



FONDATION
POUR LA RECHERCHE
SUR LA BIODIVERSITÉ



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
DE L'AGROALIMENTAIRE
ET DE LA FORÊT

Appel à projets de recherche

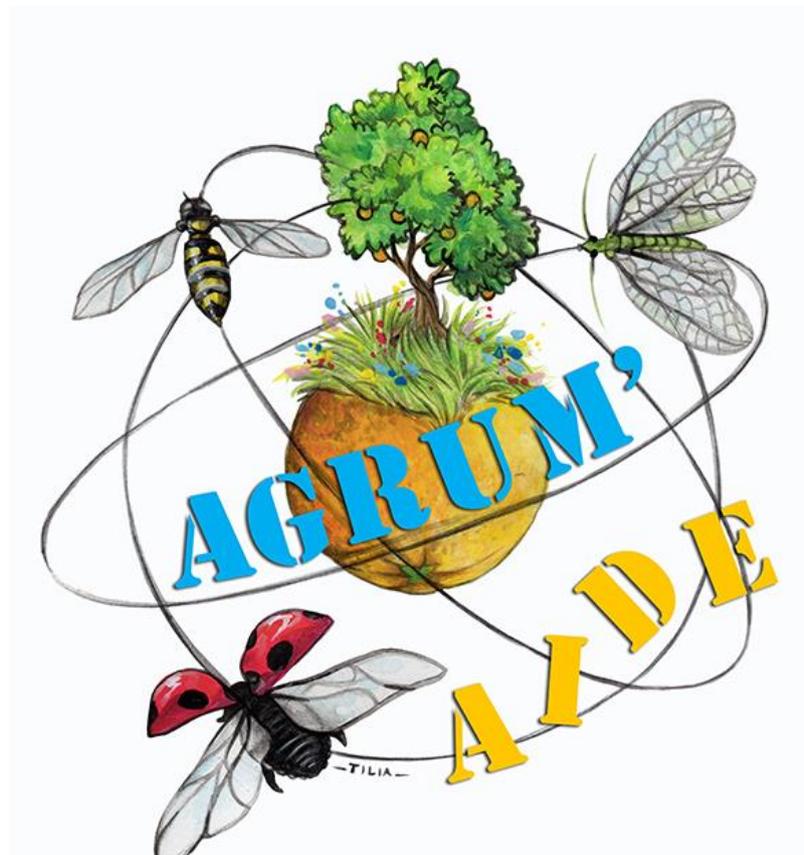
« Biodiversité-Ecophyto »

La biodiversité pour réduire l'emploi des produits
phytosanitaires lancé par la Fondation pour la Recherche sur la
Biodiversité (FRB)



Rapport d'étude

Ce rapport d'étude a été réalisé dans le cadre du projet AGRUM'AIDE recevant le soutien financier de l'ONEMA et piloté par la MAAF-DGER dans le cadre du plan national Ecophyto.



Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE des SCIENCES AGRONOMIQUES de BORDEAUX
AQUITAINE

1, cours du Général de Gaulle - CS 40201 – 33175 GRADIGNAN cedex

M E M O I R E de fin d'études

pour l'obtention du titre

d'Ingénieur de Bordeaux Sciences Agro

Impacts de différents modes de gestion de
l'enherbement des vergers d'agrumes à la Réunion sur
les populations d'arthropodes auxiliaires

Pelletier, Nina

Spécialisation : Agroécologie et Gestion des Ressources

Etude réalisée à : CIRAD - Persyst, UPR HortSys, BP 180, 97455 Saint-Pierre, La Réunion

- 2 0 1 6 -

Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE des SCIENCES AGRONOMIQUES de BORDEAUX
AQUITAINE

1, cours du Général de Gaulle - CS 40201 – 33175 GRADIGNAN cedex

M E M O I R E de fin d'études

pour l'obtention du titre

d'Ingénieur de Bordeaux Sciences Agro

Impacts de différents modes de gestion de l'enherbement des vergers d'agrumes à la Réunion sur les populations d'arthropodes auxiliaires



Nina, Pelletier

Maîtres de stage : Fabrice Le Bellec, Marie Rothe & Alain Ratnadass

Tuteur : Brice Giffard

Spécialisation : Agroécologie et Gestion des Ressources

Etude réalisée au CIRAD - Persyst, UPR HortSys, BP 180, 97455 Saint-Pierre, La Réunion



Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Marie Rothe pour les nombreuses heures qu'elle m'a accordées afin de répondre à toutes mes questions et m'aider à avancer.

Je tiens ensuite à remercier Fabrice Le Bellec de m'avoir donné l'opportunité de travailler dans son équipe et de m'avoir accompagnée jusqu'au bout dans la rédaction de mon mémoire.

Je voudrais également remercier Alain Ratnadass pour l'aide précieuse et le savoir qu'il m'a apportés dans l'identification des insectes ainsi que pour son aide lors de la mise en place des pièges sur les parcelles qui faisaient parfois de la résistance.

Merci à Rose-My Payet qui m'accompagne sur le terrain plusieurs fois et m'a épaulée dans l'identification des plantes.

Merci à toute l'équipe Cirad de Bassin Plat de l'accueil qui est fait aux stagiaires.

Enfin je tiens à remercier les autres stagiaires (Aude, Guillaume, Marine, Anaïs, Maëli et Agathe) qui ont partagé mon bureau pendant 6 mois d'avoir rendu mon séjour à la Réunion et au Cirad encore plus agréable.

Sommaire

1. Introduction	1
2. Contexte	2
2.1. La culture d'agrumes à la Réunion.....	2
2.2. Les principaux ravageurs et auxiliaires en vergers d'agrumes.....	3
2.2.1. Les Coccinellidae	4
2.2.2. Les Chrysopidae	5
2.2.3. Les Syrphidae	6
2.2.4. Micro-hyménoptères parasitoïdes	6
3. Lutte biologique par conservation et approche fonctionnelle	7
3.1. La lutte biologique par conservation des habitats : une alternative à l'utilisation des produits phytosanitaires.....	7
3.2. L'approche fonctionnelle pour l'étude des relations plantes-insectes.....	8
3.3. Traits d'effets d'intérêt dans le cas de l'étude.....	9
3.3.1. Nectaires extra floraux (NEF)	11
3.3.2. Les trichomes	12
3.3.3. Recouvrement de espèces végétales.....	12
3.3.4. Taille de l'inflorescence et des fleurs.....	12
3.3.5. Textures et structures foliaires	13
4. Objectifs du stage	13
5. Matériel et méthodes	14
5.1. Dispositif expérimental	14
5.2. Caractérisation en traits fonctionnels des couverts étudiés.....	16
5.3. Suivi entomologique	16
5.3.1. Présentation des pièges cornet unidirectionnels.....	16
5.3.2. Protocole de piégeage.....	17
5.4. Traitement des données	19
5.4.1. Etude des couverts végétaux du projet.....	19

5.4.2. Comparaison des communautés d'arthropodes en fonction du stade de croissance des couverts et de la modalité de gestion de l'enherbement	19
5.4.3. Mise en relation des traits d'effet des plantes avec les auxiliaires observés.....	19
6. Résultats	20
6.1. Différenciation en traits d'effet d'intérêt des quatre enherbements	20
6.1.1. Caractérisation de la flore du relevé 1	20
6.1.2. Caractérisation de la flore du relevé 2.....	23
6.1.3. Caractérisation de la flore du relevé 3.....	24
6.1.4. Comparaison des compositions fonctionnelles des couverts entre les trois relevés	26
6.2. Impact de l'état de l'enherbement sur les populations d'auxiliaires et de pucerons.....	27
6.2.1. Nombre d'individus piégés selon les trois relevés : étude des coccinelles, des syrphes et des araignées	27
6.2.2. Comparaison des populations de coccinelles, parasitoïdes, fourmis et pucerons avant et après gestion de l'enherbement pour les quatre modalités	29
6.3. Effet de l'ITK sur les auxiliaires et les pucerons	31
6.4. Etudes des relations existantes entre les traits d'effet et les coccinelles.....	31
6. Discussion	33
6.1. Pièges cornets	33
6.2. Dispositif expérimental	34
6.3. Impact des modes de gestion sur la fonctionnalité de l'enherbement.....	34
6.4. Relations plante-insecte.....	35
7. Conclusion.....	35
Bibliographie.....	37

Liste des figures

Figure 1: Schéma récapitulatif des relations tri-trophiques auxiliaires- plantes- ravageurs (source photo : banque de photos Flickr)	4
Figure 2: concept de "trait fonctionnel", (adapté à partir de (Burylo 2010; Garnier s.d).....	8
Figure 3 : schéma du dispositif expérimental de la station du Cirad de Bassin Plat.....	15
Figure 4 : Schématisation des différents relevés floristiques et entomologiques	16
Figure 5 : Construction d'un piège cornet (source : Chambre d'Agriculture de la Charente-Maritime, 2012).....	17
Figure 6 : Vue aérienne du dispositif expérimental	18
Figure 7 : Couple de pièges tête-bêche sur la modalité BM (broyeur)	18
Figure 8 : Abondance du trait "marges foliaires non lisses" au sein des 4 modalités (relevé 1)	21
Figure 9 : ACP des traits d'effet du relevé floristique 1	22
Figure 10 : Graphique des individus (Relevé 1).....	22
Figure 11 : ACP des traits d'effet du relevé floristique 2	23
Figure 12 : Graphique des individus (Relevé 2).....	24
Figure 13 : Abondance du trait "NEF" au sein des 4 modalités (relevé 2)	24
Figure 14 : ACP des traits d'effet du relevé floristique 3	25
Figure 15 : Graphique des individus (Relevé 3).....	25
Figure 16 : Sommes des coccinelles piégées pour les trois relevés entomologiques.....	28
Figure 17 : Sommes des syrphes piégées pour les trois relevés entomologiques	28
Figure 18 : Sommes des araignées piégées pour les trois relevés entomologiques	29
Figure 19 : Effet de la présence du couvert pour les 4 ITK sur 3 familles d'auxiliaires et les pucerons	30
Figure 20 : Effet du mode de gestion de l'enherbement sur certains auxiliaires et les pucerons (ravageurs).....	31
Figure 21 : Corrélations entre traits d'effet d'intérêt et coccinelles (relevé 2).....	32

Liste des tableaux

Tableau 1 : Relations entre des traits d'effet étudiés au cours du projet Agrum'aide et les groupes d'auxiliaires	10
Tableau 2 : Relations entre trois traits d'effet et les principaux groupes de ravageurs des agrumes	11
Tableau 3 : Liste des espèces identifiées et de leurs traits d'effet par modalité	20

Tableau 4 : Tableau récapitulatif des relations existantes entre les modalités pour chaque trait d'effet au sein de chaque relevé floristique	26
Tableau 5 : Nombre d'individus comptés par famille d'arthropodes à l'issue des trois relevés entomologiques	27

Liste des abréviations

ACP : analyse en composantes principales

BM : broyeur à marteaux

CC : cover- crop

F : fauche

H : herbicide

IFT : indice de fréquence de traitement

ITK : itinéraire technique. Associé à modalité de gestion de l'enherbement au sein de ce rapport

NEF : nectaire extra floral

Glossaire

Auxiliaire : animal détruisant les ravageurs ou limitant leur effet. Dans ce rapport on traite des parasitoïdes dont les larves se développent aux dépens d'un individu hôte, occasionnant sa mort *in fine*, et des prédateurs qui eux se nourrissent de plusieurs proies au cours de leur vie, au stade larvaire et/ou adulte.

Insecte ravageur (en agriculture) : insecte occasionnant des dégâts sur des cultures. Les dégâts causés ne résultent pas forcément en une perte économique.

Plan Ecophyto II : plan national proposé par le Grenelle de l'environnement fin 2007 visant à réduire et sécuriser l'utilisation des produits phytosanitaires pour des usages agricoles ou non. Un de ses objectifs les plus connus est de diviser par deux l'usage de pesticides avant 2018.

Trait d'effet : paramètre morphologique, phénologique ou physiologique d'un individu qui va déterminer l'influence qu'il a sur son environnement.

1. Introduction

Près de 35 mille tonnes d'agrumes sont produites en France dont une partie aux Antilles sur 300 ha, à la Réunion sur 250 ha et en Corse sur 1600 ha. Du fait de la chaleur et d'une forte hygrométrie toute l'année, le développement des ravageurs, des maladies et des adventices est plus important en milieu tropical qu'en milieu tempéré (Bruchon et al., 2015). Cette pression sanitaire occasionne en général de nombreux traitements phytosanitaires. Un des leviers techniques pour les réduire notablement est la lutte biologique par conservation des habitats contre les principaux ravageurs de cette culture (acariens, cochenilles, pucerons...). En effet, les vergers, de par leur caractère pérenne, sont des lieux privilégiés pour valoriser ce type de lutte à condition que les structures non productives (inter-rangs, haies, talus, fossés, lisières) ne soient pas ou peu perturbées (Landis et al., 2000). Tout ou partie des enherbements des vergers semble être des habitats à privilégier. D'une part parce que ces habitats recouvrent des surfaces importantes (au minimum 30 % des surfaces) - lesquelles semblent compatibles avec une lutte biologique efficace (Thies et al., 2003) - et d'autre part parce qu'ils sont facilement manipulables par les producteurs à l'échelle de leur parcelle, faciles à mettre en place mais aussi à supprimer (Hausammann, 1996). En plus de leur rôle clé dans la lutte biologique, de par leur couverture du sol et leurs nombreuses racines, les plantes permettent de protéger le sol des aléas climatiques (érosions éolienne et hydraulique) ce qui protège la structure du sol et limite le transfert des molécules chimiques vers les cours d'eau.

Le projet Agrum'aide¹ vise à accompagner les producteurs réunionnais dans le développement de pratiques innovantes en vergers d'agrumes. L'objectif est de transformer les enherbements, aujourd'hui très perturbés par les pratiques agricoles, en de véritables habitats soutenant la lutte biologique contre les bioagresseurs. Le projet est basé sur l'hypothèse que l'augmentation, en qualité et en quantité, des habitats semi-naturels au sein des parcelles, associée au respect par les producteurs des règles de la lutte intégrée, permettra d'augmenter l'efficacité de la lutte biologique et, par conséquent, de diminuer notablement et durablement l'usage des produits phytopharmaceutiques.

Cela soulève certaines questions : quels liens existent-ils entre plantes et insectes ? Les pratiques de gestion de l'enherbement soutiennent-elles et/ou modifient-elles les communautés d'auxiliaires ? Ce mémoire vise à apporter des éléments de réponse à ces interrogations. Pour cela, nous verrons dans un premier temps le contexte de l'agrumiculture à la Réunion et un état de l'art sera fait sur la lutte biologique par conservation et la biodiversité fonctionnelle. Dans un second temps, le dispositif expérimental et les analyses menées seront présentées. Pour finir, les résultats obtenus seront présentés et discutés.

¹ Le projet Agrum'aide (APR Biodiversité- Ecophyto) reçoit le soutien financier de l'ONEMA (Office national de l'eau et des milieux aquatiques) et est piloté par la MAAF- DGER dans le cadre du plan Ecophyto

2. Contexte

2.1. La culture d'agrumes à la Réunion

Avec environ 6 400 tonnes de fruits produits par an (Agreste, 2012), l'agrumiculture est la 3^{ème} production fruitière de la Réunion après les cultures d'ananas et de bananes (Chambre d'agriculture de la Réunion, 2016). C'est une culture de diversification développée pour le développement endogène de l'île et quasi exclusivement destinée à la consommation locale.

Pour lutter contre le grand nombre de ravageurs et de maladies, la méthode chimique est encore la plus utilisée à la Réunion. Il n'existe pas d'indice de fréquence de traitement (IFT²) de référence pour les vergers d'agrumes à la Réunion. Ceux des producteurs du réseau Agrum'aide varient de 5 à 18 selon les années et les producteurs (Fabrice Le Bellec, communication personnelle). Cependant, bien qu'aujourd'hui l'essentiel de la lutte contre les ravageurs et les maladies soit encore chimique (Lecomte, 2011), il y a une prise de conscience de la part de la société sur l'importance de faire évoluer les pratiques agricoles afin de préserver les hommes et l'environnement. En effet, malgré leur efficacité immédiate apparente, les produits phytosanitaires impactent la santé humaine (Bolognesi et Merlo, 2011) et exercent une pression sur l'environnement, comme en témoigne l'érosion de la biodiversité dans les paysages agricoles (Pereira et al., 2010 ; MEA, 2005 ; Altieri et Nicholls, 2004). De plus, avec l'apparition régulière de résistances chez les ravageurs, certaines matières actives deviennent inefficaces posant alors la question de la durabilité de l'efficacité de la lutte chimique (Albouy, 2012). Depuis les années 1950, le concept de protection intégrée s'est développé. Son principe est de combiner l'ensemble des techniques agronomiques existantes et adaptées au milieu pour maintenir le niveau de bio-agresseurs en dessous du seuil de pertes économiques tout en limitant l'utilisation de produits phytosanitaires. (Lucas, 2007). Le maintien d'un enherbement permettant de favoriser l'établissement de prédateurs semble donc être une technique à considérer dans la protection intégrée. Pour autant, ce n'est que depuis les années 2000, que les producteurs d'agrumes commencent à considérer l'enherbement de leur verger comme une zone à préserver pour protéger les insectes utiles tels que les auxiliaires ou les pollinisateurs. Certains continuent à utiliser des herbicides totaux pour détruire l'enherbement mais d'autres essaient de favoriser la gestion mécanique tout en s'autorisant des traitements chimiques du fait de la forte pression des adventices en milieu tropical. Le désherbage manuel est encore parfois employé mais limité du fait de sa forte demande en main d'œuvre (Le Bellec, 2015).

² L'IFT est un indicateur d'intensité d'utilisation de produits phytosanitaires. C'est le rapport entre la dose appliquée et la dose homologuée en tenant compte de la surface traitée de la parcelle. C'est un indicateur de suivi dans le plant Ecophyto car il permet de suivre l'évolution et de comparer des pratiques (Chambre d'agriculture des Pays de la Loire, 2011)

2.2. Les principaux ravageurs et auxiliaires en vergers d'agrumes

Les agrumes sont la cible d'une large communauté de ravageurs. Sur l'île de la Réunion ce cortège de ravageurs rassemble plus d'une vingtaine d'espèces, parmi 13 genres, dans 6 ordres (Lepidoptera, Diptera, Acari, Thysanoptera, Hemiptera, Coleoptera). Les dégâts sont divers et apparaissent à différents stades phénologiques de la plante (Quilici et al., 2003). Parmi les ravageurs des agrumes à la Réunion on retrouve principalement des arthropodes piqueurs-suceurs tels que des pucerons, des psylles, des cochenilles, des acariens, des aleurodes ou encore des thrips. Les dégâts qu'ils occasionnent sur les agrumes peuvent être directs, avec une dégradation de l'aspect visuel et qualitatif des fruits ainsi qu'un affaiblissement des arbres ponctionnés, mais également indirects. Les pucerons, les cochenilles, les psylles et les aleurodes sécrètent du miellat qui favorise l'établissement de la fumagine, une maladie cryptogamique recouvrant le miellat d'un feutrage noir pouvant limiter la photosynthèse si son développement est important. De plus, le puceron brun, *Toxoptera citricida* Kirkaldy et le psylle asiatique, *Diaphorina citri* Kuwayama, présents à la Réunion sont respectivement des vecteurs du virus de la tristeza (CTV) et de la bactérie responsable du greening (ou Huanglongbing) des agrumes (*Candidatus Liberibacter* spp.). Ces deux maladies engendrent une dégénérescence puis la mort des arbres (F. Leblanc, P. Fournier, et J. Etienne 1998; Quilici, Vincenot, et Franck 2003; F Le Bellec 2005a; F Le Bellec 2005b; Ryckewaert 2011).

Ces divers ravageurs sont régulés par un cortège d'ennemis naturels, encore appelés auxiliaires. Ces auxiliaires peuvent être des prédateurs qui vont alors manger leurs proies ou des parasitoïdes qui se développent aux dépens de leur hôte. Il existe deux sortes de parasitoïdes :

→ Les endoparasitoïdes qui pondent dans le corps de l'hôte. ;

→ Les exoparasitoïdes qui pondent sur l'hôte ou non loin et dont les larves attaqueront l'hôte.

Dans les deux cas, le développement des larves entraîne la mort de l'hôte (INRA, 2016).

Selon leur régime alimentaire, on différencie les auxiliaires polyphages des auxiliaires oligophages et monophages. Les premiers sont généralistes et peuvent se nourrir d'un grand nombre d'espèces de proies tandis que les deux autres se nourrissent respectivement d'un groupe restreint d'espèces de proies et d'une seule espèce. Qu'ils soient prédateurs ou parasitoïdes, les auxiliaires considérés dans ce rapport sont tous entomophages, c'est-à-dire qu'ils se nourrissent d'insectes. En vergers d'agrumes à la Réunion on retrouve en tant que généralistes principalement des coccinelles tandis que les syrphes et les chrysopes sont pour la plupart oligophages et plus précisément aphidiphages.

La Figure 1 résume les différentes relations tri-trophiques existantes entre auxiliaires, ravageurs et plantes dans le cadre de notre étude. Les ravageurs notifiés en gras sont les proies attaquées préférentiellement par les auxiliaires.

