ISARA-Lyon
23, rue Jean Baldassini
69364 LYON CEDEX 07

Groupe de Recherche en Agriculture Biologique
Site Agroparc BP 11283
84911 AVIGNON CEDEX 9 FRANCE

Biodiversité fonctionnelle en maraîchage biologique

Évaluation de l'impact de bandes fleuries plantées sur la gestion de l'enherbement la régulation des pucerons en culture maraîchère biologique.

Mémoire de Fin d'Etudes
46ème promotion (2012- 2018)
18 septembre 2018
Enseignant Responsable : Aurélie FERRER

KOCH Lucie
Élève ingénieur ISARA-Lyon
Directeur de Mémoire : Jérôme LAMBION

Ce document ayant été réalisé par des Elèves-Ingénieurs de l'ISARA-Lyon dans le cadre d'une convention avec le Groupe de Recherche en Agriculture Biologique, toute mention, communication ou diffusion devra faire état de l'origine ISARA-Lyon.

Table des matières

Introduction....1
Partie 1.État de l'art....4
1.1 Contexte pédoclimatique les Bouches du Rhône et le Vaucluse....4
1.2 L'agriculture dans les Bouches du Rhône et le Vaucluse....4
1.3 La biodiversité au service de l'agriculture....4
1.3.1 La notion de biodiversité....4
1.3.2 Approche fonctionnelle de la biodiversité....5
1.4 De la lutte biologique à la lutte biologique par conservation....6
1.4.1 La lutte biologique, définition....6
1.4.2 La lutte biologique par conservation....6
1.5 Les pucerons de redoutables ravageurs des cultures et les moyens de lutte en culture maraîchère biologique....6
1.5.1 Les pucerons, généralités....6
1.5.2 Leur mode de multiplication....7
1.5.3 Leur mode de dispersion....7
1.5.4 Leur alimentation et leur mode de nutrition....7
1.5.5 Les ennemis naturels des pucerons et leur rôle de régulation....7
1.5.6 Les moyens de lutte contre les pucerons en culture maraîchère biologique....9
1.6 Un exemple d'Infrastructure AgroÉcologique : les bandes fleuries pour lutter contre les pucerons....10
1.6.1 Définition et rôle des bandes fleuries....10
1.6.1.1 Le rôle de complémentation....11
1.6.1.2 Le rôle de supplémentation....11
1.6.1.3 Le rôle de refuge....12
1.6.2 Mise en place et choix des espèces....12
1.6.3 Efficacité des bandes fleuries....13
1.7 Problématique....16
Partie 2.Matériels et méthodes....16
2.1 Dispositif d'expérimentation....16
2.2 Observations et méthode d'échantillonnage....21
2.2.1 Données botaniques collectées dans les aménagements (méthodes d'observations et de collecte, dispositif de suivi)....21
2.2.2 Données entomologiques collectées dans les aménagements (méthodes d'observations et de collecte, dispositif de suivi)....21
2.2.3 Données collectées dans les cultures adjacentes (méthodes d'observations et de collecte, dispositif de suivi)....22
2.3 Analyse des données....23
2.3.1 Analyse des données botaniques et entomologiques dans les aménagements....24
2.3.2 Analyse des données entomologiques dans la culture....24
Partie 3.Résultats....25
3.1 Résultats botaniques : suivi du développement de la bande fleurie....25
3.1.1 Premier site : exploitation de M. Jayet Gendrot....25
3.1.2 Deuxième site : ferme pilote de la Durette....25
3.1.2.1 Couverture du sol-gestion de l'enherbement....25
3.1.2.2 Encombrement des espèces plantées....26

3.1.2.3 Dates de floraison....27
3.1.3 Troisième site : station expérimentale du GRAB....27
3.1.3.1 Couverture du sol-gestion de l'enherbement....27
3.1.3.2 Temps de désherbage....28
3.1.3.3 Encombrement des espèces plantées....29
3.1.3.4 Dates de floraison....30
3.2 Résultats entomologiques : diversité et abondance des auxiliaires dans la bande fleurie 30
3.2.1 Premier site : exploitation de M. Jayet Gendrot....31
3.2.2 Deuxième site : ferme pilote de la Durette....33
3.2.3 Troisième site : station expérimentale du GRAB....35
3.3 Résultats dans la culture adjacente....37
3.3.1 Effet de la distance à l'aménagement sur les pucerons présents dans la culture adjacente....38
3.3.2 Effet de l'aménagement sur les pucerons présents dans la culture adjacente par dates d'observations....39
3.3.3 Effet de l'aménagement sur les pucerons présents dans la culture adjacente de manière globale....40
Partie 4.Discussion....41
4.1 Confrontation des résultats avec les hypothèses initiales....41
4.1.1 Gestion de l'enherbement dans certaines zones non productives....41
4.1.2 Diversité et abondance des auxiliaires....42
4.1.3 Espèce favorables aux auxiliaires des pucerons....43
4.1.4 Effet de la distance à l'aménagement sur les pucerons retrouvés dans la culture adjacente....44
4.1.5 Effet de l'aménagement sur les pucerons retrouvés dans la culture adjacente....44
4.2 Discussion général de l'essai....45
4.2.1 Dispositif expérimental....45
4.2.2 Aspirations dans les bandes fleuries....45
4.2.3 Analyse statistique....45
4.2.4 Régulation des pucerons....46
4.2.5 Importance du choix des espèces....46
4.2.6 Les bandes fleuries implantées au sein d'exploitation....47
Partie 5.Qualité de vie au travail et management....48
Conclusion....49
Références bibliographiques....52
Glossaire....61

Index des tableaux

Tableau 1 : Les différents ennemis naturels des pucerons....8
Tableau 2 : Caractéristiques des dispositifs d'étude....17

Index des illustrations

Figure 1 : Approche fonctionnelle de la biodiversité en agriculture (Sarthou, 2006a).....5
Figure 2 : Photo d'une Coccinelle adulte, famille des Coccinellidae.....9
Figure 3 : Photo d'une punaise prédatrice, famille des Anthocoridae.....9
Figure 4 : Photo d'une larve de Chrysope, famille des Chrysopidae.....9
Figure 5 : Photo d'un Syrphe, famille des Syrphidae.....9
Figure 6 : Dispositif expérimental mis en place sur l'exploitation de M. Jayet Gendrot.....18
Figure 7 : Photo du tunnel de courgette suivi chez M. Jayet Gendrot, photo personnelle.....18
Figure 8 : Dispositif expérimental mis en place sur la ferme pilote de la Durette.....19
Figure 9 : Photo de la rue fétide implantée sur le rang de cerisier sur la ferme pilote de la Durette, photo personnelle.....19
Figure 10 : Dispositif expérimental mis en place sur la station expérimentale du GRAB.....20
Figure 11 : Photo du tunnel suivi sur la station expérimental du GRAB, photo personnelle…20
Figure 12 : Photo de l'achillée plantée sur la station expérimentale du GRAB, photo personnelle.....20
Figure 13 : Photo de l'aspirateur à insectes, photo personnelle.....21
Figure 14 : Dispositif de suivi mis en place sur l'exploitation de M. Jayet Gendrot.....23
Figure 15 : Couverture du sol des espèces plantées sur la ferme pilote de la Durette.....25
Figure 16 : Largeur des espèces plantées sur la ferme pilote de la Durette.....26
Figure 17 : Couverture du sol des espèces plantées sur la station expérimentale du GRAB....27
Figure 18 : Temps de désherbage par parcelle des espèces plantées sur la station expérimentale du GRAB.....28
Figure 19 : Largeur des espèces plantées sur la station expérimentale du GRAB.....29
Figure 20 : Photo de pâquerette plantée sur la station expérimentale du GRAB.....30
Figure 21 : Photo de mauve plantée sur la station expérimentale du GRAB.....30
Figure 22 : Auxiliaires capturés dans les aménagements sur la saison chez M. Jayet Gendrot31
Figure 23 : Auxiliaires capturés dans les aménagements par date sur l'exploitation de M. Jayet Gendrot.....32
Figure 24 : Auxiliaires capturés dans la bande fleurie sur l'exploitation de M. Jayet Gendrot.32
Figure 25 : Auxiliaires capturés dans la flore spontanée sur l'exploitation de M. Jayet Gendrot 32
Figure 26 : Auxiliaires capturés dans les aménagements sur la saison sur la ferme pilote de la Durette.....33
Figure 27 : Auxiliaires capturés dans les aménagements sur la saison sur la station expérimentale du GRAB.....35
Figure 28 : Nombre de pucerons présents dans la culture adjacente par distance à l'aménagement en fonction des dates d'observations sur l'exploitation de M. Jayet Gendrot. 38
Figure 29 : Nombre de pucerons présents dans la culture adjacente par aménagement en fonction des dates d'observations sur l'exploitation de M. Jayet Gendrot.....39
Figure 30 : AUPPC calculée sur l'exploitation de M. Jayet Gendrot.....40
Figure 31 : Photo d'un abord spontané sur l'exploitation de M. Jayet Gendrot, photo personnelle.....42

Tous mes remerciements vont à

Mon maître de stage, Jérôme Lambion, pour les six mois passés à ses côtés. Jérôme m'a accompagnée dans mon travail et m'a transmis de nombreuses connaissances en entomologie. Sa grande disponibilité et son suivi attentif m'ont beaucoup aidée dans la rédaction de ce mémoire.

Aurélie Ferrer, pour son écoute et la qualité de ses remarques.

Le Groupe de Recherche en Agriculture Biologique, pour m'avoir permis de réaliser mon stage de fin d'étude au sein de leur structure. Merci à toute l'équipe, salariés, stagiaires et employés en service civique pour l'accueil chaleureux et la bonne humeur au quotidien, particulièrement Chloé Gaspari. Les échanges que j'ai pu avoir avec certains de ses membres, ont été source de nouvelles connaissances et m'ont beaucoup apporté aussi bien professionnellement qu' humainement. Un merci particulier à mon réparateur d'aspirateur à insectes, Abderraouf Sassi.

Serge Fluet, pour m'avoir accueillie comme stagiaire sur son exploitation. Sans lui, mon stage au GRAB n'aurait pas pu avoir lieu.

Mathieu Jayet Gendrot et toute l'équipe de la ferme de la Durette, pour avoir accepté d'héberger des essais sur leurs parcelles et pour l'intérêt qu'ils y ont porté.

Et enfin l'équipe pédagogique de l'ISARA, pour m'avoir accompagnée durant mon parcours et m'avoir offert les meilleures conditions pour achever mon cycle d'ingénieur.

Table des sigles et des abréviations

AB : Agriculture Biologique

ACPEL : Association Charentes-Poitou d' Expérimentation Légumière

AGATH : gestion AGro-écologique du puceron Aphis gossypii et du THrips Thrips tabaci en cultures de melon ou de poireau

AUPPC : Area Under Pest Progression Curve

CASDAR : Compte d'Affectation Spéciale pour le Développement Agricole et Rural

CBD : Convention sur la Diversité Biologique

CEFEL : Centre d' Expérimentation Fruits Et Légumes

GRAB : Groupe de Recherche en Agriculture Biologique

IAE : Infrastructures AgroEcologiques

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

MAE : Mesures Agro-Environnementales

MUSCARI : Mélanges botaniques Utiles aux Systèmes de Culture et Auxiliaires permettant une réduction des Insecticides

OILB : Organisation Internationale de Lutte Biologique

OTEX : Orientation Technico-Économique des eXploitations

PACA : Provence Alpes Côte d'Azur

PLACOHB : PLAntes COuvre-sol contre les Herbicides et pour la Biodiversité (ancien nom), plantes couvre-sol comme contribution au contrôle des adventices et à la promotion de la biodiversité (nouveau nom)

QVT : Qualité de Vie au Travail

SAU : Surface Agricole Utile

STH : Superficie Toujours en Herbe

Introduction

Dans les années d'après guerre, des mutations complexes des systèmes agricoles sont apparues. Les enjeux de l'agriculture étaient alors d'assurer la subsistance alimentaire et la reconstruction du pays. Cette dynamique agricole tournée vers la production a ainsi conduit à une augmentation de l'utilisation d'intrants et à une simplification et homogénéisation des espaces agricoles. Ce sont ces deux derniers effets de l'intensification de l'agriculture qui ont amené à une destruction des milieux semi-naturels ainsi qu'une homogénéisation des paysages (Pain, 2017).

Depuis plusieurs décennies, l'érosion de la biodiversité est une véritable réalité scientifique dont l'une des principales causes est l'intensification de l'agriculture (Pfiffner et Wyss, 2004 ; Tscharntke et al, 2005 ; Letourneau et Bothwell, 2008 ; Haaland et al., 2011). Les produits phytosanitaires de synthèse sont notamment considérés comme l'un des responsables majeurs du déclin de la biodiversité dans les agroécosystèmes* des pays industriels (Le Roux et al., 2008). L'agriculture intensive a ainsi provoqué une diminution de la richesse et de l'abondance de nombreux organismes vivants (Ricard et al., 2012[a]).

Dans les agroécosystèmes, ce déclin de la biodiversité et des services écosystémiques* a des conséquences directes sur le contrôle des ravageurs*. Un des enjeux actuels de l'agriculture est donc de préserver, voire améliorer, les services rendus par les écosystèmes*, comme la lutte contre les ravageurs agricoles et la conservation de la diversité biologique (Bouvy et al., 2010). Ainsi, les nouveaux systèmes de cultures doivent considérer les interactions entre l'activité agricole et les organismes utiles à l'agriculture et préserver et favoriser par divers moyens cette biodiversité. Les stratégies de lutte privilégiant les méthodes alternatives telle que la lutte biologique utilisée en agriculture biologique, répondent à ces enjeux via une meilleure régulation des nuisibles et de ce fait une utilisation moindre de produits phytosanitaires. Les techniques de désherbage limitant l'usage des herbicides ont également leur place face à ce contexte. Encore trop massivement retrouvés dans les eaux de surface ou souterraines, leur impact sur la biodiversité n'est pas sans conséquence.

En culture maraîchère, de plus en plus de producteurs sont confrontés à des problèmes de ravageurs des cultures, notamment de pucerons, principaux nuisibles dans le Sud de la France. Le maraîchage biologique doit également faire face à des aspects réglementaires ; aujourd'hui il existe peu de traitements autorisés en AB[1]* sur puceron. Le retrait d' autorisation des insecticides à base de roténone en 2009 rend la lutte directe difficile. De plus, la lutte biologique par lâcher d'auxiliaire* reste une technique aléatoire. De ce fait, il existe actuellement peu de solutions efficaces pour lutter contre les

1 Voir Table des sigles et des abréviations

pucerons. Certains maraîchers biologiques rencontrent également des difficultés de désherbage sur des zones non productives comme les bordures de tunnel, et sont demandeurs de nouvelles solutions alternatives pour lutter contre les adventices.

C'est dans ce contexte que le GRAB[2] a mis en place ces dernières années de nombreux essais pour favoriser la biodiversité à l'échelle des exploitations agricoles. Ainsi, la mise en place d'IAE[3]* telles que les bandes fleuries vise à promouvoir la biodiversité fonctionnelle en maraîchage biologique. Cette lutte biologique par conservation permet d'attirer, héberger, et nourrir les insectes auxiliaires indigènes qui vont réguler les populations de ravageurs et notamment de pucerons. La bibliographie suggère que l'implantation de bandes fleuries peut être une stratégie pour réguler les populations de pucerons. Cette première aborde néanmoins très rarement la question des bandes fleuries utilisées comme plantes couvre-sols pour gérer l'enherbement dans certaines zones non productives en culture maraîchère .

Néanmoins, il existe différents types d'aménagements pour ces bandes fleuries et le lien entre ces diverses possibilités d'aménagements et la réduction des populations de pucerons n' a pas encore été clairement traité par les scientifiques. Les bandes fleuries peuvent impliquer des espèces annuelles, des vivaces, être semées ou plantées entre les abris, à l'extérieur ou encore dans les tunnels au niveau des arceaux ou sur les rangs de plantation. Ces différents dispositifs vont ainsi influencer la présence des auxiliaires contre les pucerons et par conséquent l'efficacité du contrôle biologique.

Au vu de ces éléments, l'étude réalisée dans le cadre de ce mémoire aura pour objectif d'apporter des éléments de réponse à la problématique suivante :

Quel est l'impact de bandes fleuries plantées sur la gestion de l'enherbement en culture maraîchère biologique ? L'entomofaune associée à la bande fleurie a t-elle un effet sur la régulation des pucerons ?

Pour répondre à cette problématique, quatre principales sous-questions de recherche seront traitées, à savoir :

L'implantation de bandes fleuries facilite t-elle la gestion des adventices ?

Quelle est l'abondance et la diversité des auxiliaires de pucerons dans les bandes fleuries plantées ? Cette abondance et cette diversité varient-t-elles selon les espèces plantées ?

2 Voir Table des sigles et des abréviations
3 Voir Table des sigles et des abréviations

Quel est l'effet des bandes fleuries plantées sous abris sur la régulation des populations de pucerons dans les cultures adjacentes ?

Quel est l'effet de la distance à l'aménagement sur la régulation des populations de pucerons dans les cultures adjacentes ?

Les hypothèses faites sont les suivantes :

Hypothèse 1 : Certaines espèces permettent de mieux gérer l'enherbement dans certaines zones non productives comme celles situées au pied des bâches, à l'intérieur des abris.
Hypothèse 2 : En comparaison aux témoins (flore spontanée) la faune auxiliaire est plus abondante dans les bandes fleuries et la diversité des auxiliaires y est plus importante et équilibrée.
Hypothèse 3 : Certaines espèces végétales sont plus favorables aux auxiliaires des pucerons et favorisent la présence de prédateurs* et parasitoïdes* aphidiphages*.
Hypothèse 4 : La régulation des populations de pucerons est plus efficace dans les cultures implantées dans des abris possédant des aménagements de types bandes fleuries comparativement aux abris sans bandes fleuries.
Hypothèse 5 : La présence de bande fleurie a un effet positif sur la régulation des populations de pucerons dans les cultures adjacentes mais cet effet dépend de la distance à l'aménagement.

Il s'agira d'étudier le développement des bandes fleuries et de faire un état des lieux en terme de d'abondance et de diversité des auxiliaires dans les différentes espèces plantées. De plus, le service rendu sur une culture sera évalué, plus précisément l'influence de la présence des bandes fleuries sur la régulation des populations de pucerons dans les cultures adjacentes. Pour se faire, des relevés botaniques et entomologiques ont été réalisés sur trois sites d'expérimentation durant le printemps-été 2018 : deux tunnels maraîchers en AB et une parcelle agroforestière en AB.

Dans un premier temps, ce rapport présentera le contexte dans lequel l'étude s'inscrit et l'état actuel des connaissances sur la biodiversité fonctionnelle et la gestion des pucerons en maraîchage. Ensuite, après présentation des matériels et méthodes employés, les différents résultats seront présentés. Pour finir, une discussion sur les résultats et la méthode employée viendra compléter ce rapport.

Partie 1. État de l'art

1.1 Contexte pédoclimatique les Bouches du Rhône et le Vaucluse

Situés sur la bordure Ouest de la région PACA[4], les départements des Bouches du Rhône et du Vaucluse bénéficient d'un climat méditerranéen. Les hivers y sont doux et les étés chauds avec un ensoleillement important. La pluviométrie annuelle est faible et répartie de façon irrégulière sur l'année. Pour la station de Carpentras dans le Vaucluse les normales annuelles sont par exemple de 648,2 mm/an (Météo France, 2018). Une autre des caractéristiques de ce climat est de présenter des vents violents fréquents. Les massifs de la partie rocheuse des Alpilles présentent des sols majoritairement calcaires tandis que ceux des plaines de la Durance et du Rhône sont plutôt de nature alluviale.

1.2 L'agriculture dans les Bouches du Rhône et le Vaucluse

Sur les départements des Bouches du Rhône et du Vaucluse, la culture maraîchère et l'arboriculture occupent respectivement 9 % et 3 % de la SAU[5]. Ces surfaces sont cependant en recul. Dans le Vaucluse, les cultures maraîchères ont par exemple perdu 800 hectares entre 2000 et 2010 (Agreste, 2011[a]). Dans les Bouches du Rhône, c'est 15 % de moins de la SAU qui est consacré au maraîchage et 20 % de moins pour les vergers (Agreste, 2011[b]). Dans le Vaucluse, les vignes représentent un peu moins de la moitié de la SAU tandis que dans les Bouches du Rhône, ce sont les prairies, les cultures fourragères et les STH[6] qui occupent la moitié de la superficie agricole. L'OTEX[7] dominante est la viticulture dans le Vaucluse (Agreste, 2011[a]) et le maraîchage dans les Bouches du Rhône (Agreste, 2011[b]). Dans ce dernier, la part de la surface biologique est la plus importante en France, soit de l'ordre de 22,8 % (ONAB, 2016). Avec 796 producteurs biologiques en 2016, le Vaucluse se place quant à lui 4ème au rang national en nombre d'exploitations biologiques et possède une SAU biologique de 16,7 % (AgenceBio, 2017). De plus, c'est le premier département viticole biologique en France (CA PACA, 2016). L'agriculture biologique occupe ainsi une place favorable dans ces deux départements où la production de fruits et de légumes domine.

1.3 La biodiversité au service de l'agriculture

1.3.1 La notion de biodiversité

Le néologisme « biodiversité » contraction des termes « biologie » et « diversité » a été utilisé pour la première fois par Edward Osborne Wilson en 1985 (UNESCO, 2010 ; Ricard et al., 2012[d]). Défini par

4 Voir Table des sigles et des abréviations
5 Voir Table des sigles et des abréviations
6 Voir Table des sigles et des abréviations
7 Voir Table des sigles et des abréviations

la CBD[8] en 1992, la biodiversité est « la variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et des complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces, ainsi que celle des écosystèmes » (ONU, 1992 ; Le Roux et al., 2008). Pour étudier la biodiversité un angle taxonomique ou un angle fonctionnel peuvent être adoptés. Ce dernier consiste à regrouper les espèces ayant des fonctions écologiques similaires.

1.3.2 Approche fonctionnelle de la biodiversité

La réalisation des fonctions écologiques est assurée par l'ensemble des organismes d'un écosystème qui fournit des services écosytémiques dont l'homme peut tirer des bénéfices directs ou indirects (Ricard et al., 2012[a] ; Blanchart et Tourdonnet, 2014). Les agroécosystèmes en lien avec la biodiversité qu'ils intègrent vont offrir de nombreux services, pouvant être favorisés ou au contraire perturbés par l'activité humaine. La bibliographie suggère que le niveau de régulation interne du fonctionnement des agroécosystèmes dépend du niveau présent de biodiversité (Altieri, 1999 ; Ducasse-Cournac et Leclerc, 2000 ; Van Elsen, 2000 ; Sarthou, 2006[a]). Sarthou parle du rôle bénéfique de la biodiversité fonctionnelle dans les agroécosystèmes qui pour lui, « doit être considérée comme un facteur de production à part entière » (Sarthou, 2006[a]). Plus les agroécosystèmes possèdent une biodiversité importante et plus l'intensité du contrôle biologique sera élevée. À l'inverse une faible diversité biologique, va favoriser la pullulation d'espèces pionnières telles que les pucerons qui ont une vitesse de reproduction élevée et une forte capacité de colonisation (Picault, 2009).

