 (Piton Hyacinthe) et 2010 (Piton Bloc). Seules les situations où il y a au moins trois comptages réalisés sont présentées, soit au total sept situations.

- ❖ *B. cucurbitae* (Bc) et *D. demmerezi* (Dd)

Pour l'espèce Bc, le pic de mouches sur la bordure traitée est atteint à H+3 dans quatre situations sur sept (14.04.09, 20.04.09, 27.04.09, 15.02.10). L'espèce Dd suit la même tendance avec cinq situations sur sept (14.04.09, 20.04.09, 27.04.09, 26.01.10, 01.03.10).

Pour l'ensemble de ces situations, après H+3 les populations diminuent.

- ❖ *D. ciliatus* (Dc)

Dc réagit différemment de Bc et Dd. Dans un seul cas *D. ciliatus* (Dc) présente ce pic en H+3 suivi d'une diminution (le 14.04.09).

Pour la majorité des situations (cinq situations sur sept) les populations augmentent sur le maïs entre H-1 et H+24 (avec des variations entre les observations possibles), et l'effectif est supérieur à la situation initiale. Cependant à H+48, dans trois cas sur cinq, les populations atteignent un niveau inférieur à H-1.

*Pour toutes les espèces, l'attractivité démarre dès le traitement au Synéis Appât®.
La réaction après l'application est particulière pour chaque espèce.*

*1/ Les populations de *B. cucurbitae* et *D. demmerezi* diminuent dans la journée qui suit le traitement (24h). Cela met en évidence la sensibilité rapide de ces deux espèces au produit.*

*2/ Le comportement de *D. ciliatus* face à l'application du Synéis Appât® est différent. L'effet attractif du produit est plus long (24h). Et l'effet insecticide, entraînant la mortalité, n'est notoire que deux jours après la date du traitement (48h). Ceci confirme les résultats en grandes cages (Deguine et al., 2011).*

4.2. Comparaison de deux supports d'application du Synéïs Appât® au champ

4.2.1. Efficacité des supports

La figure 18 illustre les effectifs cumulés de mouches comptabilisées sur les deux types de supports traités au Synéïs Appât®, toutes espèces et lieux d'observation confondus, après avoir été posés pour une durée de trois jours. Les supports sont traités sur leur face interne.

L'efficacité du support se traduit par la proportion de mouches accédant au produit sous le support. Au total, le parapluie jaune (pj) attire légèrement plus de mouches de fruits et légumes (520 mouches) que la demi-bouteille jaune horizontale (db) (509 mouches). Cependant il n'y a aucune différence significative ($p\text{-value}=0,92$) entre les deux supports.

Au champ, après traitement et sur une durée de trois jours, la demi-bouteille jaune horizontale (modèle « péi ») semble avoir la même attractivité que le parapluie jaune de référence.

4.2.2. Efficacité et localisation

La figure 19 illustre les effectifs moyens de mouches par support traité au Synéïs Appât®, en différenciant les lieux de pose (Dassy, Etang-Salé, Petite-Ile) pour une durée de pose de trois jours.

A Dassy, la moyenne des effectifs est de 68 mouches pour 10 db; supérieure à celle des pj (33 mouches). A Etang-Salé, plus de mouches se retrouvent sous les db (37 mouches pour les db et 18 mouches pour les pj).

A Petite Ile, le support attirant le plus de mouches est le pj: 100 mouches pour les db et 141 mouches pour les pj. Pour ce lieu, la différence des effectifs est significative ($p\text{-value}=0,00148$) entre les deux supports.

L'efficacité des supports peut être dépendante de la localisation de pose des supports.

4.2.3. Efficacité et espèces attirées

Les effectifs de mouches étant faibles à Dassy et Etang-Salé (figure 19), seules les espèces présentes sous les supports à Petite-Ile sont détaillées.

La figure 20 permet d'obtenir des précisions sur les espèces des mouches des fruits et des légumes présentes sous chaque type de support pour les dates de pose (11.02.11, 18.02.11 et 21.02.11) à Petite-Ile.

Sur l'ensemble des trois dates, *D. demmerezi* (Dd) est l'espèce la plus abondante, avec un effectif total de 151 mouches pour les db et 184 pour les pj.

C. rosa (Ccr), observée en majorité sur les pj présente de plus faibles effectifs (87 mouches pour les db et 178 pour les pj).

N. cyanescens, *D. ciliatus* et *B. cucurbitae* sont très peu présentes sous les deux supports.

On rappelle que les supports sont disposés autour d'une culture de courgettes. L'abondance de *Dd* s'explique par le fait que cette espèce est l'un des ravageurs principal de cette culture.

Les espèces de mouches entraînant des dégâts sur les cultures sont attirées aussi bien sous le parapluie jaune que sur la demi-bouteille jaune horizontale, avec une prédominance de D. demmerezi (à Petite Ile).

Le modèle « péi » est un support efficace au champ : il dispose d'une surface d'application du Synéïs Appât® étendue et accessible. Comme le modèle de référence, il est attractif pour les mouches des fruits et légumes au champ.

5. Discussion

La présente étude a pour but de préciser les modalités d'utilisation du Synéïs Appât® en agroécosystèmes à La Réunion. L'analyse porte principalement sur les observations au champ en 2009 et 2010. Dès la première application du traitement, les populations de *B. cucurbitae*, *D. demmerezi*, et *D. ciliatus* diminuent. A l'échelle d'un cycle de culture de Cucurbitaceae, l'utilisation de Synéïs Appât® est efficace : la diminution des populations est observée après chaque traitement. A l'échelle d'un traitement, les effets du produit sur les mouches sont visibles (effets « attractivité » et « insecticide »). La comparaison des supports du produit (parapluie jaune et demi-bouteille jaune horizontale) montre qu'ils sont aussi efficaces l'un que l'autre au champ.

5.1. Limites des résultats

❖ Evaluation de l'efficacité du Synéïs Appât® au champ

L'étude a été limitée par plusieurs paramètres.

Le dispositif expérimental est délicat à concevoir et a entraîné des biais. En 2011, sur les parcelles A et B, la zone de bordure traitée se situe à proximité immédiate de la bordure non traitée (cf. plan de parcelles). L'application du produit par taches est effectuée à un intervalle de dix mètres. Le traitement peut donc avoir un effet sur la zone non traitée. Un essai composé de parcelles indépendantes (éloignées de plusieurs mètres) traitées et non traitées entièrement diminuerait ce biais. Mais il est, dans la pratique, très difficile, voire impossible, à implanter.

En ce qui concerne les conditions culturales, la majeure difficulté consiste à synchroniser la mise en place des bordures de maïs avec la culture en place. En effet, le principe est d'avoir, lorsque la fructification de la culture démarre, des plants de maïs suffisamment développés pour servir d'abris aux mouches. Tout ceci dépend aussi des conditions climatiques, et le premier semestre 2011 a été marqué par une période de sécheresse entraînant la mort de semis et la nécessité de ressemis.

En 2011, sur la parcelle A, les tomates et citrouilles ont été plantées trop tardivement par rapport au maïs. De plus, la densité de semis du maïs était très faible. Vargas (2009) précise que la densité de plantation peut modifier l'efficacité du GF 120®. Lorsque les bordures sont denses (135 cm), la technique est plus efficace qu'avec des bordures plus minces (30 cm à 90 cm).

De plus, sur la même parcelle, des plants de tomates ont été contaminés par la bactérie du sol *Ralstonia solanacearum* ce qui a entraîné un flétrissement des feuilles, empêchant la croissance de la plupart des plants.

Sur les bordures de maïs, l'observation est réalisée pendant une marche lente de l'expérimentateur, en distinguant l'espèce et le sexe des mouches des légumes et fruits. L'observation est donc assez fastidieuse, et il est possible que certaines mouches soient comptées plusieurs fois ou, au contraire, jamais visualisées. Cependant la technique est identique pour chaque comptage donc le biais peut être considéré comme homogène et sans impact sur l'analyse des résultats. En 2011, l'observation des mouches dans la parcelle A a été arrêtée le 14 mars. En effet, les mouches n'étaient presque jamais visibles puisque l'effectif était trop faible.

❖ Comparaison de deux supports d'application du Synéïs Appât® au champ

Les deux supports (parapluie jaune et demi-bouteille jaune horizontale) sont comparés au total sept fois (trois lieux différents). Le nombre de répétitions est donc faible.

La majeure difficulté a consisté à trouver des parcelles sur lesquelles tester les supports. En effet, la présence de mouches sur le terrain, nécessaire pour comparer les supports, reflète évidemment une situation compromettante pour l'agriculteur (dégâts sur les cultures).

Delpoux (2010) soupçonne le développement de moisissures après 20 jours de pose des supports au champ. La résistance à long-terme (pendant plusieurs jours) de la demi-bouteille jaune horizontale n'a pas été mise en évidence dans cette étude.

5.2. Comparaison par rapport aux autres études

❖ Evaluation de l'efficacité du Synéïs Appât® au champ

➤ Efficacité générale du Synéïs Appât® au champ

De nombreuses publications réfèrent à l'efficacité du GF120®, un homologue du Synéïs Appât®. Il a été testé sur plusieurs espèces de mouches en cage comme au champ. Par exemple, des tests d'attraction et de toxicité du GF120®, effectués dans une pépinière de pamplemousses, ont permis de supprimer 80% des mouches par rapport à un témoin GF120® sans insecticide (Mangan, 2009). Les exemples d'efficacité du GF120® utilisé hors laboratoire sont nombreux dans la littérature scientifique. Beaucoup viennent de Hawaii, où le mélange a été expérimenté avec succès contre *C. capitata*, *B. dorsalis* et *B. latifrons* (Vargas *et al.*, 2001; Barry *et al.*, 2003 ; Prokopy *et al.*, 2004 ; Piñero *et al.*, 2009).

➤ Efficacité du Synéïs Appât® sur les mouches de Cucurbitaceae

Dans la présente étude, si l'efficacité n'est pas montrée un jour après le traitement, cela peut être lié au protocole d'observation. En effet, de récentes études ont mis en évidence l'efficacité du produit sur les mouches des Cucurbitaceae à La Réunion en petites cages et grandes cages (Deletre, 2008 ; Gratecap, 2009 ; Deguine *et al.*, 2011, sous presse).

Deguine *et al.* (2011) montrent que dans les 45 minutes suivant l'application du Synéïs Appât®, *B. cucurbitae* est l'espèce la plus attirée (21,67%), suivie de *D. demmerezi* (7,59 %), puis *D. ciliatus* (2,72 %). Pendant les sept heures qui suivent le traitement, *B. cucurbitae* est plus sensible que *D. demmerezi* et que *D. ciliatus*. Sept heures après le traitement, la mortalité de *B. cucurbitae* (97,75%) est significativement plus importante que celle de *D. demmerezi* (85,7 %), elle-même plus importante que celle de *D. ciliatus* (60,45 %). Cette dernière conclusion rejoint nos observations. *B. cucurbitae* et *D. demmerezi* présentent une sensibilité accrue au produit : attractivité des mouches dans les trois heures suivant le traitement, puis mortalité engendrée par l'insecticide dans les trois heures suivantes. La sensibilité de *D. ciliatus* au produit serait donc moins rapide ; la mortalité liée à l'insecticide serait plus tardive et moins observable par rapport aux autres espèces dans l'étude de Deguine *et al.* (2011).

Cependant, la majorité des études sur les mouches évaluent l'attractivité et la mortalité engendrées par le produit sur un matériel biologique connu en conditions contrôlées.

Sur parcelles expérimentales, la méthodologie la plus utilisée est celle de Prokopy *et al.* (2004). Les mouches élevées en laboratoire sont marquées puis lâchées sur la parcelle. L'effectif de départ est donc connu, contrairement à notre étude où les mouches comptabilisées sont à l'origine présentes naturellement dans l'agroécosystème.

Ainsi, aucune autre étude ne permet d'obtenir des évolutions de populations de mouches dans le temps après plusieurs traitements. Les résultats de cette étude sont donc difficilement comparables.

➤ Efficacité du Synéïs Appât® sur un cycle de culture

Dans le cadre du projet GAMOUR, un réseau de suivi des populations de mouches est mis en place depuis 2009. Il est effectué par les pièges sexuels appâtés avec une paraphéromone, disposés au nombre de dix dans plusieurs localités. La figure 21 illustre l'évolution des populations de mouches mâles capturées par jour et par piège à paraphéromone, à Petite Ile. La nette augmentation de l'effectif de l'espèce *D. demmerezi* a lieu entre le 27.01.10 (2,29 mouches) et le 03.02.10 (39,24 mouches). On rappelle que l'essai de 2010 (Piton Bloc) est situé dans la commune de Petite-Ile. Or le premier traitement au Synéïs Appât® est effectué le 26.01.10 à Piton Bloc. Il entraîne une forte diminution de *D. demmerezi* à partir des trois heures qui suivent (figure 17) et jusqu'à la fin de l'essai (01.03.10). Il est fort probable que le traitement au Synéïs Appât® ait engendré une telle diminution des populations sur l'essai 2010, ce qui confirme son efficacité sur un cycle de culture.

➤ Efficacité du Synéïs Appât® et du SP5 d'après les agriculteurs

Les agriculteurs participant au projet GAMOUR et ayant appliqué ce traitement tel qu'il est préconisé, sont pour la plupart satisfaits du produit. En effet, l'efficacité du SP5 est considérée comme très bonne par environ 60% des maraîchers sauf en plein été (6 à 8 semaines entre décembre à mars selon les zones). 40% 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. (Rousse, communication personnelle)

❖ Comparaison de deux supports d'application du Synéïs Appât® au champ

Après des tests en grandes cages et au champ, Delpoux (2010) a sélectionné comme support optimal d'application du Synéïs Appât® la demi-bouteille jaune horizontale. En effet, un support de ce type possède de nombreux avantages mis en évidence par des travaux où un traitement semblable est effectué.

- ✓ La surface d'application est étendue et accessible pour les mouches.
- ✓ La stimulation visuelle, provoquée par la couleur jaune, augmente l'efficacité du support (Wu *et al.*, 2007).

- ✓ Le lessivage du produit est évité en cas de pluie (Mangan & Moreno, 2007).
- ✓ La fabrication est facile et rentable (Piñero, 2009).

La présente étude permet donc de confirmer les conclusions de Delpoux (2010) : la demi-bouteille jaune horizontale est efficace au champ.

5.3. Application possible des résultats

A La Réunion, le traitement au Synéïs Appât® a été initié dans le cadre du projet GAMOUR (2009-2011).

Son application est préconisée au sein du paquet technique SP5 (cf. Etat des connaissances). Le programme propose son application en association avec des plantes pièges. L'application par « taches » de 50 ml doit être espacée de 10 mètres environ. Le Synéïs Appât® est à diluer à 20%. Il peut aussi être appliqué sur d'autres supports vivants (ricin, canne fourragère, manioc, bringellier marron) et sur supports plastiques, comme la demi-bouteille jaune horizontale.

En plus d'une protection efficace pour les cultures sensibles aux mouches, le traitement au Synéïs Appât®, et plus globalement l'application du SP5, présente de nombreux avantages pour l'agriculteur (Augusseau *et al.*, 2011).