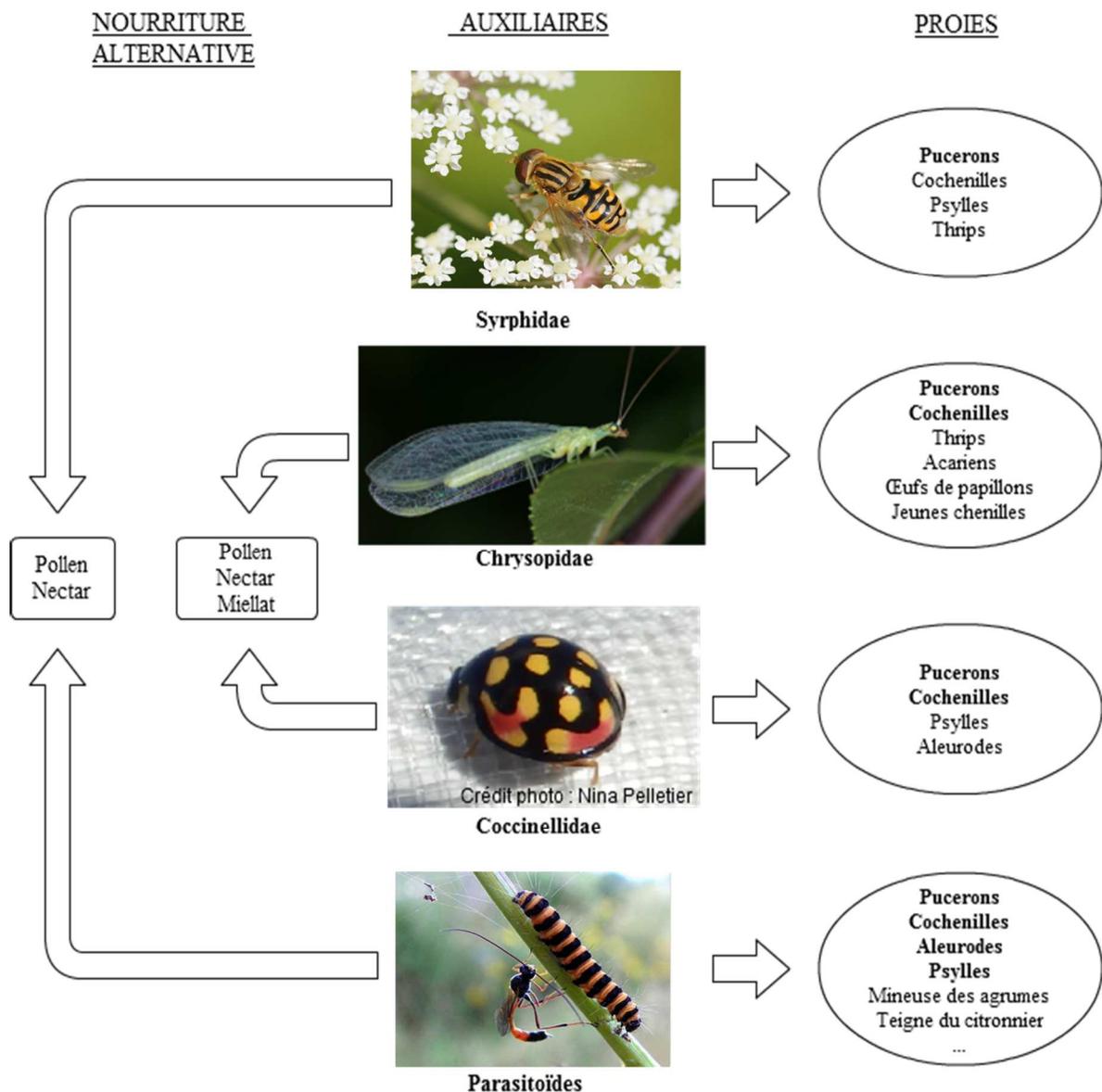


Figure 1: Schéma récapitulatif des relations tri-trophiques auxiliaires- plantes- ravageurs (source photo : banque de photos Flickr)

2.2.1. Les Coccinellidae

Les coccinelles sont des insectes appartenant à l'ordre des Coléoptères dont la taille moyenne peut varier entre deux et cinq millimètres. On dénombre plus de 3000 espèces sur Terre dont 27 sont présentes sur l'île de la Réunion (Quilici et al., 2003). Ces dernières sont en majorité polyphages bien que certaines soient considérées comme aphidiphages ou prédatrices des cochenilles. Chez la plupart des coccinelles, les larves et les adultes sont prédateurs. Il existe cependant quelques coccinelles phytophages appartenant aux Epilachinés (Coutin, 2007). Les coccinelles tuent plus qu'elles ne mangent ce qui les rend intéressantes pour la lutte biologique. Bien qu'ils soient prédateurs, les adultes ont également besoin de nourriture alternative lorsque les proies se font rares. Les coccinelles se nourrissent alors de pollen et de nectar de fleurs tout au long de leur vie (Wäckers et Fadamiro, 2005 ; Albouy, 2012). On retrouve principalement une dizaine d'espèces de coccinelles en verger d'agrumes à la Réunion dont :

→ *Exochomus laeviusculus* Weise pouvant s'attaquer aux pucerons, psylles, aleurodes ou encore aux cochenilles. On la retrouve aussi bien au niveau de la mer comme à 2000 m d'altitude, c'est une des espèces les plus rencontrées en cultures fruitières sur l'île. En verger d'agrumes, elle s'attaque à *Toxoptera citricidus* Kirkaldy ou encore au psylle asiatique mais son action seule ne semble pas suffisante pour contrôler ces ravageurs.

→ *Scymnus constrictus* Mulsant s'attaquant aux pucerons dont *T. citricidus* mais également aux psylles et aux aleurodes dont l'aleurode floconneux des agrumes *Aleurothrixus floccosus* Maskell.

→ *Chilocorus nigritus* Fabricius se nourrissant principalement de cochenilles, comme *Aonidiella aurantii* Maskell, *Chrysomphalus aonidum* Linné ou encore *Cornuaspis beckii* Newman sur agrumes. C'est un prédateur très vorace considéré comme un élément clé pour le contrôle biologique des cochenilles

→ *Rodolia chermesina* Mulsant, largement répandue sur l'île, sa proie favorite semble être la cochenille farineuse des Seychelles, *Icerya seychellarum* Westwood présente sur les agrumes.

→ *Clitostethus arcuatus* (Rossi) commune dans le Nord et l'Ouest de l'île jusqu'à 300 m d'altitude. Elle semble plutôt spécifique des aleurodes et est par exemple associée aux populations de l'*A. floccosus* Maskell et *Dialeurolonga simplex* Takahashi en vergers d'agrumes.

Platynaspis capicola Crotch, *Cheilomenes sulphurea* Olivier, *Sticholotis madagassa* Weise, *Olla v-nigrum* Mulsant, *Curinus coeruleus* Mulsant sont également des coccinelles présentes en vergers d'agrumes à la Réunion mais en quantité moindre que les précédentes (Quilici et al., 2003).

2.2.2. Les Chrysopidae

Appartenant à l'ordre des Névroptères, les chrysopes ont un rôle important dans la lutte biologique du fait de leur polyphagie. En effet, ces prédateurs ont des cibles diverses tels que les œufs de papillons, les jeunes chenilles, les acariens, les cochenilles, les thrips avec tout de même une préférence pour les pucerons (Gloria, 2015 ; Vignevin Sud-Ouest, s. d.).

Les femelles pondent jusqu'à 1000 œufs au cours de leur cycle et selon les espèces les stades prédateurs sont les stades larvaire et adulte ou bien le stade larvaire uniquement (Quilici et al., 2003 ; Gloria, 2015). En pleine croissance, une larve peut tuer jusqu'à 500 pucerons afin d'accomplir son développement (Albouy, 2012). Selon Quilici et al. (2003), trois principales espèces sont présentes en verger d'agrumes à la Réunion :

→ *Mallada desjardinsi* Navas, sûrement l'espèce la plus rencontrée en cultures fruitières sur l'île. Elle se nourrit des diverses espèces de pucerons rencontrées sur les agrumes tels que *Aphis gossypii* Glover, *Aphis spiraecola* Pagenstecher et *T. citricidus*. Cependant son action bénéfique est souvent limitée par des espèces d'*Oomyzus* (Hyménoptères Eulophidae) qui parasitent les cocons des chrysopes

→ *Borniochysa squamosa* Tjeder que l'on retrouve dans des milieux très variés telles que des prairies, des forêts tropicales, des zones littorales sableuses... En vergers d'agrumes à la Réunion, les larves de cette espèce sont prédatrices de pucerons et de cochenilles.

→ *Ceratochrysa antica* Walker dont seules les larves sont prédatrices. Ces dernières sont polyphages bien qu'elles ne consomment en majorité que des pucerons en vergers d'agrumes. Les adultes eux se nourrissent probablement de pollen ou encore de miellat

produit par les pucerons (Villenave et Rat-Morris, 2007). La polyphagie ainsi que le fait qu'on la retrouve dans des biotopes très variés font de cette chrysope une espèce intéressante pour la lutte biologique.

2.2.3. Les Syrphidae

Composée de plus de 6000 espèces, la famille des Syrphidae est l'une des plus grandes de l'ordre des Diptères et est répandue sur la plupart des continents (Sommaggio, 1999). Les syrphes ont une taille variant de 4 à 35 millimètres. Quelle que soit l'espèce, les adultes ont un régime alimentaire floricole composé de pollen et/ou de nectar, jouant ainsi un rôle important de pollinisateur dans certains agrosystèmes comme les vergers (Thompson et Vockeroth, 1989). Les syrphes ont donc besoin obligatoirement de nourriture alternative végétale durant leur cycle de développement (Wäckers et Fadamiro, 2005). La plupart des larves sont entomophages hormis quelques espèces phytophages se nourrissant de bulbes de fleurs ou encore de légumes. Les entomophages se nourrissent de pucerons, de cochenilles, de psylles ou encore de thrips. D'autres espèces de syrphes, au stade larvaire, participent également au recyclage de la matière organique en se nourrissant de matière organique en décomposition (Sommaggio, 1999 ; Thompson et Vockeroth, 1989 ; Quilici et al., 2003). En vergers d'agrumes, les larves de syrphes sont surtout connues pour s'attaquer aux pucerons. Elles mangent une trentaine de pucerons quotidiennement mais peuvent en tuer beaucoup plus, jusqu'à 300 par jour (CIVAM Oasis Champagne- Ardenne, s.d) ce qui les classe parmi les meilleurs prédateurs de pucerons (Albouy, 2012). Parmi les 22 espèces de syrphes répertoriées à la Réunion (Marcos-Garcia et al., 2013), *Ischiodon aegyptius* Wiedemann, *Allograpta nasuta* Macquart et *Allobaccha sapphirina* Wiedmann sont les trois espèces les plus fréquentes en vergers d'agrumes (Quilici et al., 2003).

2.2.4. Micro-hyménoptères parasitoïdes

Environ 75 % des parasitoïdes appartiennent à l'ordre des Hyménoptères (INRA, 2016) dans lesquels se trouvent les ichneumons et les chalcidiens qui font partie des insectes les plus efficaces pour réguler les ravageurs (Albouy, 2012). Les adultes se nourrissent de nectar et parfois de pollen, ce sont donc les larves qui vont tuer les proies (Sivinski et al., 2011). Il existe deux hyménoptères parasitoïdes du psylle asiatique à la Réunion, *Taxamaria radiata* Waterston, importé en 1978, est le plus efficace (Ollivier, 2015). De nombreux hyménoptères parasitoïdes sont associés aux populations de cochenilles de l'île. Ils appartiennent aux familles des *Aphelinidae*, des *Encyrtidae*, des *Pteromalidae* et des *Eulophidae* (Quilici et al., 2003). Des hyménoptères de la famille des *Aphelinidae* et des *Braconidae* sont associés aux pucerons et aleurodes des agrumes. Il existe également des espèces spécifiques de la mineuse des agrumes, de la teigne du citronnier et autres lépidoptères, ainsi que des mouches des fruits, appartenant aux familles citées précédemment (Ollivier, 2015). Malgré leur rôle positif dans la lutte contre les ravageurs, certains parasitoïdes s'attaquent à des auxiliaires. Nous pouvons relever le cas d'*Homalotylus eytelweinii* Ratz. qui parasite la coccinelle *Rodolia chermesina* Mulsant.

3. Lutte biologique par conservation et approche fonctionnelle

3.1. La lutte biologique par conservation des habitats : une alternative à l'utilisation des produits phytosanitaires

Dans le contexte actuel de réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires, soutenu par le Plan ECOPHYTO II en France, il est nécessaire de considérer toutes les pratiques culturales alternatives limitant l'utilisation d'intrants chimiques. Selon le Millenium Ecosystem Assessment (2005), la biodiversité est source d'un grand nombre de services écosystémiques bénéfiques à l'agriculture. Elle participe directement à la production agricole au travers notamment de la pollinisation ou de la régulation des maladies et des ravageurs par les auxiliaires (Lecomte, 2011). Elle offre un milieu et une nourriture diversifiés qui permettent d'attirer un plus grand nombre d'espèces animales qu'un paysage simplifié. L'augmentation de la biodiversité au sein d'une exploitation peut provenir de la diversification des espèces cultivées dans l'espace et dans le temps mais également de l'entretien et de l'amélioration de toutes les zones semi-naturelles entourant les parcelles ou au sein des vergers. La lutte biologique par conservation des habitats consiste à maintenir ces zones non-cultivées peu perturbées, pour favoriser l'installation des auxiliaires en leur fournissant : de la nourriture, un lieu de refuge et de reproduction ainsi qu'un milieu d'estivation et d'hivernation (Sarhou, 2006 ; Ratnadass et al., 2012 ; Rouabah, 2015). Bien que l'on prête souvent un régime alimentaire carnivore aux prédateurs, on sait actuellement qu'un grand nombre sont omnivores et consomment également de la nourriture provenant des plantes (Wäckers et al., 2005 ; Wäckers et Fadamiro, 2005). Ainsi, les éléments nutritifs tels que le nectar et le pollen fournis par les milieux semi-naturels sont essentiels aux auxiliaires quand les proies se font rares (Medeiros et al., 2010). Un autre élément essentiel des zones semi-naturelles est qu'elles hébergent des ravageurs en plus des auxiliaires. Ceux-ci sont une source de nourriture pour les auxiliaires lorsque les cultures ne sont pas attaquées. La préservation de milieux non perturbés aux alentours des cultures doit donc permettre d'attirer les auxiliaires mais surtout de garantir leur maintien au cours du temps. Même si l'effet des habitats semi-naturels est encore parfois complexe à appréhender (Ratnadass et al., 2012), la biodiversité végétale permet une plus grande résilience des agrosystèmes (Sarhou, 2006) et s'accompagne de façon générale d'une régression du nombre d'attaques de ravageurs (Altieri et Nicholls, 2004 ; Ratnadass et al., 2012 ; Rouabah, 2015). Cependant, il ne s'agit pas d'augmenter la biodiversité pour la biodiversité mais de favoriser la diversité utile pour l'agrosystème (Altieri et Nicholls, 2004 ; Lavandero et al., 2006 ; Rouabah, 2015). Pour cela, il est nécessaire de connaître les relations qui existent entre les plantes et les insectes afin de favoriser la « bonne » diversité (Burgio et al., 2006).

3.2. L'approche fonctionnelle pour l'étude des relations plantes-insectes

L'approche fonctionnelle est très utilisée en écologie pour comprendre la structuration des communautés et le fonctionnement des écosystèmes (Violle et al., 2007 ; Moretti et Legg, 2009 ; Vandewalle et al., 2010). Elle permet d'évaluer le comportement qu'auront les communautés face à des perturbations du milieu et de mettre à jour des interactions au sein d'un écosystème, telles que des relations plantes-insectes que l'approche taxonomique ne révèle pas (Lavorel et Garnier, 2002 ; Moretti et Legg, 2009). Malgré son utilisation courante, le concept de trait fonctionnel et notamment ses définitions peuvent varier suivant les auteurs et leur domaine de recherche. Selon Violle et al. (2007), un trait fonctionnel est un paramètre phénologique, morphologique ou physiologique d'un individu, qui impacte indirectement la fitness de ce dernier de par son action sur sa croissance, sa reproduction et son taux de survie. Cette définition sera celle considérée dans ce mémoire. Il existe deux types de traits fonctionnels pour l'étude des communautés végétales, ils sont schématisés sur la Figure 2 ci-dessous.

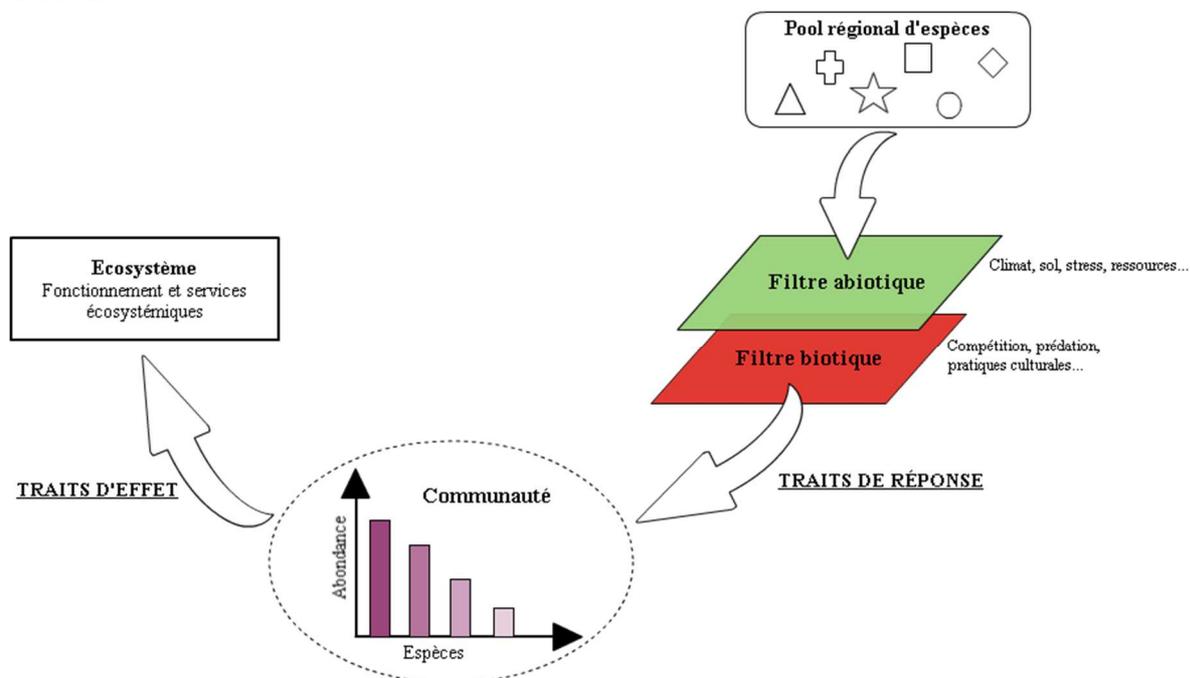


Figure 2: concept de "trait fonctionnel", (adapté à partir de (Burylo 2010; Garnier s.d)

Dans le cadre de l'étude des relations plantes - insectes il convient de s'intéresser aux traits d'effet qui déterminent l'influence d'une communauté végétale sur son écosystème (Lavorel et Garnier, 2002). L'étude fonctionnelle permet de caractériser une communauté végétale par des traits d'effet et leur proportion respective dans la communauté. Ainsi, elle permet de s'affranchir des espèces végétales constitutives de cette communauté. En connaissant l'action des différents traits d'effet sur les insectes il serait alors possible d'appréhender globalement l'intérêt d'une communauté végétale pour la lutte biologique par conservation.

3.3. Traits d'effets d'intérêt dans le cas de l'étude

Sur la base de recherches bibliographiques effectuées dans des rapports précédents, dans le cadre du projet Agrum'aide, nous avons sélectionné 10 traits fonctionnels ayant un intérêt pour soutenir la lutte biologique et facilement observables (Ollivier, 2015 ; Audouin, 2016). Parmi ces traits, certains fournissent un habitat, c'est le cas de tous ceux concernant les caractéristiques morphologiques des feuilles, d'autres de la nourriture alternative aux proies (Nectaire extra floraux (NEF), pollen) ou encore facilitent la visibilité et l'accessibilité à la ressource (taille des fleurs, de l'inflorescence, couleur des fleurs). Quelques traits, comme les trichomes, et les domaties peuvent fournir les deux car ils constituent un abri pour les auxiliaires de petite taille mais permettent également de piéger des ravageurs ou d'accrocher du pollen pouvant alors être consommés par les auxiliaires présents (Agrawal et al., 2000 ; Dalin et al., 2008). Toutes les informations sont résumées dans les Tableau 1 et Tableau 2.

Bien qu'elles n'aient pas été décrites dans la partie sur les auxiliaires en vergers d'agrumes, les fourmis et les araignées sont présentes dans le Tableau 1 car elles constituent des prédateurs généralistes présents dans la plupart des milieux (Maelfait et Baert, 1988 ; Dugas, 2015). De par leur nombre important, les fourmis régulent de façon efficace les phytophages, telles que des chenilles ou des mouches, présents dans leur rayon d'action (Albouy, 2012). Cependant, certaines fourmis peuvent participer au maintien de ravageurs telles que les cochenilles en les élevant à l'intérieur des tiges par exemple, pour se nourrir de leur miellat (Jolivet, 1991).

Dans les Tableau 1 et Tableau 2, les « + » signifient que la présence du trait est bénéfique la famille d'arthropode tandis que les « - » indique son côté négatif pour celle-ci.