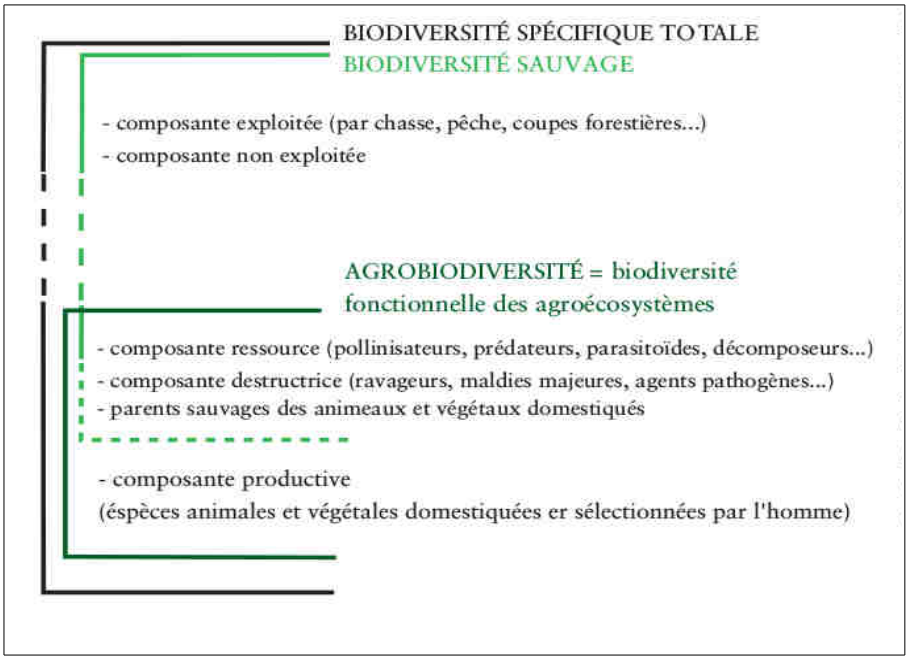


Figure 1 : Approche fonctionnelle de la biodiversité en agriculture (Sarthou, 2006[a])

La biodiversité fonctionnelle des agroécosystèmes regroupe les espèces animales et végétales domestiquées et sélectionnées par l'homme directement utiles à l'agriculture et une partie de la biodiversité sauvage (Sarthou, 2006[a]). Celle ci peut être une composante destructrice ou au contraire ressource (cf. Figure 1). La connaissance des relations entre ces différentes composantes semble donc primordial pour comprendre comment la biodiversité peut être un élément de stabilité.

8 Voir Table des sigles et des abréviations

1.4 De la lutte biologique à la lutte biologique par conservation

1.4.1 La lutte biologique, définition

La définition adoptée en 1973 par l'OILB[9] dans ses statuts stipule que la lutte biologique est « l'utilisation d'organismes vivants pour prévenir ou réduire les dégâts causés par des ravageurs » (Ferron, 1999). Il existe quatre formes différentes de lutte biologique bien définies : la lutte biologique classique, celle par inondation, celle par inoculation et celle par conservation, présentées en Annexe 1.[10] Dans ce rapport nous nous intéresserons uniquement à la lutte biologique par conservation.

1.4.2 La lutte biologique par conservation

La lutte biologique par conservation est une « modification de l'environnement ou des pratiques agronomiques pour protéger et favoriser des ennemis naturels afin de réduire l'impact des ravageurs » (Eilenberg et al., 2001). Elle combine à la fois la protection des agents de lutte biologique et la fourniture de ressources (Eilenberg et al., 2001, Gurr et al., 2004). Cela repose sur une utilisation limitée et sélective des produits phytosanitaires (Eilenberg et al., 2001; Ricard et al., 2012[b]) ainsi que des processus actifs de manipulation des habitats. Cette seconde approche implique souvent d'augmenter la diversité des espèces et la complexité structurelle des agroécosystèmes (Eilenberg et al., 2001). Ces processus actifs visent à fournir aussi bien des abris ou habitats facilitant le transfert des auxiliaires que des sites d'hivernation et des ressources nutritives (nectar, pollen, etc.) (Eilenberg et al., 2001; Gurr et al., 2004 ; Ricard et al., 2012[b]). Plusieurs modifications sont envisageables telles que des aménagements des cultures (diversification) et de leurs abords (haies, bandes fleuries, etc.).

1.5 Les pucerons de redoutables ravageurs des cultures et les moyens de lutte en culture maraîchère biologique

1.5.1 Les pucerons, généralités

Les pucerons appartiennent à l'ordre des Hémiptères et à la super-famille d'insectes des Aphidoidea (Chaubet et al., 2017). On en connaît plus de 4 000 espèces dans le monde, dont 250 qui sont de véritables ravageurs (Fraval, 2006 ; Lambion, 2010). Trois caractéristiques peuvent expliquer les dégâts importants qu'ils causent : leur pouvoir de multiplication rapide, leur dispersion sur de longues distances et la transmission aux plantes d'un grand nombre de maladies à virus (Hullé et al ., 1999 ; Dedryver, 2010). En culture maraîchère, la présence des pucerons est fréquente (Hullé et al ., 1999 ; Legrand, 2010) et leurs dégâts en font les principaux ravageurs (Lambion, 2010 ; Devenat et Laurie, 2011). Les principales espèces rencontrées, détaillées en Annexe 2, se retrouvent aussi bien sur légumes de plein champ (choux, carotte, etc.) que sur légumes sous abris (tomate, poivron, aubergine,

9 Voir Table des sigles et des abréviations
10 Cf. Annexe 1

salade, etc.).[11] Un nombre d'individus trop important à la récolte peut conduire à un déclassement commercial et dans certains cas empêcher la commercialisation des légumes (Hullé et al ., 1999 ; Legrand, 2010).

1.5.2 Leur mode de multiplication

Les pucerons ont deux modes de multiplication, une reproduction sexuée et une parthénogénétique* (Hullé et al ., 1999 ; Fraval, 2006 ; Chaubet et al., 2016[b] ; Lambion, 2011). Lors de cette dernière l'économie d'individus, et de temps faite par l'absence de sexualité et du stade œuf, permet des temps de génération très courts et de véritables explosions démographiques (Hullé et al., 1999). Les espèces anholocycliques* se multiplient par parthénogenèse* toute l'année et se rencontrent généralement dans les régions avec des hivers doux ou dans des milieux abrités comme les serres, où les pucerons vont pouvoir survivre au froid hivernal (Hullé et al., 1999 ; Fraval, 2006 ; Chaubet et al., 2011). Chez les holocycliques*, la présence d'une phase de reproduction sexuée permet quant à elle une recombinaison génétique et la production d'œufs résistants à l'hiver (Lambion, 2011).

1.5.3 Leur mode de dispersion

Au cours d'un cycle annuel, on observe des pucerons aptères, et des pucerons ailés (Hullé et al ., 1999) qui accomplissent des fonctions écologiques différentes. Les ailés vont assurer le dispersion de l'espèce pendant la phase de multiplication clonale, le changement de plantes hôtes chez les espèces diœciques* et la migration des formes sexuées, mâles et/ou gynopares* (Chaubet et al., 2013).

1.5.4 Leur alimentation et leur mode de nutrition

Les pucerons sont des phytophages. Leur alimentation est exclusivement composée de la sève élaborée des plantes, prélevée grâce à leur système buccal de type piqueur-suceur (Hullé et al., 1999 ; Lambion, 2011). Leur mode de nutrition entraîne des dégâts directs et indirects. Les conséquences directes peuvent être un affaiblissement de la plante par le prélèvement d'une grande quantité de sève ou encore une réaction du végétal à la piqûre ou à la toxicité de la salive (malformation des organes attaqués, boursouflures, etc.) (Hullé et al ., 1999 ; Dedryver, 2010 ; Ricard et al., 2012[b]). Les conséquences indirectes sont les transmissions de maladies virales et l'installation de fumagine* sur le miellat* secrété. Cette dernière provoque des taches sur les fruits qui nuisent à la qualité commerciale.

1.5.5 Les ennemis naturels des pucerons et leur rôle de régulation

Le niveau des populations de puceron dépend des capacités reproductrices propres à chaque espèce mais aussi de facteurs abiotiques tels que les températures, la direction du vent, etc. (Hullé et al.,

11 Cf. Annexe 2

1999). Les ennemis naturels peuvent jouer un rôle régulateur des populations à différents stades de leur développement (Hullé et al ., 1999 ; Ricard et al., 2012[b]). Ces antagonistes sont essentiellement des insectes, mais d'autres comme les arachnides, les oiseaux insectivores, les chauves-souris, ou encore certains champignons entomopathogènes peuvent également parasiter des pucerons (Hullé et al., 1999 ; Ricard et al., 2012[b] ; Chaubet, 2017). Ce mémoire s'intéressera uniquement aux insectes et Araneae aphidiphages. Parmi eux, on distingue les prédateurs spécifiques et généralistes et les parasitoïdes (cf. Tableau 1). Chez les prédateurs et les parasitoïdes il existe des relations antagonistes avec les fourmis. Ces dernières vont se nourrir du miellat produit par les pucerons et en échange les protéger contre leurs ennemis. De plus, l'ensemble de ces ennemis naturels n'agit pas toujours de manière complémentaire (Letourneau et Bothwell, 2008 ; Ricard et al., 2012[b]). Les effets des prédateurs sur les ravageurs sont soit nuls, soit additifs, ou synergiques, soit antagonistes aux effets des prédateurs seuls sur le ravageur. Il peut en effet exister des phénomènes de cannibalisme ou de prédation intra-guilde* qui s'opèrent lorsque les niveaux de biodiversité sont élevés. C'est notamment le cas des prédateurs très polyphages comme les Araneae qui peuvent se manger entre-elles ou prédater des auxiliaires comme les Forficulidae, les Coccinellidae (cf. Figure 2) ou des punaises prédatrices (cf. Figure 3) et ainsi perturber le contrôle biologique. Tout l'enjeu est donc de gérer ces communautés d'ennemis naturels afin de maximiser les interactions positives.

Auxiliaires	**Prédateurs spécifiques**	**Prédateurs généralistes**	**Parasitoïdes spécifiques**
Famille	Coccinellidae, Chrysopidae (cf. Figure 4), certains Syrphidae (cf. Figure 5) et Cecidomyiidae	Carabidae, Staphylinidae, Cantharidae, Forficulidae, Anthocoridae, certains Miridae, Nabidae, Reduvidae, Geocorinae, Araneae, Opiliones, Aeolothripidae	Aphelinidae, certains Braconidae
Préférences alimentaires	Fort degré de spécificité aphidiphage. Syrphidae et Cecidomyiidae seule la larve prédate des pucerons, l'adulte est floricole.	Zoophages, consommation d'autres proies que les pucerons.	Fort degré de spécificité aphidiphage.
Caractéristiques	Densités dépendants : les populations de l'auxiliaire augmentent ou diminuent de façon synchrone avec les populations du ravageur.	Se maintiennent dans le milieu même en l'absence des ravageurs, par la consommation de proies alternatifs. Rôle important dans la régulation, interviennent dans les périodes où les auxiliaires spécifiques sont absents.	Pondent dans les pucerons et font leur cycle à l'intérieur de celui-ci. Les larves se nymphosent, formant une « momie ». Plusieurs générations par an, actifs pendant toute la saison

Tableau 1 : Les différents ennemis naturels des pucerons

(d'après Chaubet et al., 2016[a] et 2016[c] ; Ricard et al., 2012[b])

Figure 2 : Photo d'une Coccinelle adulte, famille des Coccinellidae

Figure 3 : Photo d'une punaise prédatrice, famille des Anthocoridae

Figure 4 : Photo d'une larve de Chrysope, famille des Chrysopidae

Figure 5 : Photo d'un Syrphe, famille des Syrphidae

1.5.6 Les moyens de lutte contre les pucerons en culture maraîchère biologique

En culture maraîchère biologique, les moyens de lutte utilisés sont l'utilisation de variétés résistantes notamment à *Aphis gossypii* en melon et *Nasonovia ribisnigri* en salade, la lutte biologique classique et les produits de traitement. Pour ce qui est de la lutte biologique, des lâchers d'auxiliaires parasitoïdes (micro-hyménoptères : *Aphidius* et *Aphelinus* notamment) peuvent être pratiqués dès le début de culture. Par la suite, quand les pucerons se sont établis, une lutte curative peut s'opérer par des lâchers d'insectes prédateurs (Coccinellidae, Chrysopidae, larves de Syrphidae, etc.). Pour ce qui est des produits de traitements, pendant de nombreuses années, les maraîchers biologiques avaient recours à des insecticides à base de roténone, une substance qui a fait l'objet d'un retrait d'autorisation en 2009 (Legrand, 2010). Actuellement, comme moyen de lutte directe contre le puceron, seul le savon noir et le Boundary sont utilisés. Ce dernier est un engrais autorisé en AB, sans usage phytosanitaire, que les producteurs utilisent contre le puceron. De ce fait, les traitements autorisés en agriculture biologique étant rares et la lutte biologique parfois aléatoire, il existe peu de solutions curatives efficaces (Lambion, 2010).

Aujourd'hui de nombreux maraîchers font encore face à des échecs de protection des cultures contre les pucerons (rendements diminués et qualité réduite de la récolte) (Lambion, 2018). Pour éviter ou retarder les infestations et maîtriser les populations, la combinaison de différentes techniques est à privilégier. Des mesures comme la rotation des cultures, la destruction des résidus de culture, le raisonnement de la fertilisation ou encore l'aménagement des abords de parcelles en faveur des auxiliaires (haies, bandes fleuries, etc.) sont à mettre en place (Legrand, 2010). La manipulation de l'environnement parcellaire via la mise en place d'IAE améliorant la biodiversité fonctionnelle telles que les bandes fleuries peut constituer une technique à la disposition des producteurs pour réguler les populations de puceron.

1.6 Un exemple d'Infrastructure AgroÉcologique : les bandes fleuries pour lutter contre les pucerons

1.6.1 Définition et rôle des bandes fleuries

Depuis plusieurs années, dans le cadre de MAE[12], la mise en place de bandes fleuries a été encouragée par plusieurs pays européens (Pfiffner et Wyss., 2004 ; Haaland et al ; 2011 ; Romet, 2005 ; Ricard et al., 2012[c] ; Hatt et al., 2015 ; NatAgriWal, 2015 ; Regula et al., 2015). D'après le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, elles se caractérisent par « un mélange d'espèces à floraison étalée, présentant une adaptation climatique et une pérennité et facilité de gestion des plantes » (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2014). Les bandes fleuries offrent de nombreux services écosystémiques tels que la participation à la fertilisation des sols, la réduction de leur érosion et du lessivage de polluants, la maîtrise des adventices, etc. (Romet, 2005 ; Hatt et al., 2015). Les avantages leur étant alloués combinent à la fois usage agricole et conservation de la diversité biologique. Leur principe est de maintenir ou de rétablir la biodiversité dans les zones cultivées (Romet, 2005).

Un objectif de l'installation des bandes fleuries est la préservation de la biodiversité en général, auquel on peut ajouter le fait de favoriser les pollinisateurs ainsi que les ennemis naturels pour améliorer le contrôle des bio-agresseurs (Pfiffner et Wyss, 2004 ; Haaland et al., 2011; Ricard et al., 2012[c] ; Regula et al., 2015). De plus, elles peuvent avoir un rôle de corridor écologique pour la faune (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2014 ; Regula et al., 2015). On peut également ajouter qu'elles favorisent l'attractivité des espaces agricoles vis à vis du grand public (Ricard et al., 2012[c]). Un autre objectif de l'implantation des bandes fleuries peut être leur utilisation en tant que plantes couvre-sol, contribuant au contrôle des adventices. Notons tout de même ce dernier intérêt a été rarement étudié en culture annuelle de type maraîchage et concerne plutôt des études menées en arboriculture et en viticulture.

12 Voir Table des sigles et des abréviations

Dans notre cas, nous nous intéresserons particulièrement à leur rôle de maintien des auxiliaires naturellement présents dans les agroécosystèmes maraîchers et ainsi leur utilisation dans le cadre de la lutte biologique par conservation des habitats. Pour se faire, ces bandes florales doivent fournir de la nourriture de façon régulière en quantité suffisante et également un refuge leur permettant de rester sur place (Romet, 2005 ; Sarthou, 2006[b] ; Picault, 2009). Le rôle de complémentation, de supplémentation et de refuge de celle ci vont avoir une influence sur la dynamique des populations des auxiliaires.

1.6.1.1 Le rôle de complémentation

Plusieurs ressources vont être nécessaires à la faune auxiliaire pour réaliser son cycle (Jaloux, 2017). En effet, les différents stades de développement entraînent des régimes alimentaires parfois différents. Certaines espèces d'auxiliaires vont avoir besoin de différentes sources d'alimentation qui sont non-substituables (Dunning et al., 1992) et vont avoir des régimes phytophages. C'est par exemple le cas des espèces appartenant aux Braconidae, aux Aphelinidae, aux Syrphidae, et certains Chrysopidae qui ont un régime floricole à l'âge adulte. Pour ces individus adultes le pollen des fleurs présent dans les bandes fleuries va être un nutriment essentiel pour la production d'œufs (Picault et al., 2017). Les Coccinellidae vont quant à elle assurer leur subsistance à partir de sources de nourriture alternatives telles que du nectar, du miellat ou du pollen, en l'absence temporaire de proie. De plus, les adultes peuvent également consommer du nectar extra floral, secrété par diverses glandes végétales (Ricard et al., 2012[b]). Ainsi, si l'on cherche à maintenir ces diverses auxiliaires dans les cultures, ils doivent trouver tout au long de l'année en temps et lieux opportuns, les ressources dont ils ont besoin à chaque phase de leur cycle (Sarthou, 2006[b]). Le principe de complémentation est ainsi rendu possible par l'installation de bandes fleuries accueillant les auxiliaires et permettant leur maintien. Comme plante d'intérêt, on peut par exemple trouver la phacélie. Ainsi, son installation en bordure de parcelles de choux, est un bon moyen pour favoriser les ennemis naturels aphidiphages, comme les Syrphidae. Ces derniers vont se nourrirent de nectar et pollen au stade adulte et vont par la suite pondre dans les colonies de pucerons dont se nourriront les larves (Sarthou, 2006[b]).

1.6.1.2 Le rôle de supplémentation

Via la présence de proies alternatives dans les milieux naturels, les populations d'entomophages sont plus stables et régulent plus efficacement les phytophages dans les parcelles (Jaloux, 2017). Ce processus intervient dans le cas de ressources non-substituables (Dunning et al., 1992). Elle concerne les auxiliaires qui ne changent pas leur régime alimentaire et qui ont besoin de source de nourriture zoophage. Les bandes fleuries vont attirer et favoriser des auxiliaires qui vont avoir la capacité de limiter par la suite les populations de ravageurs de la plante cultivée (Ricard et al., 2012[b]). Elles vont héberger des proies alternatives pour les prédateurs (spécialistes aphidiphages et généralistes) ou des

hôtes pour les parasitoïdes et ainsi permettre leur maintien dans le milieu en leur fournissant les ressources dont il ont besoin lorsque les parcelles cultivées en sont dépourvues (Sarthou, 2006[b] ; Ricard et al., 2012[b]). Ajoutons que la présence de ces phytophages non dommageables à la culture va également être importante durant la période où la culture ne va pas être en place.

1.6.1.3 Le rôle de refuge

Les bandes fleuries constituent également des zones refuges pour les auxiliaires telles que des sites d'estivation et d'hivernation, et ou d'accouplement, de zone de protection lors des opérations culturales, contre les pesticides et ou les intempéries (Sarthou, 2006[b] ; Picault, 2009 ; Picault et al., 2017). Elles vont ainsi fournir des abris aux auxiliaires leur permettant de rester sur place et d'une année sur l'autre dans le cas des bandes fleuries vivaces. Les bandes fleuries des bordures de champ vont par exemple servir de lieux d'hivernage aux arthropodes du sol du groupe des Staphylinidae, des Carabidae et des Araneae du sol (Ricard et al., 2012[b]).

1.6.2 Mise en place et choix des espèces

Afin d'optimiser les différents rôles rendus par ces bandes fleuries, l'implantation et le choix des espèces vont avoir une grande importance. Leur implantation doit être soignée et une irrigation doit être mise en place pour améliorer leur installation et leur potentiel régulateur (Picault et al., 2017). La composition du mélange fleuri affecte également leur efficience. Les traits fonctionnels des fleurs : phénologiques (date et durée de floraison), architecturaux (couleur, conformation de la corolle, etc.) et chimiques (émission de composés volatiles, composition du nectar, etc.) vont jouer un rôle primordial dans l'attraction des auxiliaires. Ces traits vont ainsi affecter le comportement des insectes en les attirant ou au contraire en les repoussant. La période de floraison conditionne par exemple la disponibilité en ressources alimentaires pour les insectes se nourrissant de pollen et de nectar (Hatt et al., 2015). La présence d'espèces à floraison la plus étalée possible ou des mélanges d'espèces différentes aux floraisons successives vont permettre de fournir de la nourriture aux différents insectes et notamment à ceux dont les adultes sont floricoles (Romet, 2005). La hauteur des plantes va quant à elle avoir une influence sur le mouvement des insectes volant tels que les syrphes à la recherche de nectar et pollen (Hatt et al., 2015). De même, la profondeur de la corolle peut conditionner l'accessibilité au nectar des fleurs pour les insectes. C'est par exemple le cas de *Phacelia,* appelée communément phacélie, qui par sa profonde corolle défavorise les insectes à langue courte tels que les parasitoïdes (Ricard et al., 2012[b]).

Plusieurs travaux ont cherché à mettre en évidence l'attractivité de différentes espèces de plantes vis à vis des auxiliaires des cultures (Piffner et Wyss, 2004 ; Ricard et al., 2012[b] ; Picault et al., 2017). Les espèces appartenant à la famille des Brassicaceae, des Apiaceae et des Chenopodiaceae favoriseraient la présence des populations de syrphes et coccinelles (Ricard et al., 2012[b] ; Picault et al., 2017). Ces dernières sont également fréquentes sur les Apiaceae, qui leur fournissent proies et pollens pour leur développement. *Centaurea jacea,* appartenant à la famille des Asteraceae et couramment nommée la centaurée jacée, est un exemple d'espèce intéressante. Sa floraison précoce et étalée dans le temps, assure une fourniture de pollen et de nectar floral et extra floral et va ainsi attirer les Syrphidae, les Coccinellidae, et les Chrysopidae, (Ricard et al., 2012[b]).

Ces dernières années, des travaux menés au GRAB ont permis de mettre en avant certaines espèces favorables aux auxiliaires contre pucerons. Des plantes comme *Lobularia maritima*, *Calendula officinalis, Achillea millefolium,* etc., respectivement, l'alysson, le souci et l'achillée ont été sélectionnées pour leur capacité à fournir de la nourriture et des hôtes de ponte aussi bien aux auxiliaires généralistes, spécialistes, prédateurs ou encore parasitoïdes.

Pour ce qui est de leur fonction de couvre sol, les bandes fleuries doivent répondrent à certains critères comme avoir une croissance rapide, une bonne résistance au froid et à la sécheresse, une faible demande en nutriment, ou encore un pouvoir de compétition supérieur à celui des adventices (Detemple, 2017).

1.6.3 Efficacité des bandes fleuries

L'impact fonctionnel des bandes fleuries est un sujet étudié par les scientifiques et plus particulièrement depuis les années 90. Des études ont montré que les bandes fleuries semées abritent une plus grande diversité et abondance en insectes par rapport aux espaces cultivés qu'elles bordent (Haaland et al., 2011 ; Hatt et al., 2015). Parmi ces insectes, on retrouve notamment des ennemis naturels des ravageurs des cultures tels que des prédateurs généralistes (Carabidae, Araneae) ou spécialistes (larves de Coccinellidae, larves de Syrphidae et de Chrysopidae) (Pfiffner et Wyss 2004 ; Hatt et al., 2015) ou encore des parasitoïdes. La présence d'une végétation complexe structurée dans ces bandes florales, riche en espèces, avec une longue période de floraison et sans grande perturbation permet de fournir des conditions favorables aux ennemis naturels et par conséquent améliore la lutte contre les ravageurs dans les cultures annuelles et pérennes (Pfiffner et Wyss, 2004).