La figure 22 illustre une comparaison d'une méthode phytosanitaire classique de protection des cultures avec la méthodologie utilisée dans le paquet technique SP5 pour un hectare de Cucurbitacées en période d'été.

Au niveau économique, le coût de la protection avec SP5 peut être divisé par deux voire trois (740 euros contre 1760 euros avec la méthode classique).

Au niveau environnemental, l'impact est moindre (0,008 litre de spinosad contre 800g d'organophosphorés).

De plus, le temps de travail hebdomadaire peut être réduit de moitié (trois heures).

Cependant les mesures préventives, comme le ramassage des fruits piqués, restent des étapes clés dans cette démarche de protection agroécologique. En d'autres termes, le traitement peut être effectué dans certains cas mais n'est aucunement systématique.

5.4. Perspectives de recherche

Concernant l'efficacité du Synéïs Appât® au champ, il serait intéressant de réaliser un essai composé de parcelles traitées et non traitées éloignées les unes des autres et dans plusieurs localisations (altitudes différentes). Mais cette perspective n'est pas réaliste puisqu'elle demande la mise en place et l'entretien d'une vingtaine de parcelles paysannes. La Recherche n'a pas les moyens de tels essais.

La distance maximale d'attractivité du Synéïs Appât® n'a pas encore été étudiée au champ à La Réunion. Un protocole a été mis en place lors du stage (annexe XI) mais par faute de temps il n'a pu être réalisé. Il conviendrait donc de tester ce protocole pour affiner les préconisations à faire aux agriculteurs.

Pour le support d'application, il faudrait vérifier l'efficacité du modèle « péi » dans d'autres localisations et avec davantage de répétitions. En effet les espèces de mouches sont caractéristiques d'une altitude. Il faudrait également évaluer la résistance à long-terme du support (vérifier qu'il n'a pas de développement de moisissures).

6. Conclusion

L'objectif de cette étude est de préciser les modalités d'utilisation du Synéïs Appât® dans les agroécosystèmes horticoles à La Réunion. Plus particulièrement, l'étude vise à évaluer l'efficacité du Synéïs Appât® et à comparer deux supports d'application du produit au champ.

Les mouches des Cucurbitaceae, au sein d'un agroécosystème, ont une sensibilité légèrement différente au Synéïs Appât®.

Pour *B. cucurbitae* et *D. demmerezi*, l'application du Synéïs Appât® sur les bordures de maïs engendre en général une augmentation des populations pendant trois heures. Les populations diminuent ensuite. La 1^{ère} phase (augmentation) reflète l'effet « attractivité » du produit (appât protéiné) et la seconde phase (diminution), l'effet « insecticide » (spinosad). L'effet de l'application du Synéïs Appât® sur *D. ciliatus* est moins rapide. La mortalité n'est notoire que deux jours après le traitement.

Au champ, la demi-bouteille jaune horizontale (modèle « péi ») est aussi efficace que le parapluie jaune de référence, ce qui permet de préconiser désormais l'utilisation de ce support aux agriculteurs.

L'application de Synéïs Appât® peut être recommandée sur les cultures de Cucurbitaceae contre les mouches ravageuses, comme elle l'est déjà inscrite dans le paquet expérimental SP5 (GAMOUR, 2011). Cependant, un traitement n'est aucunement systématique. En effet, il peut être évité par des mesures préventives prises par l'agriculteur (prophylaxie).

Afin de confirmer l'efficacité du Synéïs Appât® sur les cultures de Cucurbitaceae, il conviendrait de tester un dispositif identique (Synéïs Appât® appliqué par taches sur les bordures de maïs) mais constitué de parcelles de grande taille et éloignées les unes des autres. De plus, il serait intéressant de voir si le produit permet une protection d'autres cultures comme les agrumes sensibles aux mouches des fruits.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGRESTE. < <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr>>. (consulté le 29 avril 2011)
- ALTIERI M.A. (1999). The ecological role of the biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74, 19-31.
- ATIAMA T. (2008). Interaction entre les Mouches des Cucurbitaceae et les plantes de bordures dans les systèmes horticoles à La Réunion : mémoire de master 2 BEST Recherche. Saint-Denis, Université de La Réunion, 39 p.
- AUGUSSEAU X., DEGUINE J.P, DOURAGUIA E., DUFFOURC V., GOURLAY J., INSA G., LASNE A., LE ROUX K., POULBASSIA E., ROUSSE P., ROUX E., SUZANNE W., TILMA P., TRULES E. (2011). GAMOUR, l'agroécologie en action à La Réunion. *Phytoma*, 642, 33-37.
- BALIRAINE F.N., BONIZZONI M., GUGLIELMINO C.R., OSIR E.O., LUX S.A., MULAA F.J., GOMULSKI L.M., ZHENG L., QUILICI S., GASPERI G., MALACRIDA A.R. (2004). Population genetics of the potentially invasive African fruit fly species, *Ceratitis rosa* and *Ceratitis fasciventris* (Diptera: Tephritidae). *Molecular Ecology*, 13, 683-695.
- BARRY J.D., VARGAS R.I., MILLER N.W., MORSE J.G. (2003). Feeding and Foraging of Wild and Sterile Mediterranean Fruit Flies (Diptera : Tephritidae) in the Presence of Spinosad Bait. *Journal of Economic Entomology*, vol. 96, 5, 1405-1411.
- BONNET E. (2010). Interactions Mouches des Cucurbitaceae, maïs et culture à La Réunion : mémoire de master 2 BEST Recherche. Saint-Denis, Université de La Réunion.
- CHAMBRE D'AGRICULTURE DE LA REUNION. < <http://www.reunion.chambagri.fr>>. (consulté le 25 mars 2011)
- CIRAD. < www.cirad.fr>. (consulté le 27 janvier 2011)
- DAAF. < <http://www.daf974.agriculture.gouv.fr> >. (consulté le 25 mars 2011)
- DALGAARD T., HUTCHINGS N.J., PORTER J.R. (2003). Agroecology, scaling and interdisciplinary. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 100, 1, 39-51.
- DEGUINE J.P., DOURAGUIA E., ATIAMA-NURBEL T., JEGO S., CHIROLEU F., QUILICI S. (2011). Field cage study of spinosad-based bait efficacy on *Bactrocera cucurbitae*, *Dacus ciliatus* and *Dacus demmerezi*. *Crop Protection*, sous presse.
- DEGUINE J.P., FERRON P., RUSSELL D. (2008). Protection des cultures : de l'agrochimie à l'agroécologie. Paris, QUAE, 192 p.
- DELETRE T. (2008). Effet du Synéïs Appât® sur les Mouches des légumes et leurs ennemis naturels à La Réunion : rapport de 2^{ème} année d'IUT. La Réunion, IUT de La Réunion, 18 p.
- DELPOUX C. (2010). Etude d'un support d'application pour le Synéïs Appât® dans la protection contre les Mouches des Cucurbitaceae à La Réunion : rapport de stage de césure. Toulouse, ENSAT, 52 p.
- DELVARE G., ABERLENC H.P. (1989). Les insectes d'Afrique et d'Amérique tropicale. Clés pour la reconnaissance des familles. Montpellier, PRIFAS CIRAD, 302 p.

DE MEYER M. (2001). On the identity of the Natal fruit fly *Ceratitis rosa* Karsch (Diptera: Tephritidae). *Entomology*, 71.

DOW AGROSCIENCES. < <http://www.dowagro.com/fr> >. (consulté le 25 mars 2011)

DUPRAZ C. (2006). Entre agronomie et écologie : vers la gestion d'écosystèmes cultivés. In: DEMETER. Economie et stratégies agricoles. Paris, Club Déméter, p.73-89.

ETIENNE J. (1982). Etude systématique, faunistique et écologique des Tephritidae de la Réunion : thèse de doctorat. Paris, Ecole Pratique Hautes Etudes, 100 p.

ETIENNE J. (1974). Lutte biologique contre les mouches des fruits. Rapport annuel IRAT-Réunion, 93-107.

ETIENNE J. (1972) Les principales Trypétides nuisibles de l'île de La Réunion. *Annales de la Société Entomologique de France*, 8, 485-491.

FULLAWAY D.T. (1920). The melon fly: its control in Hawaii by a parasite introduced from India. *Hawaiian Forester and Agriculturist*, 17, 101-105.

GAMOUR. < <http://gamour.cirad.fr/site/>>. (consulté le 27 janvier 2011)

GRATECAP M. (2009). Gestion agroécologique des Mouches des légumes à La Réunion. Efficacité d'un appât adulticide, le Synéïs Appât : rapport de stage de césure. Paris, AgroParisTech, 41 p.

HARPER L.J. (1974). The need to focus on agro-ecosystems. *Agroecosystems*, 1, 1-12.

ITO Y., KOYAMA J. (1982). Eradication of the melon fly: role of population ecology in the successful implementation of the sterile insect release method. *Protection ecology*, 4, 1-28.

KAKINOHANA H., KUBA H., KOHAMA T., KINJO K., TANIGUCHI M., NAKAMORI H., TANAHARA A., SOKEI Y. (1997). Eradication of the melon fly *Bactrocera cucurbitae* Coquillett, by mass release of sterile flies in Okinawa Prefecture. *Japan Agricultural Research Quarterly*, vol. 31, 2, 91-100.

LITTELL R.C., MILLIKEN G.A., STROUP W.W., WOLFINGER R.D. (1996). SAS System for Mixed Models NC, SAS Institute, Cary.

MAHER A. (1957). On the bioeconomics of *Dacus ciliatus* Loew (Diptera Trypanaeidae). *Bulletin of the Entomological Society of Egypt*, vol. 41, 527-533.

MANGAN R.L. (2009). Effects of bait age and prior protein feeding on cumulative time-dependent mortality of *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae) exposed to GF-120 spinosad baits. *Journal of Economic Entomology*, vol. 102, 3, 1157-1163.

MANGAN R.L., MORENO D.S. (2007). Development of bait stations for fruit fly population suppression. *Journal of Economic Entomology*, vol. 100, 2, 440-450.

MANGAN R.L., MORENO D.S., GARY D. (2005). Bait dilution, spinosad concentration, and efficacy of GF-120 based fruit fly sprays. *Crop Protection*, 25, 125-133.

MC GREGOR A. (2007). An economic evaluation of the Hawaii fruit fly Area-Wide Pest Management Program. USDA-ARS Pacific Basin Agricultural Research Center Internal Report, 81 p.

MOUTIA A. (1934). Report of the Department of Agriculture, Mauritius. Entomological Division , 25-29.

NICHOLLS C.I, ALTIERI M.A. (2004). Agroecological bases of ecological engineering for pest management. **In** : GURR G.M, WRATT S.D ALTIERI M.A. Ecological engineering for pest management. Advances in Habitat Manipulation for Arthropods. Australia, Collingwood, and UK CABI Wallingford, p.33-54.

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, 682-684.

ORIAN A., MOUTIA L. (1960). Fruit flies (Trypetidae) of economic importance in Mauritius. *Revue Agricole sucrière de l'île Maurice*, 39,142-150.

PAULIAN R. (1953). Recherches sur les insectes d'importance biologique à Madagascar. *Mémoires de l'Institut Scientifique de Madagascar*, série E, 3, 2-7.

PETITE A. (2009). Interactions des Mouches des Cucurbitaceae (Diptera : Tephritidae) et des communautés végétales dans les agrosystèmes horticoles à La Réunion : rapport de master 2 Gestion des habitats et des bassins versants. Rennes, Université de Rennes, 51 p.

PIÑERO J.C., MAU R.F.L., MCQUATE G.T., VARGAS R.I. (2009). Novel bait stations for attract-and-kill of pestiferous fruit flies. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, vol. 133, 2, 208-216.

PROKOPY R., MILLER N.W., PINERO J., JAMES D., ORIDE L., CHANEY N., REVIS H., VARGAS R.I. (2004). How effective is GF-120 Fruit Fly Bait Spray Applied to Border Area Sorghum Plants for Control of Melon Flies (Diptera: Tephritidae). *Florida Entomologist*, vol. 87, 3, 354-360.

PROKOPY R., MILLER N.W., PINERO J., JAMES D., TRAN C., ORIDE L., VARGAS R.I. (2003). Effectiveness of GF-120 fruit fly bait dpray applied to border area plants for control of melon flies (Diptera : Tephritidae). *Journal of Economic Entomology*, vol. 96, 5, 1485-1493.

QUILICI S., HURTREL B., MESSING R.H., MONTAGNEUX B., BARBET A., GOURDON F., MALVOTI A., SIMON A. (2004). Successful acclimatization of *Psytalia fletcheri* (Braconidae: Opiinae) for biological control of the melon fly, *Bactrocera cucurbitae* on Reunion Island. **In** : BARNES B.N. Proceedings of the 6th international Symposium on Fruit flies of Economic Importance. South Africa, Stellenbosh, 6-10 May 202, Isteg Scientific Publication, Irene (RSA), p.457-460.

RABASA S.G., GUTIERREZ D., ESCUDERO A. (2005). Egg laying by a butterfly on a fragmented host plant: a multi-level approach. *Ecography*, 28, 629-639.

REVIS H.C., MILLER N.W., VARGAS R.I. (2004). Effects of aging and dilution on attraction and toxicity of GF-120 fruit fly bait spray for melon fly control in Hawaii. *Journal of Economic Entomology*, vol. 97, 5, 1659-1665.

ROESSLER Y. (1989). Insecticidal Bait and cover sprays. **In** : ROBINSON A.S., HOPPER G. Fruit flies, their biology, natural enemies and control. Amsterdam, Elsevier, p.329-336.

SALGADO V.L., SHEETS J.J., WATSON G.B. AND SCHMIDT A.L. (1998). Studies on the mode of action of spinosad: the internal effective concentration, and the concentration dependence of neural excitation, *Pesticide. Biochemistry and Physiology*, 60, 103-110.

SHIGA M. (1989). Current program in Japan. In : ROBINSON A.S., HOPPER G. Fruit flies, their biology, natural enemies and control. Amsterdam, Elsevier, vol.3B, p.365-374.

STEINER L.F., HARRIS E.J., MITCHELL W.C., FUJIMOTO M.S., CHRISTENSON L.D. (1965). Melon fly eradication by overflowing with sterile flies. *Journal of Economic Entomology*, 58, 519-522.

STEINER L.F.(1955). Bait sprays for fruit fly control. *Hawaiian Entomological Society*, 5, 601-607.

THE DIPTERA SITE. < <http://www.sel.barc.usda.gov/diptera/tephriti/TephClas.htm>>. (consulté le 30 mai 2011)

VARGAS R.I., PINERO J.C., JACOME I.; REVIS H.C; PROKOPY R.J. (2009). Effectiveness of GF-120 NF Naturalyte Fruit Fly Bait Spray against Different Ages of Melon Fly (Diptera: Tephritidae) Females When Applied to Border Crops of Various Widths. *Hawaiian Entomological Society*, 41, 15-23.

VARGAS R.I., STARK J.D., HERTLEIN M., MAFRA-NETO A., COLER R., PIÑERO J.C. (2008). 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., STARK J.D., PROKOPY R.J., GREEN T.A. (2001). Response of oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae) and associated parasitoids (Hymenoptera: Braconidae) to different-color spheres. *Journal of Economic Entomology*, 84, 1503-1507.