Nous pouvons noter que selon la famille d'arthropodes considérée un même trait peut être bénéfique ou défavorable. C'est le cas par exemple des trichomes qui sont favorables pour les coccinelles mais défavorables pour les chrysopes et les Hyménoptères parasitoïdes.

Tableau 1 : Relations entre des traits d'effet étudiés au cours du projet Agrum'aide et les groupes d'auxiliaires

Auxiliaires	Stade	NEF	Domatie ³	Trichome	Pollen	Géométrie feuilles	Texture feuilles	Densité du couvert	Fleurs	Taille inflorescence	Taille fleur
Coccinelles	larvaire			+ (2)	+ (21)						
	adulte	+(16)		+(2)	+(16)	marges lisses défavorables (5)	surface lisse défavorable (5)	faible (4)	ultraviolet, vert (7)		petite (type Astéracées) ^(11, 14)
Syrphes	larvaire										
	adulte	+(14)			+(14, 17)				jaune, blanc, bleu Symétrie radiale ^(3, 6, 10, 11)	grande ⁽¹⁷⁾	petite, corolle plate (ex : Astéracées, Ombellifères) ^(11, 17)
Chrysopes	larvaire	+(12)		-(2, 15)							
	adulte	+(17)			+(17)					grande ⁽¹⁷⁾	
Hyménoptères parasitoïdes		+(8)		-(2)	+(19)					grande ^(9, 19)	
Araignées				+(18)							
Fourmis		+(1)	+(22)								

« + » : positif pour la famille ; « - » = négatif pour la famille

Sources : Koptur, 1979¹ ; Treacy et al., 1987² ; Haslett, 1989³ ; Chaubet, 1992⁴ ; Grevstad et Klepetka, 1992⁵ ; Lunau, 1993⁶ ; Lambin et al., 1996⁷ ; Patt et al., 1997⁸ ; Goulson, 1999⁹ ; Sutherland et al., 1999¹⁰ ; Colley et Luna, 2000¹¹ ; Limburg et Rosenheim, 2001¹² ; Inbar et Gerling, 2008¹³ ; Almohamad et al., 2009¹⁴ ; Cetintas et McAuslane, 2009¹⁵ ; Seagraves, 2009¹⁶ ; Medeiros et al., 2010¹⁷ ; Morais- Filho et Romero, 2010¹⁸ ; Sivinski et al., 2011¹⁹ ; Gloria, 2015²⁰ ; D'Ávila et al., 2016²¹ ; O'Dowd et Wilson, 1989²²

³ Domatie : cavité pouvant être de différente forme ou touffe de poils le plus souvent située sur la face inférieure des feuilles. Elle constitue un abrisabribris pour certains insectesarthropodesinsectes comme les fourmis ou les acariens (O'Dowd et Willson, 1989).

Tableau 2 : Relations entre trois traits d'effet et les principaux groupes de ravageurs des agrumes

Ravageur	NEF	Domatie	Trichome	Références
Lépidoptères	+			Wäckers et al., 2005
Homoptères	+			Wäckers et al., 2005
Thrips		+		Agrawal et al., 2000
Pucerons		-		Agrawal et al., 2000
Acariens		+		O'Dowd et Wilson, 1989
Aleurodes		- ⁽¹⁾	+ ⁽²⁾	Agrawal et al., 2000 ⁽¹⁾ ; Cetintas et McAuslane, 2009 ⁽²⁾

Les signaux olfactifs émis par les végétaux jouent également un rôle important dans les relations plantes - insectes concerne. Ces signaux sont beaucoup plus spécifiques à une espèce végétale que ne le sont les caractéristiques physiques (forme, taille et couleur des fleurs, structure des feuilles, taille de l'inflorescence, etc.) mais peuvent être peu directionnels en cas de vent changeant par exemple (Kergunteuil, 2013). Une plante attaquée par un ravageur est capable d'émettre des composés odorants particuliers qui vont repousser le ravageur ou encore attirer les auxiliaires de celui-ci. Au sein d'une même famille d'insectes, toutes les espèces ne sont pas sensibles aux mêmes composés olfactifs ce qui rend très spécifique la relation avec la plante émettrice (Durieux et al., 2010). Ce type de relations est très complexe et pourrait faire l'objet de plusieurs études et n'a pas été étudié dans ce rapport.

L'ensemble des recherches bibliographiques sur les relations plantes-insectes, nous amène à considérer les traits fonctionnels suivants comme important pour la lutte biologique : structure foliaire, densité de trichomes, recouvrement, NEF, taille des fleurs et de l'inflorescence. L'ensemble de ces traits sont mesurés dans le cadre du projet Agrum'aide sur la flore étudiée. Une étude détaillée de chacun de ces traits suit ci-dessous.

3.3.1. Nectaires extra floraux (NEF)

Le nectar est une solution aqueuse, majoritairement composée d'eau (40 à 80 %) et de sucres (7 à 60 %) (Réseau Biodiversité pour les Abeilles, 2016). Il contient également des acides aminés, des lipides et des vitamines mais sa teneur faible en acides aminés notamment ne permet pas d'assurer l'ensemble des besoins nutritifs des auxiliaires. Le nectar est produit par des tissus excréteurs appelés nectaires pouvant être dans les fleurs ou à l'extérieur. On parle alors de nectaires floraux et extra-floraux. Les avantages du nectar extra floral sont qu'il est plus facile d'accès que le nectar floral, disponible sur une grande partie du cycle et non pas seulement à la floraison. La production de nectar extra floral est souvent vue comme un signal envoyé par une plante attaquée par des phytophages dans le but d'attirer des ennemis naturels et de nombreux groupes d'arthropodes prédateurs s'en nourrissent (Sauvion et al., 2013). Le nectar est une source d'énergie pour les arthropodes tels que les chrysopes, les coccinelles, les acariens prédateurs, certaines araignées ou encore les fourmis. La consommation de nectar par ces arthropodes entraîne une augmentation de leur activité prédatrice car ils doivent trouver une autre source alimentaire afin de compléter le manque d'acides aminés, et permet ainsi d'augmenter l'efficacité de la lutte biologique (Wäckers et al., 2005 ; Sauvion et al., 2013). En effet, le nectar est un élément nutritif, qui seul, ne permet pas d'assurer complètement le développement des insectes ; il permet par contre leur survie lorsque les proies se font plus

rare. Ceci a été particulièrement observé chez les chrysopes qui augmentent leur quantité de nectar extra floral consommé lorsque le nombre de pucerons diminue (Limburg et Rosenheim, 2001). La présence de NEF est donc considérée comme bénéfique pour la lutte biologique.

3.3.2. Les trichomes

Les trichomes sont des poils présents sur la plupart des plantes. Ils sont produits à partir de l'épiderme cellulaire de différents organes végétaux (feuilles, tiges...). Il existe différentes formes de trichomes, on différencie par exemple les trichomes glandulaires des trichomes non-glandulaires. Les premiers sécrètent des substances pouvant piéger, repousser ou tuer les arthropodes (Dalin et al., 2008). Les trichomes, qu'ils soient glandulaires ou non, jouent un rôle dans la protection des plantes contre les herbivores (Levin, 1973) et peuvent également avoir un rôle essentiel pour les ennemis naturels. Ils peuvent permettre à certains arthropodes qui s'y cachent de se protéger des prédateurs ou encore de se nourrir car ces appendices retiennent des éléments tels que du pollen ou des petits arthropodes. Cependant leur rôle bénéfique dépend fortement de leur densité et de l'espèce d'arthropode. En effet, étant des structures de défense, les trichomes empêchent le déplacement des auxiliaires et limitent donc l'efficacité de prédation de certains prédateurs. Ceci est d'autant plus vrai que l'arthropode est de petite taille (Treacy et al., 1987). Une densité forte de trichomes est néfaste pour les auxiliaires car ils restent bloqués et ne peuvent plus se nourrir (Riddick et Simmons, 2014). Une densité de trichomes modérée est donc considérée comme positive pour la lutte biologique dans cette étude.

3.3.3. Recouvrement de espèces végétales

La présence d'un enherbement offre aux arthropodes un refuge et est indispensable pour ceux qui ont besoin d'un milieu fermé pour survivre. Cependant, le taux de recouvrement jouant sur le taux d'humidité, l'intensité lumineuse ou encore la vitesse du vent, il peut déterminer un microclimat plus ou moins bénéfique aux insectes (Norris, 2005). Le recouvrement d'une espèce dépend en partie de son port, dressé, lianescent, étalé, décombant ou encore touffu. En plus du nombre d'individus présent, le recouvrement de chaque espèce végétale participe au taux de recouvrement total du couvert et est donc un trait d'effet intéressant car il va influencer l'établissement des auxiliaires au sein du couvert. Un recouvrement faible ne permet pas de fournir un refuge pour les auxiliaires, un habitat trop dense peut favoriser un microclimat trop humide et/ou trop sombre pour ces derniers. Nous considérons donc un recouvrement moyen comme favorable pour la lutte biologique.

3.3.4. Taille de l'inflorescence et des fleurs

La taille de l'inflorescence va jouer sur la visibilité de la ressource et sur la facilité d'accès au pollen par les arthropodes. Les grandes inflorescences, présentes chez les Astéracées ou encore les Ombellifères par exemple, sont connues pour permettre un meilleur accès au pollen (Goulson, 1999 ; Almohamad et al., 2009). La taille de l'inflorescence des différentes plantes va impacter l'attractivité du couvert vis-à-vis des auxiliaires. Selon la morphologie de leur appareil buccal, les arthropodes peuvent aller chercher le nectar plus ou moins profondément dans les fleurs (Gilbert, 1981 ; Vattala et al., 2006). Ainsi, la taille des fleurs et de leur corolle va sélectionner les espèces d'arthropodes pouvant se nourrir de leur nectar. La présence de grandes fleurs, de grande inflorescence, qui rendent la ressource plus visible, et les petites

fleurs qui elles facilitent l'accès à celle-ci sont considérées comme bénéfiques pour la lutte biologique.

3.3.5. Textures et structures foliaires

Il existe des feuilles ayant des nervures en relief, des bords découpés ou au contraire lisses mais encore des feuilles glabres ou duveteuses. Cette diversité participe au fait que toutes les plantes n'ont pas le même attrait pour les arthropodes. Selon la structure et la texture de leurs feuilles les plantes vont plus ou moins faciliter l'établissement de certains. En effet, des feuilles lisses, sans relief entraînent la chute des auxiliaires et limitent alors la lutte biologique (Rutledge et al., 2008), tout comme un trop fort relief protège les ravageurs de petite taille (ex : pucerons) des prédateurs plus gros ne rentrant pas dans les cavités (Grevstad et Klepetka, 1992). Dans le cadre d'Agrum'aide, seule la présence et l'absence de nervure foliaire sont notées. Nous n'avons pas accès au degré de relief. Ainsi, bien que le relief puisse être néfaste s'il est trop fort, nous considérons la présence de nervures en relief et de marges foliaires non lisse comme favorables à la lutte biologique

4. Objectifs du stage

L'objectif de cette étude est de déterminer si différentes pratiques de gestion de l'enherbement entraînent la présence de cortèges d'auxiliaires différenciés. Les populations d'arthropodes seront évaluées grâce à des pièges cornets (Sarhou, 2009) et nous les relierons à la flore qui, elle, sera caractérisée par ses traits d'effet.

5. Matériel et méthodes

5.1. Dispositif expérimental

La parcelle expérimentale de Bassin Plat est située dans le Sud-Ouest de l'île de la Réunion (21°19'25S ; 55°29'18E ; altitude 153 m ; 700 mm/an). En 2012, 149 arbres (*Citrus sinensis* x *C. reticulata* cv Tangor greffé sur *Citrangue carrizo*) ont été plantés afin de constituer le verger d'agrumes expérimental schématisé sur la Figure 3. Quatre modalités de gestion de l'enherbement sont mises en place :

- Herbicide (H) : application d'un herbicide systémique (glyphosate 360g /L à la dose de 4 L ha⁻¹) qui entraîne la destruction totale de l'enherbement
- Tondo-broyeur (BM) : coupe rase du couvert à l'aide d'un broyeur à marteau, la totalité de la biomasse aérienne est détruite puis broyée ce qui crée un mulch.
- Fauche (F) : coupe de la flore adventice à 10 cm du sol à l'aide d'une barre de fauche. Une partie de la flore est donc conservée et le reste est laissé sur la parcelle sous forme d'un paillage grossier.
- Cover-crop (CC) : destruction du couvert et enfouissement des résidus grâce à un travail du sol sur 10-15 cm dans notre cas. Cette profondeur de travail permet de détruire le couvert tout en limitant la remontée de cailloux.

Les modalités « herbicide » et « tondo-broyeur » représentent les pratiques courantes des agriculteurs.

Le dispositif est un dispositif en six blocs, dans lesquels chaque modalité est répétée deux fois. Les rectangles de couleur de la Figure 3 représentent des bandes centrales de deux mètres de large où ont été effectués les relevés floristiques comme faunistiques. Les relevés sont faits au cœur de l'enherbement afin d'éviter les effets bordure.

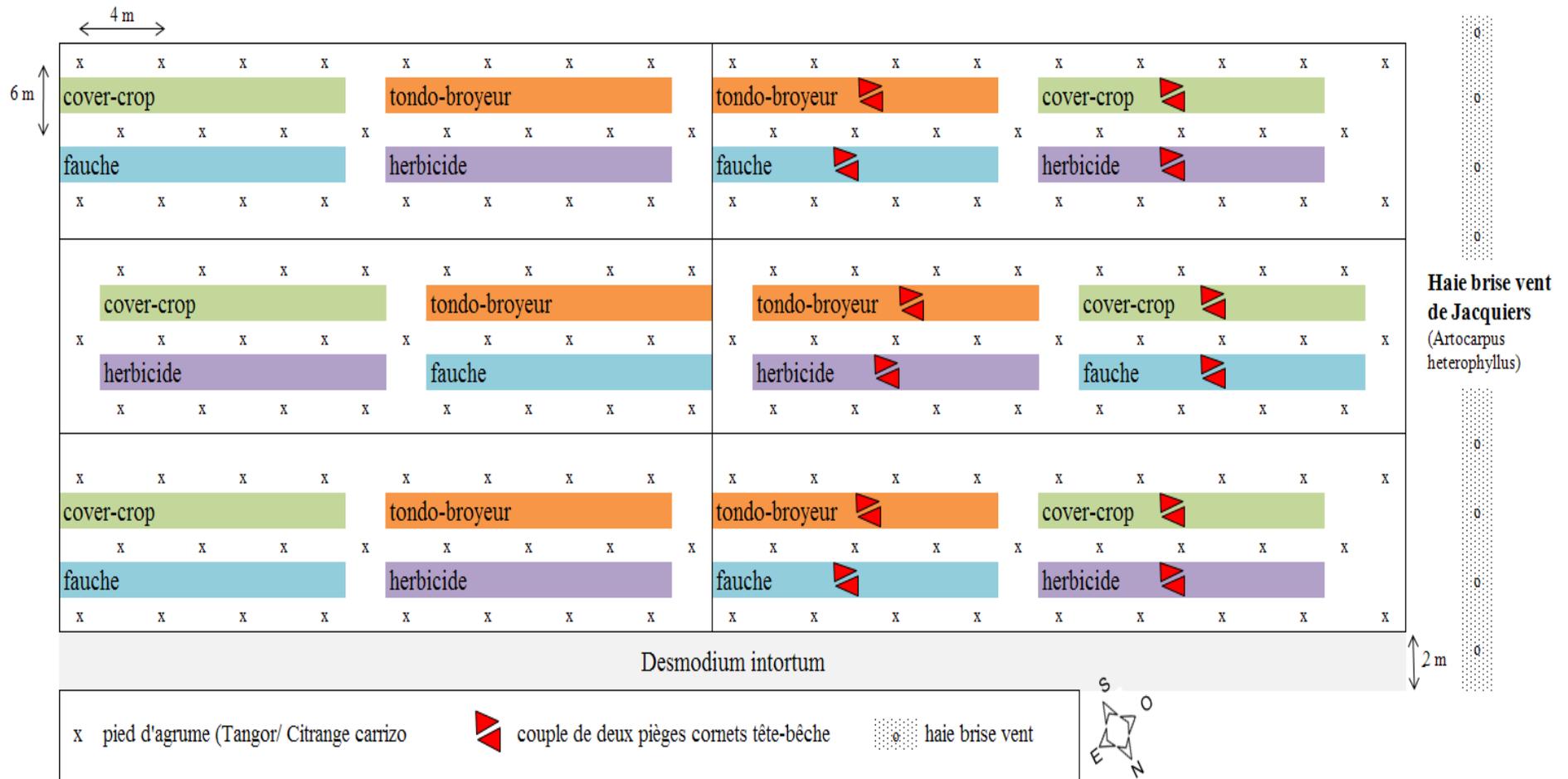


Figure 3 : schéma du dispositif expérimental de la station du Cirad de Bassin Plat

5.2. Caractérisation en traits fonctionnels des couverts étudiés

Chaque couvert a été caractérisé par les espèces qui le composent au moyen de 3 relevés floristiques au cours du temps (Figure 4).

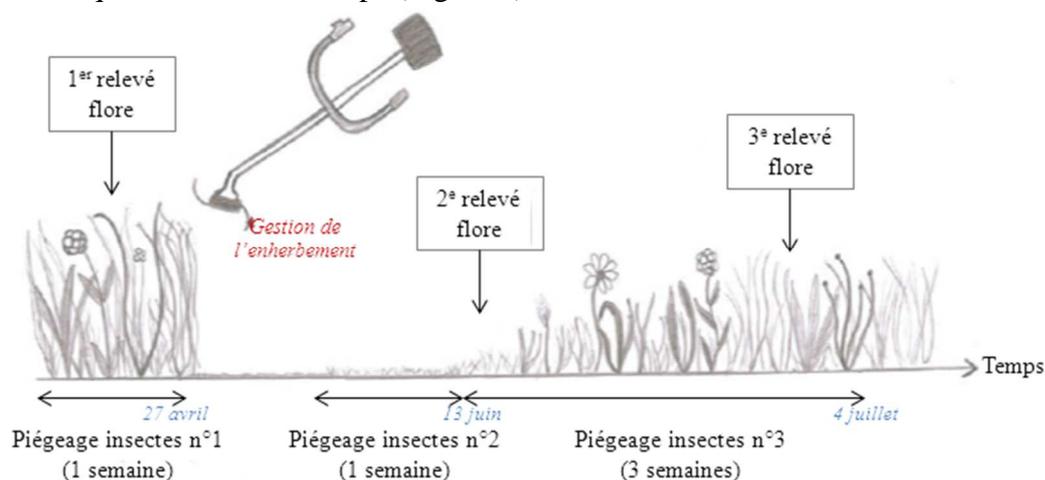


Figure 4 : Schématisation des différents relevés floristiques et entomologiques

Le premier relevé, destructif, a été réalisé avant la pose des pièges. Deux quadrats de 40 cm² ont été entièrement prélevés par modalités et par répétitions. Après tri, les biomasses fraîches de chaque espèce ont été passées à l'étuve, on a alors obtenu la biomasse sèche par espèce. Après conversion des surfaces en cm² des quadrats en m² nous avons calculé l'abondance de chaque espèce en g/m². Les traits d'effet de chaque espèce étant renseignés dans une base de données développée dans le cadre du projet Agrum'aide (BD- TRAITs), les biomasses ont été converties en masse de traits (ex : deux espèces possèdent le même trait et pèsent à elles deux 400 g. On a alors un poids de 400 g associé à ce trait). Les couverts sont alors caractérisés par des abondances en chaque attribut de trait d'effet et non plus par les espèces végétales respectives qui les composent.

Les relevés floristiques 2 et 3 n'ont pas été destructifs. Ils ont été réalisés par observation de la flore au sein d'un espace de 1 m² positionné devant chaque piège. Les espèces présentes, leur taux de recouvrement respectif et leur phénologie florale (en fleur ou non) ont été notés. De la même façon que pour les données du relevé 1 nous avons pu obtenir l'abondance de chaque trait d'effet mais cette fois-ci en pourcentage de recouvrement. Pour chaque espèce, les traits floraux n'ont été pris en compte que si l'espèce était en fleur au moment du relevé. Suivant les relevés, l'abondance est alors définie comme la somme des biomasses ou des taux de recouvrement des espèces possédant le trait étudié

Quel que soit le relevé floristique utilisé, les couverts ont été caractérisés par les traits d'effet sélectionnés suite aux recherches bibliographiques.

5.3. Suivi entomologique

5.3.1. Présentation des pièges cornet unidirectionnels

Le piégeage des arthropodes présents au sein de la parcelle expérimentale a été réalisé à l'aide du piège cornet (Sarhou, 2009). Il permet un piégeage plus localisé qu'une tente malaise, ordinairement utilisée, tout en réduisant la quantité d'insectes récoltés. Il se prête donc mieux

aux expérimentations visant à évaluer l'impact d'un aménagement spécifique sur les populations d'insectes volants. En effet, le piégeage étant plus localisé les différences de populations observées peuvent être plus facilement associées à l'environnement proche (Chambre d'Agriculture de Charente-Maritime, 2012; Sarthou, 2009). De plus, la quantité d'insectes récoltés étant moindre qu'avec une tente malaise, l'étape de tri est raccourcie.

Tous les pièges ont été réalisés artisanalement suivant le schéma de la Figure 5.