En culture maraîchère, des essais menés sur melons ont révélé que des bandes fleuries sont susceptibles d'accueillir des auxiliaires dans la culture en comparaison d'un sol nu, qui sont dans ce cas des auxiliaires spécifiques du puceron, essentiellement des coccinelles (Picault et al., 2017). La fourniture de sources de nourriture par complémentation (nectar, pollen) et par supplémentation (proies alternatives) reconnue dans la bibliographie est confirmée par ces résultats qui montrent bien que les bandes fleuries permettent d'attirer un grand nombre d'auxiliaires différents. Ces essais de plein champ menés en station d'expérimentation et chez des producteurs ont eu lieu dans le cadre d'un projet nommé AGATH[13] . Celui ci avait pour but de voir l'effet d'un mélange fleuri conçu par l'INRA[14] sur la colonisation des cultures de melon par le puceron *A. gossypii* et ses principaux ennemis naturels, effet évalué en 2013, 2014 et 2015 par l'ACPEL[15], le CEFEL[16], le GRAB et l'INRA. Ce mélange fleuri est le résultat d'expérimentations en partenariat avec le GRAB initié en 2011 pour concevoir un mélange floral minimisant les risques de foyers d'infestation aphidienne. Ces expérimentations ont notamment conclu que les bandes fleuries (mélange composé de bleuet, gesse, marjolaine, sainfoin, souci, amni, etc.) ont favorisé l'installation d'une importante entomofaune en assurant le gîte et le couvert. Les auxiliaires généralistes et spécifiques des pucerons sont significativement plus nombreux dans la culture de melon quand celle ci est entourée de bandes fleuries que de sol nu. Les bandes fleuries ont notamment un effet positif sur l'abondance des auxiliaires spécifiques au sein des bandes fleuries (Syrphidae et Coccinellidae) et également au sein des cultures de melon (Coccinellidae). L'effet de la distance de cette bande fleurie a également été observé sur les pucerons et les auxiliaires. Jusqu'à 7 m de la bande fleurie, les auxiliaires ont été significativement favorisés (Franoux, 2015). Cependant l'aménagement ne modifie pas l'intensité des infestations par *Aphis gossypii* (Schoeny et al., 2014).

Plus récemment, le projet CASDAR MUSCARI[17] avait pour objectif d'évaluer différents mélanges attractifs pour les auxiliaires aphidiphages et adaptés pour être maintenus et suivis pendant deux ans. Ces essais de bandes fleuries semées aux abords des parcelles, portés par le GRAB notamment sur culture de courge n'ont pas montré d'effet des mélanges sur l'intensité d'infestation d'*Aphis gossypii* et la densité d'auxiliaires dans la parcelle de courge (Foucher, 2017).

Concernant les bandes fleuries plantées à l'intérieur des abris, des essais ont été menés au GRAB à partir de 2015, afin de favoriser les auxiliaires contre pucerons. En lien avec cette thématique, des tests de bandes fleuries pérennes sur pucerons ont eu lieu. L'objectif premier de cette mise en place

13 Voir Table des sigles et des abréviations
14 Voir Table des sigles et des abréviations
15 Voir Table des sigles et des abréviations
16 Voir Table des sigles et des abréviations
17 Voir Table des sigles et des abréviations

d'infrastructures durables était d'avoir une source d'auxiliaire et dans une moindre mesure gérer l'enherbement au pied des arceaux. Les bandes fleuries à l'extérieur ont permis de tester quelques espèces végétales, dont les plus prometteuses ont aussi été testées dedans. Le but de ces essais étaient de tester des espèces vivaces et de vérifier leur intérêt pendant l'hiver en tant que sites refuges pour les auxiliaires.

En 2016, des bandes fleuries de vivaces composées d'achillée, d'alysson, de fenouil et de lotier ont été plantées à l'intérieur des abris (Lambion, 2016). Ces essais de bandes fleuries de vivaces ont permis de montrer que des plantes implantées au pied des bâches plastiques peuvent se maintenir durablement dans les abris et supporter l'hiver. Des espèces comme l'alysson et le lotier ont hébergé des populations intéressantes d'auxiliaires (parasitoïdes spécifiques et prédateurs spécifiques pour le lotier) très tôt en sortie d'hiver, dès le début des suivis. Le fenouil ne favorise quant à lui pas les auxiliaires aphidiphages.

En 2017, achillée, alysse, centaurée, fenouil et lotier ont été implantées dans les abris sur la station du GRAB pour favoriser les ennemis naturels des pucerons. Les résultats de ces essais montrent comme en 2016, que ces vivaces se maintiennent durablement dans les tunnels et survivent à la saison hivernale . Toutes les espèces hébergent des auxiliaires spécifiques des pucerons, mais plus encore des auxiliaires généralistes. Cette fois encore, certaines espèces comme la centaurée et l'achillée ont hébergé des populations intéressantes d'auxiliaires (notamment la centaurée pour les parasitoïdes) très tôt en sortie d'hiver. Cette première, suivie par l'alysson et l'achillée semble être l'espèce à favoriser. Cette année-là, les auxiliaires spécifiques sur le lotier sont apparus tardivement. Enfin, de même que l'année précédente, le fenouil a abrité très peu d'auxiliaires (Lambion, 2017).

Depuis 2017, un essai mis en place sur la parcelle maraîchère de la station du GRAB, dans le cadre du projet PLACOHB[18], s'intéresse a la double fonctionnalité des bandes fleuries : couvre-sol pour le contrôle des adventices et zone refuge pour les auxiliaires indigènes. Les plantes vivaces ou pluri-annuelles, plantées à l'intérieur des abris plastiques, au pied des bâches, ont été plantées dans une zone difficile à gérer vis à vis de l'enherbement, qui pourrait constituer des réservoirs durables d'auxiliaires prédateurs et parasitoïdes des pucerons. Ainsi, ce projet vise à mettre en évidence l'intérêt de certaines espèces en termes de compétition vis à vis des adventices et de promotion de la biodiversité. Les premières expérimentations ont commencé en 2017 avec la mise en place en microparcelles de 12 espèces potentiellement intéressantes (détaillées dans le Tableau n ° 2). Les observations agronomiques et entomologiques sont en cours et feront l'objet d'une analyse dans ce mémoire.

18 Voir Table des sigles et des abréviations

1.7 Problématique

Les parties précédentes relèvent donc une difficulté à mettre en évidence l'impact des bandes fleuries sur la réduction des populations de pucerons. Les travaux antérieurs ont surtout concerné des cultures en plein champ (AGATH, MUSCARI) et permis de montrer leur capacité à renforcer la présence d'auxiliaires dans la culture, mais il reste encore beaucoup de questions en suspens sur l'effet des bandes fleuries sur la régulation naturelle des populations de ravageurs dans les cultures et leur intérêt en tant que plantes couvre-sols dans certaines zones non-productives. De plus, les travaux du GRAB ont permis d'apporter des connaissances sur les espèces favorables aux auxiliaires contre pucerons, mais la mise en œuvre pratique chez les producteurs à travers différents dispositifs (bandes fleuries plantées dans les abris, en contexte particulier des parcelles agroforestières, etc.,) a encore été peu étudiée. Au regard de cela, il semble donc intéressant d'étudier la question du service rendu par des bandes fleuries plantées en culture maraîchère sur la régulation des pucerons et des adventices.

Partie 2. Matériels et méthodes

2.1 Dispositif d'expérimentation

Les essais sont situés chez un maraîcher en agriculture biologique, sur la ferme pilote en agroforesterie en AB de la Durette et sur la station expérimentale du GRAB. Notons que le dernier essai s'inscrit dans le cadre d'un projet nommé PLACOHB mis en place sur différentes filières et régions de France. Celui-ci a pour objectif de développer de nouvelles solutions alternatives complémentaires aux existantes basées sur l'enherbement de certaines zones encore difficilement gérées (entre tunnels, rangs en arboriculture et viticulture, etc.) et de sélectionner des plantes couvre-sol contrôlant efficacement les adventices et promouvant la biodiversité fonctionnelle. Les caractéristiques de chaque site étudié sont résumées dans le Tableau 2.

Site	Exploitation de M. Jayet Gendrot Barbentane (13)	Ferme pilote de la Durette Montfavet (84)	Station expérimentale du GRAB Montfavet (84)
Parcelle	Tunnels maraîchers en AB (non chauffé), 8 m *100 m.	Parcelle agroforestière en AB.	Tunnel maraîcher en AB (non chauffé), 8 m * 50 m.
Localisation des bandes fleuries	Plantation à l'intérieur des tunnels plastiques, au pied des bâches, à 10 cm de la bâche.	Plantation à l'extérieur, sur deux rangs d'arbres agroforestiers.	Plantation à l'intérieur des tunnels plastiques, au pied des bâches, à 20 cm de la bâche.
Composition des bandes fleuries	Motif de plantes favorables aux auxiliaires :Achillée millefeuil-les (*Achillea millefolium*), Alysson (*Lobularia maritima*), Centaurée jacée (*Centaurea jacea*), Lotier (*Lotus corniculatus*), Souci (*Calendula officinalis*) (cf. Figure 6).	Parcelle pure. Sur le rang d'abricotier : Alysson (*Lobularia maritima*), Centaurée jacée (*Centaurea jacea*), Fenouil *(Foeniculum vulgare*), Mélilot (*Melilotus officinalis*) Sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) Sauge des prés (*Salvia pratensis*) Sur le rang de cerisier : Achillée millefeuilles (*Achillea millefolium),* Carotte (*Daucus carota*), Marguerite (Leucanthemum vulgare), Mauve (*Malva Sylvestris*), Pissenlit (*Taraxacum officinale*), Potentille (*Potentilla fructicosa*), Rue fétide (*Ruta Graveolens*), Tanaisie (*Tanacetum vulgare*)	Parcelle pure. 1er côté, ligne est : Alysson (*Lobularia maritima*), Centaurée jacée (*Centaurea jacea*), Mauve (*Malva Sylvestris*), Pâquerette (*Bellis perennis*), Souci (*Calendula officinalis*), Tanaisie (*Tanacetum vulgare*) 2e côté , ligne ouest : Absinthe (*Artemisia absinthium*), Achillée millefeuilles (*Achillea millefolium*), Lotier (*Lotus corniculatus*), Marguerite (*Leucanthemum vulgare*), Sainfoin (*Onobrychis viciifolia*), Sauge des prés (*Salvia pratensis*)
Culture adjacente	Courgette (variété hybride : Lola et Gloria), plantées le 14/03/2018.	Abricotier et cerisier.	Culture associée tomate (variété Fiorentino) et concombre (variété Diapason), plantés le 12/04/2018.
Plantation des bandes fleuries	Semis en pépinière en 09/2017 ; Plantation en 11/2017.	Semis en pépinière le 14/04/2016 ; Plantation (en 4e feuille des arbres) le 03/06/2016 (sauf pour la tanaisie, plantée le 31/05/2017).	Semis en pépinière le 10/08/2017 (1er côté, 6 espèces), le 05/04/2018 (absinthe, lotier, marguerite, sainfoin, sauge) et le 19/04/2018 (achillée) ; Plantation le 16/11/2017 (1er côté) et le 16/05/2018 (2e côté).
Irrigation des bandes fleuries	Arrosage par aspersion avec la culture d'automne en place.	Arrosage au goutte à goutte.	Arrosage au goutte à goutte.
Forme du dispositif	Motif de plantes basses implanté au niveau des arceaux des tunnels, 2 m entre chaque arceau	Parcelles pures de 6 m entre les arbres sur un rang d'abricotiers et de 5 m entre les arbres sur un rang de cerisiers. Plants espacés de 10 cm, 20 cm ou 50 cm.	Parcelles pures de 6 m linéaires, espacement de 20 cm entre les plantes. 1 m de zone témoin entre chaque parcelle.

Tableau 2 : Caractéristiques des dispositifs d'étude

Les espèces plantées sur tous les sites sont des vivaces censées favoriser la présence d'auxiliaires contre pucerons. Le choix de ces espèces résultent des résultats de travaux antérieurs portés par le GRAB. Sur la ferme pilote de la Durette et plus récemment sur la station expérimentale du GRAB, les vivaces choisies ont également été sélectionnées pour leur comportement intéressant vis à vis des adventices.

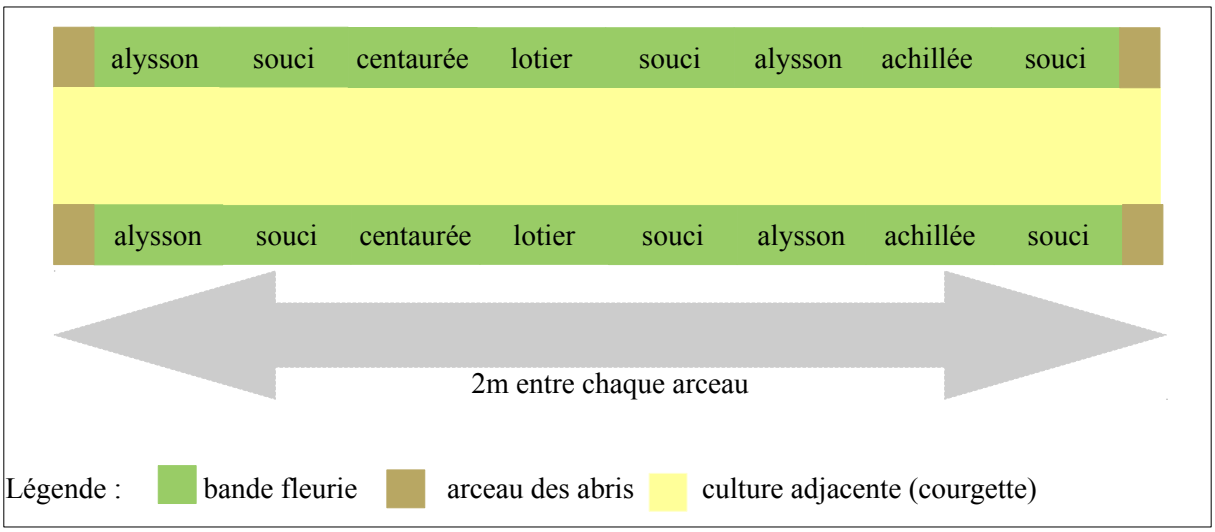


Figure 6 : Dispositif expérimental mis en place sur l'exploitation de M. Jayet Gendrot

Figure 7 : Photo du tunnel de courgette suivi chez M. Jayet Gendrot, photo personnelle

Sur chaque site expérimental, une zone sans aménagement servira de témoin.

Pour le premier site (exploitation de M. Jayet-Gendrot), elle correspond à un tunnel présentant une culture similaire à la culture adjacente, conduit de la même manière. Dans notre cas il s'agit donc d'un tunnel de courgette, qui ne possède pas d' aménagement au pied des bâches (flore spontanée présente). Pour le second site (ferme pilote de la Durette), le témoin est une parcelle sur la rang d'abricotier où aucune espèce n'a été implantée et où la flore adventice peut prospérer (cf. Figure 8)

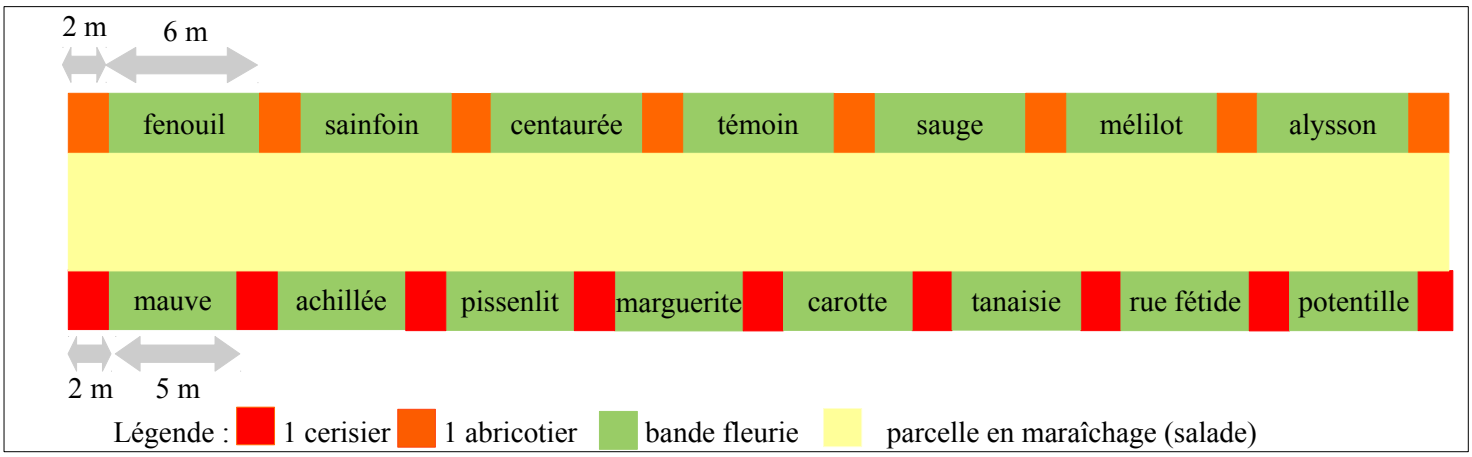


Figure 8 : Dispositif expérimental mis en place sur la ferme pilote de la Durette

Figure 9 : Photo de la rue fétide implantée sur le rang de cerisier sur la ferme pilote de la Durette, photo personnelle

Notons que le fenouil, le mélilot, le pissenlit et la carotte n'ont pas été pris en compte dans l'étude car ces espèces n'ont pas réussi à s'installer et ont disparu en 2017. De plus, la marguerite a été accidentellement tondue au printemps, et n'est ainsi pas présentée dans les résultats finaux.

Pour le dernier site (station expérimentale du GRAB), cette zone témoin est un espace de 1 m entre chaque parcelle pure où la flore spontanée peut se développer (cf. Figure 10)

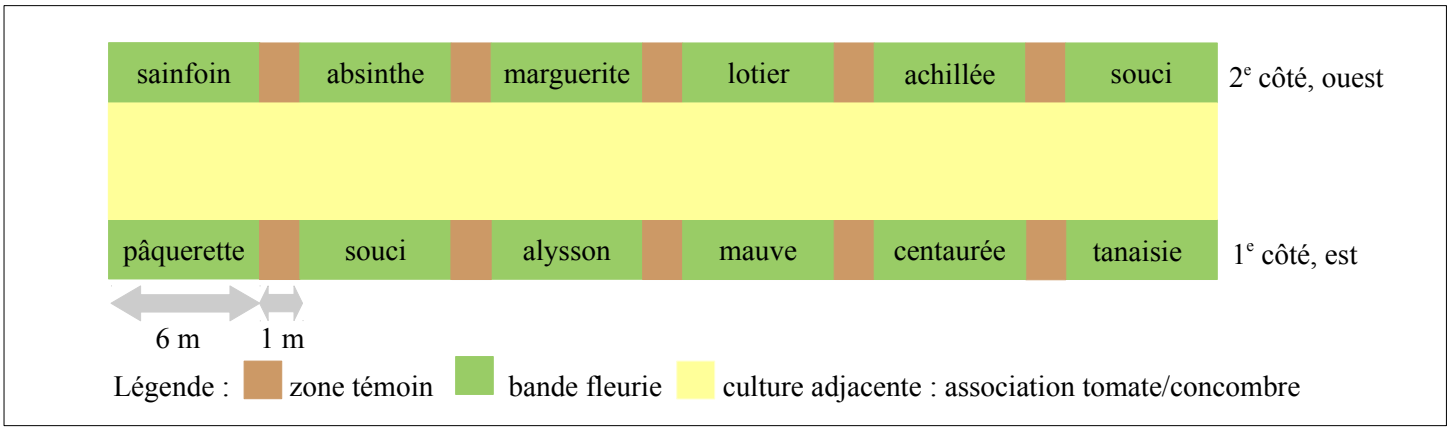


Figure 10 : Dispositif expérimental mis en place sur la station expérimentale du GRAB

Notons que les espèces présentes sur le 1e côté ont bien été implantées l'année 2017, tandis que celle situées sur le 2e côté sont présentes sur la parcelle que depuis 2018. De plus, le souci situé sur le 2e côté n'a pas été pris en compte dans l'étude. En effet celui ci a été semé directement sur la parcelle en remplacement d'une espèce initialement prévue (sauge) dont les semis n'ont pas fonctionné.

Figure 11 : Photo du tunnel suivi sur la station expérimental du GRAB, photo personnelle

Figure 12 : Photo de l'achillée plantée sur la station expérimentale du GRAB, photo personnelle

2.2 Observations et méthode d'échantillonnage

2.2.1 Données botaniques collectées dans les aménagements (méthodes d'observations et de collecte, dispositif de suivi)

Sur deux des sites d'expérimentation (ferme pilote de la Durette et station expérimentale du GRAB), des observations botaniques ont été effectuées. Pour chaque espèce plantée, la hauteur et la largeur sont mesurées et la floraison est observée. De plus, sur chaque site, la surface de recouvrement de l'espèce plantée est estimée, et uniquement sur la station du GRAB, celle des adventices est relevée. Sur cette dernière, les temps de désherbage par parcelle pour chaque espèce ont également été recensés. Pour le premier site, les observations ont été réalisées le 21/11/17, le 21/12/17, le 19/02/2018 (données collectées par stagiaire précédent), le 04/04/2018, le 11/05/2018, 07/06/18 et le 06/07/2018. Pour le second site, les données ont été collectées le 16/04/2018, le 15/05/2018, le 05/06/2018, le 25/06/2018, le 11/07/2018 et le 30/07/2018. Sur celui-ci les observations ont été répétées trois fois sur chaque parcelle d'espèce pure pour chaque date.

2.2.2 Données entomologiques collectées dans les aménagements (méthodes d'observations et de collecte, dispositif de suivi)

Sur tous les sites d'expérimentation (exploitation de M. Jayet Gendrot, ferme pilote de la Durette et station expérimentale du GRAB) des observations entomologiques sont pratiquées. Ces observations dans les aménagements, servent à faire une évaluation de l'entomofaune générale. Pour cela, des aspirations sont réalisées à l'aide d'un aspirateur thermique. Cet appareil fabriqué par le GRAB, est un souffleur à feuilles inversé (cf. Figure 13). Il permet ainsi la capture d'insectes de petite taille se déplaçant rapidement qu'il serait difficile d'attraper avec une pince, un filet ou autres. Cet engin va aspirer les insectes présents sur les bandes fleuries qui vont se retrouver piégés dans un filet placé au préalable sur la bouche d'aspiration. Par parcelle pure de chaque espèce (station expérimentale du GRAB, ferme pilote de la Durette), et sur le motif sur 2 m (exploitation de M. Jayet Gendrot), on réalise des aspirations de 5 secondes par aménagement. Ces aspirations sont répétées tous les quinze jours chez ce dernier et au même moment que les observations botaniques sur les deux autres sites expérimentales.