VAYSSIERE J.F. (1999). Les relations plantes-insectes chez les Dacini (Diptera Tephritidae) ravageurs des Cucurbitacées à La Réunion : thèse de doctorat. Paris, Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, 205 p.

WANG X.G., MESSING R.H. (2006). Feeding and attraction of non-target flies to spinosad-based fruit fly bait. *Pest Management Science*, 62, 933-939.

WHITE I.E., ELSON-HARRIS M.M. (1992). Fruit flies of economic significance: their identification and bionomics. Wallingford, CAB International, 601 p.

WILLIAMS T., VALLE J., E. VIÑUELA. (2003). Is the naturally derived insecticide Spinosad® compatible with insect natural enemies? *Biocontrol Science and Technology*, vol. 13, 5, 459-475.

WU W.Y., CHEN Y.P., YANG E.C. (2007). Chromatic cues to trap the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis*. *Journal of Insect Physiology*, 53, 509-516.

LEXIQUE

Agroécologie : discipline scientifique reposant sur trois principes : la prophylaxie, la gestion des habitats et la lutte biologique de conservation.

Agrosystème : écosystème construit ou modifié par l'homme pour l'exploitation agricole d'espèces animales et végétales à des fins alimentaires (champs céréaliers, élevage bovins, ovins...), industrielles (production de sucre à partir de la betterave) ou énergétiques (production de biocarburant).

Andosol : sol assez jeune formé sur des cendres volcaniques récentes. Il n'évolue pas vite à cause du climat frais et humide.

Auxiliaire : organisme vivant, prédateur, parasite ou pathogène, utilisé pour réguler les populations de ravageurs.

Bringellier marron (*Solanum mauritianum*) : plante de la famille des Solanaceae, originaire d'Amérique du Sud. Elle est envahissante à la Réunion, en Asie Tropicale, Australie et Nouvelle Zélande.

Cucurbitaceae : famille de plantes dicotylédones qui comprend environ 800 espèces réparties en 120 genres. Ce sont des plantes herbacées (très rarement des arbustes), plus ou moins rampantes ou grimpantes grâce à des vrilles spiralées, annuelles ou pérennes des régions tempérées chaudes à tropicales.

Gravide : se dit d'une femelle qui porte des œufs.

Holométabole : s'applique aux insectes présentant des métamorphoses complètes et un stade nymphal bien différencié.

Lek : réunion des mâles de certaines espèces animales, dans une compétition de séduction afin de déterminer les prérogatives pour l'accouplement.

Lutte biologique de conservation : modification de l'environnement ou des pratiques culturelles pour protéger ou favoriser des ennemis naturels ou d'autres organismes de manière à réduire les effets des bioagresseurs.

Ovipositeur : appareil tubulaire ou valvulé caractéristique de la femelle de Dacini permettant le dépôt des œufs, ordinairement rétracté dans l'abdomen.

Oviposition : action de ponte d'une femelle munie d'un ovipositeur.

Parasitoïde : organisme animal ou végétal qui se développe aux dépens d'un hôte dont il entraîne obligatoirement la mort.

Prophylaxie : ou mesures préventives. C'est la mise en place de systèmes moins sensibles aux bioagresseurs.

Pupe : terme qui désigne l'état intermédiaire du développement de certains insectes. C'est l'état qui sépare la larve de l'adulte. Seuls les insectes à métamorphose complète passent par cet état.

Rythme circadien : période cyclique de changements biologiques basés sur une période d'environ 24h.

Surface Agricole Utile (S.A.U) : la partie du territoire qui donne lieu à la production agricole.

TABLE DES FIGURES

- FIGURE 1. LE CIRAD DANS LE MONDE (CIRAD, 2011)
- FIGURE 2. SURFACE TOTALE DES EXPLOITATIONS EN 2005 A LA REUNION (DAAF, 2011)
- FIGURE 3. FEMELLE EN PONTE DANS UNE COURGETTE
- FIGURE 4. FRUITS (JEUNES TOMATES) PIQUES, EN PUTREFACTION
- FIGURE 5. MOUCHES DES TRIBUS DACINI ET CERATIDINI.
- FIGURE 6. CYCLE BIOLOGIQUE DES CUCURBITACEES (ATIAMA M., 2011)
- FIGURE 7. LE SP5 (GAMOUR, 2011)
- FIGURE 8. MOUCHE ATTIREE PAR LE SYNEÏS APPAT®
- FIGURE 9. SYNEÏS APPAT® APPLIQUE EN TACHES SUR LE MAÏS
- FIGURE 10. PLAN DE LA PARCELLE B, TAN ROUGE, 2011
- FIGURE 11. CULTURE DE CITROUILLE SUR LA PARCELLE B, TAN-ROUGE, 2011 LORS DU PREMIER TRAITEMENT AU SYNEÏS APPAT® (LE 18.04.11).
- FIGURE 12. PARAPLUIE JAUNE (SUPPORT DE REFERENCE) AU CHAMP
- FIGURE 13. DEMI-BOUTEILLE JAUNE (MODELE "PEI") AU CHAMP
- FIGURE 14. EVOLUTION DES POPULATIONS DE MOUCHES DE CUCURBITACEAE SUR BORDURE DE MAÏS UNE HEURE AVANT L'APPLICATION DU SYNEÏS APPAT®, EN 2009 (PITON HYACINTHE), 2010 EN (PITON BLOC), EN 2011 (TAN ROUGE).
- FIGURE 15. EVOLUTION DES POPULATIONS DE MOUCHES DE CUCURBITACEAE, ESPECES CONFONDUES, EN 2009 (PITON HYACINTHE) ET 2010 (PITON BLOC).
- FIGURE 16. EVOLUTION DES POPULATIONS DE *B. CUCURBITAE* A PITON HYACINTHE (14.04.09 ET 20.04.09) ET *D. DEMMEREZI* A PITON BLOC (26.01.10 ET 15.02.10).
- FIGURE 17. EVOLUTION DES POPULATIONS DE MOUCHES SUR BORDURE DE MAÏS TRAITEE POUR LES ESPECES *B. CUCURBITAE*, *D. CILIATUS*, *D. DEMMEREZI* EN 2009 (PITON HYACINTHE) ET 2010 (PITON BLOC).
- FIGURE 18. COMPARAISON DES EFFECTIFS CUMULES DE MOUCHES DES FRUITS ET LEGUMES SUR LES DEUX TYPES DE SUPPORT TRAITES AU SYNEÏS APPAT®, ESPECES ET LIEUX CONFONDUS. SUR L'AXE DES ABCISSES SONT INDIQUES LES TYPES DE SUPPORT.
- FIGURE 19. COMPARAISON DES MOYENNES DE MOUCHES SUR LES DEUX TYPES DE SUPPORT D'APPLICATION DU SYNEÏS APPAT® POUR CHAQUE LIEU (DASSY, ETANG-SALE, PETITE-ILE), ESPECES CONFONDUES. SUR L'AXE DES ABCISSES SONT INDIQUES LES TYPES DE SUPPORT.
- FIGURE 20. COMPARAISON DES EFFECTIFS DE MOUCHES SUR LES DEUX TYPES DE SUPPORT D'APPLICATION DU SYNEÏS APPAT® POUR CHAQUE ESPECE ET CHAQUE DATE DE POSE, A PETITE-ILE.
- FIGURE 21. EVOLUTION DES MOUCHES MALES CAPTUREES PAR JOUR ET PAR PIEGE A PARAPHEROMONE, A PETITE ILE. SUIVI DES POPULATIONS 2009-2011. (GAMOUR)
- FIGURE 22. COMPARAISON D'UNE METHODE PHYTOSANITAIRE CLASSIQUE AVEC LA METHODOLOGIE UTILISEE DANS LE PAQUET TECHNIQUE SP5 (ROUSSE ET AL., 2011)

TABLE DES TABLEAUX

TABLEAU 1. STRATEGIE DU CIRAD (CIRAD, 2011)

TABLEAU 2. BILAN DES TENDANCES D'EVOLUTION DES POPULATIONS DE MOUCHES DE CUCURBITACEAE POUR LES AUTRES SITUATIONS EN 2009 (PITON HYACINTHE) ET 2010 (PITON BLOC) (PRESENTEES EN ANNEXES IX).

TABLE DES MATIERES

RESUME	
ABSTRACT	
REMERCIEMENTS	
PREAMBULE	
SOMMAIRE	
1. Introduction	1
2. Etat des connaissances	3
2.1. Structure d'accueil	3
2.1.1. Une structure d'envergure mondiale	3
2.1.2. Le CIRAD à La Réunion	4
2.2. La Réunion, un écosystème particulier	5
2.2.1. Contexte naturel	5
2.2.2. Contexte agricole	6
2.3. Mouches des fruits et des légumes	7
2.3.1. Caractéristiques et reconnaissance des mouches	7
2.3.2. Cycle biologique des Tephritidae	9
2.3.3. Rythme circadien des mouches	9
2.4. La protection contre les mouches	10
2.4.1. La lutte agrochimique inefficace	10
2.4.2. Les méthodes de lutte existantes à travers le monde	10
2.4.3. La gestion agroécologique des ravageurs	11
2.5. Le Synéis Appât®	13
3. Matériels et méthodes	15
3.1. Efficacité du Synéis Appât® au champ	15
3.1.1. Essai 2011, parcelle B, Tan Rouge	15
3.1.2. Essai 2011, parcelle A, Tan Rouge	16
3.1.3. Essai 2010, Piton Bloc	16
3.1.4. Essai 2009, Piton Hyacinthe	16
3.2. Comparaison de deux supports d'application du Synéis Appât®	18
4. Présentation et analyse des résultats	20
4.1. Evaluation de l'efficacité du Synéis Appât® au champ	20
4.1.1. Efficacité à l'échelle du cycle de culture	20
4.1.2. Efficacité entre deux traitements	22
4.2. Comparaison de deux supports d'application du Synéis Appât®	26
4.2.1. Efficacité des supports	26
4.2.2. Efficacité et localisation	26
4.2.3. Efficacité et espèces attirées	26
5. Discussion	28
5.1. Limites des résultats	28
5.2. Comparaison par rapport aux autres études	29
5.3. Application possible des résultats	31
5.4. Perspectives de recherche	31
6. Conclusion	32
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	33
LEXIQUE	37
TABLE DES FIGURES	39
TABLE DES TABLEAUX	40
TABLE DES MATIERES	41
TABLES DES SIGLES ET DES ABREVIATIONS	42
LISTE DES ANNEXES	43
ANNEXES	

TABLES DES SIGLES ET DES ABREVIATIONS

AW-IPM : Area-Wide Integrated Pest Management

CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

DDAF : Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt de La Réunion

FDGDON : Fédération Départementale des Groupements de Défense Contre les Organismes Nuisibles

GAMOUR : Gestion Agroécologique des MOUches des légumes à la Réunion

HAWPM : Hawaii Area Wide Pest Management

IPM : Integrated Pest Management

MAT : Male Annihilation Technique (ou lutte par suppression des mâles).

MVAD : Mission de Valorisations Agricole des Déchets

OMEGA 3 : Optimisation des Mécanismes Ecologiques de Gestion des bio-Agresseurs pour une Amélioration durable de la productivité des Agrosystèmes

S.A.U : Surface Agricole Utile

SIT: Sterile Insect Technique

SP5 : Surveillance, Prophylaxie, Plantes pièges, Piégeage de masse, Parasitoïdes & prédateurs et Pratiques agroécologiques

UMR PVBMT : Unité Mixte de Recherche Peuplements Végétaux et Bioagresseurs en Milieu Tropical

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I : ORGANIGRAMME DU CIRAD ET DE L'UMR PVBMT (CIRAD, 2011)

ANNEXE II : CONTEXTE NATUREL REUNIONNAIS

ANNEXE III : CONTEXTE AGRICOLE REUNIONNAIS (CHAMBRE D'AGRICULTURE DE LA REUNION, 2011)

ANNEXE IV : MORPHOLOGIE DES TEPHRITIDAE (QUILICI ET JEUFFRAULT, 2001)

ANNEXE V : RYTHME CIRCADIEN DES MOUCHES A TAN-ROUGE (PETITE, 2009)

ANNEXE VI : DETAILS DU SP5 (GAMOUR, 2011)

ANNEXE VII : PLAN DES PARCELLES

ANNEXE VIII : EVOLUTION DES POPULATIONS DE MOUCHES SUR MAÏS, ESPECES CONFONDUES, SUR LA PARCELLE B, EN 2011 A TAN-ROUGE

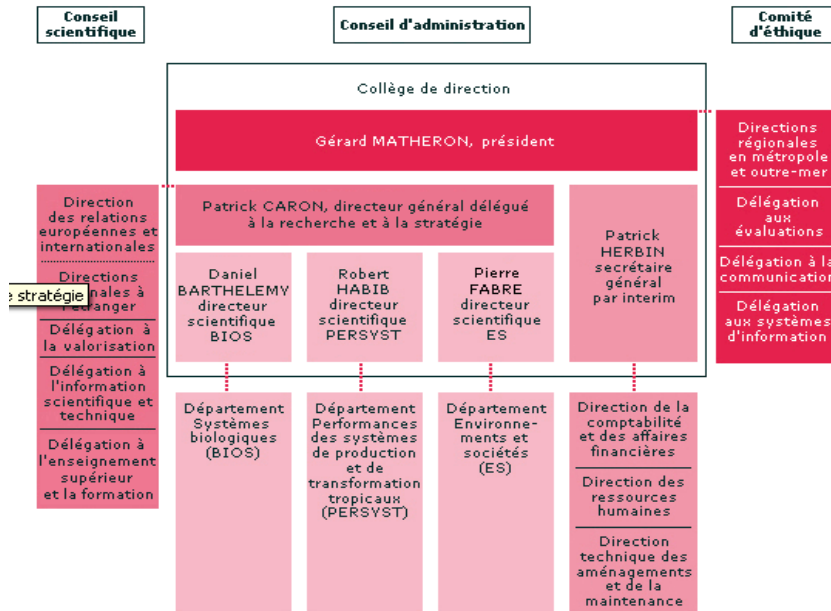
ANNEXE IX : EVOLUTION DES POPULATIONS DE MOUCHES, PAR ESPECE ET SEXE, ANNEES 2009/2010/2011.