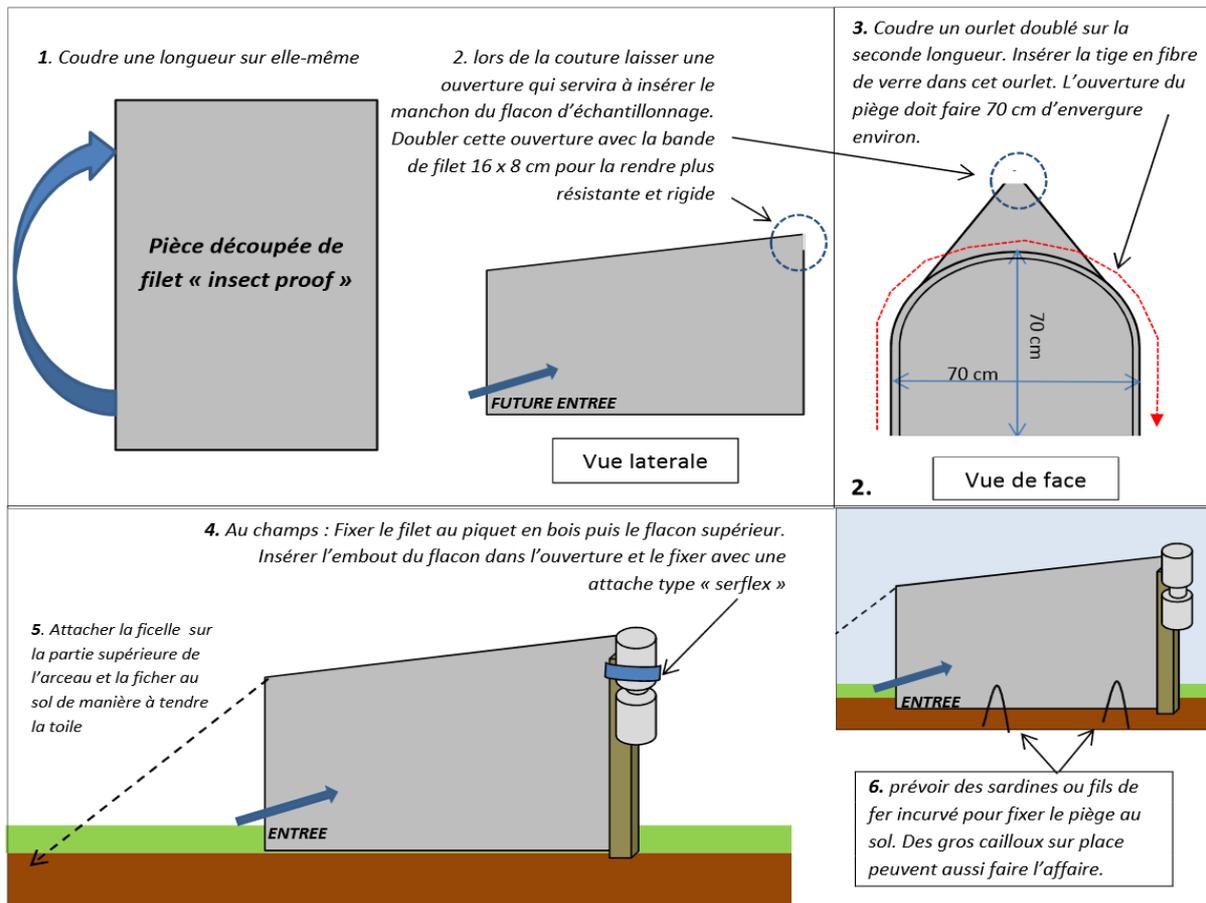


Figure 5 : Construction d'un piège cornet (source : Chambre d'Agriculture de la Charente-Maritime, 2012)

5.3.2. Protocole de piégeage

Deux pièges ont été installés dans chacune des modalités de gestion de l'enherbement de la station expérimentale, soient 12 couples (4 modalités de gestion x 3 répétitions). Nous avons donc mis en place 24 pièges visibles sur la vue aérienne du dispositif de la Figure 6. Leur positionnement est matérialisé sur la Figure 3 par des triangles rouges.



Figure 6 : Vue aérienne du dispositif expérimental

Ne sachant pas s'il y avait un effet de l'orientation, nous avons disposé les pièges de façon tête-bêche dans l'alignement de l'inter-rang afin de piéger les insectes dans les deux sens (Figure 7).



Figure 7 : Couple de pièges tête-bêche sur la modalité BM (broyeur)

Les pièges ont été relevés à deux reprises après une semaine de mise en place puis une fois après trois semaines. Chaque prélèvement a été effectué alors que l'état du couvert était différent. La première semaine correspond à un couvert très haut, la seconde à un couvert ras ou inexistant en fonction des modalités de gestion tandis que les trois dernières semaines caractérisent la repousse du couvert. La Figure 4 schématise le protocole expérimental réalisé.

L'identification des insectes s'est faite à la loupe binoculaire en les regroupant selon les grandes catégories suivantes : coccinelles, syrphes, chrysopes, Ichneumonoidea,

Chalcidoidea, araignées, fourmis, autres Hyménoptères (pollinisateurs), Coléoptères (sauf coccinelles), Lépidoptères, Homoptères, Diptères, Hétéroptères et Dictyoptères. Le détail des catégories est donné dans l'annexe 1. Concernant l'échantillon du prélèvement 3 seuls les catégories 'coccinelles', 'syrphes', 'chrysopes', 'araignées' et 'autres Hyménoptères' ont été comptés par manque de temps.

5.4. Traitement des données

La distribution des données n'étant pas normale, les tests statistiques utilisés sont non paramétriques. L'ensemble des analyses statistiques a été réalisé avec le logiciel R®.

5.4.1. Etude des couverts végétaux du projet

Des analyses en composantes principales (ACP) ont été réalisées sur chaque relevé floristique afin d'observer les répartitions des quatre modalités suivant leurs traits fonctionnels.

L'abondance de chaque trait d'effet des quatre modalités d'enherbement au 3 relevés a été comparée à l'aide du test statistique de Kruskal-Wallis.

5.4.2. Comparaison des communautés d'arthropodes en fonction du stade de croissance des couverts et de la modalité de gestion de l'enherbement

Les individus piégés, pour un arthropode donné, ont été comptés pour chaque relevé floristique, ce qui a permis de tester l'effet de l'état du couvert sur les familles d'arthropodes (test de Kruskal-Wallis).

L'étude de l'effet des quatre modalités de gestion de l'enherbement a été réalisée en regroupant l'ensemble des individus piégés (5 semaines) pour les coccinelles et les syrphes et sur les deux premiers piégeages (2 semaines) pour les pucerons et les parasitoïdes (Ichneumonoidea et Chalcidoidea).

5.4.3. Mise en relation des traits d'effet des plantes avec les auxiliaires observés

Nous avons recherché l'existence de corrélations entre les traits d'effet portés par la communauté végétale des différentes modalités de gestion de l'enherbement et les auxiliaires. Parmi les arthropodes ayant été comptés pour les trois prélèvements, seules les coccinelles ont été considérées dans cette partie. Ce choix a été pris car les « autres Hyménoptères » sont essentiellement des pollinisateurs donc ne rentrent pas dans le cadre de notre étude, les araignées, elles, ne semblent pas réellement impactées par les traits d'effet végétaux et les syrphes quant à eux étaient en quantité très insuffisante. Chaque relevé floristique a été associé à un relevé d'arthropodes. Pour chaque modalité et pour chaque date de relevé nous avons alors un couvert caractérisé par ses proportions en traits d'effet d'intérêt et son nombre d'individus piégés. La fonction 'chart.Correlation' sous R® nous permet d'obtenir une matrice où sont indiqués les coefficients de corrélation, leur taux de significativité (***: 0.001 ; **: 0.01 ; * : 0.05 ; «,» : 0.1) ainsi que les diagrammes de dispersion entre chaque couple de variables et les distributions de chaque variable sous forme d'histogramme.

6. Résultats

6.1. Différenciation en traits d'effet d'intérêt des quatre enherbements

Quel que soit le relevé une vingtaine d'espèces végétales ont été identifiées dans chaque modalité. Bien que les quatre modalités aient un nombre d'espèces similaire elles ne possèdent pas exactement les mêmes (Tableau 3). Certaines espèces tels que *Cynodon dactylon* (Linné), *Desmodium intortum* (Miller) ou encore *Cenchrus biflorus* (Roxb) ne sont présentes que dans une seule modalité. Chaque espèce possède des traits d'effet qui lui sont propres. La composition spécifique de chaque modalité étant différente, celles-ci devraient ainsi se différencier lors de l'analyse fonctionnelle des couverts.

Tableau 3 : Liste des espèces identifiées et de leurs traits d'effet par modalité

Espèces	Familles	Modalité où l'espèce est présente	Domaties	Trichomes	Densité de trichomes	Marges non lisses	Nervures en relief	Recouvrement	Grande fleur	Grande inflorescence	NEF
<i>Acanthospermum hispidum</i> DC.	Asteraceae	BM, CC, F, H	non	oui	forte	oui	oui	faible	non	non	non
<i>Amanranthus viridis</i> L.	Amaranthaceae	CC, H	non	non	nulle	non	oui	faible	non	oui	non
<i>Argemone mexicana</i> L.	Papaveraceae	CC, H	non	non	nulle	oui	oui	faible	oui	oui	non
<i>Bidens pilosa</i> L.	Asteraceae	BM, CC, F, H	non	non	nulle	oui	oui	faible	oui	oui	non
<i>Boerhavia diffusa</i> L.	Nyctaginaceae	F, H	non	non	nulle	non	oui	moyen	oui	oui	non
<i>Cardiospermum hallicacabum</i> L.	Sapindaceae	BM, CC, F, H	non	oui	faible	non	non	faible	non	non	non
<i>Cenchrus biflorus</i> Roxb	Poaceae	CC	non	oui	modérée	non	non	faible	non	oui	non
<i>Centella asiatica</i> L.	Apiaceae	F, H	non	oui	faible	oui	oui	fort	oui	non	non
<i>Coronopus didymus</i> L.	Brassicaceae	CC, H	non	non	nulle	oui	non	moyen	oui	oui	non
<i>Cuscuta campestris</i> Yunck.	Convolvulaceae	BM	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<i>Cyanthillium cinereum</i> L.	Asteraceae	H	non	oui	modérée	non	oui	faible	non	oui	non
<i>Cyclosporum leptophyllum</i> Pers.	Apiaceae	H	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<i>Cynodon dactylon</i> L.	Poaceae	CC	non	non	nulle	non	non	fort	non	oui	non
<i>Cyperus rotundus</i> L.	Cyperaceae	BM, CC, F, H	non	non	nulle	non	oui	faible	non	oui	non
<i>Desmanthus virgatus</i> L.	Fabaceae	BM, CC, F, H	non	non	nulle	non	non	moyen	oui	oui	oui
<i>Desmodium incanum</i> DC.	Fabaceae	BM	non	oui	faible	non	oui	faible	oui	oui	non
<i>Desmodium intortum</i> Mill.	Fabaceae	F	non	oui	faible	non	oui	faible	non	oui	non
<i>Digitaria radicata</i> Presl.	Poaceae	BM, CC, F	non	oui	faible	non	non	moyen	non	oui	non
<i>Euphorbia hirta</i> L.	Euphorbiaceae	BM, F, H	non	oui	modérée	oui	oui	faible	non	non	oui
<i>Euphorbia hyssipifolia</i> L.	Euphorbiaceae	F, H	non	non	nulle	oui	non	faible	oui	oui	non
<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	Euphorbiaceae	BM, CC, F, H	non	non	nulle	non	non	faible	non	oui	oui
<i>Ipomea obscura</i> L.	Convolvulaceae	BM, CC, F, H	oui	non	nulle	non	non	faible	oui	oui	oui
<i>Lantana camara</i> L.	Verbenaceae	CC	non	oui	faible	oui	oui	moyen	oui	oui	non
<i>Leucaena leucocephala</i> Lam.	Fabaceae	BM, CC, F	non	non	nulle	oui	non	faible	oui	oui	oui
<i>Malvastrum coromandelianum</i> L.	Malvaceae	BM, CC, F, H	non	oui	faible	oui	oui	moyen	oui	non	non
<i>Melinis repens</i> Wild.	Poaceae	BM, F	non	oui	faible	non	non	moyen	non	oui	non
<i>Melochia pyramidata</i> Britt.	Malvaceae	BM, F, H	non	non	nulle	oui	oui	faible	oui	non	non
<i>Nicandra physaloides</i> L.	Solanaceae	CC	non	oui	faible	oui	oui	faible	oui	oui	non
<i>Oxalis corniculata</i> L.	Oxalidaceae	BM, CC, F, H	non	oui	modérée	non	non	moyen	oui	non	non
<i>Panicum maximum</i> Jacq.	Poaceae	BM, H	non	non	nulle	non	oui	moyen	non	oui	non
<i>Parthenium hysterophorus</i> L.	Asteraceae	BM, CC, H	non	non	nulle	oui	oui	moyen	non	oui	non
<i>Phyllanthus tenellus</i> Roxb	Phyllanthaceae	H	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<i>Plantago lanceolata</i> L.	Plantaginaceae	H	non	oui	modérée	non	oui	moyen	oui	oui	non
<i>Senna occidentalis</i> L.	Fabaceae	BM	non	non	nulle	non	non	faible	oui	oui	oui
<i>Sida acuta</i> Burm.	Malvaceae	BM, CC, F, H	non	oui	faible	non	oui	faible	oui	non	oui
<i>Sida alnifolia</i> L.	Malvaceae	F	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<i>Solanum nigrum</i> L.	Solanaceae	BM, CC, F, H	non	oui	faible	oui	oui	faible	oui	oui	non
<i>Sonchus asper</i> L.	Asteraceae	H	non	non	nulle	oui	oui	moyen	oui	oui	non
<i>Sorghum arundinaceum</i> Desv.	Poaceae	CC, H	non	non	nulle	non	non	faible	oui	oui	non
<i>Tephrosia purpurea</i> L.	Fabaceae	BM, CC, F	non	non	nulle	non	non	faible	oui	non	non
<i>Teramnus labialis</i> L.	Fabaceae	BM, F, H	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<i>Trichodesma zeylanicum</i> Burm.	Boraginaceae	BM	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<i>Tridax procumbens</i> L.	Asteraceae	H	non	oui	faible	oui	oui	moyen	oui	non	non

6.1.1. Caractérisation de la flore du relevé 1

Les dimensions 1 et 2 expliquent respectivement 48,19 % et 31,95 %, soit plus de 80 %, de la représentation de l'ACP sur les traits fonctionnels du relevé 1 et permettent de dissocier les quatre modalités ((BM : modalité broyeur ; CC = modalité cover-crop ; F = modalité fauche ; H = modalité herbicide)

Figure 10). Le cercle des corrélations de la (Asteraceae = petites fleurs ; Relief_oui = nervures en relief ; Trich.inf_Moderate = densité de trichomes modérée ; Grande.fleur_Oui = présence de grandes fleurs, NEF_Oui = présence de NEF ; Rec_Moyen = recouvrement moyen ; Grande.inflo_Oui = présence de grandes inflorescences ; marges.non.lisse = présence de marges foliaires non lisses)

Figure 9 et l'annexe 2, montrent que la modalité F (fauche) est corrélée positivement à la dimension 1 et est donc caractérisée par l'abondance de NEF, de grandes inflorescences et d'espèces à recouvrement moyen. La modalité BM (broyeur) lui est associée positivement aux deux dimensions et est donc défini par les mêmes traits que la modalité F ainsi que par l'abondance de grandes fleurs. L'abondance de NEF peut être reliée à l'espèce *Desmanthus virgatus* (Linné) tandis que les grandes inflorescences sont plutôt caractéristiques de poacées nombreuses dans ces deux modalités.

La modalité CC (cover-crop) se positionne dans la partie négative de la dimension 2 et semble donc peu représenté par les traits fonctionnels choisis dans cette ACP.

La modalité H (herbicide) est principalement corrélée négativement avec la dimension 1. Elle possède donc principalement une abondance de petites fleurs, type Astéracées, et de marges foliaires non lisses. La modalité H possède en effet le trait « marges foliaires non lisses » en plus grande quantité que les autres modalités comme nous pouvons le voir sur la Figure 8.

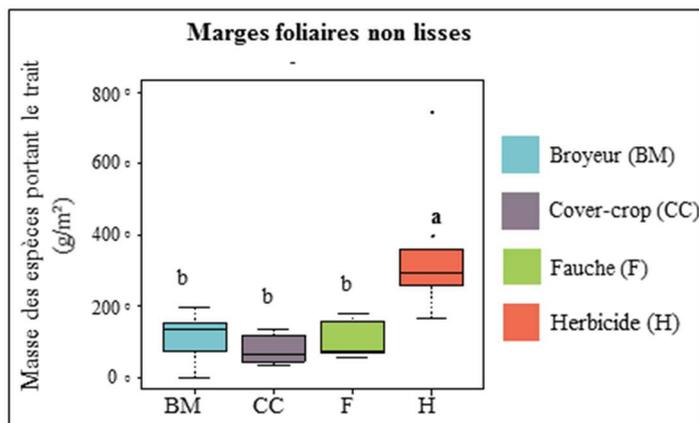
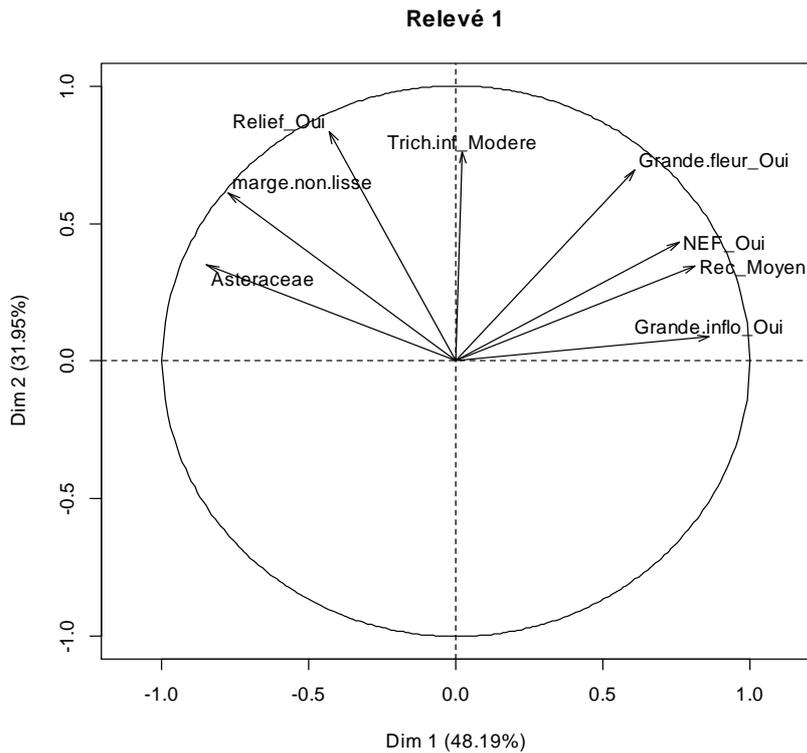
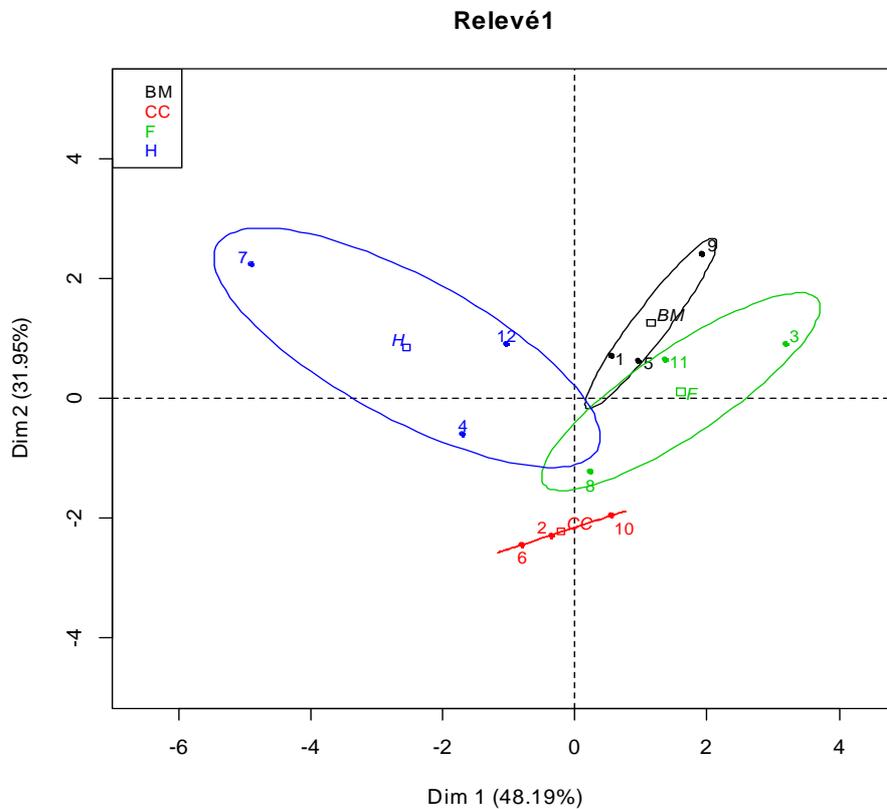


Figure 8 : Abondance du trait "marges foliaires non lisses" au sein des 4 modalités (relevé 1)



(Asteraceae = petites fleurs ; Relief_oui = nervures en relief ; Trich.inf_Modere = densité de trichomes modérée ; Grande.fleur_Oui = présence de grandes fleurs, NEF_Oui = présence de NEF ; Rec_Moyen = recouvrement moyen ; Grande.inflo_Oui = présence de grandes inflorescences ; marges.non.lisse = présence de marges foliaires non lisses)