Figure 13 : Photo de l'aspirateur à insectes, photo personnelle

Par la suite une identification de l'entomaufaune générale est effectuée et plus spécifiquement pour les auxiliaires s'attaquant aux pucerons : prédateurs et parasitoïdes spécifiques. Pour se faire, les insectes collectés sont sacrifiés et conservés au congélateur à -18°C. L'observation peut être réalisée au minimum deux heures après mise au congélateur des différents échantillons. Un premier tri est d'abord réalisé de façon visuelle afin d'enlever les gros débris végétaux et un second est effectué à l'aide d'une loupe binoculaire. Ce tri permet de classer les insectes selon leur appartenance à diverses taxons (l'ordre, la famille, le genre, etc). L'identification peut parfois être complétée par l'utilisation de clefs de détermination. Pour certaines familles d'auxiliaires, l' identification jusqu'au genre est nécessaire car il peut exister des régimes alimentaires différents. C'est notamment la cas des micro-hyménoptères parasitoïdes, pour lesquels une détermination jusqu'au genre sous loupe binoculaire fois 40 est réalisée, afin d'identifier les micro-hyménoptères aphidiphages (*Aphelinus, Aphidius, Diaretiella, Ephedrus, Lysiphlebus et Praon*). Pour d'autres familles, tels que les Araneae et les Opiliones, ou encore d'autres prédateurs, comme les Cantharidae, les Carabidae, les Staphylinidae, les Forficulidae, les Syrphidae, les Nabidae, les Reduvidae, etc., tous les genres rencontrés ont été pris en compte. Les différents auxiliaires ont été par la suite classés par rôle fonctionnel : prédateurs spécifiques du puceron (Coccinellidae, Chrysopidae, Syrphidae), prédateurs généralistes (Carabidae, Staphylinidae, Cantharidae, Forficulidae, Anthocoridae, certains Miridae, Nabidae, Reduvidae, Geocorinae, Araneae, Opiliones, Aeolothripidae) et les parasitoïdes spécifiques (Aphelinidae, certains Braconidae). Le détail de l'identification réalisée est récapitulé en Annexe 3.[19]

En plus de cela, des observations visuelles de l'entomofaune et plus particulièrment des Syrphidae, ont été réalisées sur l'essai mis en place sur la station du GRAB. À chaque date, chaque parcelle pure en fleur est observée sur 6 m linéaire et sur la largeur, pendant une durée de 5 minutes et le nombre de Syrphidae est relevé dans la bande fleurie. Cela permet d'identifier ces insectes qui du fait de la rapidité de leur vol, ne se retrouvent que très peu piégés lors des aspirations.

2.2.3 Données collectées dans les cultures adjacentes (méthodes d'observations et de collecte, dispositif de suivi)

En complément des données collectées dans les aménagements, d'autres observations ont été pratiquées dans les cultures adjacentes afin d'estimer la population aphidienne et les auxiliaires présents. La collecte des données dans les cultures n'a été réalisée que sur un seul des sites d'étude (exploitation de M. Jayet-Gendrot). 2 tunnels au total ont été suivis : tunnel de courgette avec bande fleurie (courgette BF) et tunnel de courgette avec un sol nu (courgette SN). La fréquence d'observation

19 Cf. Annexe 3

était de 15 jours, jusqu'à arrachage de la culture. Ces observations dans les cultures ont été réalisées les 03/05/18, 22/05/18, 13/06/18 et le 27/06/18.

Dans les deux tunnels de courgette suivis, 6 zones d'observation adjacentes à la bande fleurie ont été définies à l'aide d'un piquet : 3 sont situés sur le rang extérieur, à 2 m de la bande fleurie ou de la flore spontanée, et 3 autres sur le rang intérieur, à 3,5 m de la bande fleurie ou de la flore spontanée (cf. Figure 14). Ces 3 répétitions, nous permettent d'évaluer l'effet de la distance à l'aménagement. 2 modalités de distance à l'aménagement sont ainsi testés : rang extérieur (situé à 2 m de la bande fleurie ou du sol nu) et rang intérieur (situé à 3, 5 m de la bande fleurie ou du sol nu). Dans chacune de ces 6 zones, les observations sont faites sur 10 feuilles par plante à partir de l'apex.

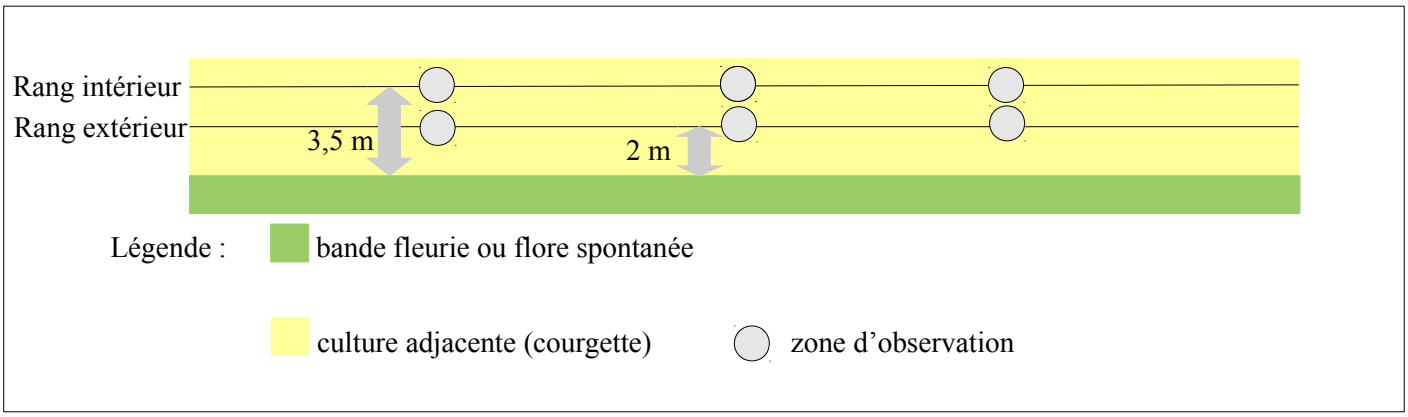


Figure 14 : Dispositif de suivi mis en place sur l'exploitation de M. Jayet Gendrot

Pour chacune des observations, afin d'évaluer le nombre de pucerons présents au sein de la culture, des classes d'infestation des plants de courgette par le puceron (verts et noirs) sont attribuées. Ces classes décrites en Annexe 4, permettent de déterminer plus rapidement le nombre de puceron présent sur chacune des feuilles sans avoir à compter le nombre précis.[20] Ces classes ont été élaborées par le GRAB pour des essais antérieurs, où des comptages de pucerons ont du être effectués. Par la suite, pour déterminer un nombre de puceron par feuille, les médianes de chaque classe sont appliquées aux classes de pucerons.

2.3 Analyse des données

Les données ont été analysées graphiquement et statistiquement à l'aide des logiciels Excel et StatBoxPro.

20 Cf. Annexe 4

2.3.1 Analyse des données botaniques et entomologiques dans les aménagements

Les données issues de l'observation visuelles (hauteur, largeur, recouvrement) ont été représentées graphiquement afin de réaliser des comparaisons entre plusieurs modalités (espèces pures) et de voir la distribution des données. Il en est de même pour les observations entomologiques dans les aménagements (résultats d'aspirations) qui ont été analysées à travers une approche qualitative.

2.3.2 Analyse des données entomologiques dans la culture

Pour chercher à mettre en évidence un effet significatif de l'aménagement et de la distance sur la population aphidienne, une ANOVA à deux facteurs a été réalisée sur le nombre de pucerons totaux comptabilisés, lorsque les conditions de normalité et homoscédasticité des résidus sont respectées. Nos échantillons étant non appariés, chaque date ne peut pas faire l'objet d'une répétition, c'est bien pour cela qu' une analyse pour chaque date d'observation est pratiquée. Cela permet de prendre en compte l'hétérogénéité induite par chaque date. Deux facteurs sont étudiés : l'aménagement et la distance à l'aménagement. Ils ont chacun deux niveaux, respectivement bandes fleuries ou sol nu, et rang extérieur (situé à 2 m de la bande fleurie ou du sol nu) ou rang intérieur (situé à 3,5 m de la bande fleurie ou du sol nu).

Les résultats de ces premiers tests ayant montré qu'un des facteurs n'avait pas d'effet (la distance à l'aménagement), d'autres tests sont venus compléter l'analyse. Un travail de transformation des données brutes a alors été effectué à l'aide de la racine carrée et ce facteur ne présentant pas d'effet a également été mis de côté. Une ANOVA à un facteur a ainsi été faite pour chaque date d'observation sur le nombre de pucerons présents dans la culture adjacente par type d'aménagement : bande fleurie ou sol nu.

Pour avoir une valeur synthétique de l'attaque en pucerons pour les deux modalités du facteur type d'aménagement, l'AUPPC[21] a été calculée. Il s'agit de l'aire située sous la courbe d'attaque des pucerons. Plus l'aire est élevée, plus l'attaque est importante et moins la modalité est efficace. Une ANOVA à un facteur a été réalisée pour chercher à mettre en évidence une différence significative.

21 Voir Table des sigles et des abréviations

Partie 3. Résultats

3.1 Résultats botaniques : suivi du développement de la bande fleurie

3.1.1 Premier site : exploitation de M. Jayet Gendrot

Pour ce qui est du développement des bandes fleuries dans les abris sur l'exploitation de Monsieur Jayet Gendrot, après la plantation de novembre 2017, la reprise était bonne pour l'alysson, le souci, et l'achillée. Les lotiers étaient présents mais petits et de nombreuses centaurées avaient disparu. Lors du suivi de l'essai au printemps 2018, nous avons pu observer que cette tendance se confirmait : le motif de plantes détaillé en Figure 6 était incomplet. On a pu relever un développement important des soucis et des alyssons qui étaient en fleur, un peu d'achillées également en fleur, mais très peu de centaurées et de lotiers étaient encore présents. Au final le motif observé sur 2 m entre chaque arceau se composait de la sorte : 1 achillée, 2 alyssons, et 3 soucis. De plus, de nombreux adventices ont été relevées à la fois dans les bandes fleuries, ainsi que dans les tunnels non aménagés : *Anagallis arvensis*, *Cirsium arvense, Convolvulus arvensis*, *Helminthotheca echioides*, *Sonchus oleraceus, Veronica persica*, etc. Des floraisons de ces adventices ont notamment été observées à chaque date de passage. Globalement, dans tous les tunnels, la biodiversité en espèces végétales est riche sur cet exploitation.

3.1.2 Deuxième site : ferme pilote de la Durette

3.1.2.1 Couverture du sol-gestion de l'enherbement

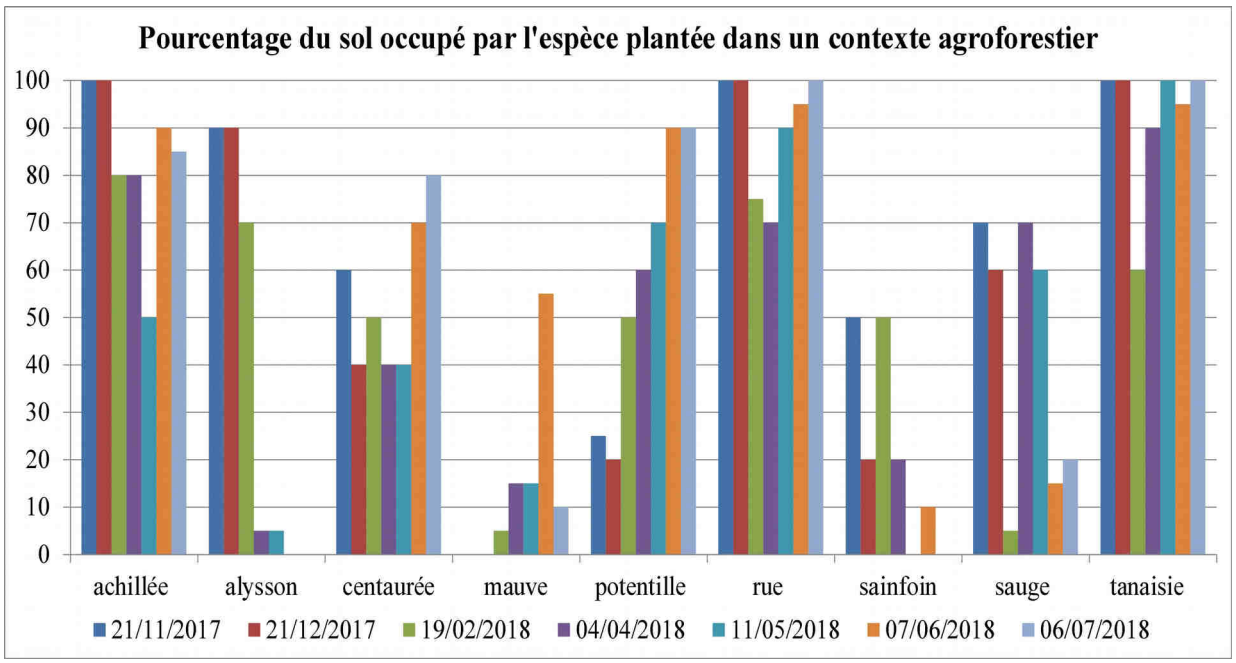


Figure 15 : Couverture du sol des espèces plantées sur la ferme pilote de la Durette

D'une manière générale, en deuxième année de plantation, il existe des disparités de recouvrement entre les espèces plantées sur la parcelle maraîchère en agroforesterie (cf. Figure 15). L'achillée, la potentille, la rue et la tanaisie présentent des recouvrements élevés. A l'exception de la potentille qui a perdu ses feuilles en automne, ces espèces ont assuré une couverture maximale en fin d'automne début d'hiver, ont régressé le 19/02, puis se sont redéveloppées pour atteindre des couvertures de l'ordre de 90 % en été. La centaurée possède un comportement semblable à ces espèces, mais son recouvrement reste inférieure, et atteint au maximum 80 %. A l'inverse certaines espèces n'ont fait que régresser au cours de la saison et atteignent des recouvrements vraiment bas au printemps. C'est notamment le cas de l'alysson et du sainfoin. Ce dernier comme la mauve, ne recouvrent au mieux que la moitié de l'espace, ce qui reste faible. En situation intermédiaire, on retrouve la sauge, qui oscille entre des couvertures moyennes et basses.

Certaines vivaces telles que l'achillée, la potentille, la rue et la tanaisie, ont ainsi laissé très peu de place aux adventices et semblent correspondre aux attentes vis à vis de l'occupation de l'espace.

3.1.2.2 Encombrement des espèces plantées

- Largeur

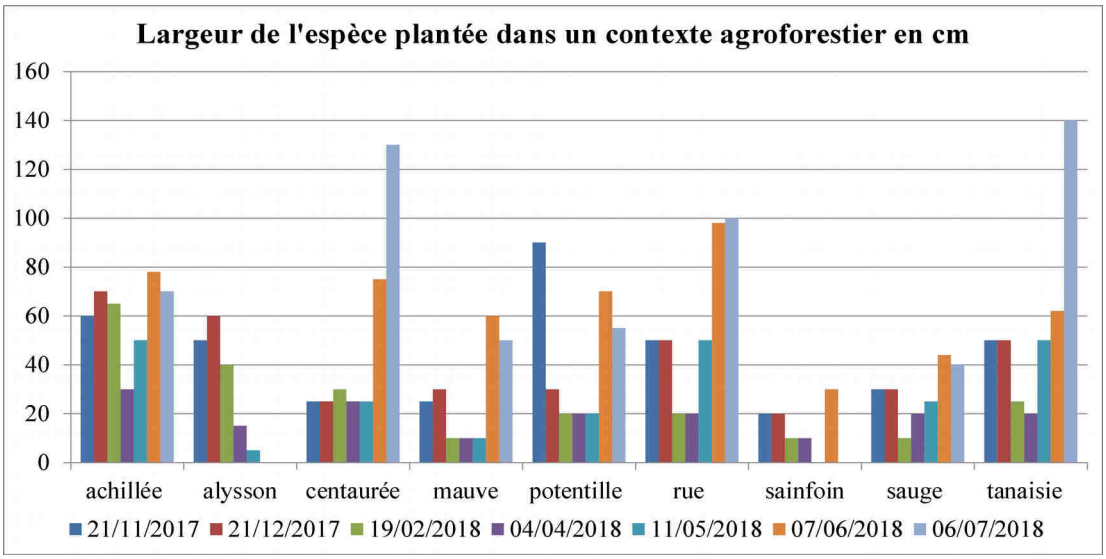


Figure 16 : Largeur des espèces plantées sur la ferme pilote de la Durette

En deuxième année, on observe des différences de largeur entre les espèces (cf. Figure 16). L'achillée, la potentille, la rue et la tanaisie occupent la largeur du rang (50 cm) sur la grande majorité des observations. Ces espèces végétales s'étendent sur une largeur de plus de 30 cm sur au moins quatre dates d'observations. D'autres vivaces comme le sainfoin, la sauge et la mauve présentent globalement des largeurs assez faibles ; elles ont toutes une largeur de 10 cm le 19/02/2018. À noter que, certaines

espèces comme la centaurée, la rue ou la potentille ont des hampes florales assez hautes qui peuvent s'affaisser latéralement et occuper ainsi la largeur du rang sur leur période de floraison.

- Hauteur

D'après l'annexe 5, les hauteurs des espèces plantées sont assez variables.[22]La centaurée, la potentille, la rue et la tanaisie ont par exemple des hauteurs assez importantes (plus de 50 cm). C'est d'ailleurs cette dernière qui culmine avec une hauteur de plus de 140 cm le 07/06. Au contraire, certaines espèces comme l'achillée, l'alysson, le sainfoin restent basses (moins de 50 cm).

On retrouve des plantes basses et hautes. Des plantes avec une hauteur importante comme la centaurée, la potentille, la rue et la tanaisie peuvent s'affaisser latéralement et occuper une bonne largeur sur le rang.

3.1.2.3 Dates de floraison

D'après l'annexe 6, en sortie d'hiver, en février, seulement deux espèces fleurissent : l'alysson et la rue.[23] Pour la grande majorité, la floraison commence à partir d'avril. Certaines espèces telles que l'achillée et la mauve fleurissent plus tardivement, en juin.

3.1.3 Troisième site : station expérimentale du GRAB

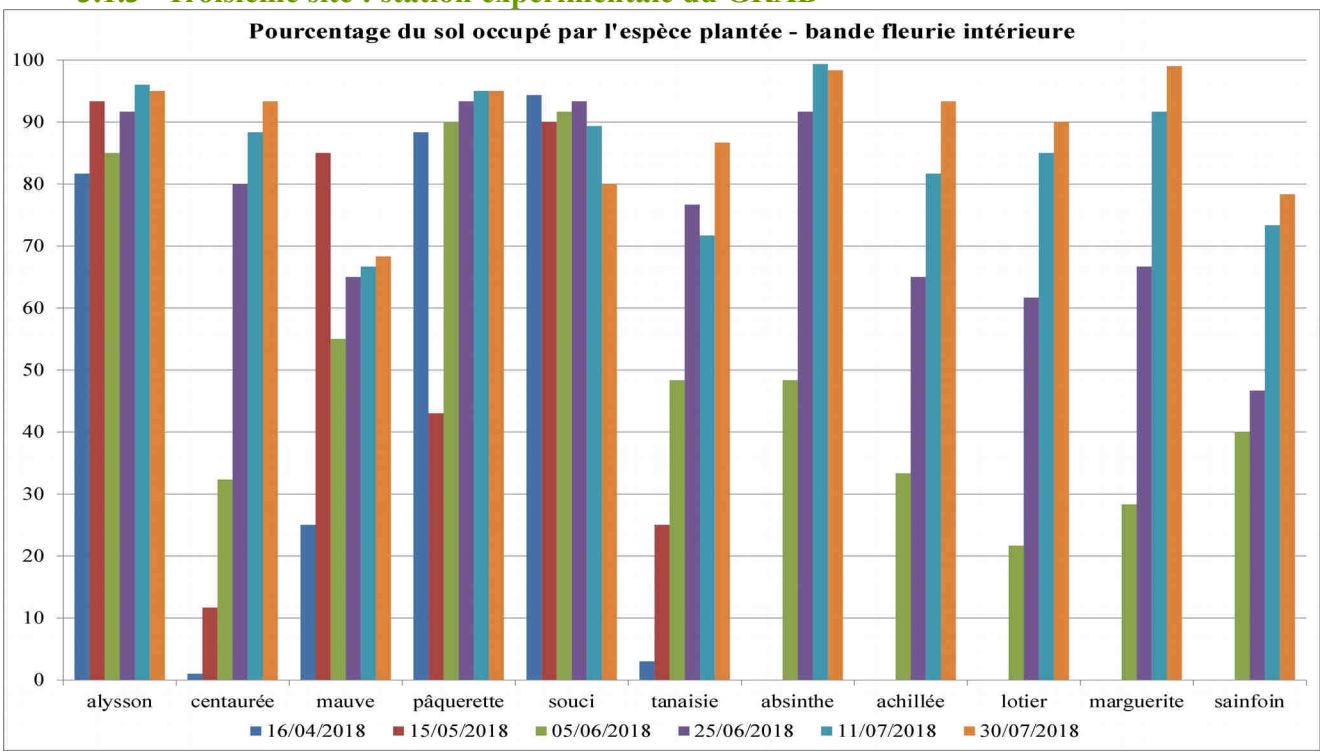


Figure 17 : Couverture du sol des espèces plantées sur la station expérimentale du GRAB

22 Cf. Annexe 5
23 Cf. Annexe 6

Sur le site de station du GRAB, dans l'ensemble, les espèces se sont très bien développées, et certaines comme l'alysson, la pâquerette, l'absinthe, la marguerite, etc., occupent 90 % du sol dès leur première année de plantation (cf. Figure 17).

Pour ce qui est des espèces plantées dans les abris, à l'automne 2017 (alysson, centaurée, mauve, pâquerette, souci, tanaisie), on constate que l'alysson et le souci présentent des très bons recouvrements sur toutes les observations. La pâquerette recouvre également très bien le sol, à l'exception d'une date, où un nombre important d'adventices a été relevé. La centaurée avait un recouvrement insuffisant au printemps, mais s'est bien développée par la suite. La tanaisie présente le même type de comportement, mais en fin de saison, le pourcentage du sol occupé par cette espèce reste moyennement satisfaisant. La mauve qui a elle aussi mis du temps à occuper l'espace, comme la tanaisie présente un recouvrement moyen. Pour ce qui est des espèces plantées au printemps 2018 (absinthe, achillée, lotier, marguerite et sainfoin), toutes, à l'exception du sainfoin, semblent se développer régulièrement et atteignent des très bons recouvrements sur les dernières observations. On a pu notamment observer des recouvrements de plus de 90 % pour l'absinthe, moins d'un mois après plantation.

Certaines espèces végétales comme l'alysson, la pâquerette, le souci, l'absinthe, la marguerite ont occupé 90 % du sol dès leur première année de plantation et semblent très intéressantes pour gérer l'enherbement au pied des bâches.

3.1.3.2 Temps de désherbage

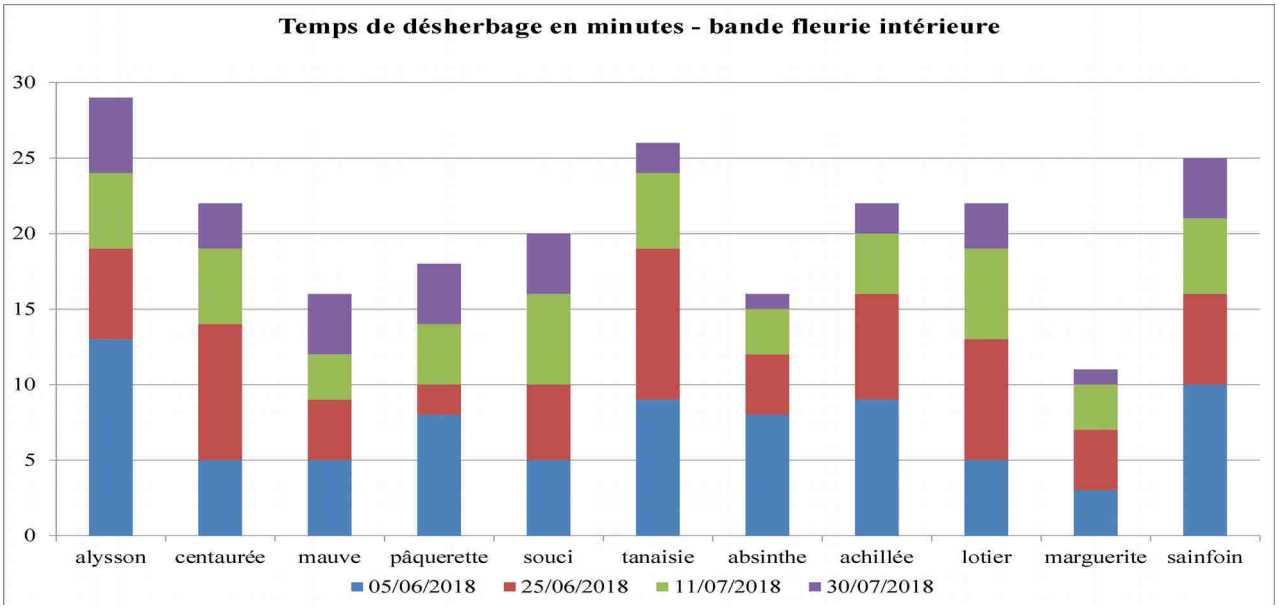


Figure 18 : Temps de désherbage par parcelle des espèces plantées sur la station expérimentale du GRAB

Le suivi des espèces pures a nécessité que les parcelles soient très peu enherbées, afin que les adventices n'influencent pas les résultats. Les temps de désherbage pour chaque espèce présentés en figure 18, ont tendance à diminuer au cours de la saison. On observe qu'il existe des différences. Des vivaces comme la tanaisie et le sainfoin, qui présentent des recouvrements moyens, ont des temps de désherbage élevés. A l'inverse, pour l'absinthe et la marguerite, ils sont faibles. Les bonnes couvertures observées pour ces espèces expliquent cette réduction du travail de désherbage.