ANNEXE X : RESULTAT DU MODELE GLMM POUR LES HUIT SITUATIONS

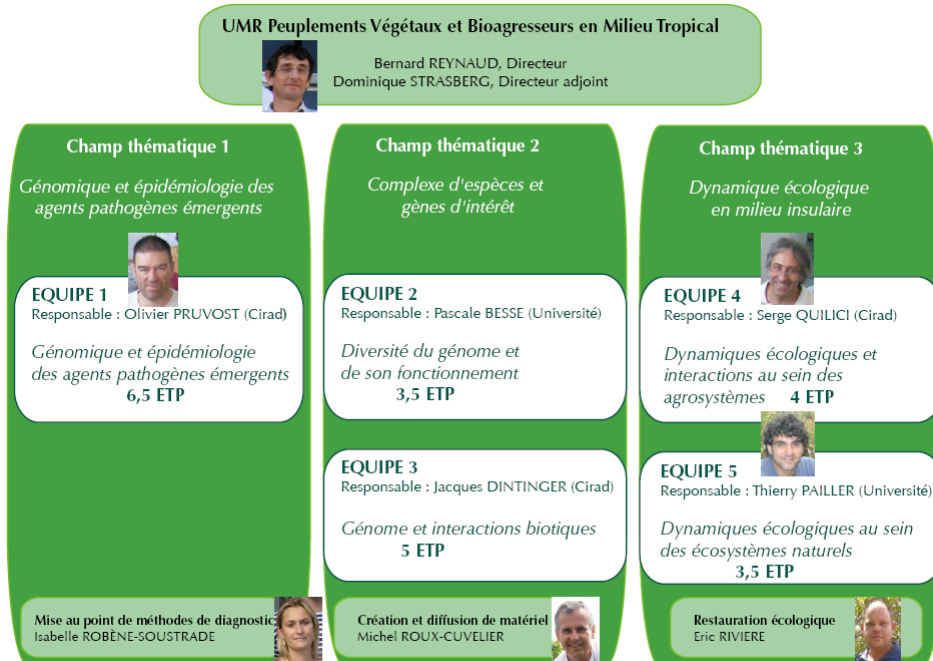
ANNEXE XI : PROTOCOLE : DISTANCE MAXIMALE D'ATTRACTIVITE DU SYNEÏS APPAT

ANNEXES

Annexe I : Organigramme du CIRAD et de l'UMR PVBMT (CIRAD, 2011)



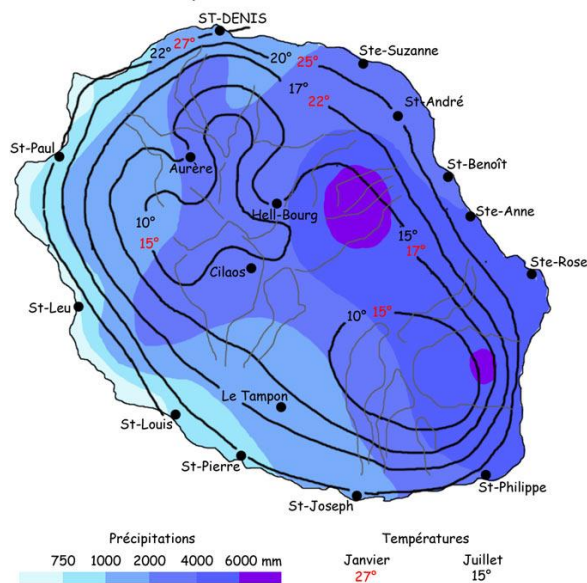
Organigramme du CIRAD



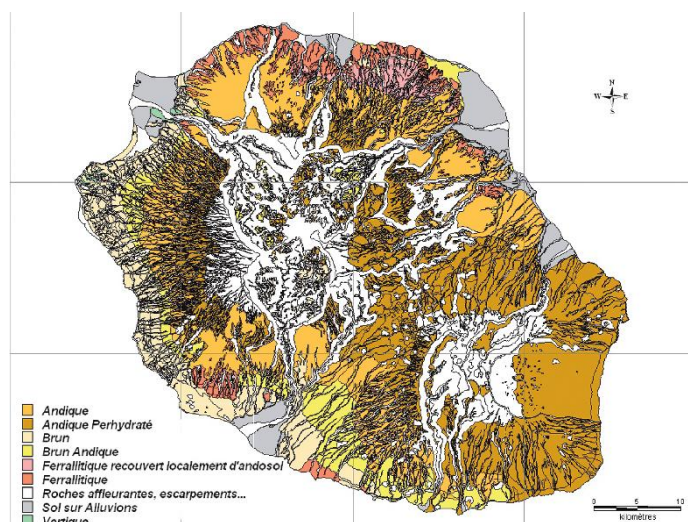
Organigramme de l'UMR PVBMT

Annexe II : Contexte naturel réunionnais

Température et précipitations moyennes annuelles



Carte des températures et précipitations moyennes annuelles (Carte IGN, 2011)



Carte des principales unités de sols de l'île de La Réunion (Pouzet *et al.*, 2003)

L'agriculture réunionnaise en quelques chiffres

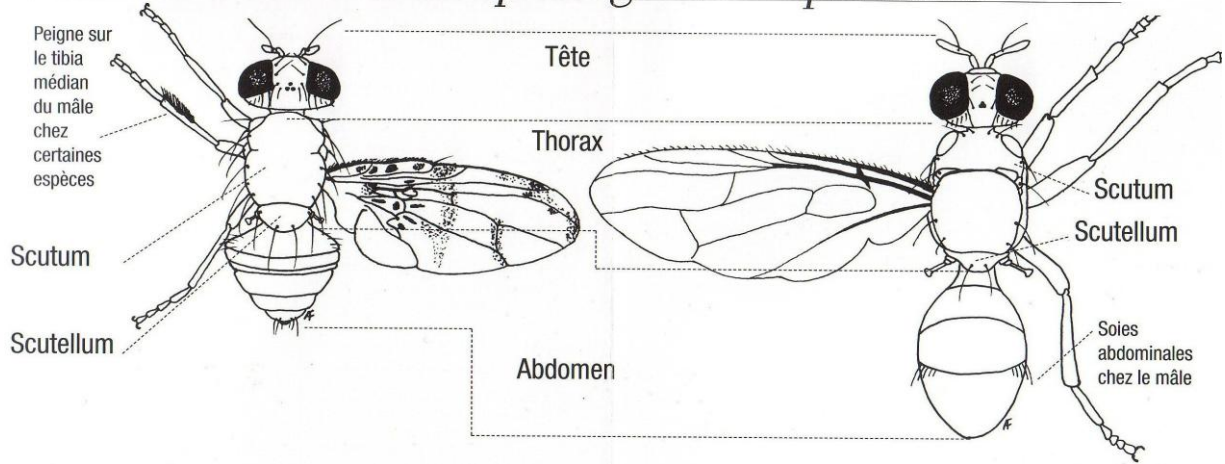
- **Superficie agricole utile** = 47 389 ha
- **Nombre d'exploitations** = 6 900
- **Nombre de chefs d'exploitation et co-exploitant(e)s** = 7 200 dont 1 150 femmes
- **Conjoints participant à l'activité de l'exploitation** = 1 500
- **Autres actifs familiaux** : 4 600 dont 3 450 femmes
- **Salariés permanents et saisonniers** : 2 300
- **Nombre d'emplois liés à l'agriculture** :
22 600 emplois
dont : Emplois directs : 10 600
Emplois indirects ou induits : 12 000
- **Age des exploitants** :
62 % des chefs d'exploitation ont moins de 50 ans
Moins de 40 ans : 1 950
40 à 49 ans : 2 560
50 à 59 ans : 1 850
60 ans et plus : 950
- **Surface moyenne par exploitation** :
6,3 ha - moins de 1 ha : 1 080
1 à moins de 2 ha : 1 050
2 à moins de 5 ha : 2 290
5 à moins de 10 ha : 2 000
10 à moins de 20 ha : 630
20 ha et plus : 230
- **Occupation de la SAU** =
59 % par la canne à sucre
14 % par les autres productions végétales
24 % par les productions animales
autres (jardins familiaux des exploitants, jachères...) : 3 %
- **Nombre d'exploitations en agriculture biologique** = 42
- **Mode d'exploitation** =
Faire valoir direct : 49 %
Fermage : 48 %
Colonage : 3 %
Enquête structure 2007. Chiffres n'ont pas changé.
- **Formation des agriculteurs** =
Sans formation : 70,6 %
Formation primaire : 1,5 %
Formation secondaire : 26,1 %
Formation tertiaire : 1,8 %
- **Production agricole (en valeur)** =
386 millions d'euros
Canne à sucre, huiles essentielles et plantes aromatiques :
131 millions d'euros

Autres produits végétaux (fruits, légumes, fleurs..) :
142,2 millions d'euros

Productions animales : 108 millions d'euros
Produits de services : 4,3 millions d'euros
- **Exportation** :
Près d'1 euro sur 2 de produits exportés de la Réunion est issu du secteur agricole et du sucre.

Le sucre, le rhum et les fruits exportés représentent ainsi 102 millions d'euros sur 247 euros (valeur totale des produits exportés) ; dont 78% concerne le seul domaine du sucre.

Eléments de morphologie des Tephritidae



Sous-famille des Ceratitinae

Sous-famille des Dacinae

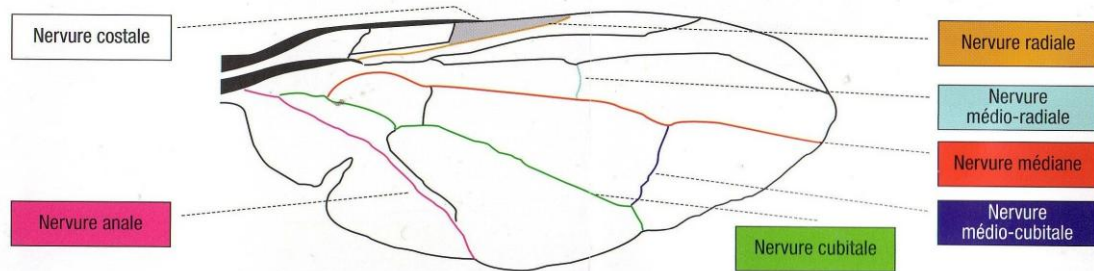


Schéma général de la nervation d'une aile de Tephritidae

Annexe V : Rythme circadien des mouches à Tan-Rouge (Petite, 2009)

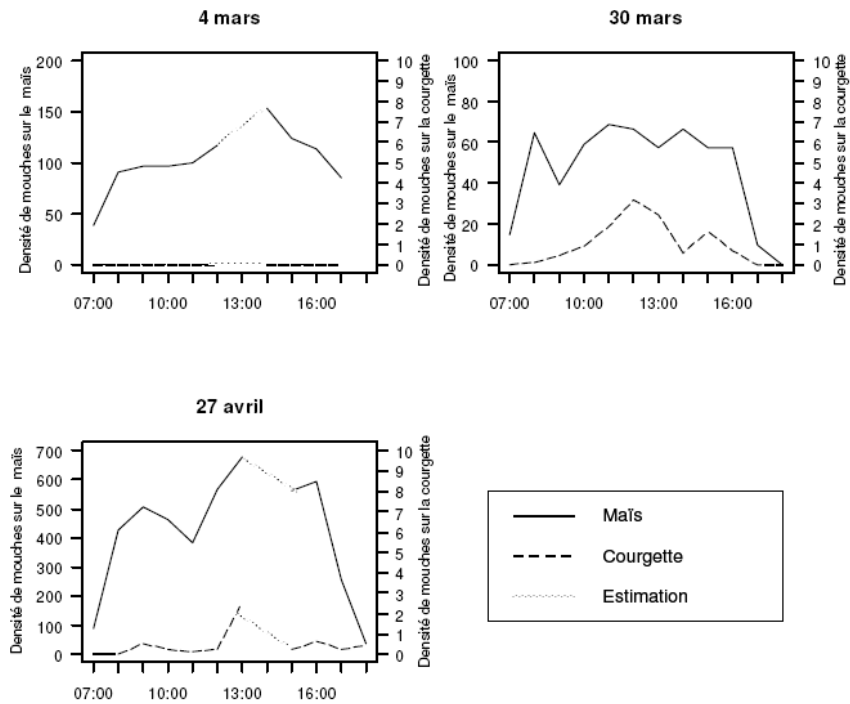


Figure 10 : Evolution journalière de la densité de mouches (pour 100m²) sur maïs et courgette (trois espèces confondues) à 3 dates particulières. Le 4 mars 2010 : maïs jeune (S1), absence de fruits de courgettes. Le 30 mars : maïs intermédiaire (S3), présence de fruits de courgettes. Le 27 avril : maïs sénéscent (S4), pas de fruits.

Annexe VI : Détails du SP5 (GAMOUR, 2011)

S: Surveillance des populations

Quelles que soient les méthodes de gestion envisagées contre les Dacini, il convient d'utiliser une méthode de surveillance des populations afin de permettre aux agriculteurs de savoir à quel moment il est nécessaire d'intervenir ou encore pour vérifier l'efficacité de la gestion mise en place. Pour cela, il existe des systèmes de piégeage des mâles basé sur l'utilisation d'un attractif sexuel (ou paraphéromone*) spécifique des mâles de certaines espèces, le Cuelure ®. Vis-à-vis des mouches des Cucurbitaceae de La Réunion, il n'est toutefois efficace que sur deux espèces : *B. cucurbitae* et *D. demmerezi* (Etienne, 1982). Il existe également des pièges alimentaires à base de protéines comme le Nulure, le Buminal ou la levure de *Torula*, qui en général capturent essentiellement les femelles, celles-ci ayant plus besoin de protéines pour la maturation sexuelle et le développement des oeufs (Hagen & Finney, 1950). A La Réunion, les types de pièges les plus fréquemment utilisés sont soit des pièges à base d'attractif sous forme liquide comme le piège McPhail (McPhail, 1974), soit des pièges à sec pour les attractifs sexuels conditionnés sous forme de plaquettes ou de diffuseurs comme le piège McPhail (McPhail, 1974), soit des pièges à sec pour les attractifs sexuels conditionnés sous forme de plaquettes ou de diffuseurs comme le Tephri-Trap ® (Ros *et al.*, 1996) ou le Takamaka®.

PI: La prophylaxie

Cette technique, la base d'une gestion efficace pour tous types de ravageurs, consiste en la limitation de l'inoculum par le ramassage et l'exportation des fruits piqués hors de la parcelle. La technique de l'augmentorium, mise au point depuis le début du 20^{ème} siècle dans différentes situations (forêts européennes, agriculture traditionnelle en Afrique de l'Ouest) (Deguine, communication personnelle) permet à long terme de diminuer les populations de mouches et d'augmenter les populations de leur parasitoïdes, *Psytalia fletcheri*.

P2: « Le push pull assisté »

Les procédés d'attraction-répulsion «*push-pull* » permettent dans une certaine mesure, la manipulation des populations de bioagresseurs et de leurs auxiliaires, par une adaptation des systèmes de cultures. Ils reposent sur l'utilisation d'un ensemble de stimuli modifiant le comportement des insectes. La stratégie consiste d'une part à réduire les populations des ravageurs en les repoussant pour qu'ils ne s'installent pas dans les cultures et d'autre part, à les attirer sur d'autres peuplements végétaux situés en bordures où leur concentration pourra faciliter leur éventuelle élimination. Elle s'applique à l'inverse aux organismes auxiliaires, qu'il s'agit d'attirer dans les cultures à partir de l'environnement où ils sont dispersés (Deguine *et al.*, 2008).

La voie considérée ici associe le « push pull » à la technique « attract & kill ». Cette dernière repose sur l'utilisation « saine » d'appâts adulticides comme le Synéis Appât ® sur des plantes de bordures afin d'empêcher les femelles gravides d'aller pondre.

P3: Le piégeage

Le principe du piégeage est le même que pour le suivi des populations de mouches, mais les densités de piège, donc de mâles piégés, au sein de la parcelle sont beaucoup plus importants. De ce fait, les populations de mouches sont amenées à diminuer.