Figure 9 : ACP des traits d'effet du relevé floristique 1



(BM : modalité broyeur ; CC = modalité cover-crop ; F = modalité fauche ; H = modalité herbicide)

Figure 10 : Graphique des individus (Relevé 1)

6.1.2. Caractérisation de la flore du relevé 2

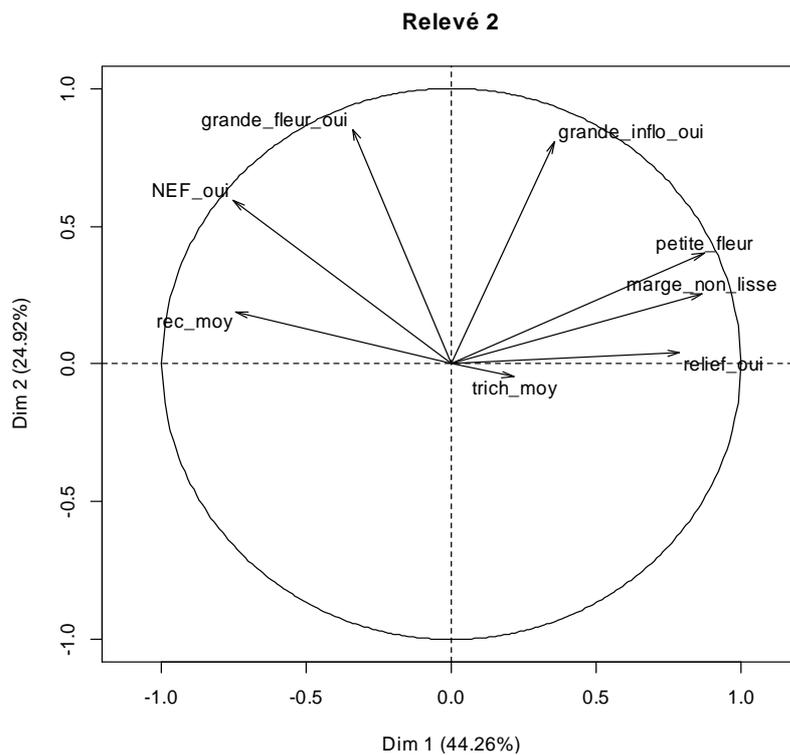
Les dimensions 1 et 2 représentées dans les (BM : modalité broyeur ; CC = modalité cover-crop ; F = modalité fauche ; H = modalité herbicide)

Figure 12 expliquent respectivement 44,26 % et 24,92 % de la représentation. L'observation du graphique des individus de l'ACP sur le relevé 2 ((BM : modalité broyeur ; CC = modalité cover-crop ; F = modalité fauche ; H = modalité herbicide)

Figure 12) permet de différencier la modalité F, la modalité BM mais les modalités H et CC ne se dissocient pas. Au vu de la (petite_fleur = présence de petites fleurs ; relief_oui = nervures en relief ; trich_moy = densité de trichomes modérée ; grande_fleur_Oui = présence de grandes fleurs, NEF_Oui = présence de NEF ; rec_moy = recouvrement moyen ; grande_inflo_Oui = présence de grandes inflorescences ; marge_non_lisse = présence de marges foliaires non lisses)

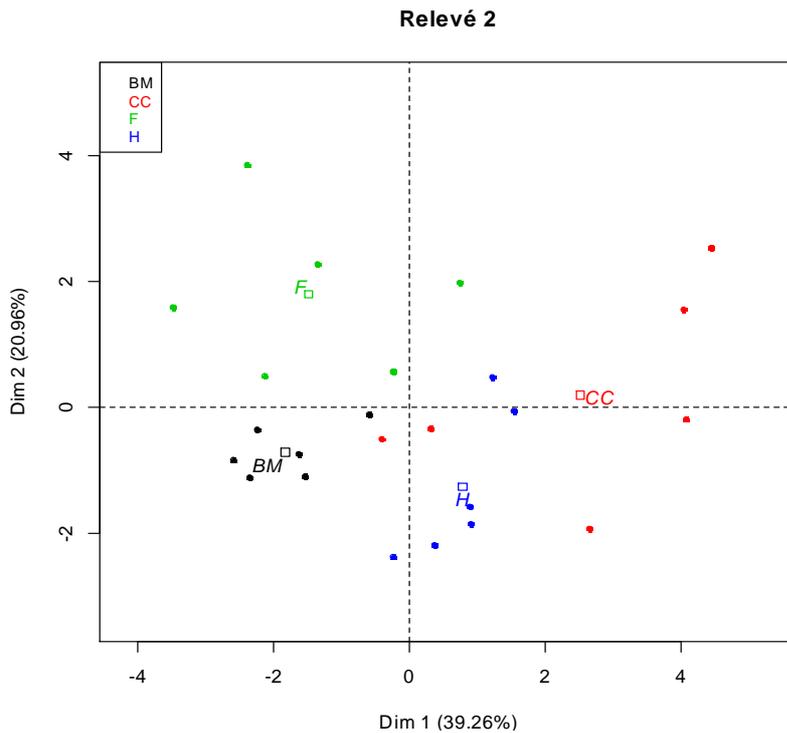
Figure 11 et de l'annexe 3, la modalité F est de nouveau corrélée aux mêmes traits fonctionnels de l'ACP du relevé 1 ainsi qu'à l'abondance de grandes fleurs. La modalité BM, est associée négativement à la dimension 2 et peut donc être reliée à l'abondance de NEF et d'espèces au recouvrement moyen.

Les modalités F et CC sont toutes deux corrélées positivement à la dimension 1 définie par l'abondance de marges non lisses, de nervures en relief et de petites fleurs.



(petite_fleur = présence de petites fleurs ; relief_oui = nervures en relief ; trich_moy = densité de trichomes modérée ; grande_fleur_Oui = présence de grandes fleurs, NEF_Oui = présence de NEF ; rec_moy = recouvrement moyen ; grande_inflo_Oui = présence de grandes inflorescences ; marge_non_lisse = présence de marges foliaires non lisses)

Figure 11 : ACP des traits d'effet du relevé floristique 2



(BM : modalité broyeur ; CC = modalité cover-crop ; F = modalité fauche ; H = modalité herbicide)

Figure 12 : Graphique des individus (Relevé 2)

La Figure 13 montre que les modalités F et BM possèdent statistiquement plus de NEF que les modalités H et CC.

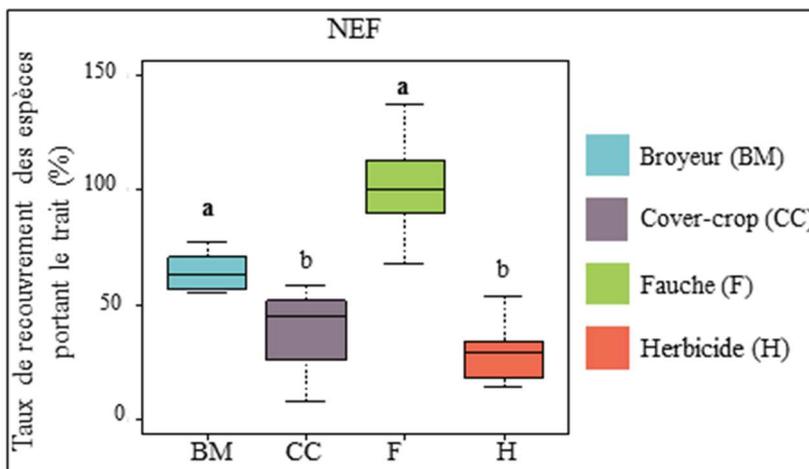


Figure 13 : Abondance du trait "NEF" au sein des 4 modalités (relevé 2)

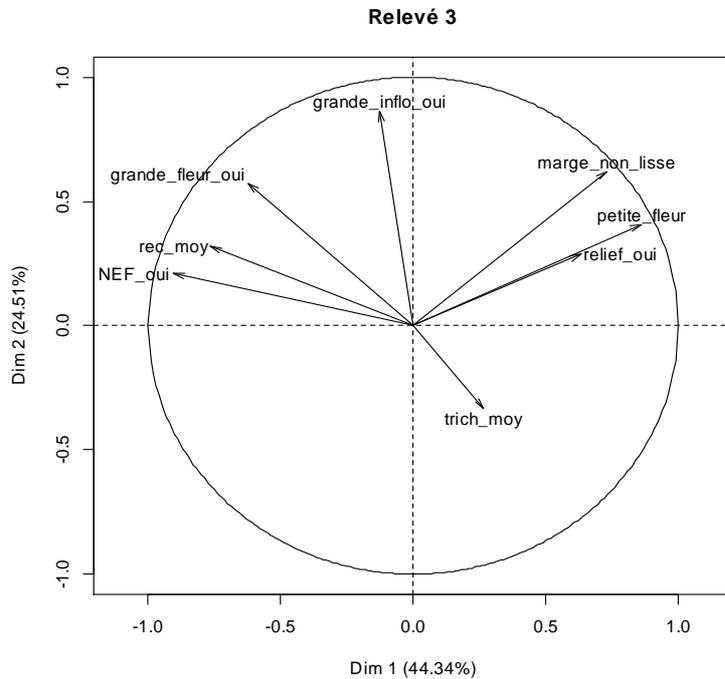
6.1.3. Caractérisation de la flore du relevé 3

Les dimensions 1 et 2 expliquent respectivement 44,34 % et 24,51 % de la représentation de l'ACP réalisée sur le relevé 3. Les modalités F et BM se dissocient des modalités H et CC ((BM : modalité broyeur ; CC = modalité cover-crop ; F = modalité fauche ; H = modalité herbicide)

Figure 15), deux groupes sont alors observables. Les modalités H et CC sont corrélées positivement à la dimension 1, et donc caractérisées par l'abondance de petites fleurs, de nervures en relief et de marges non lisses ((petite_fleur = présence de petites fleurs ; relief_oui = nervures en relief ; trich_moy = densité de trichomes modérée ; grande_fleur_Oui = présence de grandes

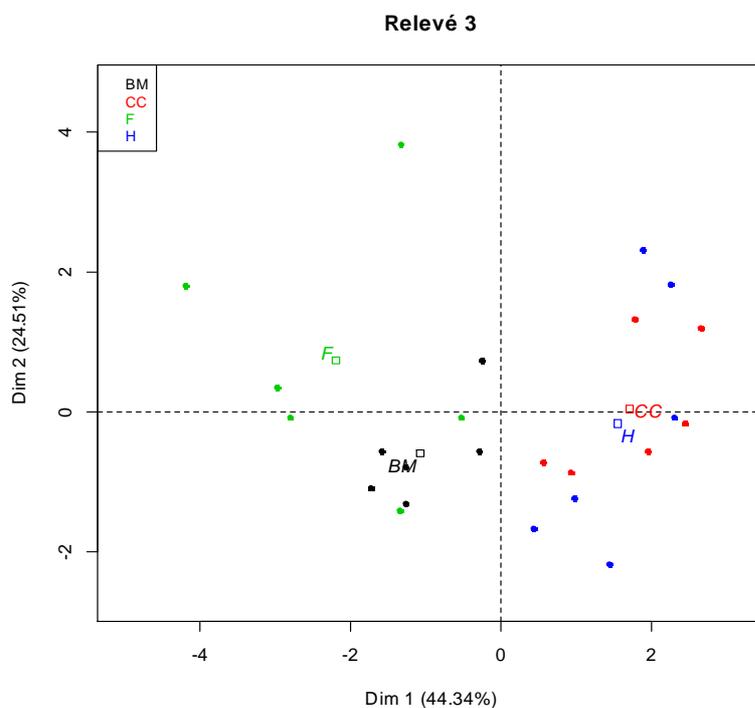
fleurs, NEF_Oui = présence de NEF ; rec_moy = recouvrement moyen ; grande_inflo_Oui = présence de grandes inflorescences ; marge_non_lisse = présence de marges foliaires non lisses)

Figure 14 ; annexe 4). Les modalités F et BM sont à relier négativement à la dimension 2 et se définissent alors par l'abondance de grandes fleurs, de grandes inflorescences, de NEF et d'espèces au recouvrement moyen.



(petite_fleur = présence de petites fleurs ; relief_oui = nervures en relief ; trich_moy = densité de trichomes modérée ; grande_fleur_Oui = présence de grandes fleurs, NEF_Oui = présence de NEF ; rec_moy = recouvrement moyen ; grande_inflo_Oui = présence de grandes inflorescences ; marge_non_lisse = présence de marges foliaires non lisses)

Figure 14 : ACP des traits d'effet du relevé floristique 3



(BM : modalité broyeur ; CC = modalité cover-crop ; F = modalité fauche ; H = modalité herbicide)

Figure 15 : Graphique des individus (Relevé 3)

6.1.4. Comparaison des compositions fonctionnelles des couverts entre les trois relevés

Au vu des résultats des trois ACP nous observons que la fonctionnalité du couvert au sein d'une modalité varie dans le temps. La différenciation des quatre modalités est plus ou moins évidente selon la période d'échantillonnage.

Le Tableau 4, obtenu à partir des données de l'annexe 5 nous permet de dire que l'abondance de nervures en relief et d'espèces à densité modérée de trichomes est toujours plus forte dans la modalité H, quel que soit le relevé floristique et que l'abondance d'espèces à recouvrement moyen est, quant à elle, toujours plus faible.

La modalité F possède toujours la plus forte abondance de NEF et de grandes fleurs mais la plus faible abondance de petites fleurs.

La modalité CC est caractérisée par une plus faible abondance de NEF, d'espèces à densité modérée de trichomes et au recouvrement moyen que les autres modalités. Seule l'abondance de petites fleurs y est toujours plus élevée.

La modalité BM possède une plus faible abondance de petites fleurs que les autres modalités dans tous les relevés et se caractérise, avec la modalité F, par une plus forte abondance de NEF sur les deux derniers relevés.

En possédant la plus forte abondance pour trois des huit traits d'effet, la modalité F semble intéressante à considérer pour la lutte biologique.

Malgré quelques traits ressortant en plus grandes abondance dans certaines modalités pour tous les relevés, nous remarquons que les quatre modalités ne sont significativement pas différentes sur le point fonctionnel si l'on considère tous les traits, dans leur globalité.

Tableau 4 : Tableau récapitulatif des relations existantes entre les modalités pour chaque trait d'effet au sein de chaque relevé floristique

Modalité	BM			F			CC			H		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Densité de trichomes modérée	vert	rouge	orange	orange	orange	rouge	rouge	rouge	rouge	vert	vert	vert
Nervures en relief	orange	orange	orange	orange	rouge	rouge	rouge	orange	orange	vert	vert	vert
Marges non lisses	rouge	orange	orange	rouge	orange	orange	rouge	orange	orange	vert	orange	orange
NEF	orange	vert	vert	vert	vert	vert	rouge	rouge	rouge	orange	rouge	rouge
Grande fleur	vert	orange	orange	vert	vert	vert	rouge	orange	rouge	orange	rouge	orange
Petite fleur	rouge	rouge	rouge	rouge	rouge	rouge	vert	vert	vert	vert	orange	orange
Grande inflorescence	vert	rouge	orange	vert	vert	orange	vert	vert	orange	rouge	rouge	orange
Recouvrement moyen	vert	orange	orange	vert	rouge	orange	rouge	rouge	rouge	rouge	rouge	rouge

(R : relevé ; vert : abondance du trait plus importante dans la modalité (significatif à 95 %) par rapport à une ou plusieurs autres modalités; rouge : abondance du trait moins importante dans la modalité (significatif 95 %) par rapport à une ou plusieurs autres modalités ; orange : pas de différence significative par rapport à une ou plusieurs autres modalités ; BM = broyeur ; H = herbicide ; CC = cover-crop ; F = fauche)

6.2. Impact de l'état de l'enherbement sur les populations d'auxiliaires et de pucerons

A l'issue des trois suivis entomologiques, 13 146 individus ont été comptabilisés. Le Tableau 5 fournit le détail du nombre d'individus comptés par famille d'arthropodes.

Tableau 5 : Nombre d'individus comptés par famille d'arthropodes à l'issue des trois relevés entomologiques

Auxiliaires	Nombre	Statut inconnu	Nombre	Ravageurs	Nombre
Coccinelles	146	Coléoptères	838	Thrips	4
Chrysopes	0	Punaises	92	Pucerons	240
Fourmis	773	Orthoptères et Dictyoptères	85		
Chalcidoidea	339	Diptères nématocères	5790		
Syrphes	40	Acaris	5		
Araignées	140	Lépidoptères	885		
Ichneumonoidea	603	Autres Homoptères	914		
Autres Hyménoptères	86	Diptères brachycères	2162		
		Autres	4		

6.2.1. Nombre d'individus piégés selon les trois relevés : étude des coccinelles, des syrphes et des araignées

146 coccinelles ont été piégées sur la durée totale de l'étude. Le plus grand nombre de coccinelles, 78 individus, est obtenu lors du 1^{er} relevé quand le couvert était très haut tandis que seulement 20 coccinelles sont récoltées lors du 2^e relevé où le couvert était le plus bas. Bien que le relevé 3 soit la somme des coccinelles piégées en trois semaines, le nombre de coccinelles piégées est intermédiaire et donc inférieur au relevé 1 (Figure 16).

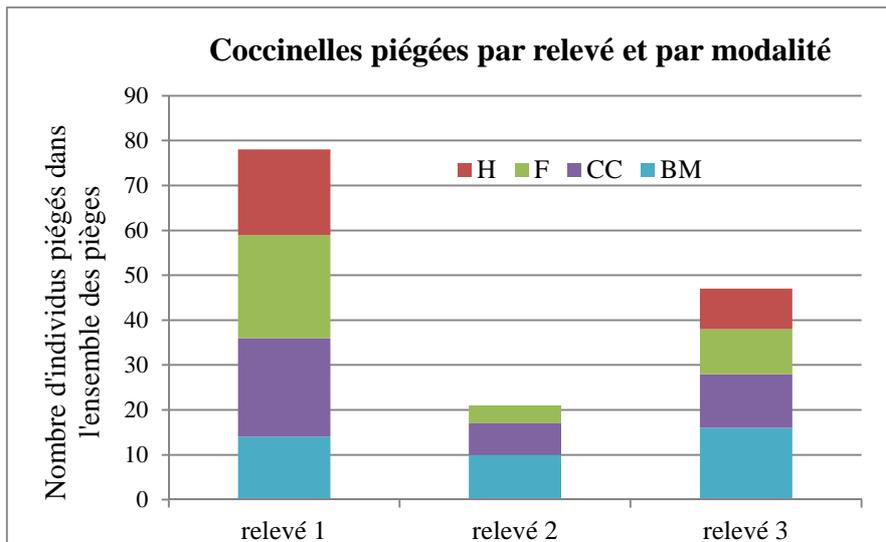


Figure 16 : Sommes des coccinelles piégées pour les trois relevés entomologiques

En comparaison aux coccinelles, le nombre de syrphes piégés est faible et est de 40 individus. Il atteint son maximum de 25 individus avec le relevé 3 et son minimum lors du premier relevé (Figure 17). Les quantités piégées ne suivent donc pas la même distribution que celles des coccinelles.

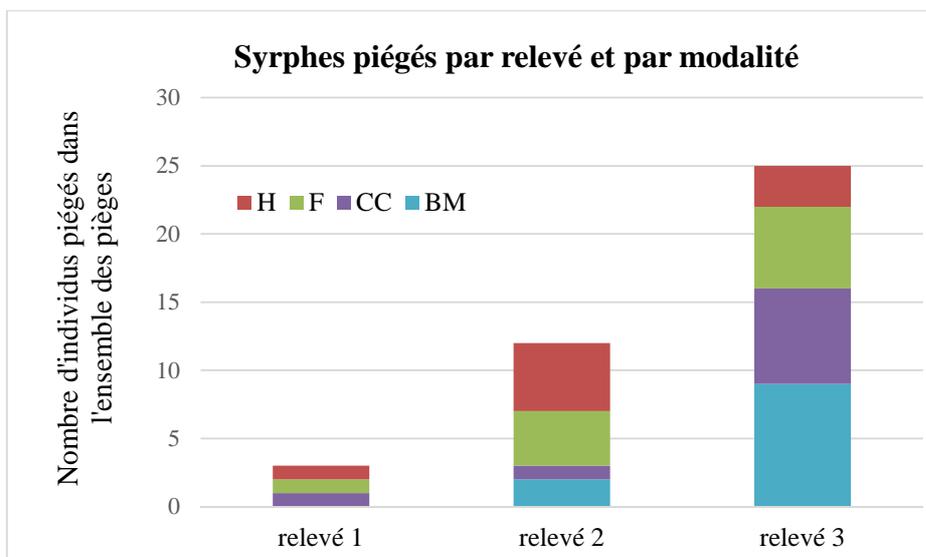


Figure 17 : Sommes des syrphes piégées pour les trois relevés entomologiques

140 araignées ont été comptabilisées sur l'ensemble des trois relevés. Le nombre d'araignées piégées varie de 28 à 58 (Figure 18). Le plus grand nombre d'individus correspond au relevé 2 caractérisé par un couvert ras. Même après trois semaines de piégeage (relevé 3) la quantité d'araignées piégées est inférieure à celle du relevé 2 d'une semaine. Le plus faible nombre d'araignées est quant à lui associé au relevé 1.