3.1.3.3 Encombrement des espèces plantées

- Largeur

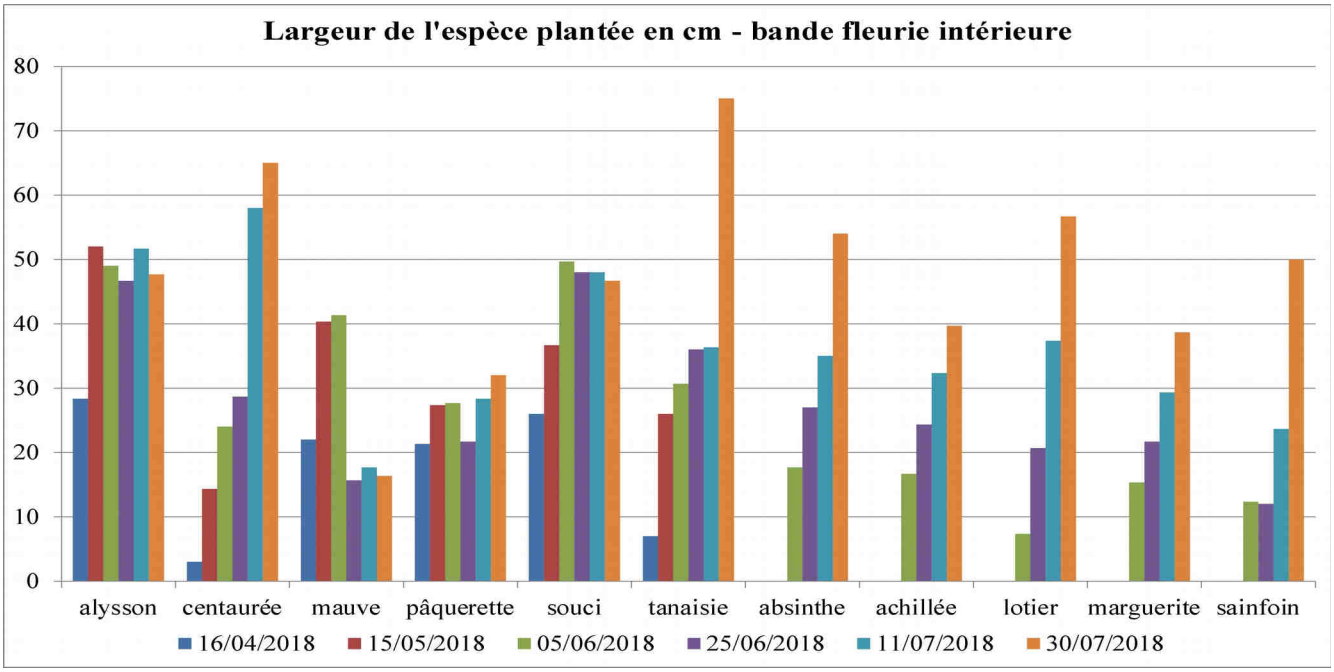


Figure 19 : Largeur des espèces plantées sur la station expérimentale du GRAB

De manière générale, les espèces qu'elles aient été plantées à l'automne ou au printemps, présentent une occupation latérale de l'espace satisfaisante (cf. Figure 19). La grande majorité s'étend sur une largeur bien supérieure à 30 cm. Seules la mauve et la pâquerette (cf. Figure 20) se détachent un peu du lot avec une largeur maximale de 32 cm pour cette dernière, relevée sur la saison.

- Hauteur

Pour ce qui est des hauteurs relevées, d'après l'Annexe 7 on constate des disparités entre espèces.[24] Certaines comme l'alysson, la pâquerette, le lotier et la marguerite restent basses (moins de 50 cm). Au

24 Cf. Annexe 7

contraire d'autres comme la centaurée, la mauve (cf. Figure 21), le sainfoin, et la tanaisie sont très verticales et atteignent plus de 80 cm, notamment grâce à leur hampe florale érigée.

Certaines espèces un peu trop larges ou très verticales comme la centaurée qui ont des hampes florales s'affaissant, pourraient gêner le passage dans les tunnels.

Figure 20 : Photo de pâquerette plantée sur la station expérimentale du GRAB

Figure 21 : Photo de mauve plantée sur la station expérimentale du GRAB

3.1.3.4 Dates de floraison

D'après l'Annexe 8, pour les espèces plantées à l'automne, les floraisons ont eu lieu dès le début du printemps, à l'exception de la centaurée et la tanaisie qui ont fleuri plus tardivement au début de l'été.[25] Au 30/07/18, les floraisons ont seulement cessé pour la mauve. Sur les nouvelles plantations de printemps, le lotier s'est démarqué du lot en fleurissant un mois et demi après implantation sur la parcelle.

3.2 Résultats entomologiques : diversité et abondance des auxiliaires dans la bande fleurie

25 Cf. Annexe 8

3.2.1 Premier site : exploitation de M. Jayet Gendrot

- Auxiliaires capturés dans les aménagements sur la saison

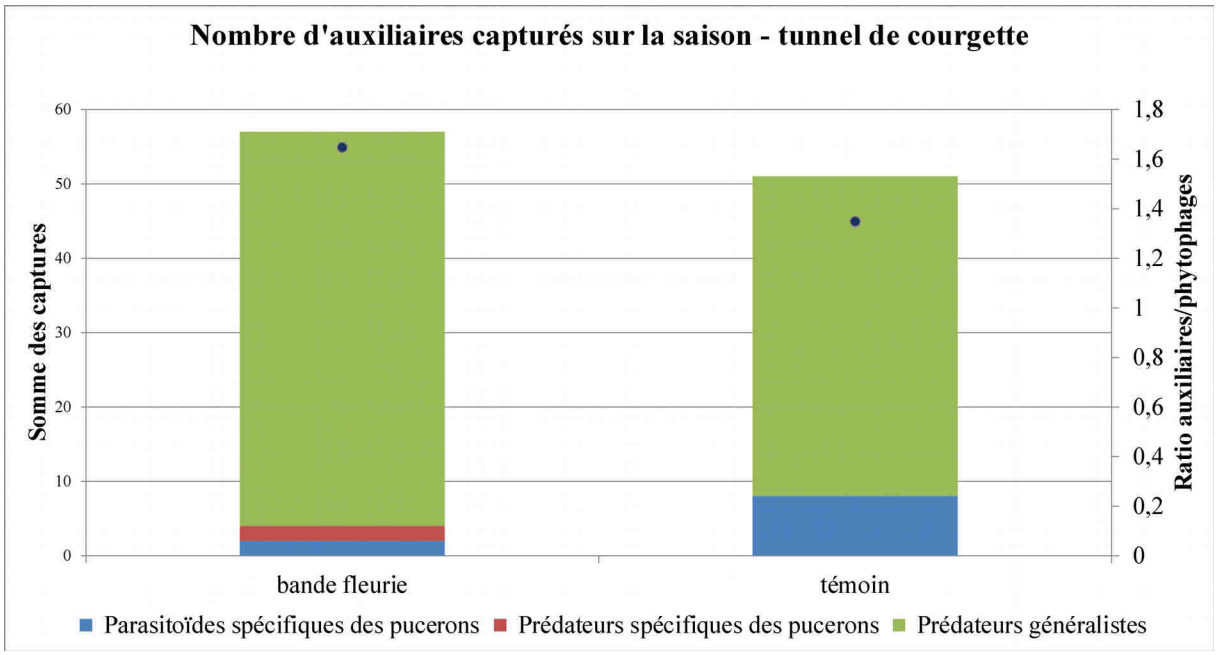


Figure 22 : Auxiliaires capturés dans les aménagements sur la saison chez M. Jayet Gendrot

Rappelons que pour ce site, le comptage des auxiliaires dans les aménagements correspond à des aspirations de 5 secondes sur 2 m sur le motif (achillée, alysson, souci) ou sur la flore spontanée.

Sur la saison, les aspirations dans les aménagements sont légèrement plus riches que la flore spontanée du témoin : 57 auxiliaires sont susceptibles de s'attaquer aux pucerons contre 51 (cf. Figure 22). On peut constater que la proportion de prédateurs généralistes est importante dans les deux situations, environ 95 % des auxiliaires aspirés dans la bande fleurie sont des prédateurs généralistes (ratio de 53/57) et dans le témoin c'est environ 85 % (43/51). Des prédateurs spécifiques ont uniquement été capturés sur la bande fleurie. Les parasitoïdes spécifiques sont quant à eux plus nombreux dans le témoin (2 individus contre 8). Le ratio auxiliaires/phytophages est élevé pour les deux modalités, et davantage dans la bande fleurie (1,6 contre 1,3 coté sol nu) ce qui indique un bon potentiel régulateur pour les deux types d'aménagement.

Sur l'exploitation de M. Jayet Gendrot, il existe peu de différence sur l'entomofaune retrouvée dans la bande fleurie et celle du témoin.

- Auxiliaires capturés dans les aménagements par date

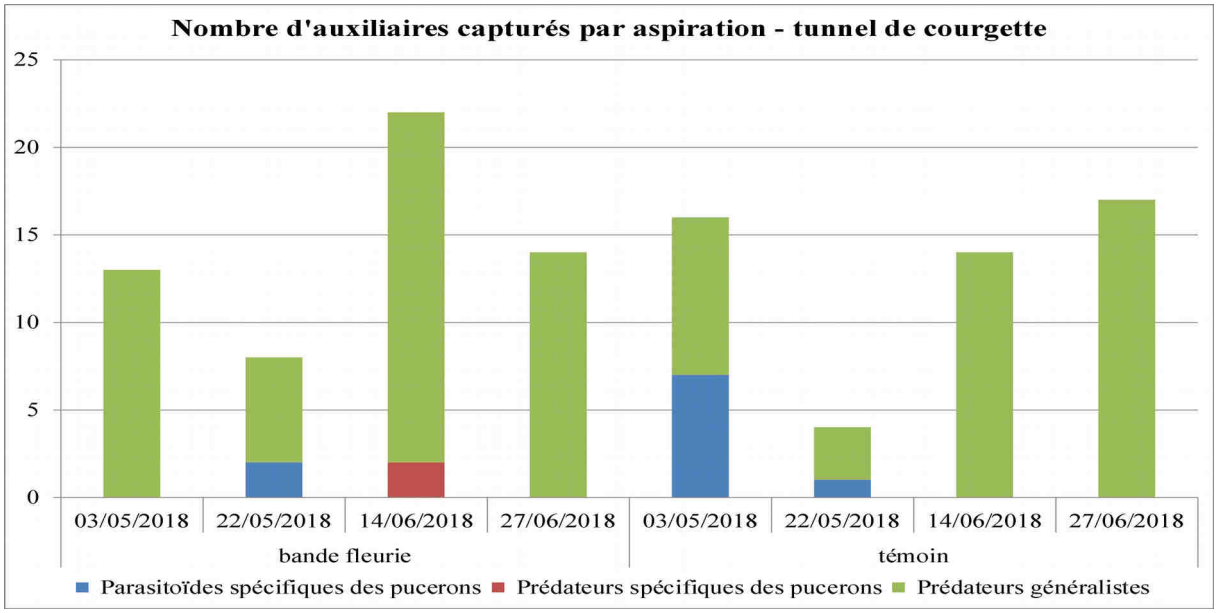


Figure 23 : Auxiliaires capturés dans les aménagements par date sur l'exploitation de M. Jayet Gendrot

Dans les premières observations, des parasitoïdes spécifiques des pucerons ont été observés sur les deux modalités et en nombre plus important dans le témoin (cf. Figure 23). Le 03/05/2018, c'est par exemple 7 individus (5 Aphidius matricariae et 2 momies dorées) qui ont été capturés dans le tunnel témoin. La présence de ces parasitoïdes est à mettre en lien avec le nombre de pucerons renseignés dans les données brutes (15 pucerons capturés le 03/05/2018 dans le témoin), signe d'un parasitisme naturel. Par la suite, dans les dernières observations, des prédateurs spécifiques ont été aspirés mais uniquement dans la bande fleurie.

- Familles d'auxiliaires

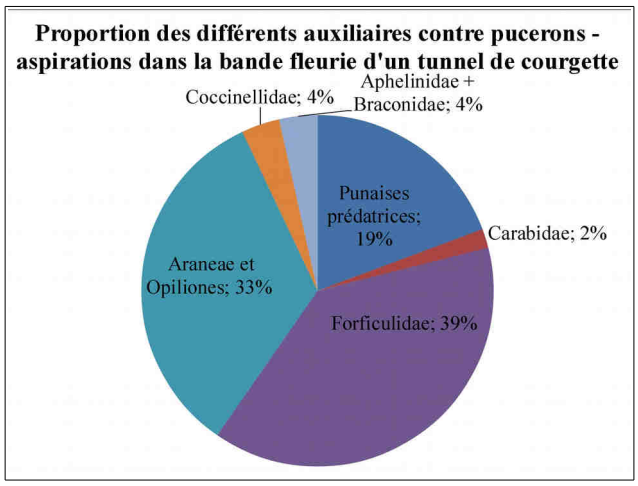


Figure 24 : Auxiliaires capturés dans la bande fleurie sur l'exploitation de M. Jayet Gendrot

nombre total = 57 auxiliaires

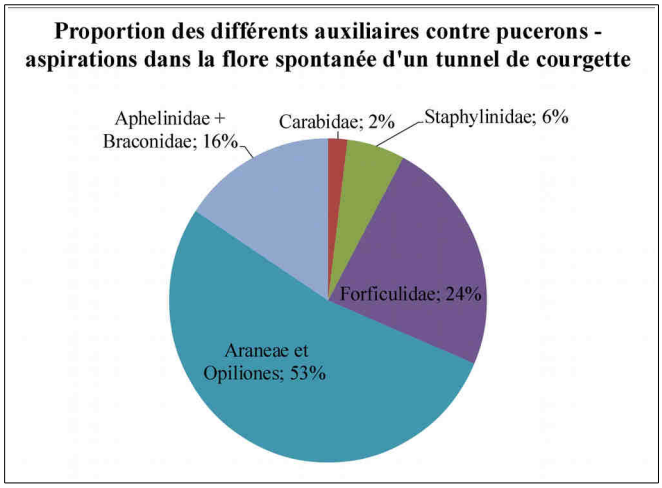


Figure 25 : Auxiliaires capturés dans la flore spontanée sur l'exploitation de M. Jayet Gendrot

nombre total = 51 auxiliaires

Pour les deux types d'aménagement (bande fleurie et flore spontanée), on constate que les ¾ des auxiliaires capturés sont des auxiliaires généralistes : des Araneae et des Opiliones, et des Forficulidae.

En considérant l'influence de chaque aménagement sur chaque famille d'auxiliaire, la bande fleurie semble favoriser les punaises prédatrices (Anthocoridae, Miridae, Nabidae, Reduvidae et Geocorinae), les Coccinellidae et et les Forficulidae (cf. Figure 24). La flore spontanée semble quant à elle favoriser les Staphylinidae, les Aphelinidae et les Braconidae, et les Araneae et les Opiliones, (cf. Figure 25). Ces deux derniers groupes, d'après le tableau en Annexe 9, sont au nombre de 39 individus au total sur les 51 aspirés.[26]

Chez Mathieu Jayet, bande fleurie et flore spontanée présentent une biodiversité satisfaisante au niveau de l'entomofaune.

3.2.2 Deuxième site : ferme pilote de la Durette

- Auxiliaires capturés dans les aménagements sur la saison

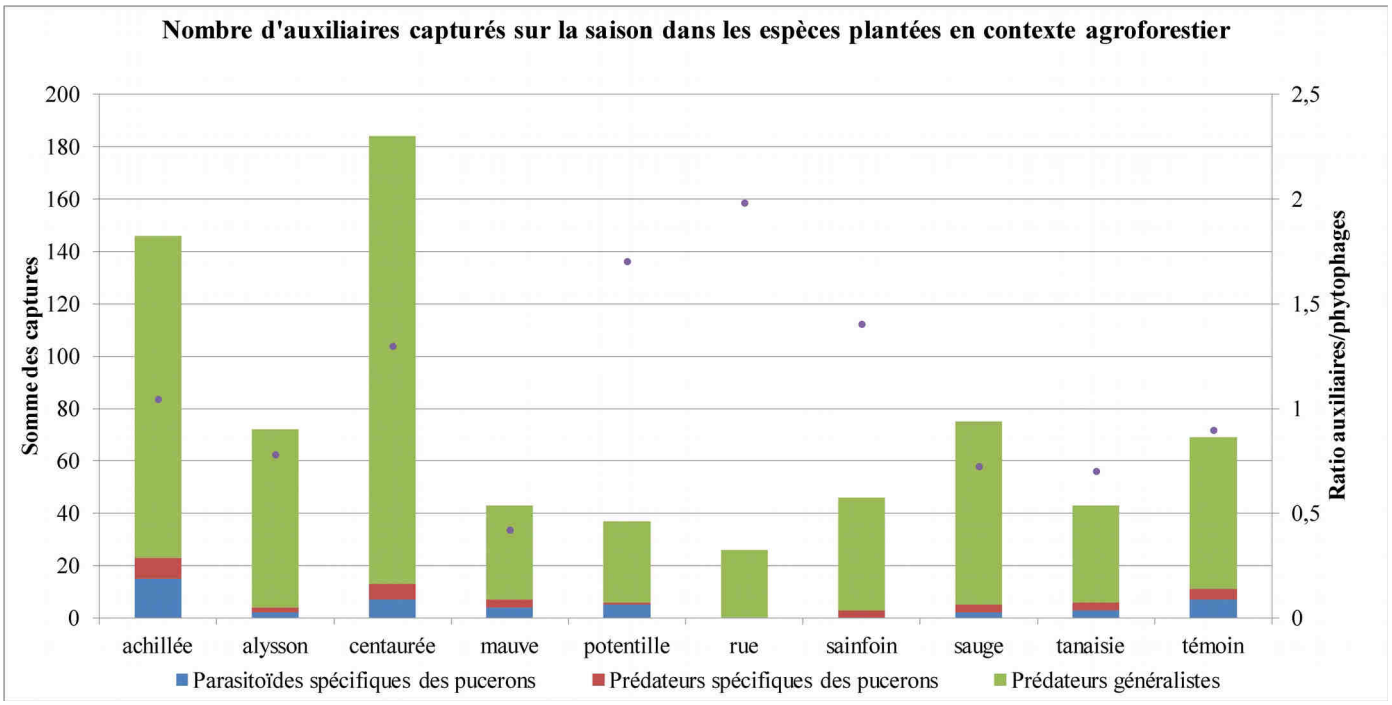


Figure 26 : Auxiliaires capturés dans les aménagements sur la saison sur la ferme pilote de la Durette

Rappelons que pour ce site, le comptage des auxiliaires dans les aménagements correspond à des aspirations de 5 secondes par parcelle pure. En considérant l'ensemble des auxiliaires aspirés du 21/11/2018 au 06/07/2018 (7 aspirations au total) , on peut distinguer une forte disparité selon les

26 Cf. Annexe 9

espèces testées (cf. Figure 26). Notons tous de même que pour certaines espèces végétales, des aspirations et notamment celles faites en été n'ont pas pu être pratiquées, du fait d'une partie aérienne sèche et absente à ce moment. Pour l'alysson, le sainfoin et la sauge, la somme des auxiliaires comptabilisés a par exemple était faite sur 5 aspirations pour les deux premières vivaces et 6 pour la dernière.

Certaines espèces semblent favoriser les auxiliaires. En effet, l'achillée, l'alysson, la centaurée et la sauge hébergent plus d'auxiliaires que le témoin (69 captures), soit respectivement 146, 72, 184 et 75 individus. L'achillée et la centaurée ont comme le témoin, un ratio auxiliaires/phytophages de l'ordre de 1, et donc un potentiel régulateur intéresant. Au contraire, pour la mauve, la potentille, la rue, le sainfoin, et la tanaisie les captures ont été moins nombreuses en comparaison à la flore spontanée du témoin. Le nombre d'auxiliaires capturés sur la rue est par exemple deux fois plus bas que le témoin, signe que du monospécifique peut causer un appauvrissement du milieu.

La rue n'héberge pas de prédateurs spécifiques des pucerons. De même, les parasitoïdes spécifiques ne sont pas retrouvés sur chacune des espèces, la rue et le sainfoin en sont ainsi dépourvus. L'achillée et la centaurée ont attiré le plus d'auxiliaires spécifiques, soit respectivement 8 et 6 contre 4 dans le témoin. C'est cette première espèce qui possède le nombre de parasitoïdes spécifiques le plus haut : 15 contre 7 pour la flore spontanée.

- Auxiliaires capturés dans les aménagements par date

D'après l' Annexe 10, on peut voir que deux aspirations ont eu lieu au cours de l'hiver : celle du 21/12/2017 et celle du 19/02/2018.[27] Observer la présence des auxiliaires sur ces mois hivernaux (janvier, février, mars), nous permet de voir la capacité de chaque modalité à fournir un site d'hivernation aux auxiliaires. Ainsi, on peut voir que sur cette période, trois espèces, l'achillée, l'alysson et la centaurée ont hébergé davantage d'auxiliaires (prédateurs et parasitoïdes spécifiques et prédateurs généralistes) que le témoin. On peut tout de même remarquer que parmi ces trois espèces, seule la centaurée possède la capacité à fournir un site d'hivernation aux prédateurs spécifiques des pucerons. C'est également elle qui possède le nombre le plus important de parasitoïdes spécifiques de pucerons sur ces deux aspirations (5 contre 2 aspirés dans le témoin).

L'achillée, l'alysson et la centaurée semblent correspondre aux attentes vis à vis de l'entomofaune. Elles hébergent plus d'auxiliaires que le témoin et possèdent la capacité à fournir des refuges aux auxiliaires en hiver.

27 Cf. Annexe 10

- Familles d'auxiliaires

Pour chacune des différentes modalités, on constate que les Araneae et les Opiliones sont les familles les plus représentées et majoritaires dans les aspirations. Pour le sainfoin, ces familles représentent quasiment la totalité des individus, soit d'après le tableau en Annexe 11, 91 % des auxiliaires aspirés. [28]En comparaison au témoin, la centaurée semble favoriser les Staphylinidae (57 individus retrouvés contre 9), les Forficulidae, (16 contre 7), et les Aeolothripidae (8 contre 1). L'achillée a quant à elle hébergé plus d'Aphelinidae et de Braconidae que le témoin (15 contre 7). Pour cette première et la centaurée, on a également retrouvé deux fois plus de Coccinellidae que dans le témoin. Les Cantharidae présent en abondance respectivement dans la potentille.