P4: Parasitoïdes et prédateurs

Les « bio pesticides » utilisant les prédateurs directs ainsi que les parasitoïdes sont utilisés en agriculture biologique et en agriculture raisonnée pour limiter les populations de divers ravageurs. Pour les Mouches des Cucurbitaceae, deux parasitoïdes sont principalement utilisés. *Fopius arisanus*, originaire de la région Indo-pacifique, a été introduit à La Réunion en 2003 suite à son acclimatation avec succès sur l'île d'Hawaï en 1946. Les taux de parasitismes sont très variables mais peuvent atteindre des niveaux très importants, de l'ordre de 70 à 80 % (Pascal Rousse, communication grand public, 2006). Il est peu spécialisé, puisqu'il est capable de parasiter toutes les mouches présentes à La Réunion (Rousse, 2006). *Psytalia fletcheri*, originaire de la région Indo-pacifique a été acclimaté avec succès à La Réunion, à partir d'Hawaï à la fin des années 1990 (Quilici *et al.*, 2004). Il est plus adapté à la lutte contre les mouches des légumes puisqu'il est plus spécifique. Néanmoins, les résultats obtenus lors des précédents lâchers ont été plutôt décevants car les pourcentages de parasitisme sont restés très faibles. Insuffisante dans la protection directe des cultures, cette méthode de lutte est intégrée au programme et ainsi, participe à la diminution partielle des populations de mouches présentes sur les parcelles.

P5: Pratiques agroécologiques de gestion des habitats

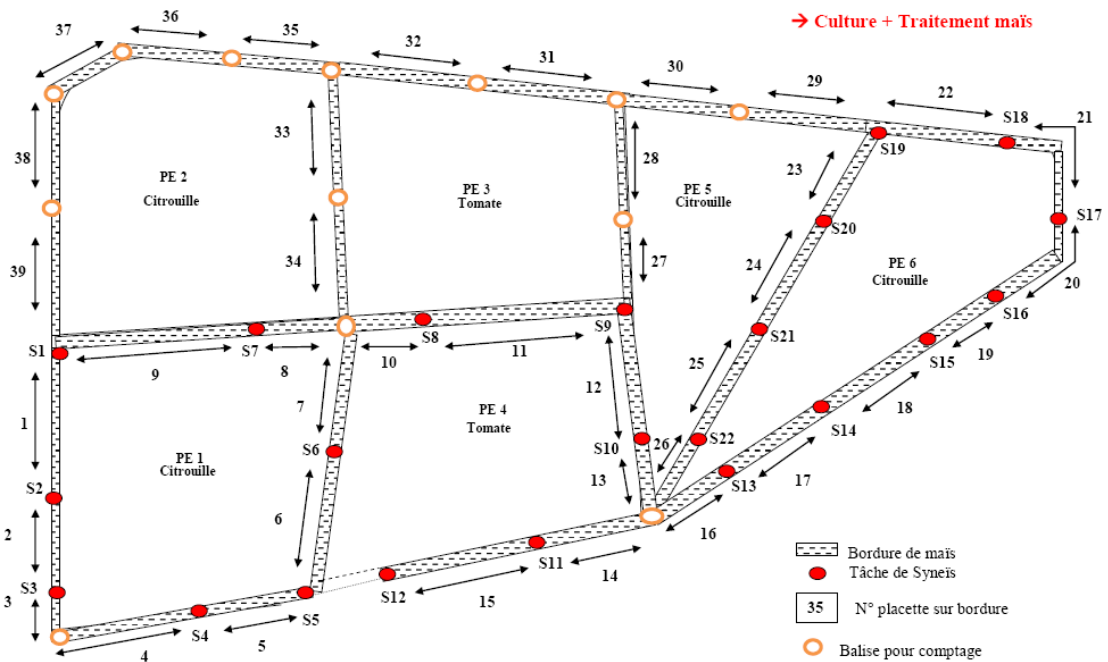
Les pratiques culturales telles que les rotations et les associations des cultures, le travail ou le non travail du sol ainsi que la mise en place de bordures autour des parcelles permettent de conserver et/ou d'augmenter la richesse faunistique et floristique des agroécosystèmes.

Annexe VII : Plan des parcelles

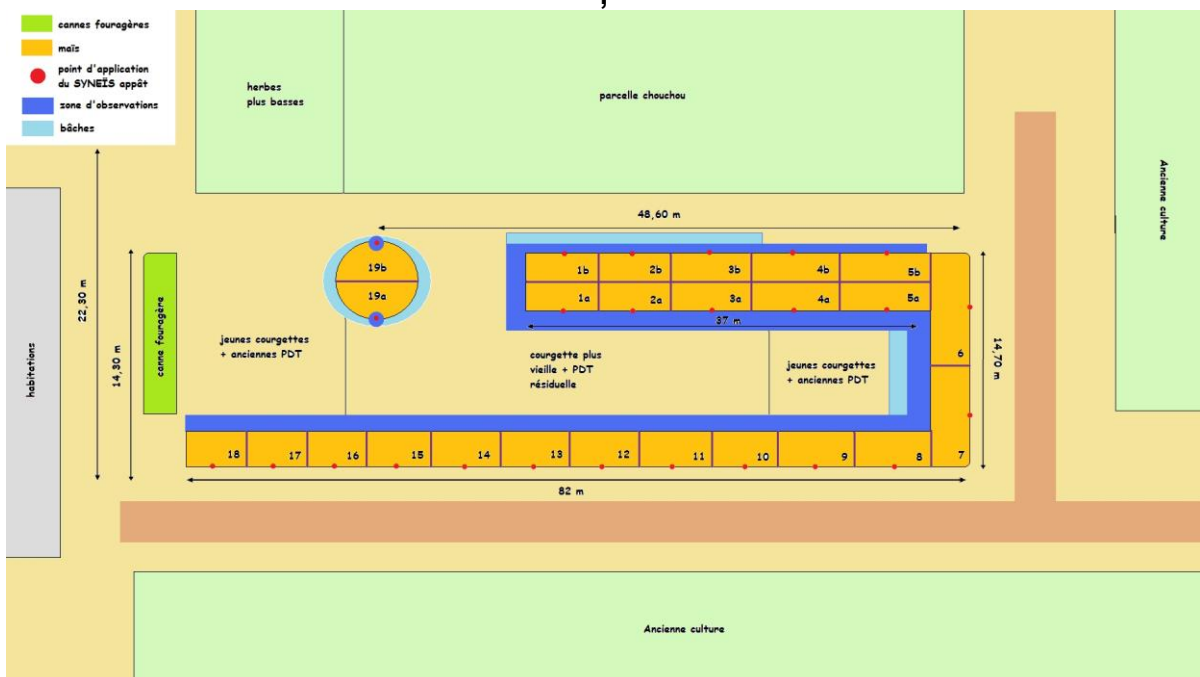
Parcelle A 2011, Tan Rouge

PARCELLE A
Tan-Rouge (750 m d'altitude)

Essais 2011
Comparaison push-pull / push-pull assisté

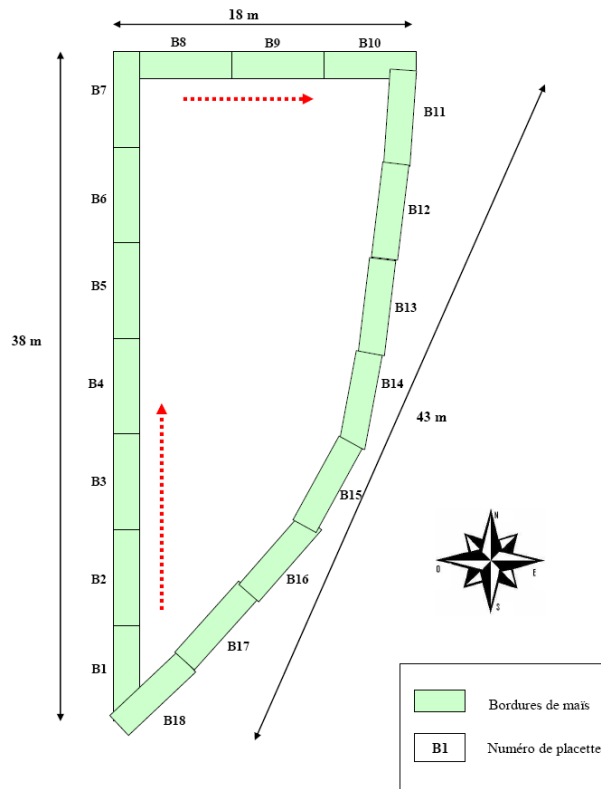


Parcelle 2009, Piton Hyacinthe



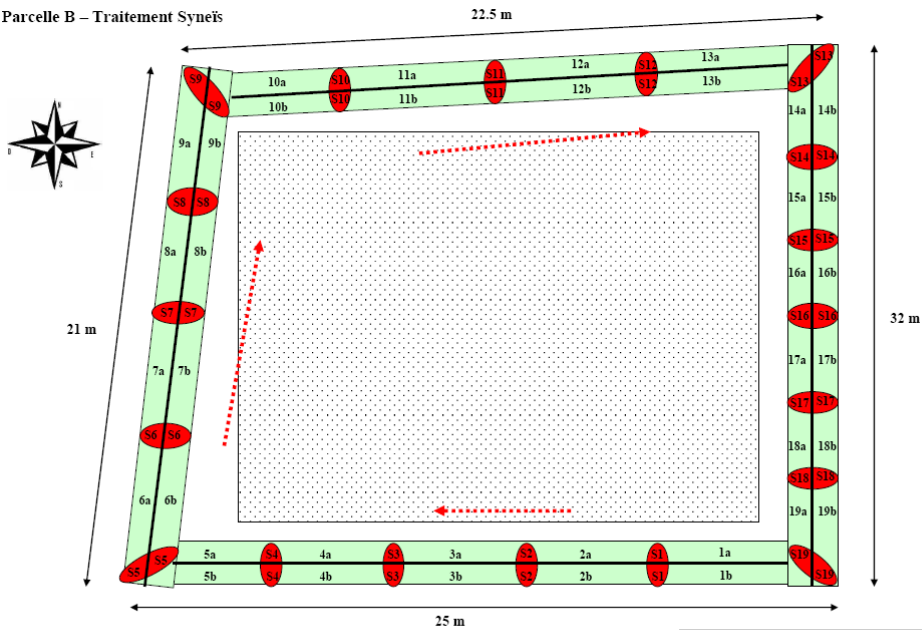
Parcelles 2010, Piton Bloc

Parcelle A – Témoin, sans traitement Syneïs



Bordures de maïs et culture de courgette
Petite-île, Piton Bloc, Guy-René Hoareau

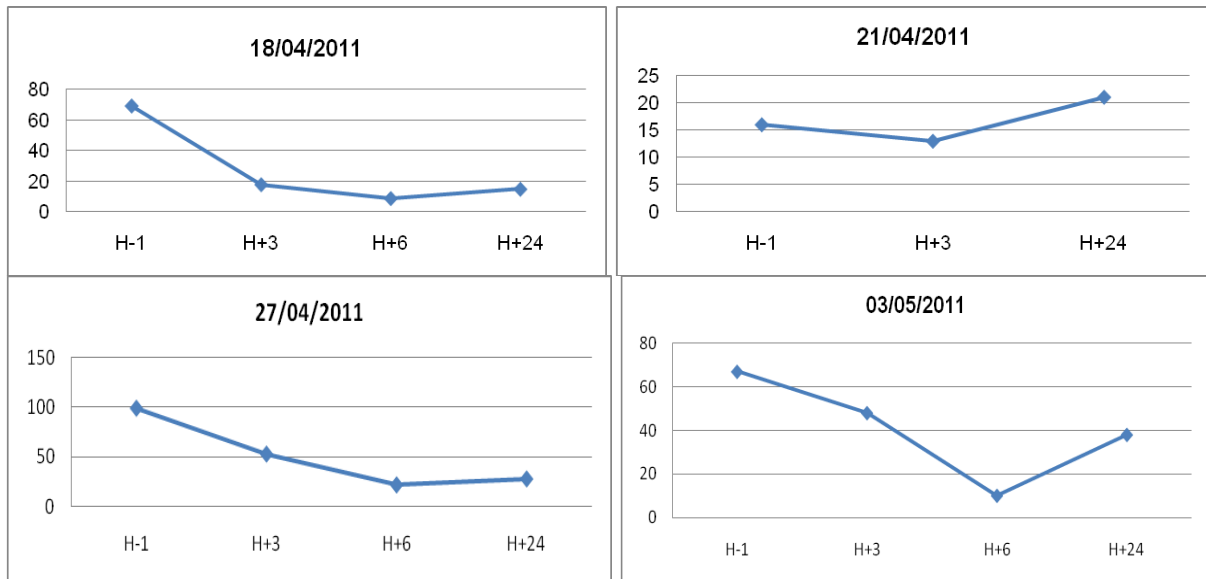
Parcelle B – Traitement Syneïs



Bordures de maïs et culture de courgette
Petite-île, Piton Bloc, Guy-René Hoareau

Annexe VIII : Evolution des populations de mouches sur maïs, espèces confondues, sur la parcelle B, en 2011 à Tan-Rouge

Sur l'axe des abscisses sont indiquées les heures d'observation avant et après l'application du Synéis Appât®. H-1 indique une observation réalisée une heure avant le traitement, H+3, trois heures après, et ainsi de suite. Les heures où la courbe n'est pas visible correspondent à des comptages non effectués. Sur l'axe des ordonnées est indiqué l'effectif de mouches comptées, toutes espèces confondues sur l'ensemble des placettes d'observation de la bordure traitée. Le titre de chaque graphique correspond à la date du traitement.

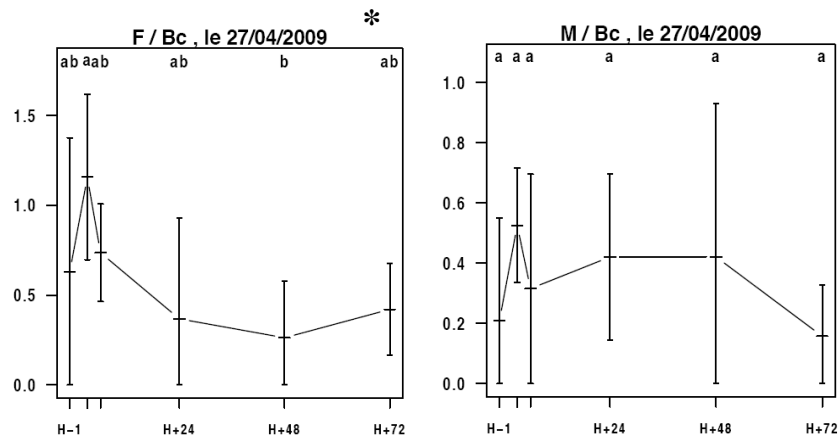


Annexe IX : Evolution des populations de mouches, par espèce et sexe, années 2009/2010/2011.