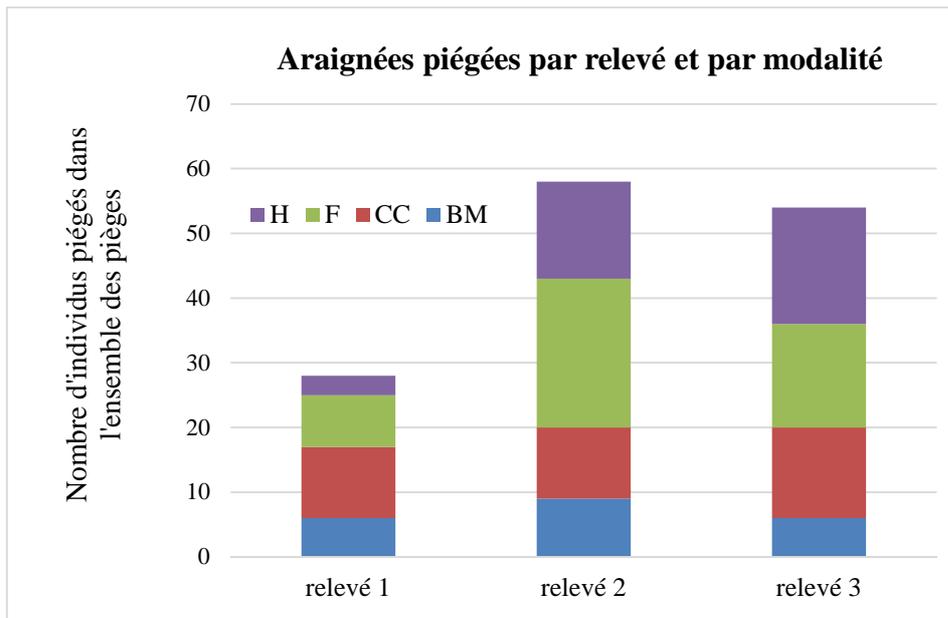


Figure 18 : Sommes des araignées piégées pour les trois relevés entomologiques

6.2.2. Comparaison des populations de coccinelles, parasitoïdes, fourmis et pucerons avant et après gestion de l'enherbement pour les quatre modalités

Au cours de notre expérimentation, nous observons que la destruction partielle ou totale de l'enherbement entraîne la chute du nombre de coccinelles et de fourmis piégées (Figure 19). Cette diminution apparaît quel que soit la modalité, exception faite pour le nombre de coccinelles dans la modalité BM qui ne change pas selon l'état du couvert. Toujours pour les coccinelles, la diminution la plus forte est observée sur la modalité H puisqu'aucune coccinelle n'est piégée suite à la pratique culturale de la modalité alors qu'elles étaient présentes avant celui-ci. Le nombre de captures de parasitoïdes suit une évolution contraire, en effet le nombre d'individus piégés augmente suite à la gestion de l'enherbement dans toutes les modalités.

Le nombre de pucerons piégés (ravageurs) croît tout comme celui des parasitoïdes sauf sur la F où il reste stable et faible.

F = fauche ; H = herbicide ; BM = broyeur ; CC = cover-crop

couvert haut = relevé 1
couvert ras = relevé 2

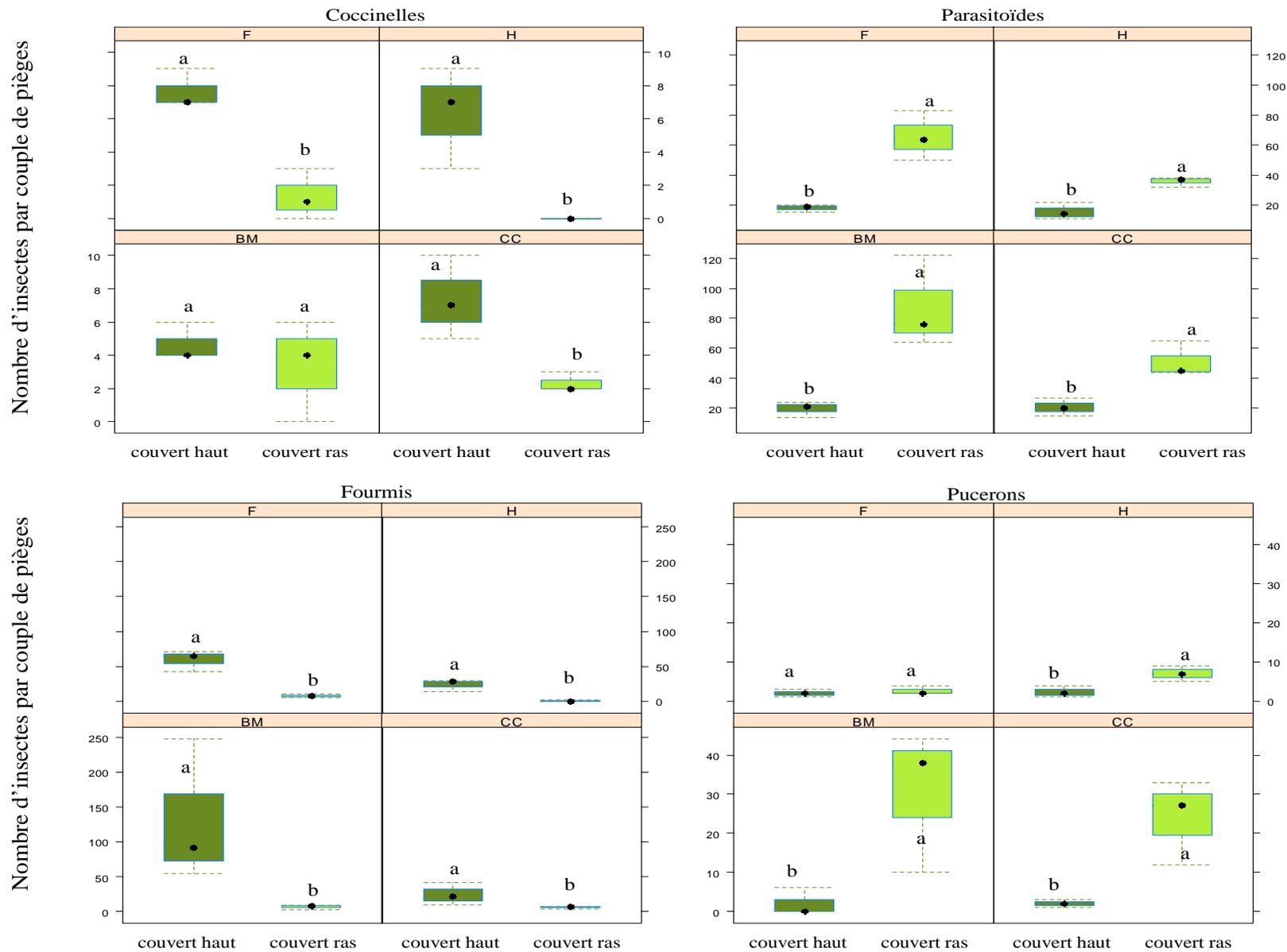


Figure 19 : Effet de la présence du couvert pour les 4 ITK sur 3 familles d'auxiliaires et les pucerons

6.3. Effet de l'ITK sur les auxiliaires et les pucerons

Aucune différence significative entre les différentes modalités n'est ressortie pour les cinq catégories d'insectes étudiées. On observe tout de même des tendances à partir des graphiques de la Figure 20 qui représentent les sommes d'individus piégés par modalité en 2 ou 4 semaines suivant les groupes d'insectes. Le nombre d'insectes piégés, auxiliaires comme pucerons, semble plus élevé sur la modalité BM. Le nombre d'auxiliaires piégés sur la modalité H paraît inférieur à celui des autres modalités quel que soit le type d'auxiliaire considéré sans que cela soit significatif.

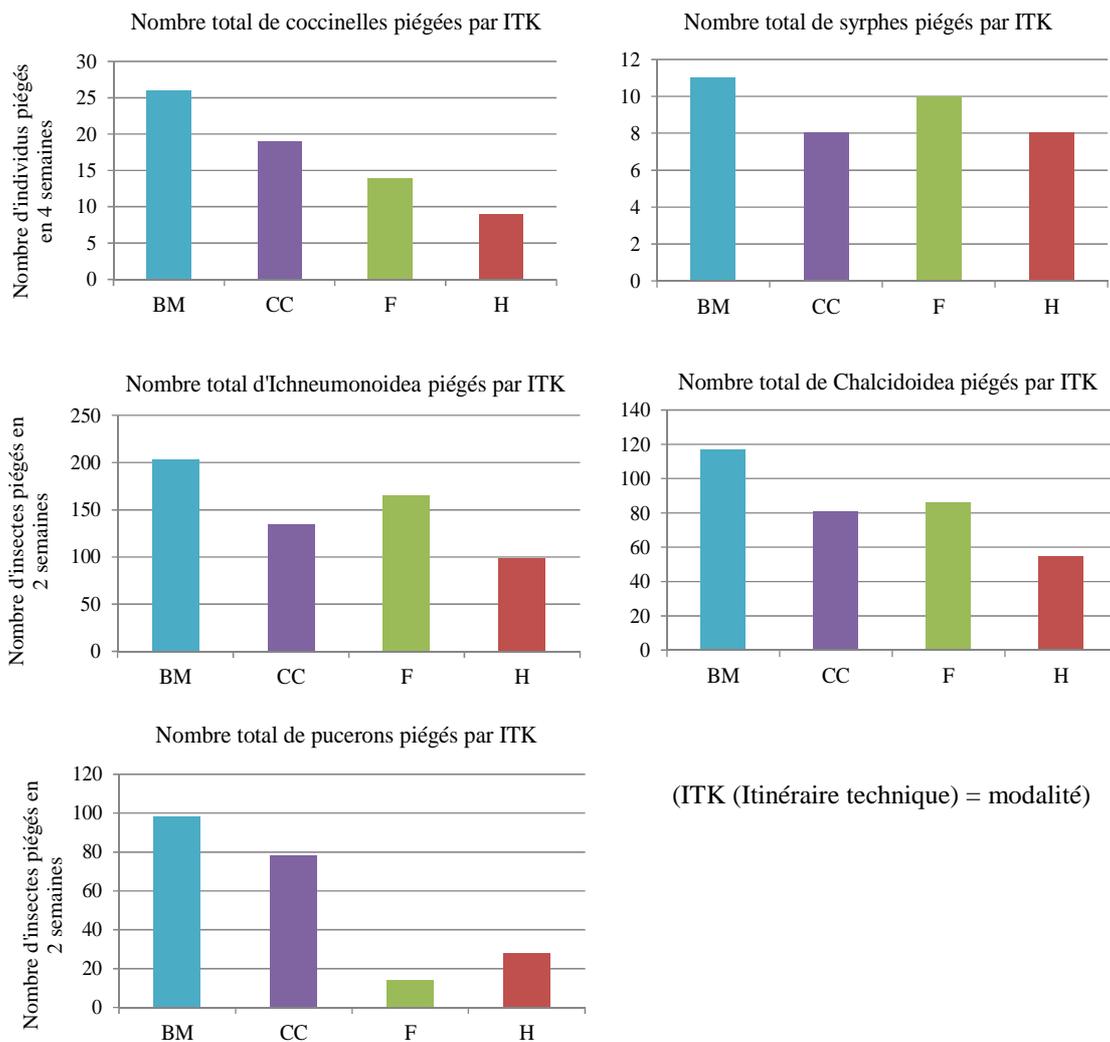


Figure 20 : Effet du mode de gestion de l'enherbement sur certains auxiliaires et les pucerons (ravageurs)

6.4. Etudes des relations existantes entre les traits d'effet et les coccinelles

Il existe des relations entre les traits d'effet des plantes présents sur Figure 21 mais l'analyse des corrélations entre ces traits d'effet et les coccinelles capturées n'aboutit à aucune relation significative quel que soit le relevé considéré. Seul un taux de corrélation de -0.4, significatif à 90 %, ressort entre les coccinelles et la densité modérée de trichomes dans le relevé 2. Au sein de ce relevé, bien qu'elle soit modérée, la densité de trichomes ne semble pas attractive pour les coccinelles.

Etude des corrélations entre traits d'effet et coccinelles (relevé 2)

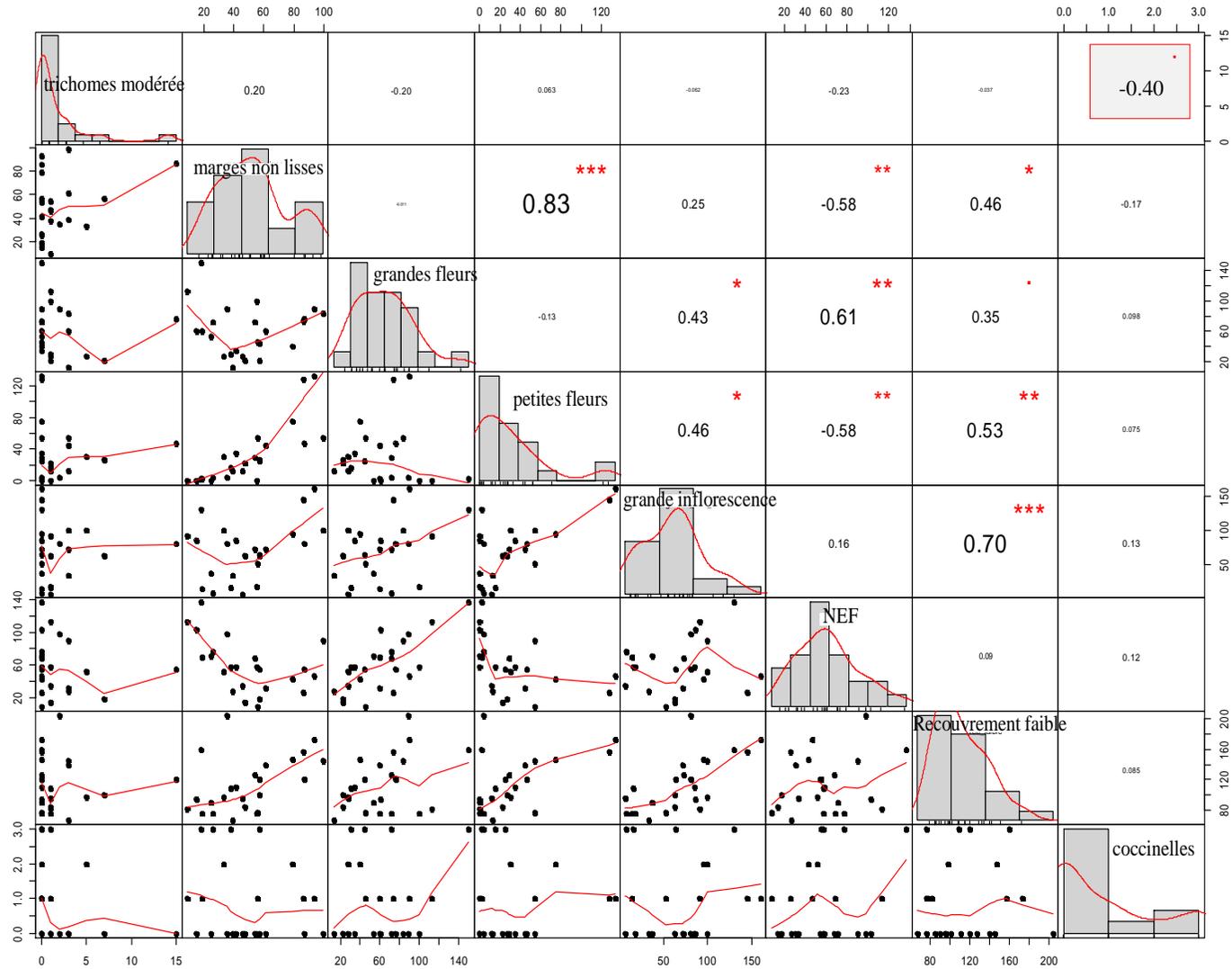


Figure 21 : Corrélations entre traits d'effet d'intérêt et coccinelles (relevé 2)

6. Discussion

6.1. Pièges cornets

Le piège étant utilisé pour la première fois en milieu tropical, l'expérimentation nous a permis de tester son efficacité sous ce type de climat ainsi que de mieux appréhender ses conditions d'utilisation. Quelles que soient les conditions de mise en place les pièges ont capté des insectes, ce qui prouve son bon fonctionnement. Contrairement à d'autres moyens de piégeage tels que les tentes malaises ou le D-Vac (piégeage par aspiration) les échantillons récoltés, bien que diversifiés, étaient de taille raisonnable en terme de quantité d'insectes même après trois semaines de mise en place. Le piège cornet permet donc d'évaluer la communauté d'insectes sans trop la détruire. Le fait que le piège cornet capture des insectes en moindre quantité que la tente malaise et soit plus sélectif que le D-Vac permet de gagner du temps lors de l'identification car le nombre d'individus est moindre mais également car les échantillons récoltés sont propres contrairement à ceux obtenus avec le D-Vac qui aspire tout, notamment des particules de feuilles ou de terre.

Si l'on considère les coccinelles, un plus grand nombre d'individus a été piégé sur une couverture très haute en une semaine que sur un couvert d'une hauteur moindre (relevé 3) en trois semaines. En plus de la durée de piégeage, l'état de croissance de l'enherbement semble donc être un critère important à considérer lors de l'échantillonnage pour ces insectes. Le nombre de syrphes piégés lui est plus élevé sur une durée d'échantillonnage de trois semaines. Cependant, le fait que plus de syrphes soient captés sur un couvert ras (relevé 2) que sur un couvert très haut pendant la même durée laisse penser que le piégeage a été entravé par la végétation lors du premier relevé. En effet, la végétation était anormalement haute du fait de retard pris pour la mise en place des pièges et les pièges se situaient sous le niveau maximal du couvert malgré un espace débroussaillé autour du piège. Les syrphes ayant un vol stationnaire au-dessus de la végétation afin de repérer les fleurs (Sarhou et Martin, 2005), ceux-ci ont facilement pu se déplacer au sein de l'enherbement sans se faire piéger. Comme nous l'avait conseillé Jean-Pierre Sarhou, il paraît donc vraiment nécessaire de créer un gradient au sein de la végétation devant le piège afin de rendre accessible et visible l'entrée du piège.

En enlevant les bidons d'alcool qui récoltent les insectes il est possible de laisser les pièges en place sans entraver le déplacement des insectes qui peuvent alors traverser le piège. Une stratégie de piégeage avec des activations régulières est donc réalisable et pourrait être une façon d'évaluer l'attractivité des couverts à des moments précis. Des activations juste après perturbation, au moment de la floraison et de la croissance maximale du couvert juste avant gestion permettrait d'observer l'évolution de l'effet du couvert sur les auxiliaires dans le temps. Un relevé de trois semaines n'a pas permis d'obtenir trois fois plus d'insectes que ceux d'une semaine, des répétitions dans le temps sont donc nécessaires afin de déterminer une durée de piégeage optimale dans un contexte tropical.

6.2. Dispositif expérimental

Etudiant majoritairement des insectes volants, dont la capacité de vol de certains, comme les syrphes, peut atteindre plusieurs dizaines de kilomètres (Chaubet, 1992), le dispositif expérimental serait trop petit pour mettre en évidence un effet des pratiques de gestion de l'enherbement. En effet, les pièges ne sont distants les uns des autres que d'environ 6 mètres et aucune barrière physique ne limite le déplacement des insectes. Les modalités H et F possèdent en plus grande quantité des traits complémentaires. La modalité F a une abondance plus grande de traits d'effet offrant de la ressource alternative (NEF) aux proies alors que la modalité H possède un plus grande abondance de traits offrant plutôt un refuge (trichomes, nervures en relief). Les modalités n'étant pas très éloignées les unes des autres, les auxiliaires sont donc susceptibles d'explorer les deux afin de tirer le meilleur parti de chacune, ainsi il n'y aurait pas plus d'auxiliaires sur la modalité F que sur la modalité H.

Nous supposons que si la ressource était présente, les arthropodes seraient attirés par la modalité sans chercher à trouver de la ressource sur les modalités voisines mais cela nécessite sûrement que la taille des placettes soient d'une taille plus grande afin d'englober le périmètre de prospection des arthropodes. Une des perspective du projet qui pourrait permettre de travailler à une plus grande échelle est de réaliser une étude similaire chez des producteurs, à l'échelle cette fois-ci de plusieurs parcelles.

Sans augmenter la taille du dispositif, il faudrait réussir à augmenter d'avantage la fonctionnalité du couvert afin d'attirer de façon plus efficace les auxiliaires. L'utilisation de plantes de services connues pour avoir un rôle positive dans la lutte biologique peut être une solution envisageable.

D'autres bioindicateurs moins mobiles pourraient permettre de mettre en évidence que le mode de gestion de l'enherbement influe sur les potentialités du couvert à favoriser la lutte biologique. Comme le montre Mailloux et al. (2010), les acariens phytoséides, jouant un rôle important dans le contrôle d'acariens phytophages, sont de bons bioindicateurs qui permettent de mettre en exergue des effets des modes d'entretien de l'enherbement sur des dispositifs de petites tailles. Ces arthropodes font l'objet d'une étude à eux seuls dans le cadre du projet Agrum'aide et permettront peut être de conseiller un mode de gestion plutôt qu'un autre par la suite.

6.3. Impact des modes de gestion sur la fonctionnalité de l'enherbement

L'analyse fonctionnelle des différents relevés floristiques a montré que bien que les modalités se différencient distinctement lors du premier relevé, ce n'est pas le cas pour les suivants. Nous pouvons donc supposer qu'aucun effet significatif ne ressort lors de l'étude de l'effet des pratiques de gestion en partie car nos quatre modalités ne sont pas assez différentes pour les traits étudiés.