Globalement, les prédateurs généralistes et notamment les Araneae et les Opiliones ont été nombreux dans les aspirations. Les Coccinellidae ont tout de même été favorisées dans la centaurée et l'achillée. Il en est de même pour les Aphelinidae et les Braconidae dans l'achillée.

3.2.3 Troisième site : station expérimentale du GRAB

- Auxiliaires capturés dans les aménagements sur la saison

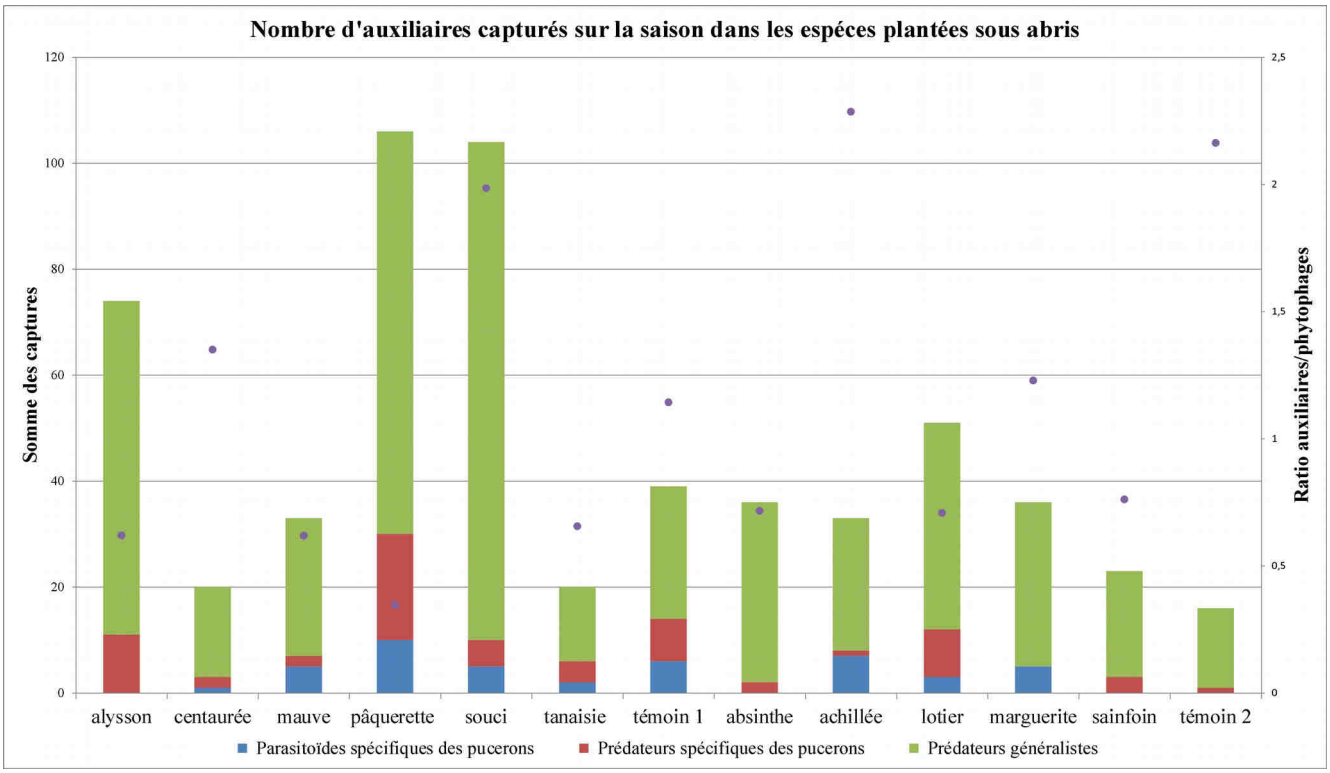


Figure 27 : Auxiliaires capturés dans les aménagements sur la saison sur la station expérimentale du GRAB

28 Cf. Annexe 11

Rappelons que pour ce site, le comptage des auxiliaires dans les aménagements correspond à des aspirations de 5 secondes par parcelle pure.

Sur l'ensemble des auxiliaires aspirés du 16/04/2018 au 30/07/2018 (6 aspirations au total), les différentes espèces ne se comportent pas de la même manière (cf. Figure 27). Il faut tout de même prendre en compte que cette somme des captures, n'a pas été réalisée sur le même nombre d'observations pour chaque espèce. Ainsi, sur la ligne est, la centaurée et la tanaisie n'ont pas été aspiré lors de la première observation.

Pour les vivaces plantées à l'automne, l'alysson, la pâquerette, et le souci ont attiré plus d'auxiliaires que le témoin (le témoin 1 correspond à la ligne est, plantée à l'automne) respectivement 74, 106 et 104 individus contre 39 pour le témoin. Parmi ces espèces, seule la pâquerette a un ratio auxiliaires/phytophages faible (environ 0,3) à cause d'un nombre important de pucerons aspirés qui peuvent être des proies de substitution. Pour les espèces plantées au printemps, toutes (absinthe, achillée, lotier, marguerite et sainfoin) ont abrité plus d'auxiliaires que le témoin (le témoin 2 correspond à la ligne ouest, plantée au printemps), avec une différence tout de même faible pour le sainfoin. L'achillée et la marguerite ont des ratios auxiliaires/phytophages élevés et possèdent ainsi un bon potentiel régulateur.

Les différents groupes d'auxiliaires ne sont pas présents pour chaque modalité. On constate que pour la marguerite, les prédateurs spécifiques des pucerons sont absents. De même, les parasitoïdes spécifiques ne sont pas représentés pour l'absinthe, l'alysson, le sainfoin et le témoin de la ligne ouest. En comparaison au témoin, la pâquerette, l'achillée, le lotier, et la marguerite sont des modalités ayant hébergé à la fois un nombre plus important d'auxiliaires, mais aussi plus d'auxiliaires spécifiques (parasitoïdes et prédateurs spécifiques). La pâquerette a notamment hébergé 20 prédateurs spécifiques et 10 parasitoïdes spécifiques contre respectivement 8 et 6 dans le témoin.

- Auxiliaires capturés dans les aménagements par date

D'après l'Annexe 12, on remarque qu'au printemps (aspirations du 16/04/2018 et du 17/05/2018), la pâquerette a hébergé des auxiliaires et plus particulièrement des parasitoïdes et des prédateurs

spécifiques des pucerons en nombre plus important que dans le témoin.[29] Ils sont également plus nombreux sur l'achillée, le lotier et la marguerite, mais les individus sont arrivés de façon plus tardive.

L'alysson, la pâquerette, le souci, l'absinthe, l'achillée, le lotier, et la marguerite ont hébergé plus d'auxiliaires que le témoin. Cependant, seulement pour la pâquerette, l' achillée, le lotier et la marguerite, les auxiliaires spécifiques étaient plus nombreux, et ceci dès le début du printemps pour la pâquerette.

- Familles d'auxiliaires

D'après l' Annexe 13, on peut voir que pour l'alysson, la centaurée, la mauve, le souci, la tanaisie, l'absinthe, et le lotier, la grande majorité des auxiliaires capturés sont des auxiliaires généralistes : des punaises prédatrices et Araneae et des Opiliones, et des Forficulidae.[30] D'autres familles représentent également des parts importantes pour certaines espèces végétales, telles que les Coccinellidae pour la pâquerette et le témoin 1, les Aphelinidae et Braconidae pour l'achillée, les Staphylinidae pour la marguerite, ou encore les Carabidae pour le témoin 2. En comparaison au témoin, la pâquerette semble favoriser les Staphylinidae (13 individus aspirés contre 0 pour le témoin). De même on observe que l'alysson et le lotier favorise les Syrphidae (respectivement 10 individus contre 0 dans le témoin et 6 individus contre 0) et le souci les punaises prédatrices. Aphelinidae et Braconidae sont quant à eux plus présents dans l'achillée (7 individus aspirés contre 0 dans le témoin 2), tout comme les Coccinellidae pour la pâquerette et le sainfoin (respectivement 18 contre 8 dans le témoin 1 et 3 individus contre 0 dans le témoin 2).

Malgré une part importante de punaises prédatrices et d'Araneae et d'Opiliones retrouvés pour de nombreuses modalités, certaines espèces favorisent la présence de prédateurs spécifiques. L'achillée a par exemple hébergé de nombreux parasitoïdes spécifiques : Aphelinidae et Braconidae. Pâquerette et lotier ont quant à eux attiré davantage de prédateurs spécifiques, respectivement des Coccinellidae et des Syrphidae.

3.3 Résultats dans la culture adjacente

Le traitement des données brutes nous a permis d'obtenir pour chaque zone d'observation, un nombre de pucerons total par plante. Ce nombre de pucerons présents dans les courgettes correspond à la somme des observations effectués sur 10 feuilles par plantes.

29 Cf. Annexe 12
30 Cf. Annexe 13

3.3.1 Effet de la distance à l'aménagement sur les pucerons présents dans la culture adjacente

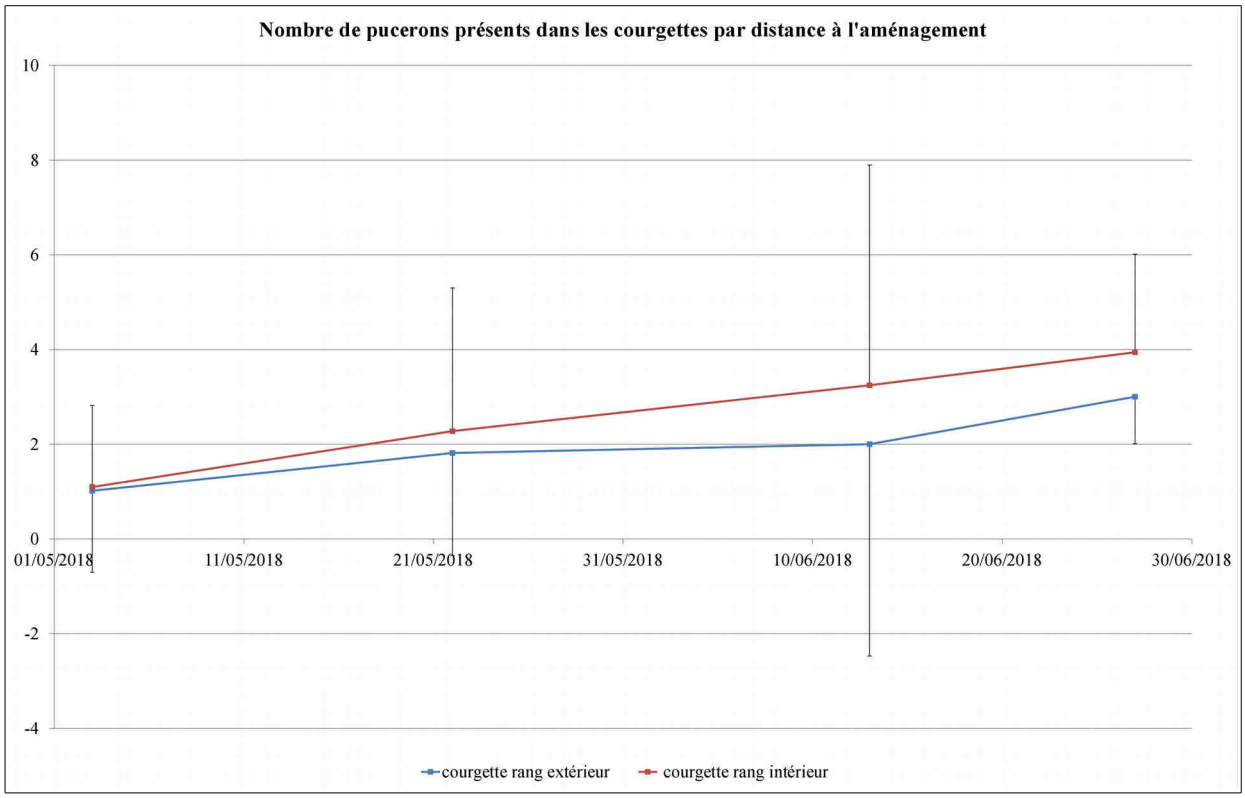


Figure 28 : Nombre de pucerons présents dans la culture adjacente par distance à l'aménagement en fonction des dates d'observations sur l'exploitation de M. Jayet Gendrot

D'après la figure 28, on peut voir que pour les deux modalités, rang extérieur et rang intérieur, la population de pucerons a eu tendance à augmenter au cours du temps. Cependant, on peut voir que les effectifs relevés restent faibles sur la saison. En comparant ces deux modalités, on remarque que l'attaque sur le rang de courgette intérieur et extérieur ont été quasiment similaire pour la première observation, le 03/05/2018. Par la suite, pour les trois autres observations (22/05/2018, 13/06/2018, et 27/06/2018) l'attaque sur le rang intérieur a été légèrement plus forte. On peut tout de même remarquer que lors de l'observation du 13/06/2018, les valeurs relevées étaient assez hétérogènes.

L'étude n'a pas permis de mettre en évidence un effet du facteur distance à l'aménagement sur le nombre de pucerons présents dans la culture adjacente (cf. Annexe 14).[31] Pour les différents dates d'observations, aucune différence significative n'a été relevée entre le nombre de pucerons observés dans les courgettes sur le rang extérieur et sur le rang intérieur. Pour la suite des analyses, le facteur distance a été mis de côté et les données brutes ont subi une transformation, avec l'aide de la racine

31 Cf. Annexe 14

carrée. Les distances (rang extérieur, situé à 2 m de l'aménagement et rang intérieur, situé à 3,5 m de aménagement) ont ainsi été cumulées et nous ont permis d'obtenir plus de répétitions pour notre analyse (6 répétitions par date, à la place de 3).

3.3.2 Effet de l'aménagement sur les pucerons présents dans la culture adjacente par dates d'observations

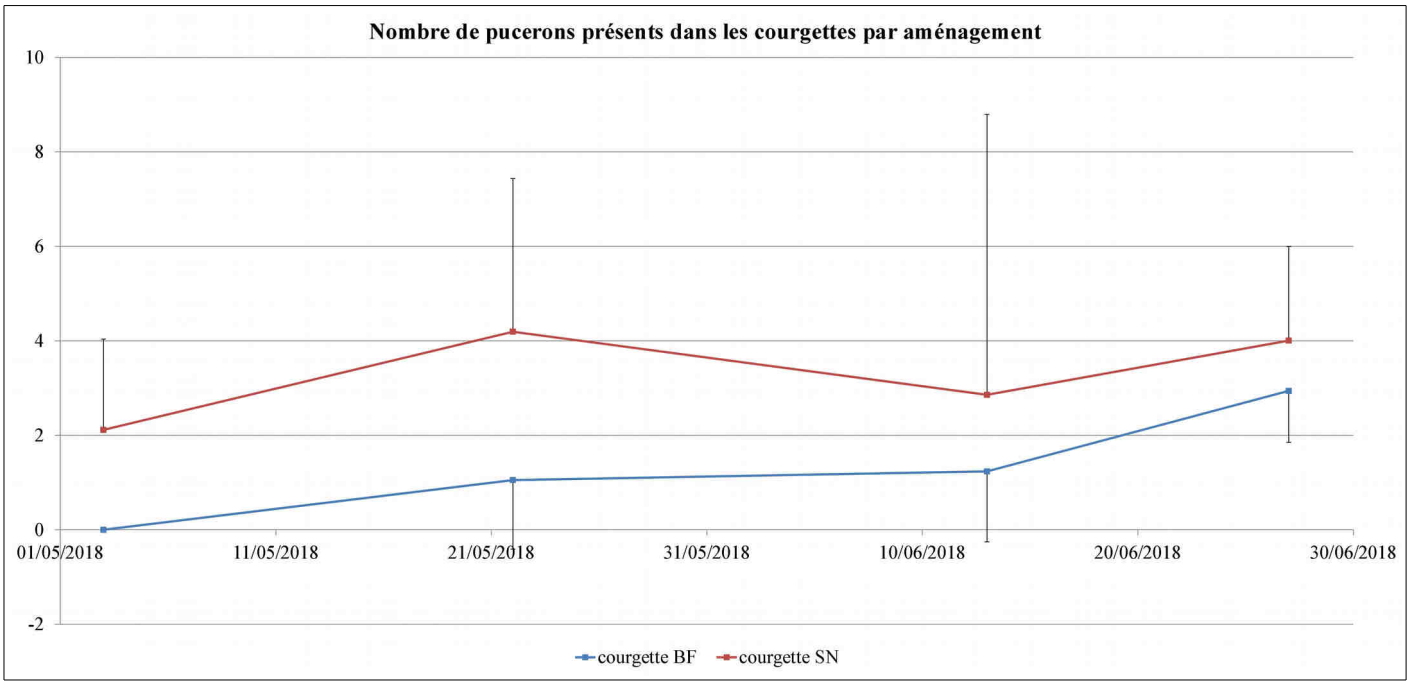


Figure 29 : Nombre de pucerons présents dans la culture adjacente par aménagement en fonction des dates d'observations sur l'exploitation de M. Jayet Gendrot

D'après la figure 29, on peut voir que dans le tunnel avec bande fleurie, les pucerons ont eu tendance à augmenter au cours du temps. Pour le tunnel sans bande fleurie, la tendance est différente. On a pu observer un pic d'attaque le 22/05/2018, une légère baisse le 13/06/2018, puis à nouveau une augmentation des attaques sur la dernière observation, le 27/06/2018. Cependant, l'écart type relevé sur l'observation du 10/06/2018 pour la modalité courgette SN, nous interroge tout de même sur cette légère baisse observée. En comparant les deux types d'aménagement, on remarque que pour les quatre observations, l'attaque semble plus importante dans les courgettes présentes dans le tunnel sans bande fleurie (courgette SN). Les valeurs relevées sont toutes supérieures à celles du tunnel avec bande fleurie.

L'impact de l'aménagement sur les pucerons retrouvés dans la culture adjacente à l'aménagement a été analysé statistiquement pour les différentes dates d'observations. Après transformation des données brutes, les résultats de l'ANOVA à 1 facteur en Annexe 14 mettent en évidence pour une date, le 03/05/2018, un effet du facteur type d' aménagement sur le nombre de pucerons, avec 3,3 % de risque d'erreur.[32] Un nombre significativement plus important de pucerons a ainsi été observé dans les courgettes côté sol nu (p-value inférieure à 0,05).

3.3.3 Effet de l'aménagement sur les pucerons présents dans la culture adjacente de manière globale

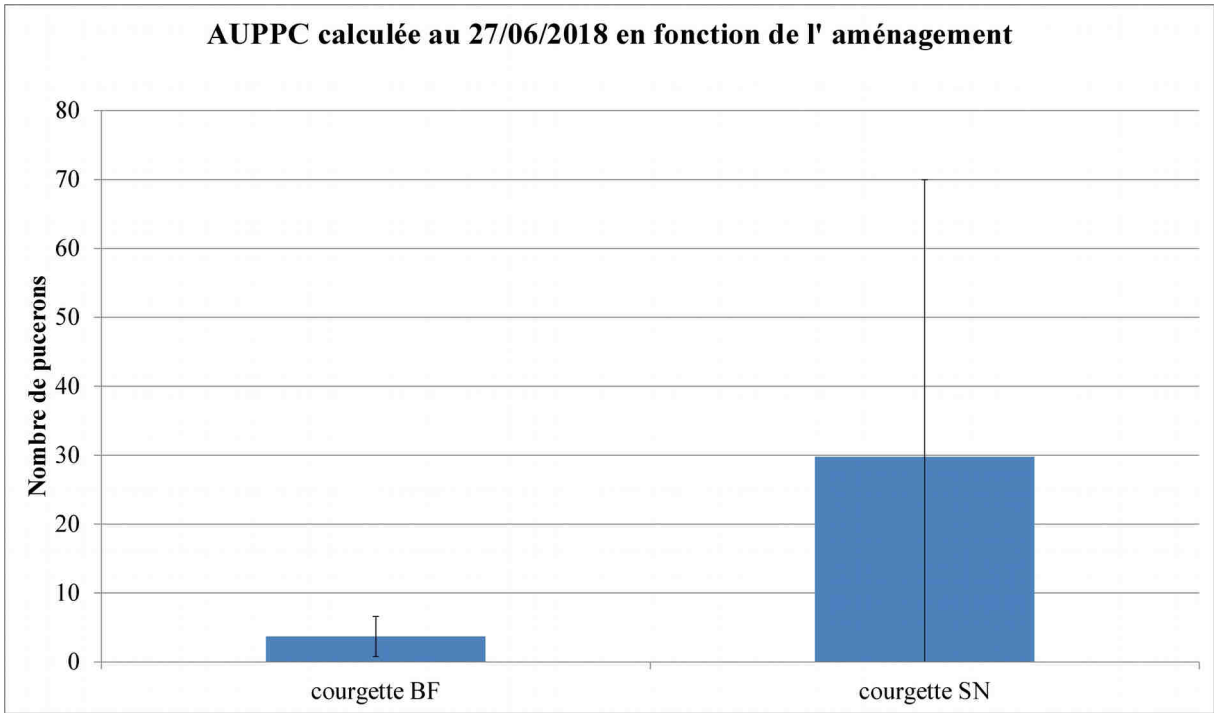


Figure 30 : AUPPC calculée sur l'exploitation de M. Jayet Gendrot

Lorsque l'on considère l'ensemble des dates, d'après la figure 30, qui présente les résultats de l' AUPPC des attaques de pucerons sur courgette selon les modalités, on constate que l'aire est plus grande coté sol nu : l'attaque a donc été plus importante. La modalité est donc moins efficace. L'écart type coté sol nu laisse tout de même apparaître une hétérogénéité au niveau des valeurs relevées. L' analyse statistique réalisée, n'a pas permis de mettre en évidence de différence significative entre les deux modalités (cf. Annexe 14).[33]

32 Cf. Annexe 14
33 Cf. Annexe 14

Partie 4. Discussion

4.1 Confrontation des résultats avec les hypothèses initiales

4.1.1 Gestion de l'enherbement dans certaines zones non productives

En contexte agroforestier, parmi les différentes vivaces plantées sur le rang, entre les arbres, on a pu identifier quatre espèces intéressantes vis à vis de l'enherbement : l'achillée, la potentille, la rue et la tanaisie. Ces espèces sont hautes et présentent des hampes florales qui s'affaissent latéralement, et correspondent ainsi aux attentes en terme d'occupation de l'espace.

Sous abris, sur la station expérimentale du GRAB, cinq espèces semblent très intéressantes pour gérer l'enherbement au pied des bâches. Il s'agit de l'absinthe, de l'alysson, de la pâquerette, du souci et de la marguerite. L'alysson, la pâquerette et la marguerite sont des espèces végétales basses, qui s'adaptent très bien en bord de tunnel. La pâquerette possède également l'avantage de ne pas être trop large, et ne gêne ainsi pas le passage au niveau des allées dans les tunnels. L'absinthe et la marguerite sont parmi ces cinq espèces, celles pour lesquelles les temps de désherbage étaient les plus faibles.

De ces deux situations, on peut noter que l'alysson, en contexte agroforestier ou sous abris, n'a pas eu un comportement semblable vis à vis des adventices. En effet, dans ce premier contexte, elle a eu du mal à prendre le dessus sur les adventices. À l'inverse, l'achillée et la tanaisie se sont bien comportées en extérieur pour leur troisième année de présence, mais sous abris elles ont présenté des recouvrements non satisfaisant en première année de présence. La tanaisie dans ce dernier contexte a notamment présenté des temps de désherbage élevés, en comparaison aux autres espèces plantées. En comparant nos résultats avec notre appréciation de l'état des bandes fleuries chez M. Jayet Gendrot, on remarque que pour l'alysson et le souci les conclusions sont similaires. Ces espèces ont présenté une bonne reprise et étaient toujours bien présentes en abord de tunnel malgré un nombre important d'adventices relevés dans les bandes fleuries. En fonction des contextes, des espèces candidates ont ainsi été sélectionnées.