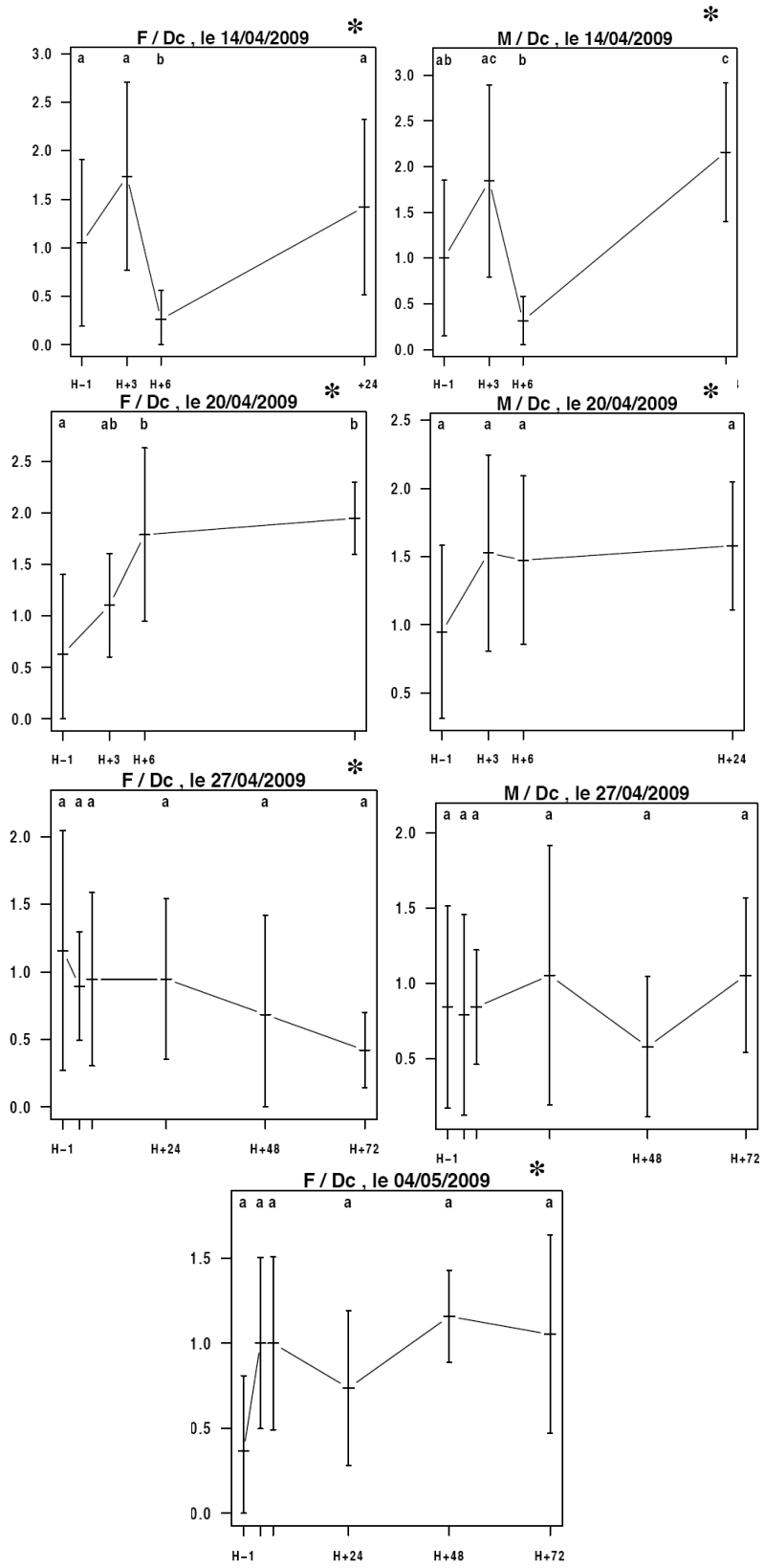
Sur l'axe des abscisses sont indiquées les heures d'observations. « H » correspond à l'heure d'application du Synéis Appât ®. H-1 indique une observation réalisée une heure avant le traitement, H+3, trois heures après et ainsi de suite. Sur l'axe des ordonnées, l'effectif correspond à la moyenne des mouches par placette. Au dessus de chaque graphique, le titre indique : le sexe (M : Mâle, F : Femelle), l'espèce (Bc : *B. cucurbitae*, Dd : *D. demmerezi*, Dc : *D. ciliatus*), et la date du traitement au Synéis Appât ®. Au dessus des barres d'écart-type, les lettres indiquent une différence significative lorsqu'elles sont différentes les unes des autres. L'astérisque (*) indique une situation analysée dans l'étude (effectif maximal d'au moins une mouche par placette)

ANNEE 2009, PITON HYACINTHE

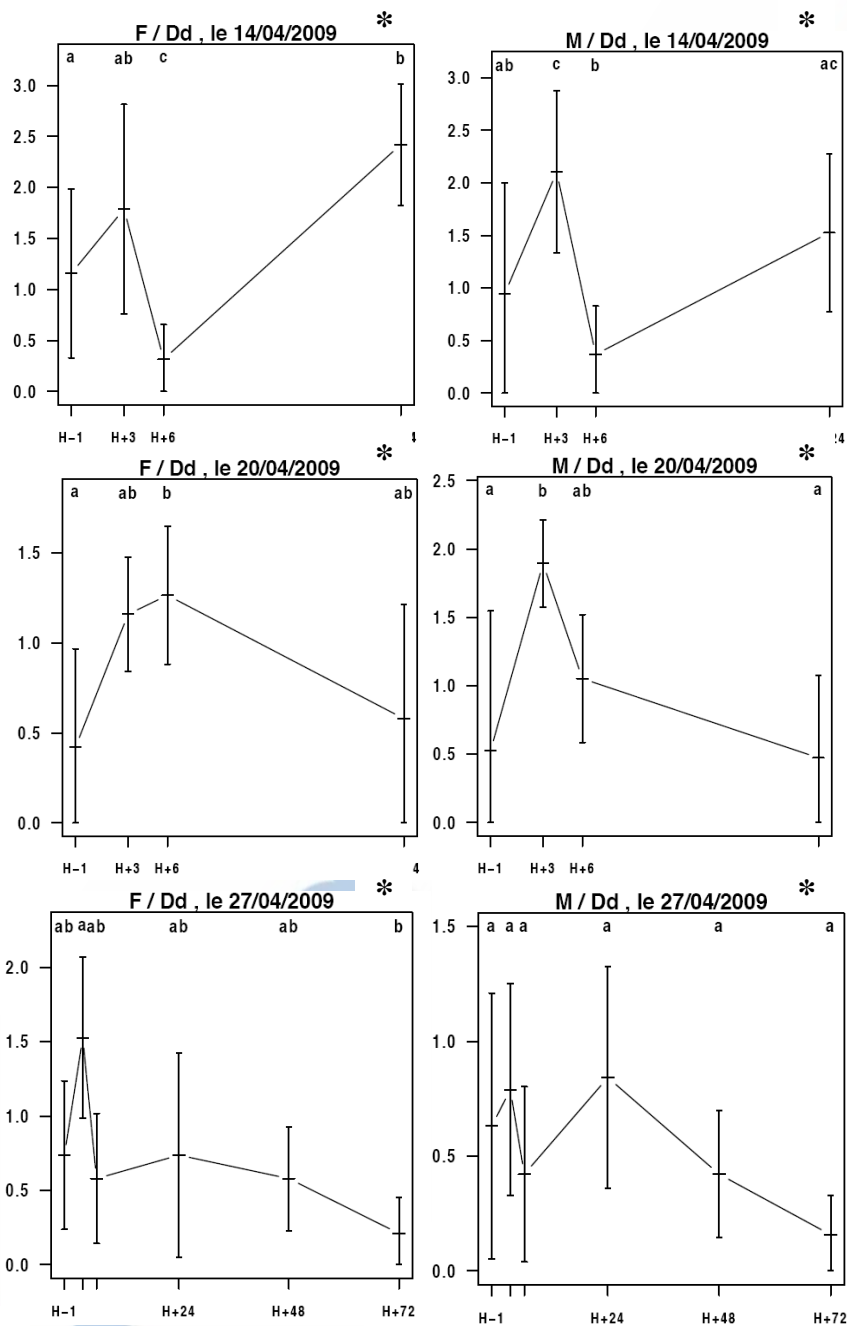
B. cucurbitae



D. ciliatus

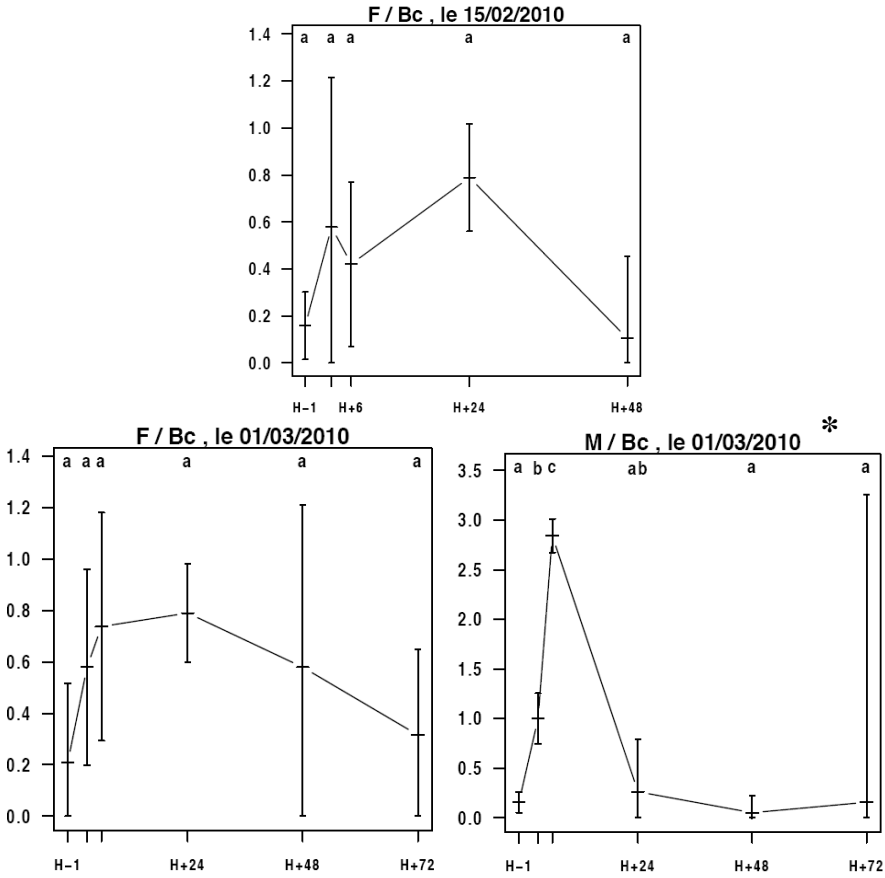


D. demmerezi

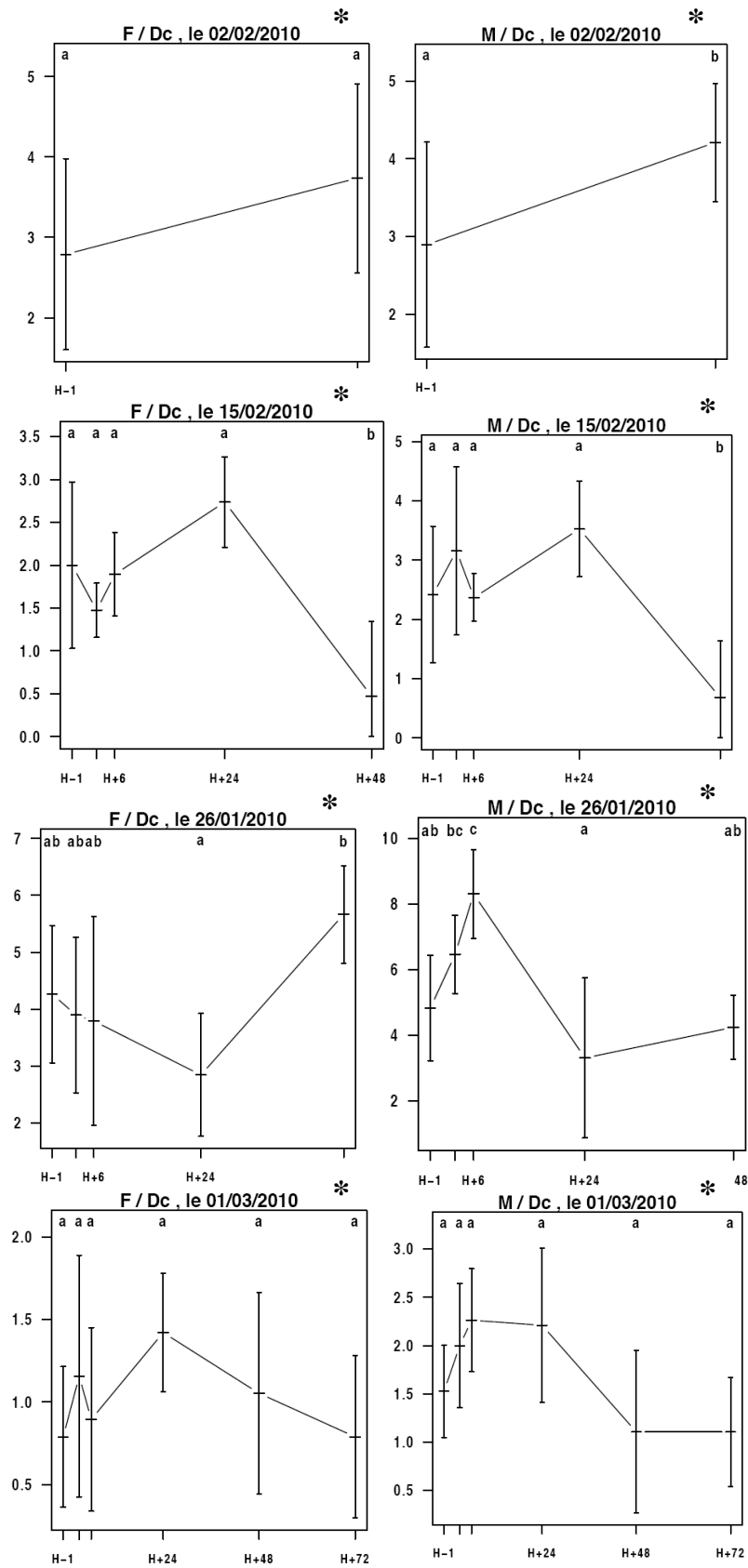


ANNEE 2010, PITON BLOC, parcelle B.