Quelques traits tels que la présence de NEF et de grandes fleurs sont plus abondants dans la modalité fauche que dans les autres modalités. Cependant, cette modalité possédant une forte biomasse, il est possible que les espèces portant les traits d'intérêt soient cachées par les autres. Ainsi, comme un mélange variétal permet de limiter la reconnaissance de la plante

hôte par les ravageurs (Ratnadass et al., 2013), un fort taux de recouvrement gênerait les auxiliaires pour localiser la ressource.

La modalité herbicide, considérée comme un témoin des pratiques chez les agriculteurs, possède elle aussi deux traits d'effet en plus grande quantité que dans les autres modalités, la présence de nervures en relief et d'une densité de trichomes modérés. Ces traits concernent principalement la formation de refuge pour les auxiliaires mais la modalité herbicide se caractérisant par une plus faible biomasse que les autres (Rothé et al., 2016), cela peut limiter sa capacité à fournir un abri aux auxiliaires. Cependant, dans le contexte actuel d'objectif de diminution de l'emploi des produits phytosanitaires, la modalité herbicide n'est en aucun cas soutenable. Bien que possédant des traits d'intérêts pour la lutte biologique dans notre étude, il ne faut pas oublier que l'utilisation d'herbicides tue, fait fuir les auxiliaires présents sur le couvert et participe à la pollution des sols et des eaux.

Faucher l'enherbement semblerait être une pratique à conseiller aux agriculteurs utilisant toujours des herbicides car elle semble tout aussi efficace du point de vue fonctionnel. Cependant, sur le long terme, la fauche favorise le développement des poacées qui prennent le dessus sur les autres espèces et limitent donc la diversité du couvert (Ollivier, 2015). Des périodes d'arrêt où un léger travail du sol serait réalisé permettraient de casser le cycle de ces adventices. Une fois le travail du sol réalisé, un semi de plantes de service (plantes fournissant un service écosystémique) bénéfique pour la lutte biologique permettrait d'augmenter la fonctionnalité du couvert.

6.4. Relations plante-insecte

La seule relation plantes-insectes mise en lumière est la corrélation négative entre la densité de trichomes modérée et les coccinelles dans le relevé 2. Selon la bibliographie, les trichomes, sont bénéfiques aux coccinelles dès lors qu'ils ne sont pas présents en densité trop forte. Les seuils utilisés pour définir si la densité de trichomes est faible, modérée ou élevée ne sont cependant pas tout le temps spécifiés, ainsi nous ne savons pas si les seuils que nous avons utilisé correspondent à ceux utilisés dans les études montrant un effet de la densité de trichomes sur les coccinelles. Cette relation est à considérer prudemment car elle n'apparaît que lors d'un seul relevé. Plusieurs répétitions dans le temps seraient nécessaires afin de voir si elle existe réellement.

Lors de la caractérisation des couverts, nous avons considéré la présence ou l'absence des traits offrant de la ressource, tels que les fleurs et les NEF, sans savoir si la ressource était réellement disponible. Notamment le critère « en fleur » n'a pas été noté lors du premier relevé floristique ainsi les espèces fleurissant au cours de leur cycle participent à l'abondance de NEF et des traits floraux qu'elles soient en fleur ou non. Les relations plantes- insectes ne ressortent donc peut être pas car bien qu'un trait soit abondant, si la ressource n'est en réalité pas disponible il n'y aura pas augmentation de l'attraction des auxiliaires.

7. Conclusion

Cette étude n'a pas permis de discriminer une pratique de gestion de l'enherbement attirant de façon plus efficace les auxiliaires que les autres.

Cependant, en possédant la plus forte abondance pour trois des huit traits d'effet choisis la modalité fauche ressort comme le moyen de gestion le plus intéressant pour la lutte biologique. L'emploi à répétition de la fauche entraînant le développement des poacées, un travail du sol semble nécessaire pour casser le cycle de ces adventices. De plus, le fait que la modalité n'attire pas plus d'auxiliaires dans notre expérimentation laisse penser qu'il est encore nécessaire d'augmenter son niveau de fonctionnalité. L'ajout de plantes de service au sein du couvert spontané pourrait permettre d'augmenter la capacité du couvert à favoriser les auxiliaires et donc augmenter l'efficacité de la lutte biologique.

Même si des répétitions de l'expérimentation sont nécessaires afin d'espérer mettre en évidence un effet du mode de gestion de l'enherbement sur les communautés d'auxiliaires ce travail a permis de tester le piège cornet dans les conditions tropicales où il n'avait pas encore été mis en place. Ainsi, les moyens à mettre en place afin d'optimiser son fonctionnement sont désormais mieux connus.

Bibliographie

- Agrawal, Anurag A. ; Karban, Richard et Colfer, Ramana G.** 2000. « How leaf domatia and induced plant resistance affect herbivores, natural enemies and plant performance ». *Oikos*, 89 (1) : p. 70-80.
- Agreste.** Mars 2012. « La Réunion : bilan annuel 2011 ». *Bulletin mensuel*. Rubrique : conjoncture mensuelle : spécial fruits et légumes, no 76 : 5 p.
- Albouy, Vincent.** 2012. *La lutte biologique au jardin. Quae. Guide pratique*. Paris : Editions Quae, 102 p.
- Almohamad, Raki ; Verheggen, François J. et Haubruge, Eric.** 2009. « Searching and oviposition behavior of aphidophagous hoverflies (Diptera: Syrphidae): a review ». *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 13 (3) : p. 467-81.
- Altieri, Miguel et Nicholls, Clara.** 2004. *Biodiversity and pest management in agroecosystems*. 2e éd. New-York : CRC Press, 252 p.
- Audouin, Eve.** 2016. « *Etude de la phénologie et des traits de réponse aux pratiques culturales des espèces végétales d'intérêt pour la lutte biologique en vergers d'agrumes à la Réunion* ». Rapport de stage de césure : Montpellier : Montpellier Supagro, 50 p.
- Bolognesi, C. et Merlo, F.D.** 2011. « *Pesticides : Human Health Effects* ». In *Encyclopedia of Environmental Health*. Michigan : Nriagu, J.O, p. 438-453.
- Bruchon, L. ; Le Bellec, F. ; Vannière, H. et al.** 2015. *Guide tropical- Guide pratique de conception de systèmes de culture tropicaux économes en produits phytosanitaires*. Édité par Le Bellec F. CIRAD. Paris, 210 p.
- Burgio, Giovanni ; Ferrari, Roberto ; Boriani, Luca et al.** 2006. « The role of ecological infrastructures on Coccinellidae (Coleoptera) and other predators in weedy field margins within northern Italy agroecosystems ». *Bulletin of Insectology*, 59 (1) : p. 59-67.
- Burylo, Melanie.** 2010. « *Relations entre les traits fonctionnels des espèces végétales et leurs fonctions de protection contre l'érosion dans les milieux marneux restaurés de montagne* ». Thèse : Grenoble : Université de Grenoble, 266 p.
- Cetintas, Ramazan et McAuslane, Heather.** 2009. « Effectiveness of Parasitoids of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) on Cotton Cultivars Differing in Leaf Morphology ». *Florida Entomologist*, 92 (4) : p. 538-547.
- Chambre d'Agriculture de Charente-Maritime.** 2012. « *Piège à cornet unidirectionnel : matériel, montage et principe* », 6 p.
- Chambre d'agriculture de la Réunion.** 2016. « *Ile de La Réunion : les productions végétales* », [En ligne]. <<http://www.reunion.chambagri.fr/spip.php?rubrique56>> (Page consultée le 4 mai 2016)
- Chaubet, Bernard.** Décembre 1992. « Diversité écologique, aménagement des agro-écosystèmes et favorisation des ennemis naturels des ravageurs : cas des aphidiphages ». *Courrier de l'environnement de l'Inra*, n° 18.
- CIVAM Oasis Champagne- Ardenne.** s.d. « *Les fiches techniques de la biodiversité en zones de grandes cultures : Les Syrphes... contre pucerons, cochenilles etc.* », 2 p.

- Colley, M. R. et Luna, J. M.** 2000. « Relative Attractiveness of Potential Beneficial Insectary Plants to Aphidophagous Hoverflies (Diptera: Syrphidae) ». *Environmental Entomology* 29 (5) : p. 1054-1059.
- Coutin, Rémi.** 2007. « Les coccinelles phytophages ». *Insectes*, n° 146 : p. 9-11.
- Dalin, Peter ; Agren, Jon ; Björkman, Christer et al.** 2008. « Leaf trichome formation and plant resistance to herbivory ». In *Induced plant resistance to herbivory*. Hollande : Andreas Schaller, p. 89-105.
- D'Ávila, V. A. ; Aguiar-Menezes, E. L. ; Gonçalves-Esteves, V. et al.** 2016. « Morphological characterization of pollens from three Apiaceae species and their ingestion by twelve-spotted lady beetle (Coleoptera: Coccinellidae) ». *Brazilian Journal of Biology*, 76 (3), p. 796-803.
- Dugas, Julie.** Novembre 2015. *La première carte interactive de la répartition mondiale des fourmis est lancée à Hong Kong*, [En ligne]. <http://www.diplomatie.gouv.fr/fr/politique-etrangere-de-la-france/diplomatie-scientifique/veille-scientifique-et-technologique/hong-kong/focus-scientifique-scientific-focus/article/la-premiere-carte-interactive-de-la-repartition-mondiale-des-fourmis-est-lancee> (Page consultée le 28 août 2016).
- Durieux, Delphine ; Verheggen, François J. ; Vandereycken, Axel et al.** 2010. « Synthèse bibliographique : l'écologie chimique des coccinelles ». *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 14 (2) : p. 351-67.
- Leblanc, F. ; Fournier, P. et Etienne, J.** 1998. « *Aleurodes (Aleurothrixus floccosus, Aleurocanthus woglumi et Dialeurodes spp.)* », In le site Caribfruits, du Cirad, [En ligne]. <http://caribfruits.cirad.fr/production_fruitiere_integree/protection_raisonnee_des_vergers_maladies_ravageurs_et_auxiliaires/aleurodes> (Page consultée le 6 mars 2016).
- Garnier, Eric.** s.d. « *Diversité biologique et fonctionnement des écosystèmes : changement d'échelle de l'organisme à l'écosystème* », [Diaporama]. <<http://mon.univ-montp2.fr/claroline/backends/download.php?url=L0dhbnJpZXJfMI9GRU5FQzA3LVRYYWl0cy5wZGY%3D&cidReset=true&cidReq=UMBGF303>> (Page consultée le 9 mai 2016).
- Gilbert, Francis S.** 1981. « Foraging Ecology of Hoverflies: Morphology of the Mouthparts in Relation to Feeding on Nectar and Pollen in Some Common Urban Species ». *Ecological Entomology*, 6 (3) : p. 245-262.
- Gloria, Christian.** 2015. « *Les chrysopes, précieux auxiliaires* », In site de Réussir Grandes Cultures, [En ligne]. <<http://grandes-cultures.reussir.fr/actualites/les-chrysopes-precieux-auxiliaires:XOIW7YLE.html>> (Page consultée le 18 juillet 2016).
- Goulson, Dave.** 1999. « Foraging strategies of insects for gathering nectar and pollen, and implications for plant ecology and evolution ». *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2 (2) : p. 185-209.
- Grevstad, Fritzi S. et Klepetka, Bradley W.** 1992. « The Influence of Plant Architecture on the Foraging Efficiencies of a Suite of Ladybird Beetles Feeding on Aphids ». *Oecologia*, 92 (3) : p. 399-404.
- Haslett, J. R.** 1989. « Interpreting patterns of resource utilization: randomness and selectivity in pollen feeding by adult hoverflies ». *Oecologia*, 78 (4) : p. 433-442.
- Hausammann, A.** 1996. « The effects of sown weed strips on pests and beneficial arthropods in winter wheat fields ». *Plant Diseases and Protection*, n° 103 : p. 70-81.

- Inbar, Moshe, et Gerlin, Dan.** 2008. « Plant-Mediated Interactions Between Whiteflies, Herbivores, and Natural Enemies ». *Annual Review of Entomology*, 53 (1) : p. 431-448.
- INRA.** 2016. « Les hyménoptères parasitoïdes », [En ligne].
<<http://ephytia.inra.fr/fr/C/11525/hypp-Les-hymenopteres-parasitoides>> (Page consultée le 3 mars 2016).
- Jolivet, Pierre.** 1991. « Les fourmis et les plantes, un exemple de coévolution ». *Insectes*, n°83 : p. 3-6.
- Kergunteuil, Alan.** 2013. « Des odeurs pour protéger les cultures : utilisation de composés volatils pour modifier le comportement de la mouche du chou, *Delia radicum* et de ses ennemis naturels ». Thèse : Rennes : Université de Rennes 1, 158 p.
- Koptur, Suzanne.** 1979. « Facultative Mutualism between Weedy Vetches Bearing Extrafloral Nectaries and Weedy Ants in California ». *American Journal of Botany*, 66 (9) : p. 1016-1020.
- Lambin, M. ; Ferran, A. et Maugan, K.** 1996. « La prise d'informations visuelles chez la coccinelle *Harmonia axyridis* ». *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 79 (2) : p. 121-130.
- Landis, Douglas A. ; Wratten, Stephen D. et Gurr, Geoff M.** 2000. « Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture ». *Annual review of entomology*, n° 45 : p. 175-201.
- Lavandero, Blas ; Wratten, Steve D. ; Didham, Raphael K. et al.** 2006. « Increasing Floral Diversity for Selective Enhancement of Biological Control Agents: A Double-Edged Sword? » *Basic and Applied Ecology*, 7 (3) : p. 236-243.
- Lavorel, Sandra, et Garnier, Eric.** 2002. « Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits : revisiting the Holy Grail ». *Functional Ecology*, no 16 : p. 545-556.
- Le Bellec, F.** 2005a. « *Phytopte (Phyllocoptruta oleivora)* », In site Caribfruits du Cirad, [En ligne].
<http://caribfruits.cirad.fr/production_fruitiere_integree/protection_raisonnee_des_vergers_maladies_ravageurs_et_auxiliaires/phytopte> (Page consultée le 6 mars 2016).
- Le Bellec, F.** 2005b. « Psylle asiatique (*Diaphorina citri*) », In site Caribfruits du Cirad, [En ligne].
<http://caribfruits.cirad.fr/production_fruitiere_integree/protection_raisonnee_des_vergers_maladies_ravageurs_et_auxiliaires/psylle_asiatique> (Page consultée le 12 juillet 2016).
- Le Bellec, Fabrice.** 2015. « *Prototypes de gestion de l'enherbement en vergers d'agrumes* », 4 p.
- Lecomte, Jane.** 2011. « Biodiversité et grandes cultures (approches) ». *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 18 (3) : p. 132-136.
- Levin, Donald A.** 1973. « The role of trichomes in plant defense ». *Quarterly Review of Biology*, p. 3-15.
- Limburg, David D., et Rosenheim, Jay A.** 2001. « Extrafloral Nectar Consumption and Its Influence on Survival and Development of an Omnivorous Predator, Larval *Chrysoperla plorabunda* (Neuroptera: Chrysopidae) ». *Environmental Entomology*, 30 (3) : p. 595-604.
- Lucas, Philippe.** 2007. « Le concept de la protection intégrée des cultures ». *Innovations agronomiques*, n°1 : p. 15-21.

- Lunau, K.** 1993. « Interspecific diversity and uniformity of flower colour patterns as cues for learned discrimination and innate detection of flowers ». *Experientia*, 49 (11) : p. 1002-1010.
- Maelfait, Jean-Pierre et Léon Baert.** 1988. « Les araignées sont-elles de bons indicateurs écologiques ? ». *Bull.Soc.Sci.Bretagne*, 59 (H.S n°1) : p. 155-160.
- Mailloux, Julie ; Le Bellec, Fabrice ; Kreiter, Serge et al.** 2010. « Influence of ground cover management on diversity and density of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) in Guadeloupean citrus orchards ». *Experimental and applied acarology*, 52 (3) : 275-290.
- Marcos-Garcia, M. Angeles ; Ricarte, Antonio et Estala Neus.** 2013. « An Updated Hoverfly Checklist (Diptera: Syrphidae) of the Mascarene Island of Réunion, France ». *Journal of the Entomological Research Society*, 15 (2) : p. 59-68.
- Medeiros, Maria Alice de ; Ribeiro, Paulina de Araújo ; Castanheira de Morais, Helena et al.** 2010. « Identification of plant families associated with the predators *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) and *Hippodamia convergens* Guérin-Ménéville (Coleoptera: Coccinellidae) using pollen grain as a natural marker ». *Brazilian Journal of Biology*, 70 (2) : p. 293-300.
- Morais- Filho ; Cesar, José et Romero, Gustavo Q.** 2010. « Plant glandular trichomes mediate protective mutualism in a spider-plant system ». *Ecological Entomology*, n° 35 : p. 485-494.
- Moretti, Marco, et Legg, Colin.** 2009. « Combining plant and animal traits to assess community functional responses to disturbance ». *Ecography*, n°32 : p. 299-309.
- Norris, Robert F.** 2005. « Ecological Bases of Interactions between Weeds and Organisms in Other Pest Categories ». *Weed Science*, 53 (6) : p. 909-913.
- O'Dowd, Dennis J. et Mary F. Willson.** 1989. « Leaf domatia and mites on Australasian plants: ecological and evolutionary implications ». *Biological Journal of the Linnean Society*, 37 (3) : 191-236.
- Ollivier, Mélodie.** 2015. « *Caractérisation des communautés adventices des vergers d'agrumes de la Réunion et détermination d'espèces favorables à la mise en place de la lutte biologique par conservation* ». Rapport de stage de césure. Rennes : Agrocampus Ouest, 51 p.
- Patt, Joseph M. ; Hamilton, George C. et James H. Lashomb.** 1997. « Foraging Success of Parasitoid Wasps on Flowers: Interplay of Insect Morphology, Floral Architecture and Searching Behavior ». *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 83 (1) : p. 21-30.
- Quilici, Serge ; Vincenot, Didier et Franck, Antoine.** 2003. *Les auxiliaires des cultures fruitières à l'île de la Réunion*. CIRAD. Saint-Denis, 168 p.
- Ratnadass, A ; Fernandes, P. ; Avelino, J. et al.** 2012. « Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review ». *Agronomy for sustainable development*, 32 (1) : p. 273-303.
- Ratnadass, A. ; Blanchart, Eric et Lecomte, Philippe.** 2013. « Interactions écologiques au sein de la biodiversité des systèmes cultivés » dans Hainzelin, Etienne (dir.), *Cultiver la biodiversité pour transformer l'agriculture*, Versailles : Quae, « Synthèses », p. 147-183.
- Réseau Biodiversité pour les Abeilles.** 2016. « *Le nectar des fleurs, principale source de glucides et matière première du miel* », [En ligne]. <<http://www.jacheres-apicoles.fr/150-le-nectar-des-fleurs-principale-source-de-glucides-et-matiere-premiere-du-miel.html>> (Page consultée le 11 juillet 2016).

- Riddick, Eric W. et Alvin M. Simmons.** 2014. « Do Plant Trichomes Cause More Harm than Good to Predatory Insects ? » *Pest Management Science*, 70 (11) : p. 1655-1665.
- Rothé, M. ; Payet, R.M ; Le Bellec, F. et Bockstaller, C.** 2016. « Impacts of weed management on the floristic composition and abundance of the cover in citrus orchards : a step to conservation biological control », 14th ESA Congress, Ecosse : Édimbourg, 5-9 septembre 2016.
- Rouabah, Abdelhak.** 2015. « Effets de la gestion des bandes enherbées sur le contrôle biologique des ravageurs de cultures : rôle de la diversité fonctionnelle des carabes (Coleoptera - Carabidae) et de la structure végétale ». Thèse : Nancy : Université de Lorraine, 143 p.
- Rutledge, Claire E. ; Eigenbrode, Sanford D. et Ding, Hondjian.** 2008. « A plant surface mutation mediates predator interference among ladybird larvae ». *Ecological Entomology*, n° 33 : p. 464-472.
- Ryckewaert, Philippe.** 2011. « Les acariens », In le site Portail d'information sur l'agriculture et la biodiversité dans l'océan Indien, [En ligne]. <<http://www.agriculture-biodiversite-oi.org/layout/set/print/Nature-agriculture/Nouvelles-du-terrain/Dossiers-thematiques/Fiches-plantes-maladies-insectes/Les-insectes-ravageurs/Les-acariens>> (Page consultée le 12 juillet 2016).
- Sarthou, Jean-Pierre.** Mars 2006. « Dossier : la biodiversité dans tous ses états ». *Alter Agri*, n° 76 : p. 3-10.
- Sarthou, Jean-Pierre.** 2009. « Le piège cornet unidirectionnel, nouveau piège entomologique d'interception ». *L'entomologiste*, 65 (2) : p. 107-108.
- Sarthou, J.P et Martin, C.D.** 2005. « Les Diptères Syrphidés, peuple de tous les espaces ». *Insectes*, n°137 : p. 3-8.
- Sauvion, Nicolas ; Calatayud, Paul-André ; Thiéry, Denis et al (éd).** 2013. *Interactions insectes-plantes*. Versailles : Quae, 749 p.
- Seagraves, Michael P.** 2009. « Lady beetle oviposition behavior in response to the trophic environment ». *Biological Control*, 51 (2) : p. 313-322.
- Sivinski, John ; Wahl, David ; Holler, Tim et al.** 2011. « Conserving natural enemies with flowering plants: Estimating floral attractiveness to parasitic Hymenoptera and attraction's relationship to flower and plant morphology ». *Biological Control*, 58 (3) : p. 208-214.
- Sommaggio, Daniele.** 1999. « Syrphidae: can they be used as environmental bioindicators? » *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74 (1-3) : p. 343-56.
- Sutherland, Jamie P. ; Sullivan, Matthew S. et Poppy, Guy M.** 1999. « The Influence of Floral Character on the Foraging Behaviour of the Hoverfly, *Episyrphus Balteatus* ». *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 93 (2) : p. 157-164.
- Thies, Carsten ; Steffan-Dewenter, Ingolf et Tscharntke, Teja.** 2003. « Effects of landscape context on herbivory and parasitism at different spatial scales ». *Oikos*, n° 101 : p. 18-25.
- Thompson, F. Christian, et Vockeroth, J. R.** 1989. « 51. Family Syrphidae ». *Bishop Mus. Spec. Publ*, n° 86 : p. 437-458.
- Treacy, M.F ; Benedict, J.H ; Lopez, J.D et al.** 1987. « Functional response of a predator (Neuroptera : Chrysopidae) to bollworm (Lepidoptera : Noctuidae) eggs on smoothleaf, hisute, and pilose cottons ». *Journal of Economic Entomology*, 80 (2) : p. 376-379.