Ces résultats sont tout de même à nuancer. En effet, sous abris, les résultats botaniques ne correspondent qu'à la première saison des espèces végétales, alors que ces bandes fleuries sont vouées à rester plusieurs années dans ces zones. Dans le cadre du projet PLACOHB, les suivis vont continuer l'année prochaine et il reste donc à confirmer si les espèces sélectionnées en première année seront les même l'an prochain. Notons que, un entretien tout particulier a été fait aux bandes fleuries plantées sous abris, avec un désherbage toutes les trois semaines, ce qui a peut être favorisé leur

développement. Relever les temps de désherbage effectués par les producteurs sur les deux autres sites aurait pu être intéressant et complémentaire à ces résultats.

4.1.2 Diversité et abondance des auxiliaires

Sur l'exploitation de M. Jayet Gendrot, peu de différence ont été observées au niveau de la diversité et de l'abondance des auxiliaires retrouvés dans les bandes fleuries (composées essentiellement d'achillée, d'alysson et de souci) et dans la flore spontanée. De nombreux adventices ont été relevées, notamment du Picris en fleur, dans les bandes fleuries et dans les abords spontanés (cf. Figure 31). La biodiversité en espèce végétales est donc riche dans les tunnels et un parasitisme naturel est présent. Ainsi, des momies dorées et des *Aphidius matricariae* ont été aspirés à la fois dans les bandes fleuries et les adventices, du fait de la présence de puceron sur les abords plantés ou spontanés, ce qui peut expliquer l'entomaufaune équivalente observée. Sur cet exploitation, la mise en place d'une bande fleurie dans un tunnel, n'a fait qu' améliorer une situation déjà assez bonne.

Figure 31 : Photo d'un abord spontané sur l'exploitation de M. Jayet Gendrot, photo personnelle

En contexte agroforestier, trois espèces semblent correspondent aux attentes vis à vis de l'entomofaune : l'achillée, l'alysson et la centaurée. Ces vivaces possèdent également la capacité à fournir des refuges aux auxiliaires en hiver.

Sous abris, sur la station expérimentale du GRAB, pour l'absinthe, l'achillée, l'alysson, le lotier, la marguerite, la pâquerette et le souci une abondance d'auxiliaires en comparaison au témoin a été observée. Cependant, ce n'est seulement que pour l'achillée, le lotier, la marguerite et la pâquerette pour lesquels les auxiliaires spécifiques étaient plus nombreux, et ceci dès le début du printemps pour la pâquerette. Cette dernière tout comme l'alysson étaient en fleur sur toute la saison et ont ainsi abrité une abondance d'auxiliaires, ce qui démontre bien le rôle de complémentation possible d'une bande fleurie.

En comparant ces trois sites, pour chacune des situations, l'achillée et l'alysson ressortent comme des espèces intéressantes en terme de diversité et d'abondance des auxiliaires. La centaurée qui, quant à elle, semblait intéressante en contexte agroforestier n'a pas fait ses preuves sous abris. Le souci présent dans le motif chez M. Jayet Gendrot et sous abris, s'est bien comporté en terme d'entomofaune dans les deux situations. Le sainfoin, implanté sous abris et en contexte agroforestier semble peu intéressant. Comme vu précédemment, il reste à voir si les tendances observées en première année de présence sur la station expérimentale du GRAB, seront les mêmes l'an prochain.

4.1.3 Espèce favorables aux auxiliaires des pucerons

Chez M. Jayet Gendrot, malgré une majorité de prédateurs généralistes (Araneae et Opiliones et Forficulidae) observées pour les deux modalités, l'achillée, l'alysson et le souci semblent favoriser les prédateurs spécifiques de la famille des Coccinellidae.

En contexte agroforestier, les prédateurs généralistes et notamment les Araneae et les Opiliones ont été nombreux dans les aspirations mais on a pu voir que les Coccinellidae ont tout de même été favorisées dans la centaurée et l'achillée. Cette dernière a également favorisé la présence de parasitoïdes aphidiphages de la famille des Aphelinidae et les Braconidae.

Sous abris, sur la ferme pilote de la Durette, les punaises prédatrices, les Araneae et les Opiliones ont été retrouvés en abondance pour de nombreuses modalités, et particulièrement les punaises prédatrices pour le souci. Cependant, l'achillée a favorisé la présence de nombreux parasitoïdes spécifiques : Aphelinidae et Braconidae. Pour la pâquerette et le lotier c'est les prédateurs spécifiques qui ont été privilégiés, respectivement des Coccinellidae et des Syrphidae.

Sur ces trois sites, les prédateurs généralistes restent présents en forte proportion avec une dominance d'Araneae et Opiliones, mais sont tout de même intéressants pour réguler les différents ravageurs. Des espèces favorables aux auxiliaires des pucerons ont cependant été identifiées. En contexte agroforestier et sous abris, l'achillée a eu tendance à favoriser les parasitoïdes spécifiques : Aphelinidae et Braconidae. Les Coccinellidae ont quant à eux été plus présents sur le motif, achillée, alysson, souci. Une tendance qui a pu à moitié se confirmer sur la ferme pilote de la Durette, avec une forte présence de Coccinellidae relevés dans l'achillée et également sur la centaurée. Sous abris, c'est une toute autre espèce qui a été identifiée comme favorable aux Coccinellidae : la pâquerette. Pour finir, dans cette dernière situation, une espèce intéressante vis à vis d'un des prédateurs spécifiques, les Syrphidae a été déterminée, il s'agit du lotier.

Des essais menés sur melon avaient révélé que les bandes fleuries ont un effet positif sur l'abondance des auxiliaires spécifiques au sein des bandes fleuries (Syrphidae et Coccinellidae) (Franoux, 2015).

En 2017, des essais ont également montré que l'achillée, l'alysson, la centaurée, et le lotier hébergeaient tous des auxiliaires spécifiques, ce que nous avons pu vérifier dans notre étude. Dans notre cas, nous avons pu confirmer l'effet positif des bandes fleuries sur la présence des auxiliaires spécifiques et identifier précisément certaines espèces végétales. L'achillée, la centaurée et la pâquerette sont de ce fait, des espèces intéressantes vis à vis des Coccinellidae, et il en est de même du lotier pour les Syrphidae. Notre étude nous a également permis de voir que l'achillée est une espèce privilégiant la présence des parasitoïdes spécifiques : Aphelinidae et Braconidae.

La fourniture de sources de nourriture par complémentation (nectar, pollen) et par supplémentation (proies alternatives) reconnue dans la bibliographie est confirmée par certains de nos résultats qui montrent bien que les bandes fleuries permettent d'attirer un plus grand nombre d'auxiliaires que le témoin.

4.1.4 Effet de la distance à l'aménagement sur les pucerons retrouvés dans la culture adjacente

L'effet de la distance à l'aménagement sur l'infestation en pucerons dans les courgettes n'a pas pu être démontré dans le cas de cette étude. Les résultats antérieurs du projet AGATH obtenus sur melon avaient démontré que jusqu'à 7 m de la bande fleurie, les auxiliaires pouvaient être significativement favorisés (Franoux, 2015). Les faibles effectifs de pucerons relevés dans la culture cette année, ne nous ont pas permis de trancher sur l'effet de la distance. Les BSV régionaux confirment cette tendance. Cette année de mi-mai à fin juin, le niveau de pression puceron observé sur courgette était de faible à moyen et n'est passé que de faible à élevée au 15 juin en fin de saison de production (Goillon et al., 2018). Un essai mis en place une année à forte pression puceron aurait peut être donné des résultats significatifs.

4.1.5 Effet de l'aménagement sur les pucerons retrouvés dans la culture adjacente

Sur l'exploitation de M. Jayet Gendrot, l'impact de l'aménagement sur les pucerons retrouvés dans les courgettes adjacentes à l'aménagement a été démontré de manière significative que sur la première date d'observation. La modalité bande fleurie a ainsi montré un niveau inférieur d'attaque pour cette date. De manière générale, les pucerons ont été très peu présents dans le tunnel de début mai à fin juin. Aucune intervention n'a d'ailleurs été pratiquée par l'exploitant durant la saison, car les taux d'infestations en pucerons sont restées raisonnables, dans le tunnel avec ou sans bande fleurie. Un essai mis en place une année à forte pression puceron aurait peut-être donné des résultats significatifs sur un plus grand nombre de dates d'observations. Globalement les résultats obtenus vont dans le sens de ceux observés antérieurement. Les essais de bandes fleuries semées aux abords des parcelles, portés

par le GRAB notamment sur culture de courge n'avaient pas montré d'effet des mélanges sur l'intensité d'infestation d'*Aphis gossypii* et la densité d'auxiliaires dans la parcelle de courge (Foucher, 2017).

4.2 Discussion général de l'essai

4.2.1 Dispositif expérimental

Pour les deux essais plantés en parcelle pure (Ferme pilote de la Durette et Station expérimentale du GRAB), la disposition était assez risquée. En effet, nos parcelles pures avaient une longueur de 6 m linéaires ou 5 m linéaires, avec une zone témoin de seulement 1 m sur la station expérimentale, des longueurs qui peuvent sembler petites. Nous ne pouvions pas exclure le fait que les auxiliaires peuvent se disperser d'une espèce à l'autre et viennent perturber les résultats obtenus pour notre témoin. Cependant, nos résultats laissent penser que ce n'est pas le cas. En comparant les résultats de deux voisins (l'alysson et la mauve sur la station expérimentale du GRAB), nous avons pu voir que les l'entomofaune observée est assez différente entre les deux.

Lors de notre étude la présence des auxiliaires dans la culture et le rendement des cultures n'ont pas été mesurés. Seul le nombre de pucerons a été observé sur les plants, mais nous n'avons pas connaissance de la répercussion de leur présence sur la production. En effet, une attaque de pucerons en fonction du stade de développement de la culture légumière, va avoir différentes conséquences et va notamment pouvoir impacter la nouaison et le rendement de la culture même si elle est régulée par les auxiliaires. Il semble très opportun d'orienter les travaux futurs vers ce genre d'observations.

4.2.2 Aspirations dans les bandes fleuries

La collecte des insectes avec l'aspirateur thermique possède l'inconvénient d'être une technique destructive, et de ce fait, de réduire la population d'auxiliaires potentiellement régulateur. De plus, les insectes de la famille des Syrphidae, qui sont des prédateurs spécifiques, sont très rarement aspirés avec cet appareil du fait de la rapidité de leur vol et des nuisances provoquées par la mise en marche de l'appareil. Pour dénombrer ces individus, une observation visuelle complémentaire serait utile. Dans notre cas, elle n'a cependant été pratiquée que sur un seul des sites suivis.

4.2.3 Analyse statistique

Plusieurs aspirations par espèce ou par motif auraient pu être pratiquées afin d'obtenir des répétitions statistiques. Cela nous aurait permis de voir date par date pour chaque site, l'effet de l'aménagement sur l'abondance et la diversité des auxiliaires, en effectuant des ANOVA sur ces mesures répétées. Cependant nos auxiliaires aspirés au sein des bandes fleuries ayant déjà des effectifs faibles pour

certaines dates et espèces, et notamment dans le cas des auxiliaires spécialistes, effectuer par exemple trois aspirations par parcelle, n'aurait peut être pas été judicieux. De plus ce protocole alourdi, aurait considérablement augmenté le temps d'observations et de tri des échantillons dans la saison.

Les différences non significatives observées sur l'effet aménagement et l'effet distance peuvent s'expliquer par une faible puissance à posteriori (33 % dans les deux cas), il faudrait refaire les essais avec plus de répétitions. De plus, un seul tunnel a été observé au cours de cette étude. Pour plus de rigueur statistique, analyser plusieurs tunnels, ayant le même dispositif aurait était judicieux. Il faut tout de même être conscient que cet essai a été mis en place chez un producteur et qu'il est le témoin d'une marge de manœuvre limitée. En effet, cela est parfois difficile d'avoir des tunnels possédants les mêmes caractéristiques (même date de plantation, même variété, etc.), qui font l'objet d'un essai. L' arrivée de nouveaux producteurs biologiques ayant des exploitations de plus en plus grandes, laisse cependant de belles opportunités quant à l'implantation d'essai biodiversité chez ces nouveaux maraîchers biologiques.

4.2.4 Régulation des pucerons

Comme vu précédemment, les pucerons ont été très peu présents dans les tunnels suivis chez M. Jayet-Gendrot, et par chance aucune intervention n'a été pratiquée par l'exploitant durant la saison. Cependant, si cet essai venait à être réimplanté une année avec une forte pression, le producteur devrait forcément traiter, compte tenu de la pression commerciale. Cependant, on peut se poser des questions sur le devenir de l'étude de l'impact d'une bande fleurie sur la population de pucerons dans la culture adjacente, si ceux-ci sont gérés par des produits. C'est donc pour cela que la mise en place de protocoles identiques à la fois chez des producteurs et sur des stations expérimentales aurait du sens.

Il faut également ajouter que lors de notre étude, les auxiliaires ont été traités en groupes fonctionnels (prédateurs spécialistes, parasitoïdes spécifiques aphidiphages et prédateurs généralistes), sans différencier les stades larvaires et adultes. Or, chez certains prédateurs, tels que les Cecidomyiidae et les Syrphidae, seule la larve prédate les pucerons et l'adulte est floricole. Les analyses pratiquées par famille d'auxiliaires nous ont tout de même permis d'observer des tendances intéressantes.

4.2.5 Importance du choix des espèces

Cet essai nous a permis de mettre en avant la double fonctionnalité des bandes fleuries : couvre-sol et zone refuge pour les auxiliaires indigènes. Des espèces comme l'achillée en contexte agroforestier ou encore l'alysson, la pâquerette et le souci sous abris semblent pouvoir à la fois contrôler efficacement les adventices et attirer un grand nombre d'auxiliaires. Pour d'autres comme la centaurée en contexte

agroforestier ou le lotier sous abris, c'est plutôt la fonction promotion de la biodiversité qui ressort. Cela nous démontre bien l'existence d'espèces potentiellement intéressantes, mais qui sont à adapter au contexte où elles sont plantées. L'essai sur la station expérimentale du GRAB nous a ainsi permis de voir que la centaurée est une espèce qui possède une hampe florale qui peut s'affaisser latéralement et de ce fait gêner le passage dans le tunnel. La pâquerette est quant à elle une espèce peu large donc intéressante en abords de tunnel plastique. La hauteur, la largeur, etc, peuvent être des éléments de choix lors de la mise en place d'une bande fleurie. Il est de ce fait important de réaliser des bancs d'essai pour le choix des espèces. Au cours de la saison, au printemps 2018, les premiers résultats obtenus sur la station expérimentale et la ferme pilote de la Durette ont permis de sélectionner 5 espèces intéressantes qui ont été mises en place à plus grande échelle. Un motif composé de centaurée, d'achillée, de souci, de lotier et d'alysson, planté entre deux arbres a ainsi été mis en place sur la ferme. Les espèces hautes soit la centaurée et l' achillée ont été implantées plus proches des arbres et les espèces plus basses, l'alysse et le lotier au centre, ce qui est censé favoriser le transfert des Araneae vers les arbres.

4.2.6 Les bandes fleuries implantées au sein d'exploitation

Le suivi des espèces pures a nécessité que les parcelles soient très peu enherbées. Dans notre étude, une attention particulière leur a été réservée et leur entretien n'a pas été négligé. De plus, planter des bandes fleuries nécessite un temps de travail important à l'implantation contrairement à des semis. Notre étude n' a pas intégré et quantifié l'exigence en main d'œuvre, par exemple pour l'entretien, la préparation du sol, la plantation, la mise en place de l'irrigation, etc. Par la suite, cela nous semble donc primordial à mener. Une étude du coût d'installation pourrait également compléter cette étude afin d'apporter un côté plus pratique à ces expérimentations.

Sur les différents sites expérimentaux, aucune analyse de l' environnement paysager n'a été effectuée. Ce dernier est cependant régulateur des populations d'auxiliaires et fait partie intégrante de la lutte biologique par conservation. Procéder à sa caractérisation, dans le cas de futures expérimentations, serait une piste à explorer afin d'évaluer la richesse déjà présente sur place et l'aspect fonctionnel que celle ci pourrait avoir. Ainsi, les variabilités observées d'un site à l'autre illustrent bien l'importance du choix d'espèces appropriées à l'environnement ou elles vont être plantées.

Notre étude s'est déroulée sur une seule saison, or les équilibres écologiques mettent un certain temps pour se stabiliser. Réaliser des suivis sur plusieurs années permettrait d' appréhender l'équilibre de l'agroécosystème et est totalement cohérent dans le cas d'espèces vivaces.

Partie 5. Qualité de vie au travail et management

Au cours de ma mission, la compétence que j'ai cherché à développer est celle d' intégrer la QVT[34] dans la performance globale. Ainsi, j'ai souhaité contribuer au développement d'un environnement de travail propice à la performance et à la santé. Pour se faire, mon attention s'est tournée vers divers éléments.

Dans un premier temps, effectuer mon travail de manière la plus rigoureuse et méthodique possible m'a permis de me sentir en adéquation avec les attentes de mon maître de stage et d'augmenter la qualité du contenu du travail de la structure.

Un autre élément important durant mon stage était la qualité des relations de travail. Dès mon arrivée au GRAB, je me suis sentie bien accueillie et intégrée. Par la suite, j'ai cherché à favoriser cette bonne ambiance et entente entre collègues, en essayant d' être le plus à l'écoute de l'autre et de porter un intérêt à chaque membre de l'équipe. Discuter avec les autres et participer aux moments collectifs ont favorisé les relations de travail. Des moments conviviaux ont notamment été organisés par notre équipe de stagiaire (repas partagé), ce qui a participé à renforcer la convivialité au sein de l'entreprise et le bien être des personnes sur leur lieu de travail.

La qualité de l'information partagée au sein de l'entreprise est également un point auquel j'ai accordé de l'importance. Rendre compte du travail effectué, et à faire, des problèmes rencontrés à mon maître de stage et aux autres personnes pouvant être concernées, m'a permis de mieux réussir mon étude. Travailler et échanger avec des personnes qui n'avaient pas les mêmes connaissances que moi a été très formateur. Chacun peut ainsi mettre à disposition ses points forts, augmenter ses connaissances et compétences et fournir un travail de qualité. La dynamique d 'équipe renforcée par ces échanges a participé au bon déroulement des projets de la structure, et semble donc essentielle.

Concernant l'environnement physique du travail, j'ai cherché à favoriser un environnement propre et rangé des espaces partagés. Ayant utilisé des espaces (ex : laboratoire) et des outils communs, j'ai veillé à les remettre dans leur état initial en fin d' utilisation. Chacun pouvant ainsi s'y retrouver par la suite et ne pas perdre de temps à devoir réorganiser son espace de travail.

Enfin, être responsable de certaines tâches et chercher à être la plus autonome possible, a fait émerger en moi une certaine forme de sentiment d'appartenance à l'équipe professionnelle et m'a ainsi poussé à fournir un travail de qualité, bénéfique dans la performance globale de la structure.

34 Voir Table des sigles et des abréviations

Conclusion

Dans le cadre de notre étude, l'impact des bandes fleuries plantées est assez encourageant quant à la gestion de l'enherbement en culture maraîchère biologique. Des recouvrements importants ont pu être observés pour certaines espèces, qui à terme pourraient être sélectionnées et utilisées comme plantes couvre-sol en maraîchage. Ces espèces candidates différent selon le contexte. Sous abris, les espèces intéressantes sont l'absinthe, l'alysson, la marguerite, la pâquerette et le souci, alors qu'en contexte agroforestier on a pu identifier l'achillée, la potentille, la rue et la tanaisie.

Les différentes espèces testées ont également montré que pour certaines, l'abondance et la diversité des auxiliaires sont plus importantes en comparaison à la flore spontanée du témoin. Là aussi on observe des différences en fonction des contextes, mais il existe également des points communs. Sous abris, l'absinthe, l'alysson et le souci sont des espèces candidates, et plus particulièrement l'achillée, le lotier, la marguerite et la pâquerette qui hébergent plus d'auxiliaires spécifiques que le témoin. En contexte agroforestier, on retrouve l'achillée, l'alysson et la centaurée. Les prédateurs généralistes, notamment des Araneae et des Opiliones, restent majoritaires dans les aménagements mais des espèces favorables aux auxiliaires des pucerons ont tout de même été identifiées. L'achillée a par exemple eu tendance à favoriser les parasitoïdes spécifiques : Aphelinidae et Braconidae. Sous abris, le lotier a hébergé des Syrphidae et la pâquerette des Coccinellidae. Ces derniers ont également été abondants sur l'achillée et la centaurée en contexte agroforestier.

Parmi les vivaces testées, l'achillée en contexte agroforestier, l'alysson, la pâquerette et le souci sous abris possèdent un fort potentiel à la fois de gestion de l'enherbement et du maintien de l'entomofaune. Ces potentiels dans différents contextes peuvent par la suite être déployés sur des surfaces importantes. C'est notamment ce qui a été initié sur la ferme pilote de la Durette au printemps 2018.

L'effet des bandes fleuries plantées sous abris, sur la régulation des populations de pucerons dans les cultures adjacentes n'a pas été clairement mis en évidence. Il en est de même pour l'effet de la distance à l'aménagement sur la régulation de ces ravageurs.

Même si l'effet de la réduction des populations de pucerons reste difficile à mettre en évidence, notre étude nous a confirmé la capacité des bandes fleuries à renforcer la présence d'auxiliaires à proximité des culture. Ces bandes fleuries pérennes fournissent de la nourriture et semblent pouvoir jouer un rôle de complémentation (nectar, pollen) et/ou de supplémentation (proies alternatives) vis à vis des ennemis naturels.

Les résultats de ces expériences restent probants quant à l'effet de ces bandes pérennes sur la gestion des adventices et la présence des auxiliaires, mais ils illustrent la complexité d'analyse de l'impact de ces bandes fleuries. Obtenir des chiffres quant à l'efficacité de ces bandes fleuries restent difficiles. Des suivis effectués sur du long terme, avec des essais pluriannuels sont à prévoir. Ces essais ont également montré que l'implantation des bandes fleuries doit être réfléchie. Une irrigation doit être mise en place pour améliorer leur installation et des désherbages répétés sont à effectuer, afin d'optimiser leur potentiel régulateur. Les bandes fleuries plantées paraissent avoir besoin de beaucoup de temps de travail, et il reste à voir si leur entretien est important seulement les premières semaines et mois, ou si elles se maintiennent dans le temps. L'implantation de fleurs dans un lieu à contrainte économique doit ainsi prendre en compte le temps prévu à leur mise en place et leur entretien.

De plus, il n'existe actuellement pas de garantie de résultats avec ce type d'infrastructure agroécologique sur l'efficacité du contrôle biologique. Co-concevoir avec les producteurs des stratégies pour optimiser le service rendu et minimiser les contraintes est nécessaire dans la mise en place de ce dispositif améliorant la biodiversité fonctionnelle. Avant chaque installation, une phase de diagnostic par rapport à la flore spontanée et de discussion avec le producteur est donc primordial pour ne pas rajouter du travail sans efficacité. En effet, la flore spontanée peut également jouer un rôle sur la biodiversité fonctionnelle. Une bande fleurie doit être réfléchie pour chaque contexte d'exploitation, et n'est bien qu' un outil parmi d'autres dans la gestion des ravageurs. La combinaison des méthodes de lutte biologique est essentielle dans la régulation de populations d'ennemis naturels.

Mobiliser différentes connaissances, aussi bien sur la biologie des taxons (auxiliaires, ravageurs), que d'une manière plus générale sur les domaines de l'écologie, de l'écologie du paysage, et de l'agronomie semble opportun dans la gestion durable des exploitations. Implanter une bande fleurie se fait à une échelle locale, mais un territoire peut avoir une influence sur la régulation des ravageurs de cultures. Les nombreuses rotations pratiquées sur les exploitations maraîchères, a pour conséquence de les confronter à divers ravageurs et impose de ce fait la présence d'une grande diversité de l'agroécosytème. Différentes échelles d'étude et ou d'action sont donc indispensables dans le cadre de ces approches expérimentales de manipulation des populations. Il reste à souligner que le producteur propose, mais c'est bel et bien que la nature qui dispose.