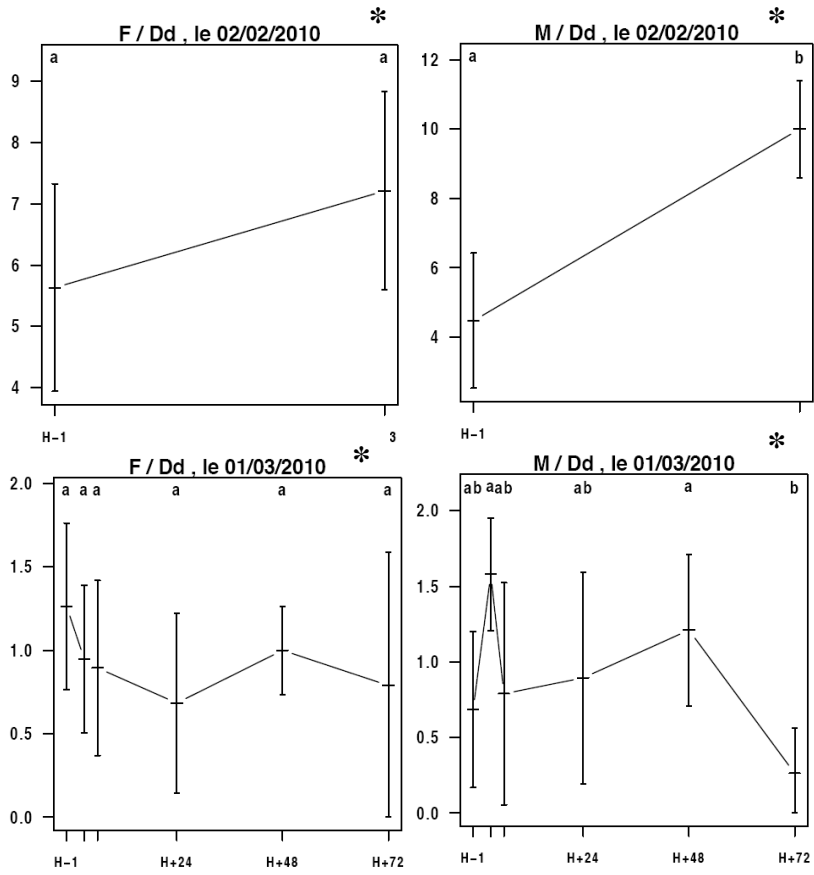
B. cucurbitae



D. ciliatus

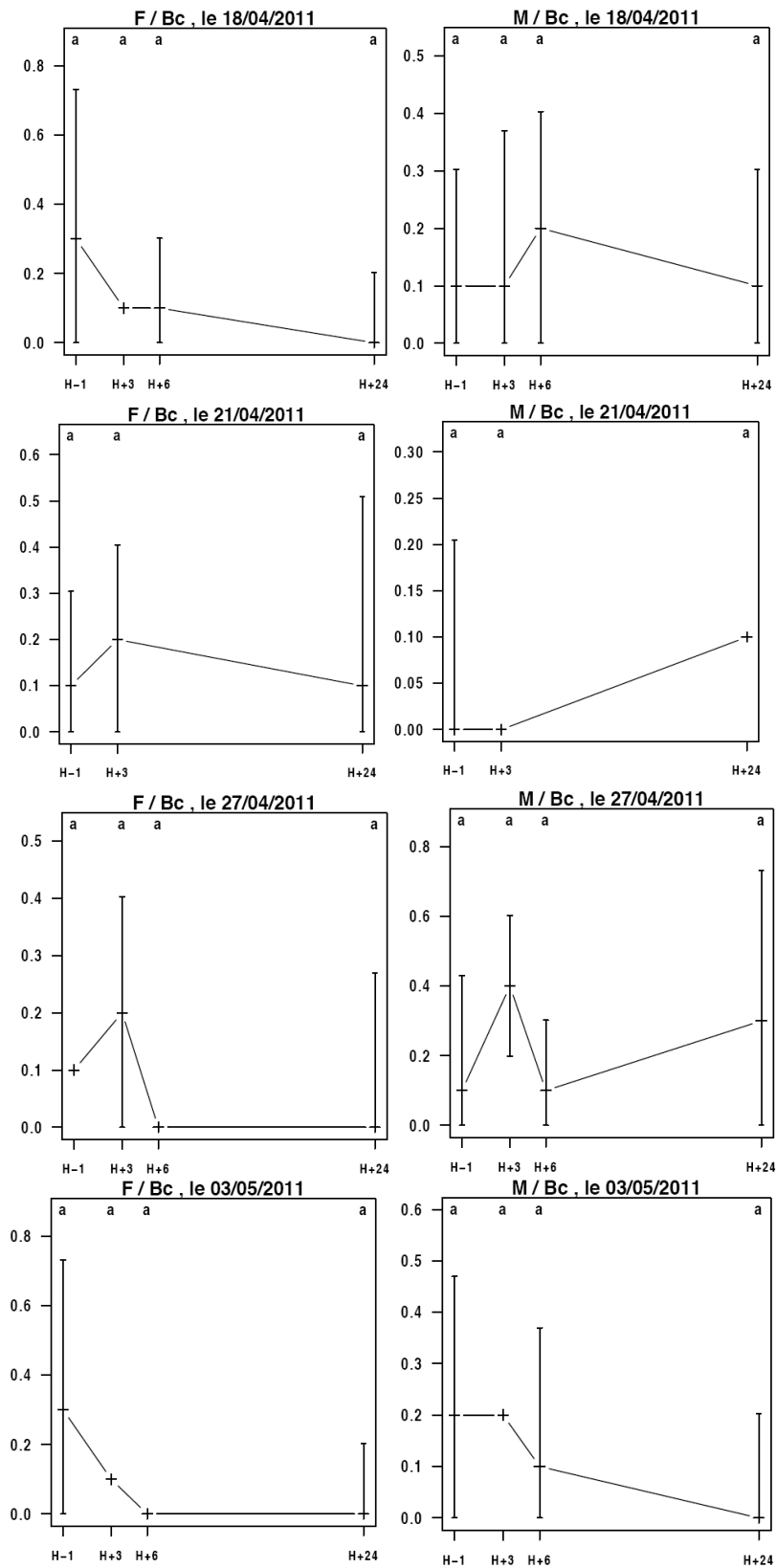


D. demmerezi

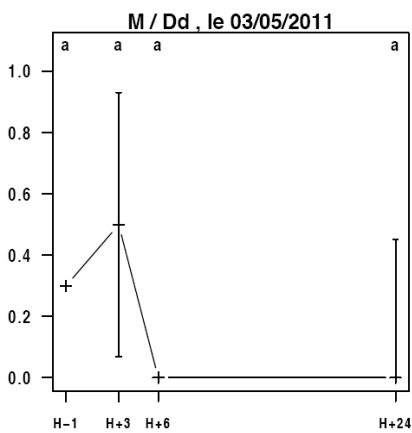
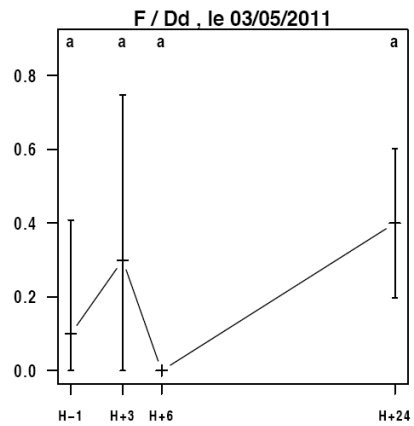
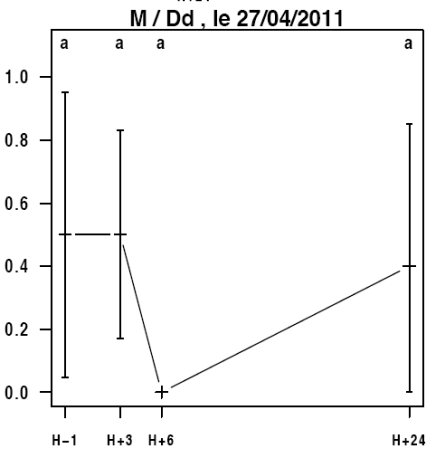
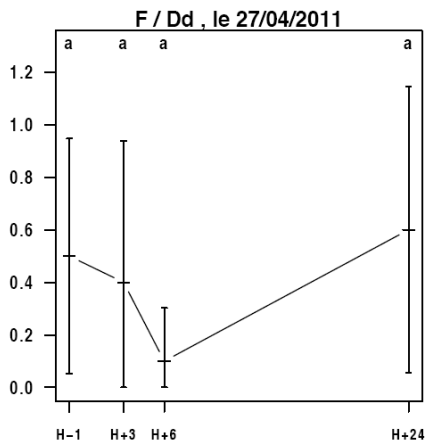
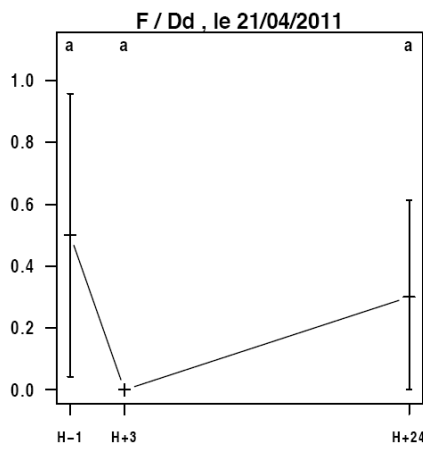
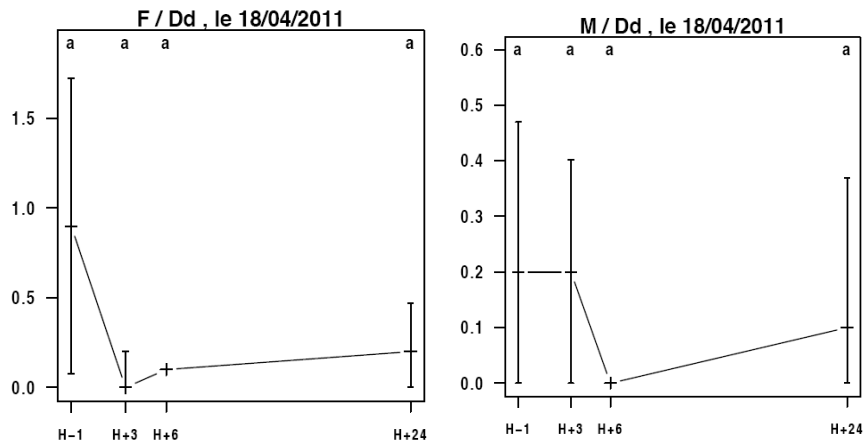