- Vandewalle, Marie ; Bello, Francesco de ; Berg, Matty P. et al.** 2010. « Functional traits as indicators of biodiversity response to land use changes across ecosystems and organisms ». *Biodiversity and Conservation*, 19 (10) : p. 2921-2947.
- Vattala, H. D. ; Wratten, S. D. ; Phillips, C. B. et al.** 2006. « The influence of flower morphology and nectar quality on the longevity of a parasitoid biological control agent ». *Biological Control*, n°39 : p. 179-185.
- Vignevin Sud-Ouest.** s. d. « *Les chrysopes : fiche pratique* », [En ligne]. <<http://www.vignevin-sudouest.com/publications/fiches-pratiques/chrysopes.php>> (Page consultée le 3 mars 2016).
- Villenave, Johanna, et Rat-Morris, Elizabeth.** Octobre 2007. « Comment attirer et maintenir les Chrysopes dans les agroécosystèmes ? Etude de leur bio-écologie ». *Bourgogne Nature*, n° 5 : p. 113-116.
- Violle, Cyrille ; Navas, Marie-Laure ; Vile, Denis et al.** Janvier 2007. « Let the Concept of Trait Be Functional ! » *Oikos*, n° 116 : 882-892.
- Wäckers, Felix L. et Fadamiro, Henry.** 2005. « The vegetarian side of carnivores : use of non-prey food by parasitoids and predators ». *Second International Symposium on Biological Control of Arthropods*, 12 au 16 septembre 2005, Suisse.
- Wäckers, F. L. ; Rijn, P. C. J. van et Bruin, J.** 2005. *Plant-Provided Food for Carnivorous Insects: A Protective Mutualism and Its Applications*. UK : Cambridge University Press, 376 p.

ANNEXES



Liste des annexes

Annexe 1 : Détails des familles/ espèces d'arthropodes identifiées	i
Annexe 2 : Description des dimensions de l'ACP du relevé floristique 1	ii
Annexe 3 : Description des dimensions de l'ACP du relevé floristique 2	ii
Annexe 4 : Description des dimensions de l'ACP du relevé floristique 3	ii
Annexe 5 : Comparaison de la composition en traits fonctionnels des quatre modalités pour chaque relevé	iii

Annexe 1 : Détails des familles/ espèces d'arthropodes identifiées

Auxiliaires	<i>Exochomus laeviusculus</i> (Weise)
	Coccinelles <i>Scymnus</i> sp,
	<i>Cheilomenes sulphurea</i> (Olivier)
	Syrphes
	Chrysopes
	Araignées
	Fourmis
	Ichneumonoidea
	Chalcidoidea
	Autres hyménoptères
	Coléoptères
	Acariens
Punaises (Hétéroptères)	Mirides
	Nabidae
	Autres punaises
Lépidoptères et Dictyoptères	Lépidoptères rhopalocères
	<i>Agrius convolvuli</i> (Linné)
	<i>Opogona dimidiatella</i> (Zeller)
	Autres Lépidoptères hétérocères
	Dictyoptères
Orthoptères	Orthoptères caelifères
	Orthoptères ensifères
	Thrips
Homoptères	Pucerons
	Autres homoptères
Diptères	Dolichopodidae
	Autres Diptères brachycères
	Diptères nématocères
	Autres (Dermaptères, embioptères,...)

Annexe 2 : Description des dimensions de l'ACP du relevé floristique 1

Variables										
	Dim.1	ctr	cos2	Dim.2	ctr	cos2	Dim.3	ctr	cos2	
Asteraceae	-0.848	18.634	0.718	0.348	4.733	0.121	0.371	13.263	0.138	
marge.non.lisse	-0.773	15.517	0.598	0.611	14.586	0.373	0.120	1.379	0.014	
Rec_Moyen	0.814	17.167	0.662	0.347	4.700	0.120	0.399	15.359	0.159	
Grande.fleur_Oui	0.609	9.606	0.370	0.692	18.760	0.480	-0.289	8.061	0.084	
Grande.inflo_Oui	0.863	19.310	0.744	0.088	0.304	0.008	0.458	20.197	0.209	
NEF_Oui	0.759	14.958	0.577	0.432	7.305	0.187	0.011	0.013	0.000	
Trich.inf_Modere	0.022	0.013	0.000	0.760	22.585	0.577	-0.581	32.568	0.338	
Relief_Oui	-0.430	4.795	0.185	0.831	27.029	0.691	0.308	9.159	0.095	
ITK										
	Dist	Dim.1	cos2	v.test	Dim.2	cos2	v.test	Dim.3	cos2	v.test
BM	1.936	1.151	0.354	1.123	1.256	0.421	1.504	-0.581	0.090	-1.093
CC	2.288	-0.205	0.008	-0.200	-2.224	0.944	-2.663	0.479	0.044	0.900
F	1.731	1.602	0.857	1.563	0.115	0.004	0.138	0.288	0.028	0.542
H	2.721	-2.549	0.878	-2.486	0.853	0.098	1.022	-0.186	0.005	-0.349

Annexe 3 : Description des dimensions de l'ACP du relevé floristique 2

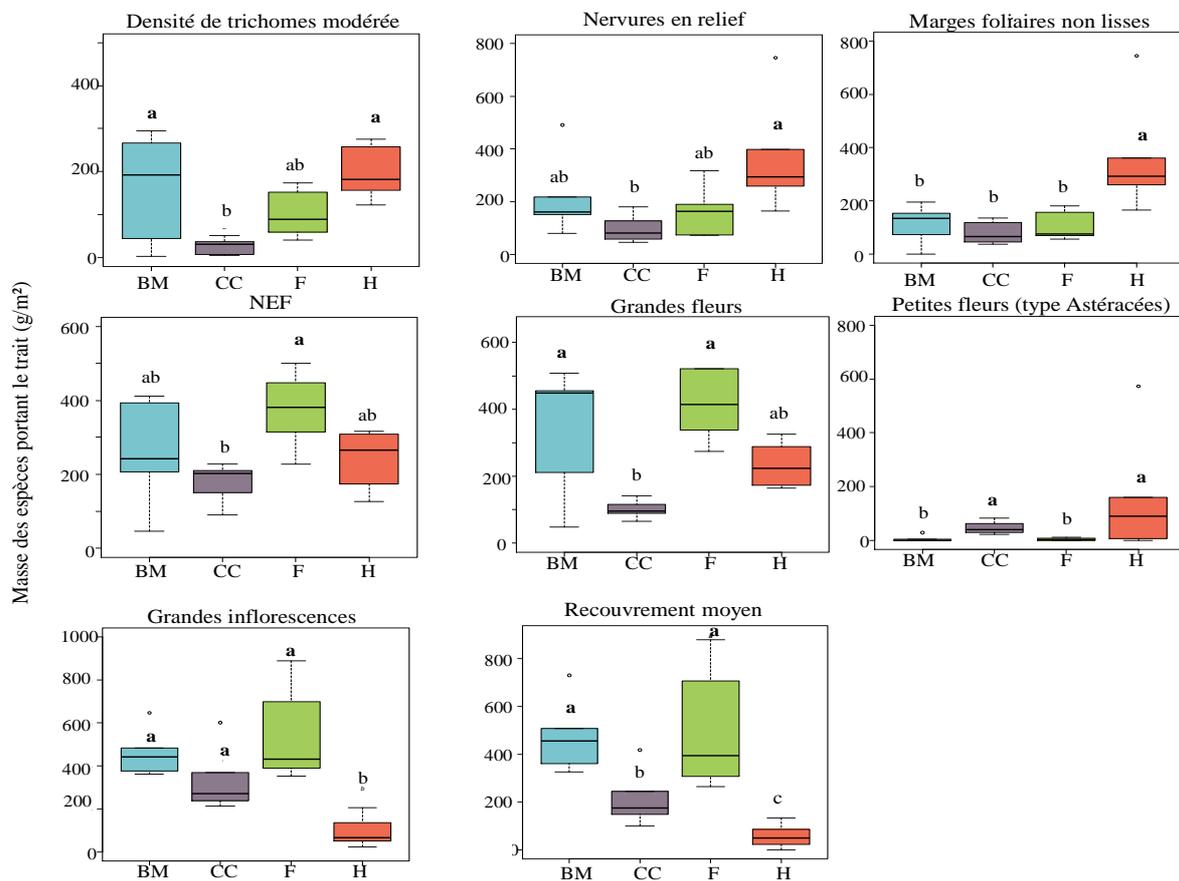
Variables										
	Dim.1	ctr	cos2	Dim.2	ctr	cos2	Dim.3	ctr	cos2	
trich_moy	0.215	1.306	0.046	-0.047	0.112	0.002	0.904	74.111	0.817	
marge_non_lisse	0.866	21.200	0.751	0.253	3.213	0.064	0.220	4.394	0.048	
relief_oui	0.788	17.539	0.621	0.040	0.081	0.002	0.163	2.419	0.027	
rec_moy	-0.744	15.627	0.553	0.190	1.804	0.036	0.398	14.405	0.159	
grande_fleur_oui	-0.341	3.290	0.116	0.851	36.342	0.724	0.091	7.756	0.008	
grande_inflo_oui	0.355	3.552	0.126	0.806	32.598	0.650	-0.147	1.951	0.022	
NEF_oui	-0.753	15.997	0.566	0.594	17.687	0.353	0.008	0.006	0.000	
petite_fleur	0.872	21.490	0.761	0.403	8.163	0.163	-0.147	1.957	0.022	
ITK										
	Dist	Dim.1	cos2	v.test	Dim.2	cos2	v.test	Dim.3	cos2	v.test
BM	1.623	-1.145	0.497	-1.684	-0.696	0.184	-1.366	0.054	0.001	0.143
CC	2.071	1.847	0.796	2.718	0.446	0.046	0.875	-0.717	0.120	-1.891
F	2.247	-1.717	0.584	-2.526	1.388	0.382	2.723	-0.116	0.003	-0.305
H	1.758	1.014	0.333	1.493	-1.138	0.419	-2.232	0.778	0.196	2.053

Annexe 4 : Description des dimensions de l'ACP du relevé floristique 3

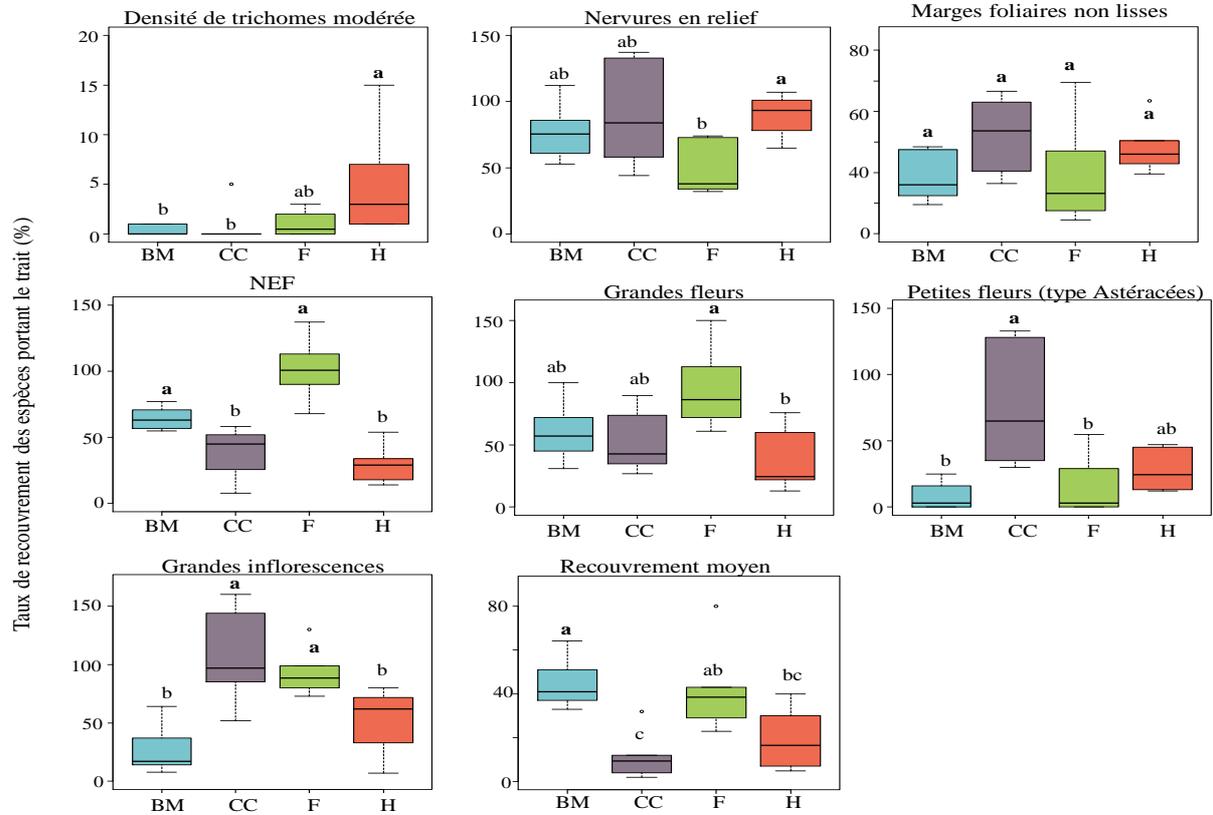
Variables										
	Dim.1	ctr	cos2	Dim.2	ctr	cos2	Dim.3	ctr	cos2	
trich_moy	0.266	1.992	0.071	-0.332	5.614	0.110	0.808	61.794	0.653	
marge_non_lisse	0.728	14.950	0.530	0.622	19.711	0.387	0.019	0.035	0.000	
relief_oui	0.633	11.285	0.400	0.287	4.198	0.082	0.488	22.570	0.238	
rec_moy	-0.765	16.489	0.585	0.317	5.133	0.101	0.290	7.985	0.084	
grande_fleur_oui	-0.622	10.924	0.387	0.573	16.754	0.329	0.193	3.518	0.037	
grande_inflo_oui	-0.126	0.445	0.016	0.862	37.857	0.742	-0.008	0.005	0.000	
NEF_oui	-0.905	23.089	0.819	0.209	2.232	0.044	0.021	0.040	0.000	
petite_fleur	0.859	20.826	0.739	0.408	8.500	0.167	-0.207	4.053	0.043	
ITK										
	Dist	Dim.1	cos2	v.test	Dim.2	cos2	v.test	Dim.3	cos2	v.test
BM	1.407	-1.068	0.576	-1.570	-0.595	0.179	-1.177	0.255	0.033	0.688
CC	2.041	1.713	0.704	2.519	0.037	0.000	0.073	-1.063	0.271	-2.864
F	2.376	-2.193	0.852	-3.224	0.730	0.094	1.444	-0.357	0.023	-0.962
H	1.966	1.548	0.620	2.275	-0.172	0.008	-0.341	1.165	0.351	3.138

Annexe 5 : Comparaison de la composition en traits fonctionnels des quatre modalités pour chaque relevé

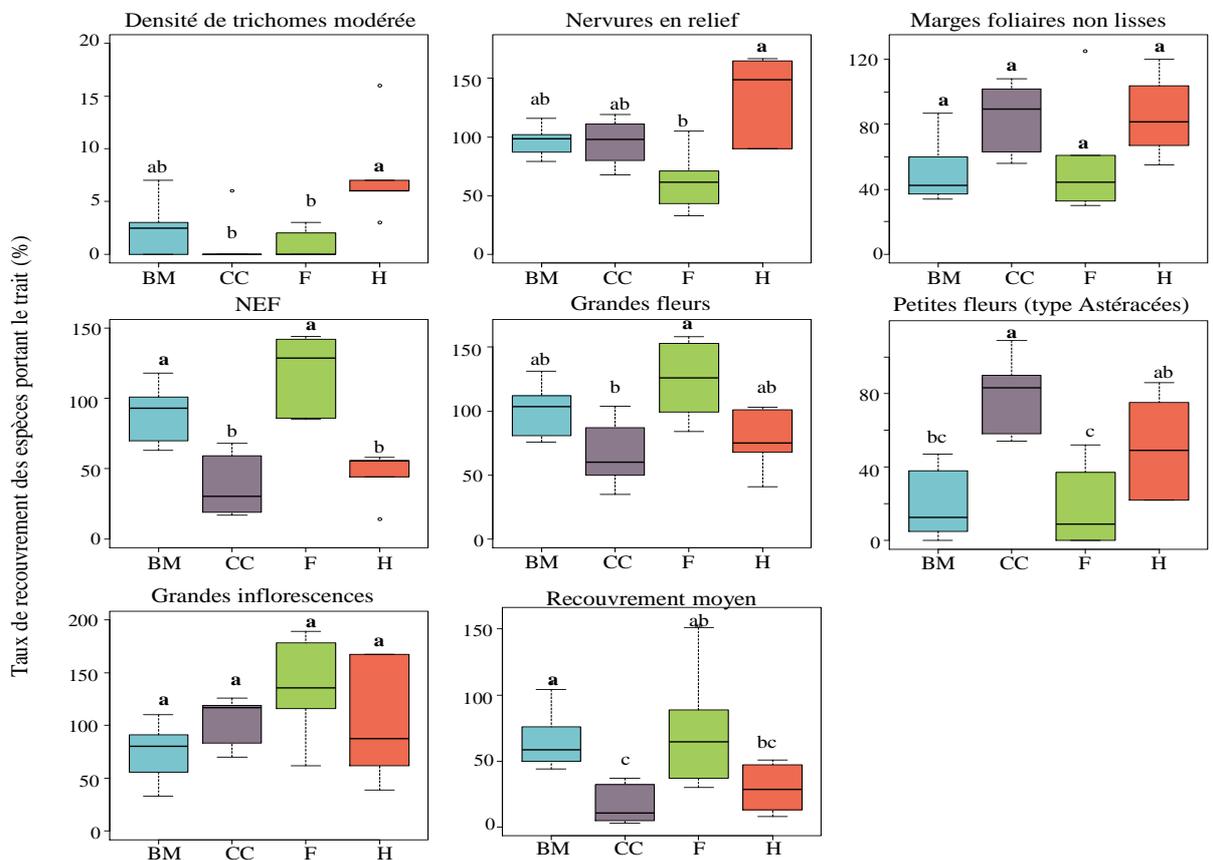
Relevé 1 :



Relevé 2 :



Relevé 3 :



Impacts de différents modes de gestion de l'enherbement des vergers d'agrumes à la Réunion sur les populations d'arthropodes auxiliaires

Sous le climat tropical de la Réunion, la pression des ravageurs est forte du fait de la chaleur et d'une forte hygrométrie. Dans le contexte actuel de diminution de l'utilisation des produits phytosanitaires, il convient de trouver une alternative à la lutte chimique encore beaucoup utilisée. L'enherbement présent dans les vergers étant un lieu à privilégier pour la lutte biologique, les effets de quatre modalités de gestion (fauche, broyeur, cover-crop, herbicide) sur la communauté d'auxiliaires d'un verger d'agrumes ont été testés. Une caractérisation des couverts par des traits fonctionnels et l'évaluation de la communauté entomologique à l'aide pièges cornets ont été réalisées. A l'issue des captures, les arthropodes présents ne sont pas plus attirés par une modalité qu'une autre. Cependant, après analyse en traits fonctionnels, la fauche ressort comme un mode de gestion intéressant pour la lutte biologique. Il faudrait augmenter d'avantage l'abondance de ressources attractives pour les auxiliaires en introduisant des espèces adaptées au milieu et connues pour leur rôle bénéfique dans la lutte biologique.

Mots clés : lutte biologique par conservation, vergers, enherbement, insectes auxiliaires

Impact of weed management on beneficial insects in citrus orchards

Because of the tropical climate, pest pressure is very strong in Reunion island. In the actual context, there is a need to curtail pesticide use, and thus to find some alternative to the chemical control. In orchards, ground cover might be use to enhance biological control efficiency. The effect on beneficial insects communities of four weed management methods (mowing, herbicide, cover-crop, hammer mill) have been tested. Each ground cover was characterised by eight functional traits and insects were captured thanks to trap named « piège cornet ». Any identified insect are attracted by a specific weed management method. However mowing seems to be an interesting method for biological control , for the studied functional traits, its capacity to provide attractive ressources for beneficial insects should be increased. Introducing adapted plants known to have a positive role in biological control might be one of the solution to consider.

Key words : conservation biological control, citrus- growing, ground cover, beneficial arthropodes, functional trait