ANNEE 2011, TAN-ROUGE, parcelle B

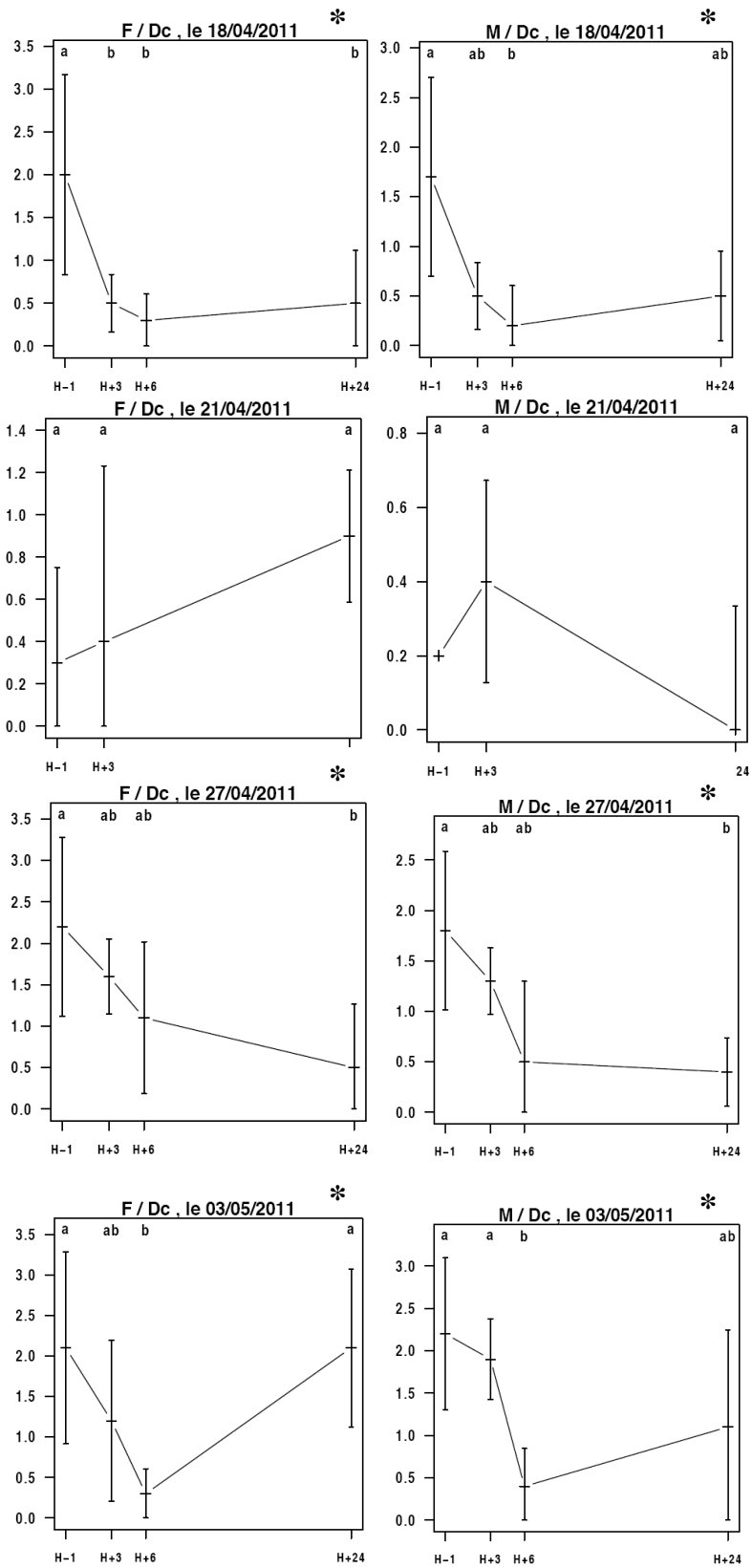
B. cucurbitae



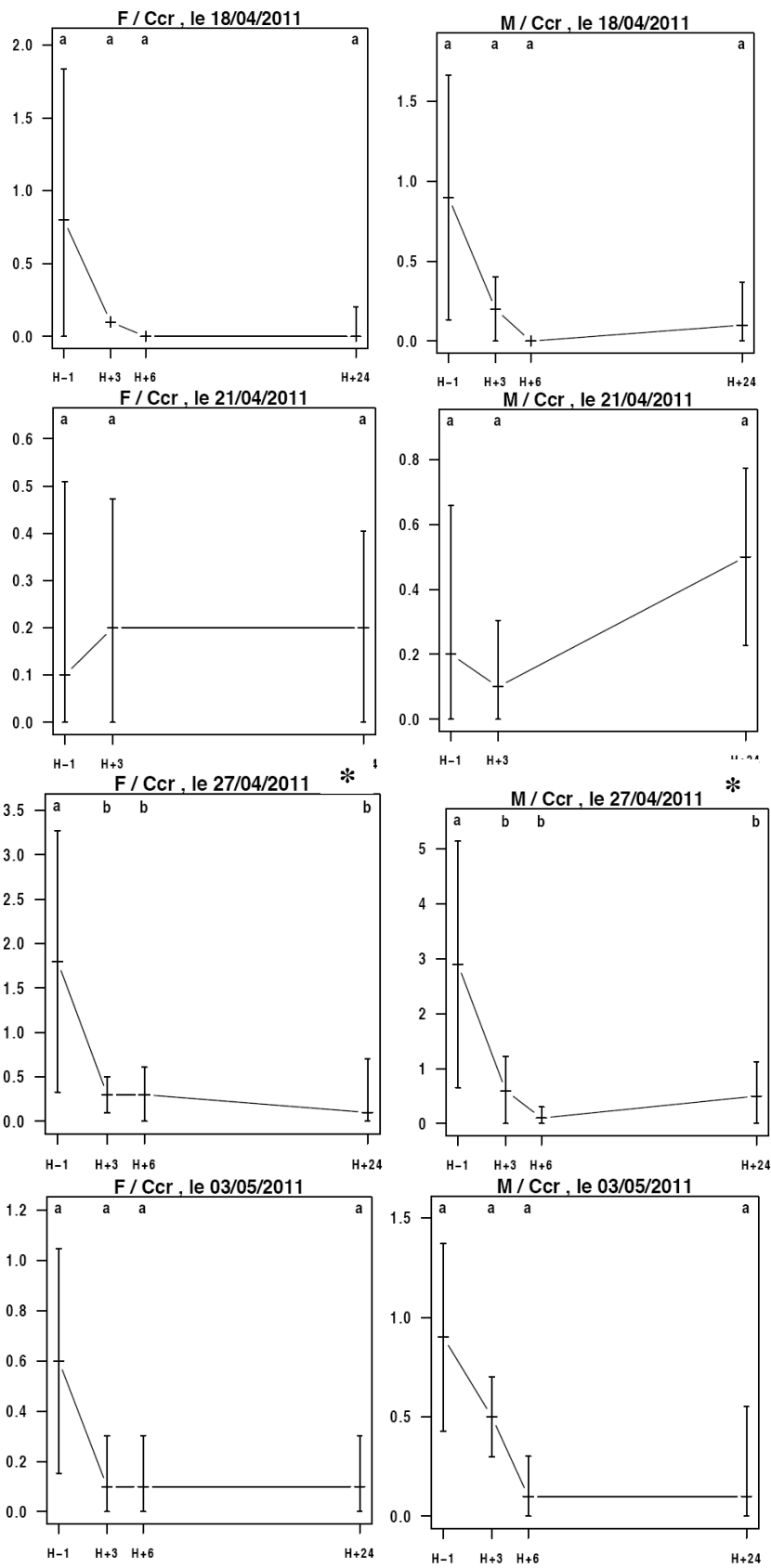
D. demmerezi



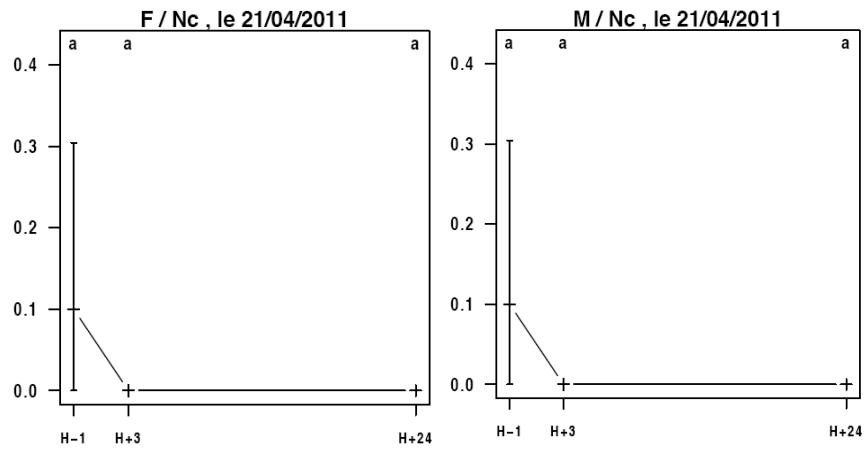
D. ciliatus



C. rosa



N. cyanescens



Annexe X : Résultat du modèle GLMM pour les huit situations

26/01/2010.F.Dd`
Linear Hypotheses:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
H+24 - H-1 == 0	-0.5701	0.1205	-4.730	< 0.001 ***
H+3 - H-1 == 0	0.1459	0.0989	1.475	0.57484
H+48 - H-1 == 0	-0.2671	0.1256	-2.128	0.20521
H+6 - H-1 == 0	-0.1463	0.1064	-1.375	0.63996
H+3 - H+24 == 0	0.7160	0.1175	6.092	< 0.001 ***
H+48 - H+24 == 0	0.3030	0.1407	2.153	0.19508
H+6 - H+24 == 0	0.4238	0.1239	3.420	0.00565 **
H+48 - H+3 == 0	-0.4130	0.1227	-3.366	0.00671 **
H+6 - H+3 == 0	-0.2922	0.1030	-2.837	0.03603 *
H+6 - H+48 == 0	0.1208	0.1288	0.938	0.88049

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Adjusted p values reported -- single-step method)

26/01/2010.M.Dd`
Linear Hypotheses:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
H+24 - H-1 == 0	-0.24741	0.12511	-1.978	0.2731
H+3 - H-1 == 0	0.56547	0.10374	5.451	<0.001 ***
H+48 - H-1 == 0	0.02939	0.13112	0.224	0.9994
H+6 - H-1 == 0	0.26867	0.11004	2.441	0.1024
H+3 - H+24 == 0	0.81288	0.11264	7.216	<0.001 ***
H+48 - H+24 == 0	0.27679	0.13827	2.002	0.2612
H+6 - H+24 == 0	0.51608	0.11847	4.356	<0.001 ***
H+48 - H+3 == 0	-0.53609	0.11929	-4.494	<0.001 ***
H+6 - H+3 == 0	-0.29681	0.09563	-3.104	0.0159 *
H+6 - H+48 == 0	0.23928	0.12481	1.917	0.3038

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Adjusted p values reported -- single-step method)

15/02/2010.F.Dd`
Linear Hypotheses:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
H+24 - H-1 == 0	0.1541	0.2117	0.728	0.9476
H+3 - H-1 == 0	-0.3365	0.2406	-1.398	0.6179
H+48 - H-1 == 0	-1.4351	0.3542	-4.051	<0.001 ***
H+6 - H-1 == 0	-0.9045	0.2894	-3.126	0.0143 *
H+3 - H+24 == 0	-0.4906	0.2334	-2.102	0.2101
H+48 - H+24 == 0	-1.5892	0.3493	-4.549	<0.001 ***
H+6 - H+24 == 0	-1.0587	0.2834	-3.736	0.0017 **
H+48 - H+3 == 0	-1.0986	0.3676	-2.989	0.0220 *
H+6 - H+3 == 0	-0.5680	0.3056	-1.859	0.3288
H+6 - H+48 == 0	0.5306	0.4012	1.322	0.6670

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Adjusted p values reported -- single-step method)

15/02/2010.M.Dd`
Linear Hypotheses:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
H+24 - H-1 == 0	0.5031	0.2484	2.025	0.2441
H+3 - H-1 == 0	0.8528	0.2342	3.641	0.0023 **
H+48 - H-1 == 0	-0.8602	0.3597	-2.392	0.1117
H+6 - H-1 == 0	-0.2624	0.2974	-0.882	0.8992
H+3 - H+24 == 0	0.3497	0.1991	1.756	0.3879
H+48 - H+24 == 0	-1.3633	0.3379	-4.035	<0.001 ***
H+6 - H+24 == 0	-0.7655	0.2707	-2.828	0.0357 *
H+48 - H+3 == 0	-1.7130	0.3276	-5.229	<0.001 ***
H+6 - H+3 == 0	-1.1152	0.2577	-4.328	<0.001 ***
H+6 - H+48 == 0	0.5978	0.3754	1.593	0.4902

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Adjusted p values reported -- single-step method)

14/04/2009.F.Bc`
Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)

H+24 - H-1 == 0	-0.2423	0.1700	-1.425	0.4675
H+3 - H-1 == 0	0.1844	0.1526	1.209	0.6068
H+6 - H-1 == 0	-1.8846	0.3105	-6.070	<0.001 ***
H+3 - H+24 == 0	0.4267	0.1636	2.608	0.0408 *
H+6 - H+24 == 0	-1.6423	0.3160	-5.196	<0.001 ***
H+6 - H+3 == 0	-2.0690	0.3070	-6.739	<0.001 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Adjusted p values reported -- single-step method)

14/04/2009.M.Bc`
Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)

H+24 - H-1 == 0	2.513e-01	2.263e-01	1.110	0.6771
H+3 - H-1 == 0	2.513e-01	2.263e-01	1.110	0.6771
H+6 - H-1 == 0	-9.904e-01	3.262e-01	-3.036	0.0123
H+3 - H+24 == 0	-7.175e-07	2.117e-01	0.000	1.000
H+6 - H+24 == 0	-1.242e+00	3.162e-01	-3.927	<0.001 ***
H+6 - H+3 == 0	-1.242e+00	3.162e-01	-3.927	<0.001 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Adjusted p values reported -- single-step method)

20/04/2009.M.Bc`
Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)

H+24 - H-1 == 0	-0.2683	0.3713	-0.722	0.88666
H+3 - H-1 == 0	0.7503	0.2966	2.530	0.05477 .
H+6 - H-1 == 0	0.2113	0.3288	0.643	0.91701
H+3 - H+24 == 0	1.0186	0.3261	3.123	0.00943 **
H+6 - H+24 == 0	0.4795	0.3557	1.348	0.52815
H+6 - H+3 == 0	-0.5390	0.2767	-1.948	0.20526

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Adjusted p values reported -- single-step method)

20/04/2009.F.Dc`
Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)

H+24 - H-1 == 0	1.12600	0.33572	3.354	0.00421 *
H+3 - H-1 == 0	0.55961	0.36570	1.530	0.41356
H+6 - H-1 == 0	1.04145	0.33933	3.069	0.01118 *
H+3 - H+24 == 0	-0.56639	0.27611	-2.051	0.16574
H+6 - H+24 == 0	-0.08454	0.24008	-0.352	0.98469
H+6 - H+3 == 0	0.48184	0.28048	1.718	0.30891

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Adjusted p values reported -- single-step method)

Annexe XI : Protocole : Distance maximale d'attractivité du Synéïs Appât®

L'objectif de l'expérimentation est de définir la distance maximale à préconiser entre deux traitements au Synéïs Appât® (SA)

- Dispositif expérimental

Cette expérimentation est conduite sur une parcelle du CIRAD, à Ligne-Paradis (St-Pierre). L'essai est réalisé sur une parcelle de 50m sur 50m. Les mouches (*Bactrocera cucurbitae*) marquées sont disposées dans des cages aux quatre points cardinaux (afin de minimiser l'effet lié aux conditions climatiques, principalement le vent) à trois distances distinctes. Simultanément 25 adultes (sexe confondus) sont lâchés par les expérimentateurs aux endroits précis préalablement délimités.

Les distances de lâchers des mouches (par rapport au support) sont les suivantes :

- ❖ Lot 1 : 1m, 10m, 20m (vert, rose, jaune)
- ❖ Lot 2 : A préciser
- ❖ Lot 3 : A préciser
- ❖ Lot 4 : A préciser
- ❖ Lot 5 : A préciser

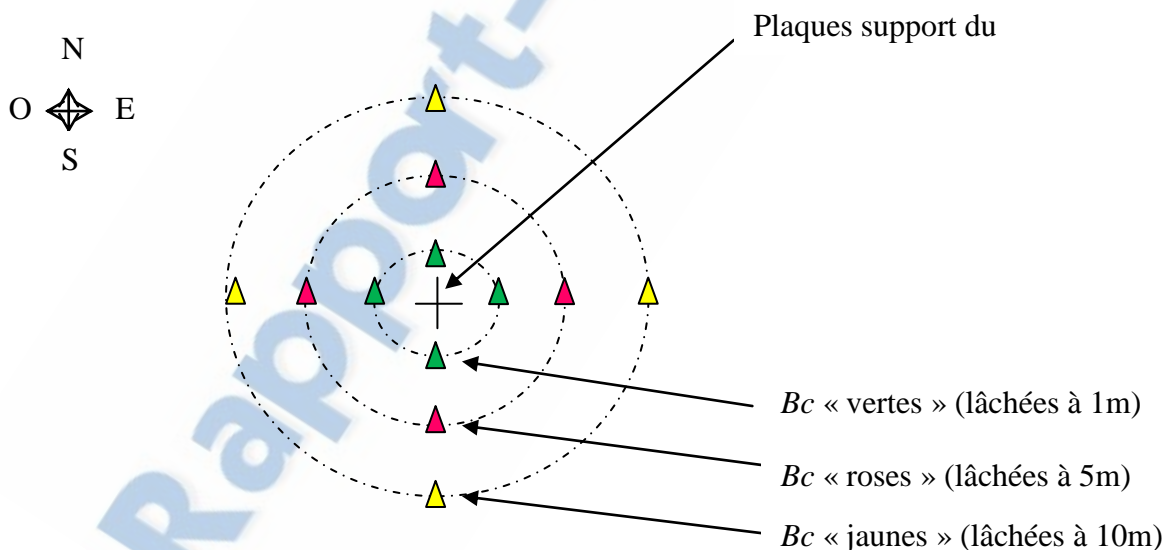


Schéma de l'essai avec le lot 1 (*Bc* : *Bactrocera cucurbitae*)

Le SA est appliqué sur un dispositif constitué de deux plaques de verre organique (30cm*40cm) transparentes disposées en croisillon. De la glue (Kollant S.P.A, Padova, Italie) est étalée au préalable sur le support. L'application du SA se fait à l'aide d'un pulvérisateur à main sur le support à une dose de 1:5 (10ml de produit pour 40 ml d'eau).

Le dispositif est répété pour chaque lot de mouches afin d'affiner la distance optimale d'attractivité (distance à préciser pour chaque lot).

- Matériel biologique

L'expérience est conduite avec des mouches de l'espèce *Bactrocera cucurbitae*. Elles sont issues de l'élevage du CIRAD, mené en conditions contrôlées (25 ± 1 °C, $70 \pm 10\%$ d'humidité relative, photopériode de 12h). Leur alimentation est **uniquement** composée de sucre de canne cristallisé (pas de sources de protéines : l'hydrolysât de levures (ICN Biomedicals, Inc., Aurora, OH, USA). Une éponge constamment humidifiée (disposée à travers le couvercle d'un récipient rempli d'eau), permet leur approvisionnement en eau dans la cage. L'élevage est renouvelé au sein du CIRAD depuis de nombreuses générations. Des courgettes sont posées dans les cages pour la ponte, les larves sortent puis forment des pupes qui sont placées dans du sable. Après tamisage, la boîte de puce est disposée dans une nouvelle cage (30 cm x 30 cm x 30 cm) pour l'émergence des nouveaux individus.

A ce stade, les pupes sont saupoudrées d'un marqueur fluorescent (RADGLO® TP pigments) afin de les différencier. En effet, pour chaque essai, une couleur correspond à une distance précise de lâcher de mouches. Les couleurs utilisées sont : TP-10: Chartreuse (jaune), TP-11: Green (vert), TP-33: Orange (orange), TP-35: Red (rouge) et TP-37: Pink (rose). La poudre n'affecte pas le comportement de la mouche.

Les mouches sont utilisées une semaine après leur émergence, durée nécessaire pour qu'elles ôtent le surplus de poudre.

- Protocole d'observation

Une heure après le lâcher.

L'observation des mouches marquées a lieu au laboratoire, à l'aide d'une lampe à Ultra Violet (UV) qui révèle le marqueur fluorescent. Le comptage se fait par couleur, se rapportant donc à une distance. La détermination de la distance optimale d'efficacité du SA se fait selon le nombre total de mouches attirées sur le support en verre organique.