Cette mission de fin d'étude qui m'a été confiée m'a permis d'en apprendre davantage sur la recherche appliquée et ses principes, en continuité de mes expériences antérieures. Mes recherches bibliographiques et les échanges que j'ai pu avoir avec divers acteurs m'ont permis de réaliser un travail de synthèse, qui m'a confirmé l'importance de la documentation et de la prise d'information

pour comprendre le contexte d'une étude. Une phase de démarrage qui est à mon sens fondamentale pour atteindre le meilleur des résultats.

Au cours de ces six mois, j'ai pris conscience de la part de subjectivité de tout discours, qu'il faut savoir prendre avec un certain recul pour éviter toutes formes de transformation et d'idéologie. De plus, la part de notre propre subjectivité est également à prendre en considération. Observer le fonctionnement de ses collaborateurs et de son propre travail, est nécessaire afin d'apporter un regard critique et de minimiser les sources de biais lors d'une étude. Un ingénieur doit être en mesure de se remettre en question, être conscient de ses compétences et de leurs limites afin de satisfaire aux objectifs confiés lors d'une mission. C'est dans ce cadre que les échanges avec des partenaires d'autres disciplines sont primordiaux pour objectiver et ne pas prendre parti dans une analyse.

La mise en place d'essai directement chez des producteurs m'a de plus appris à rester humble. En effet, les producteurs ont énormément de connaissances acquises de leur propre expérience qu'ils peuvent nous transmettre. Ce sont pour moi celles qui ont le plus de valeurs. De plus, il ne faut pas oublier que ces producteurs vivent de leur métier et que le technicien n'est là que pour l'accompagner et proposer. Imposer la mise en place d'un dispositif doit être fait sans oublier les conséquences que celui-ci peut avoir de façon négative sur la production. Être à l'écoute du producteur, et se mettre à son niveau est pour moi la seule manière d'implanter un essai dans les meilleures des conditions.

Pour finir, en tant que future diplômée de l'ISARA, je suis désormais convaincue que la mise à jour de ses connaissances et de ses compétences ne peut se faire sans une ouverture aux autres, qui permet de progresser sur l'aspect technique, méthodologique et humain, autant dans le domaine professionnel que personnel.

Références bibliographiques

AGENCE BIO. La bio dans les territoires [en ligne]. 2017. Disponible sur : http://www.agencebio.org/la-bio-dans-les-regions#fiche_region [Consulté le 21 mars 2018].

AGRESTE. Premières tendances dans le Vaucluse. Agreste Provence Alpes Côte d'Azur [en ligne], 2011[a], n° 69, Disponible sur : http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf_D8411A01-2.pdf [Consulté le 21 mars 2018].

AGRESTE. Premières tendances dans les Bouches-du-Rhône. Agreste Provence Alpes Côte d'Azur [en ligne], 2011[b], n° 64, Disponible sur : http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf_D1311A01-2.pdf [Consulté le 21 mars 2018].

ALTIERI Miguel. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1999, 74 pp 19–31.

BLANCHART Eric, TOURDONNET Stéphane. Les services écosystémiques. 2014. [en ligne]. Disponible sur : http://www.supagro.fr/ress-pepites/servicesecosystemiques/co/ServicesEcosystemiques.html# [Consulté le 16 mars 2018].

BOROWIEC Nicolas, FLEISCH Alexandre, KREITER Philippe, TABONE Elisabeth, MALAUSA Thibaut, FAUVERGUE Xavier, QUILICI Serge, RIS Nicolas, MALAUSA Jean-Claude. Lutte biologique classique et insectes phytophages. PHYTOMA – La Défense des Végétaux [en ligne], 2011, n° 647, pp 16-20. Disponible sur : http://www2.sophia.inra.fr/perso/fauvergue/publications/borowiec11.pdf [Consulté le 21 mars 2018].

BOUVY Marc, Blanchart Eric, BRAUMAN Alain. Biodiversité fonctionnelle. 2010. [en ligne] Disponible sur : http://www.agropolis.fr/biodiversite/ch2-biodiversite-fonctionnelle.php [Consulté le 24 avril 2018].

CHAMBRES D'AGRICULTURE PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR. Agriculture biologique. [en ligne]. 2016. Disponible sur : http://www.paca.chambres-agriculture.fr/notre-agriculture/agriculture-biologique/ [Consulté le 21 mars 2018].

CHAUBET Bernard. Antagonistes. [en ligne]. 2017. Disponible sur : https://www6.inra.fr/encyclopedie-pucerons/Pucerons-et-milieu/Antagonistes [Consulté le 23 mars 2018].

CHAUBET Bernard, HULLÉ Maurice, TURPEAU Évelyne. Glossaire. [en ligne]. 2011. Disponible sur : https://www6.inra.fr/encyclopedie-pucerons/Glossaire [Consulté le 21 mars 2018].

CHAUBET Bernard, HULLÉ Maurice, TURPEAU Évelyne. Mode de dispersion. [en ligne]. 2013. Disponible sur : https://www6.inra.fr/encyclopedie-pucerons/Qu-est-ce-qu-un-puceron/Mode-de-dispersion [Consulté le 23 mars 2018].

CHAUBET Bernard, HULLÉ Maurice, TURPEAU Évelyne. Les insectes prédateurs de pucerons. [en ligne]. 2016[a]. Disponible sur : https://www6.inra.fr/encyclopedie-pucerons/Especes/Predateurs-insectes[Consulté le 23 mars 2018].

CHAUBET Bernard, HULLÉ Maurice, TURPEAU Évelyne. Caractères généraux des cycles. [en ligne]. 2016[b]. Disponible sur : https://www6.inra.fr/encyclopedie-pucerons/Qu-est-ce-qu-un-puceron/Cycles-biologiques [Consulté le 21 mars 2018].

CHAUBET Bernard, HULLÉ Maurice, TURPEAU Évelyne. Prédateurs. [en ligne]. 2016[c]. Disponible sur : https://www6.inra.fr/encyclopedie-pucerons/Pucerons-et-milieu/Antagonistes/Predateurs [Consulté le 23 mars 2018].

CHAUBET Bernard, HULLÉ Maurice, TURPEAU Évelyne. La taxonomie des pucerons. [en ligne]. 2017. Disponible sur : https://www6.inra.fr/encyclopedie-pucerons/Qu-est-ce-qu-un-puceron/Taxonomie [Consulté le 21 mars 2018].

DEDRYVER Charles-Antoine. Les pucerons : biologie, nuisibilité, résistance des pantes. [en ligne]. In : Journées Techniques Fruits et Légumes Biologiques-Atelier maraîchage, Angers, 2010. ACTA, 2010, pp. 23-26. Disponible sur : http://www.itab.asso.fr/downloads/actes/actesfl2010web.pdf [Consulté le 22 mars 2018].

DETEMPLE Camille. Utilisation de plantes couvre-sol pour le contrôle des adventices et la promotion de la biodiversité. Mémoire de fin d'études. Université d'Angers : 2017, 21 p.

DEVENAT Bernard, LAURIE Annie. Ravageurs aériens : comment lutter en maraîchage bio ? L'Agriculture Drômoise [en ligne], 2011, n°1994, p. 22. Disponible sur : http://rhone-

alpes.synagri.com/synagri/pj.nsf/46b50bbadf2cf901c1256c2f0041b9a7/7cee875a83e8cdeac12578a7004a207b/$FILE/110606_ravageurs_aeriens.pdf [Consulté le 21 mars 2018].

DUCASSE-COURNAC Anne-Marie, LECLERC Blaise. Chapitre 8 : La qualité écologique : impacts de toute la chaîne sur l'environnement. In : La qualité des produits de l'agriculture biologique. Paris : ITAB, 2000, pp. 33-42.

DUNNING John B., DANIELSON Brent J., PULLIAM H. Ronald. Ecological Processes That Affect Populations in Complex Landscapes. Oikos, 1992, Vol. 65, n° 1, pp. 169-175.

EILENBERG J., HAJEK A., LOMER C.. Suggestions for unifying the terminology in biological control. BioControl, 2001, n° 46, pp 387–400.

ESTIVAL Simon. Suivi des essais de gestion-agroécologique des pucerons. Biodiversité fonctionnelle en maraîchage et arboriculture. Mémoire de fin d'études. Toulouse : ENSAT, 2016, 52 p.

FERRON Pierre. La lutte biologique : définition, concept et stratégie. Dossiers de l'Environnement de l'INRA [en ligne], 1999, La lutte biologique (II), n°19, pp. 7-18. Disponible sur : http://www7.inra.fr/dpenv/ferlbd19.htm [Consulté le 21 mars 2018].

FOUCHER Lise. Evaluation de l'impact de bandes fleuries sur la régulation de pucerons en verger de pommier et culture de courge. Mémoire de fin d'études. Montpellier : Montpellier SupAgro, 2017, 88 p.

FRANOUX Laura. Gestion agroécologique du puceron Aphis gossypii en culture de melon. Biodiversité fonctionnelle et bandes fleuries. Mémoire de fin d'études. Beauvais : LaSalle Beauvais , 2015, 64 p.

FRAVAL Alain. Insectes auxiliaires : la lutte biologique. [en ligne]. 1999 Disponible sur : http://www7.inra.fr/opie-insectes/luttebio.htm [Consulté le 21 mars 2018].

FRAVAL Alain. Les pucerons - 1ère partie. Insectes. [en ligne], 2006, n°141, pp. 3-8. Disponible sur : http://www7.inra.fr/opie-insectes/pdf/i141fraval1.pdf [Consulté le 21 mars 2018].

GOILLON Claire, HAULBERT Thomas, IZARD Daniel, TAUSSIG Catherine. Maraîchage. Bulletin de Santé du Végétal Provence Alpes Côte d'Azur [en ligne], 2018, n°171, p. 19. Disponible sur :

http://draaf.paca.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/bsv_maraichage_no171_du_15_Juin_2018_cle4134df.pdf [Consulté le 13 août 2018].

GURR G.M., SCARRATT S. L., WRATTEN S.D., BERNDT L., IRVIN N. Chapitre 1 Ecological engineering, habitat manipulation and pest management. In : Ecological engineering for pest management. Advances in Habitat Manipulation for Arthropods. [en ligne]. Collingwood : CSIRO, 2004, pp. 1-13. Disponible sur : https://biocontrol.ucr.edu/irvin/ecological_engineering_gurr_et_al.pdf [Consulté le 31 mars 2018].

HAALAND Christine, E. N AISBIT Russell, BERSIER Louis-Félix. Sown wildflower strips for insect conservation: a review. Insect Conservation and Diversity, 2011 ,n°4, pp. 60-80.

HATT Séverin, UYTTENBROECK Roel, BODSON Bernard, PIQUERAY Julien, MONTY Arnaud et FRANCIS Frédéric. Des bandes fleuries pour la lutte biologique : état des lieux, limites et perspectives en Wallonie – Une synthèse bibliographique. Entomologie Faunistique - Faunistic Entomology, 2015, n°68, pp. 159–168.

HULLÉ Maurice, TURPEAU-AIT IGHIL Évelyne, ROBERT Yvon et MONNET Yves. Les pucerons des plantes maraîchères. Cycles biologiques et activités de vol. Paris : INRA, 1999, 136 p.

JALOUX B. Régulation bio-écologique des ravageurs aériens à l'échelle de la parcelle agricole. [en ligne]. UC Agroécologie. Accroître la biodiversité fonctionnelle naturelle pour renforcer les régulations biologiques. Présentation de cours. Agrocampus Ouest, 07 février 2017. Disponible sur : https://tice.agrocampus-ouest.fr/pluginfile.php/33023/mod_resource/content/3/Intervention%20Agro%C3%A9cologie%20%20B%20Jaloux%202016%20comp.pdf [Consulté le 29 mars 2018].

LAMBION Jérôme. Les pucerons : une gestion qui se joue à plusieurs niveaux. [en ligne]. In : Journées Techniques Fruits et Légumes Biologiques-Atelier maraîchage, Angers, 2010. ACTA, 2010, pp. 19-21. Disponible sur : http://www.itab.asso.fr/downloads/actes/actesfl2010web.pdf [Consulté le 22 mars 2018].

LAMBION Jérôme. Gestion des pucerons en maraîchage biologique. Alter-Agri [en ligne], 2011, n°106, pp. 25-26. Disponible sur : http://abiodoc.docressources.fr/doc_num.php?explnum_id=1495 [Consulté le 22 mars 2018].

LAMBION Jérôme. La biodiversité fonctionnelle en maraîchage. Un outil pour protéger les cultures contre les ravageurs. Les essais en cours au GRAB. [en ligne]. In : Journées Ref Bio PACA. Biodiversité fonctionnelle et aménagements paysagers, Avignon, 2016. Disponible sur : http://www.grab.fr/wp-content/uploads/2016/09/6-J.LAMBION-biodiversit%C3%A9-en-maraichage.pdf [Consulté le 4 mai 2018].

LAMBION Jérôme. Biodiversité fonctionnelle en maraîchage biologique : bandes fleuries de vivaces plantées dans les abris pour favoriser les ennemis naturels des pucerons. Document interne : compte-rendu d'essai. 2017.

LAMBION Jérôme. Accompagner des agriculteurs pour mettre en place concrètement des dispositifs améliorant la biodiversité fonctionnelle. Dispositif 2017. Document interne : compte rendu d'actions menées auprès des producteurs. 2018.

LAMBION Jérôme, CELLIER Marion (stagiaire). Biodiversité fonctionnelle en maraîchage biologique : Aménagement de l'environnement parcellaire : une nouvelle piste pour renforcer l'efficacité des auxiliaires naturels et améliorer la résistance génétique aux pucerons ? [en ligne]. Maraîchage. 2012. Disponible sur : http://www.grab.fr/wp-content/uploads/2014/07/L12PACA26_Pucerons.pdf [Consulté le 26 mars 2018].

LASCAUX Émilie. Lutte biologique contre les pucerons : auxiliaires, stratégies et perspectives en cultures maraîchères et en fraise. [en ligne]. In : Journées Techniques Fruits et Légumes Biologiques-Atelier maraîchage, Angers, 2010. ACTA, 2010, pp. 33-37. Disponible sur : http://www.itab.asso.fr/downloads/actes/actesfl2010web.pdf [Consulté le 22 mars 2018].

LE ROUX Xavier, BARBAULT Robert, BAUDRY Jacques, BUREL Françoise, DOUSSAN Isabelle, GARNIER Eric, HERZOG Félix, LAVOREL Sandra , LIFRAN Robert, ROGER-ESTRADE Jean, SARTHOU Jean-Pierre, TROMMETTER Michel. Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies. [en ligne]. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, France : INRA, 2008, 113 p. Disponible sur : http://inra.dam.front.pad.brainsonic.com/ressources/afile/234057-4fc50-resource-expertise-agriculture-et-biodiversite-synthese.html [Consulté le 16 mars 2018].

LEGRAND Mickael. Produits de traitement utilisables contre les pucerons en maraîchage biologique : synthèse des essais et pistes envisagées. [en ligne]. In : Journées Techniques Fruits et Légumes Biologiques-Atelier maraîchage, Angers, 2010. ACTA, 2010, pp. 27-31. Disponible sur : http://www.itab.asso.fr/downloads/actes/actesfl2010web.pdf [Consulté le 22 mars 2018].

LETOURNEAU Deborah K, BOTHWELL Bothwell Sara G. Comparaison of organic and conventional farms : challenging ecologists to make biodiversity functional. Frontiers in Ecology and the Environment, 2008, 6, pp. 430–438.

MÉTÉO FRANCE. Données climatiques de la station de Carpentras. [en ligne]. 2018. Disponible sur : http://www.meteofrance.com/climat/france/carpentras/84031001/normales [Consulté le 16 avril 2018].

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION. Bandes enherbées et/ou fleuries. [en ligne]. 2014. Disponible sur: http://agriculture.gouv.fr/bandes-enherbees-etou-fleuries [Consulté le 19 mars 2018]

NATAGRIWAL. 1995 – 2015 : 20 années de Mesures Agro-Environnementales (MAE) en Wallonie [en ligne] Dossier de presse. 2015. Disponible sur : https://www.natagriwal.be/sites/default/files/kcfinder/files/Newsletter/Dossier_presse_20_ans_MAE.pdf [Consulté le 20 mars 2018]

OBSERVATOIRE NATIONAL DE L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE. Communiqué : L'Agriculture Biologique en PACA [en ligne]. 2016. Disponible sur : http://www.bio-provence.org/COMMUNIQUE-L-Agriculture-Biologique-en-PACA-Chiffres-fin-2016 [Consulté le 21 mars 2018].

ORGANISATION DES NATIONS UNIES. Convention sur la diversité biologique. [en ligne]. 1992, Traité international, 32 p. Disponible sur : https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-fr.pdf [Consulté le 12 mars 2018].

PAIN Guillaume. Agroécologie, échelle, niveaux d'organisation. DA AGRECINA module Agir à l'échelle des territoires et des paysages. Angers, 01 décembre 2017.

PICAULT Sébastien. Biodiversité fonctionnelle en cultures légumières de plein champ. Une approche agroécologique de la protection des cultures : le projet Biodivleg. Infos-Ctifl [en ligne], 2009, n°254, pp. 42-47. Disponible sur : http://www.ctifl.fr/ecophytopic/infos_ctifl/infos%20254/254p42-47.pdf [Consulté le 30 mars 2018].

PICAULT Sébastien, LAMBION Jérôme, BOUVARD David, DEBOEVRE Sandrina, LAVIGNE Daniel, SCHOENY Alexandra, La colonisation de pucerons en cultures de melon. L'emploi des

bandes fleuries comme outil de régulation. Infos-Ctifl [en ligne], 2017, n°331, pp. 21-29. Disponible sur : http://www.ctifl.fr/ecophytopic/infos_ctifl/infos331/331p21-29.pdf [Consulté le 30 mars 2018].

PIFFNER LUKAS, WYSS Eric. 2004. Chapitre 11: Use of sown wildflower strips to enhance natural enemies of agricultural pests. In : Ecological engineering for pest management. Advances in Habitat Manipulation for Arthropods. [en ligne]. Collingwood : CSIRO, 2004, pp. 165-186. Disponible sur : https://biocontrol.ucr.edu/irvin/ecological_engineering_gurr_et_al.pdf [Consulté le 27 mars 2018].

PINTUREAU Bernard, GRENIER Simon, MOURET Hugues, SAUGE Marie-Hélène, SAUPHANOR Benoît, SFORZA René, TAILLIEZ Patrick, VOLKOFF Anne-Nathalie. Chapitre 1 : La lutte biologique et ses techniques. In : La lutte biologique: application aux arthropodes ravageurs et aux adventices. Paris : Ellipses, 2009, 189 p.

REGULA Benz, JUCKER Philipp, ALBRECHT Matthias, CHARRIÈRE Jean-Daniel, HERZOG Felix, JACOT Katja, TSCHUMI Matthias, LUKA Henryk, PFIFFNER Lukas, RAMSEIER Hans, KNAUER Katja, STEINMANN Patricia , TSCHUMI Eva , SILVESTRI Gabriella. Bandes fleuries pour les pollinisateurs et les autres organismes utiles Sources de nourriture précieuses parmi les cultures. Publications AGRIDEA. Nature et agriculture [en ligne], 2015. Disponible sur : http://orgprints.org/28780/1/benz-etal-2015-Bandes_fleuries_AGRIDEA-Fiche.pdf [Consulté le 27 mars 2018].

RICARD Jean-Michel, GARCIN Alain, JAY Michel, MANDRIN Jean-François. Chapitre 1 : La biodiversité en agriculture et en production fruitière. In : Biodiversité et régulation des ravageurs en arboriculture fruitière. Paris : CTIFL, 2012[a], 471 p.

RICARD Jean-Michel, GARCIN Alain, JAY Michel, MANDRIN Jean-François. Chapitre 2 : La lutte biologique par conservation et les relations entre les ravageurs et leurs ennemis naturels. In : Biodiversité et régulation des ravageurs en arboriculture fruitière. Paris : CTIFL, 2012[b], 471 p.

RICARD Jean-Michel, GARCIN Alain, JAY Michel, MANDRIN Jean-François. Chapitre 4 : Les infrastructures agro-écologiques. In : Biodiversité et régulation des ravageurs en arboriculture fruitière. Paris : CTIFL, 2012[c], 471 p.

RICARD Jean-Michel, GARCIN Alain, JAY Michel, MANDRIN Jean-François. Glossaire. In : Biodiversité et régulation des ravageurs en arboriculture fruitière. Paris : CTIFL, 2012[d], 471 p.

ROMET Lionel. Bandes florales et biodiversité fonctionnelle en verger. [en ligne]. In : Journées Techniques Nationales Fruits & Légumes et Viticulture Biologiques, Beaune, 2005. ACTA, 2005, pp. 53-60. Disponible sur : http://itab.asso.fr/downloads/actes/actes_jt_fl_05_beaune.pdf [Consulté le 27 mars 2018].

SARTHOU Jean-Pierre. Quand la biodiversité rend des services à l'agriculture, "biologique" devient le maître mot. Alter Agri [en ligne], 2006[a], n ° 76 pp 4-5. Disponible sur : http://www.itab.asso.fr/downloads/AlterAgri/AA76.pdf [Consulté le 16 mars 2018].

SARTHOU Jean-Pierre. La protection des plantes, un grand rôle de la biodiversité fonctionnelle. Alter Agri [en ligne], 2006[b], n ° 76 pp 7-9. Disponible sur : http://www.itab.asso.fr/downloads/AlterAgri/AA76.pdf [Consulté le 27 mars 2018].

SARTHOU Jean-Pierre. Infrastructure agroécologique. [en ligne]. 2016. Disponible sur : https://dicoagroecologie.fr/encyclopedie/infrastructure-agroecologique-2/ [Consulté le 27 mars 2018].

SCHOENY A., BOISSOT N., LAMBION J., WIPF-SCHEIBEL C., MISTRAL P., GOGNALONS P., NOZERAN K. et LECOQ H., 2014. Conception d'associations en maraîchage de plein champ : exemple de production de melons associés à des bandes fleuries pour lutter contre les pucerons et les virus. [en ligne] Innovations Agronomiques, 2014, n°40, pp. 113-124. Disponible sur : https://prodinra.inra.fr/?locale=fr#!ConsultNotice:283477 [Consulté le 05/06/2018].

SUTY Lydie., 2010. Chapitre 2 : La lutte biologique : définitions et concepts généraux. In : La lutte biologique : vers de nouveaux équilibres écologiques. Dijon/Versailles : Educagri éditions/Editions Quae, 2010, pp. 113-133

TSCHARNTKE Teja, KLEIN Alexandra, KRUESS Andreas, STEFFAN-DEWENTER Ingolf, THIES Carsten. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management. Ecology Letters, 2005, 8, pp. 857-874.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. Edward O. Wilson : « La dégradation de la biodiversité est une tragédie ». [en ligne]. Disponible sur : http://www.unesco.org/new/fr/media-services/single-view/news/edward_o_wilson_the_loss_of_biodiversity_is_a_tragedy [Consulté le 16 mars 2018].

VAN ELSEN Thomas. Species diversity as a task for organic agriculture in Europe. Agriculture, Ecosystems and Environment [en ligne], 2000, 77, pp. 101–109 Disponible sur :

https://pdfs.semanticscholar.org/94fd/a1604860bf85192d3c7106fadf467dc1338d.pdf [Consulté le 19 mars 2018].

Glossaire

Agriculture Biologique (AB) : « Méthode de production agricole basée sur l'interdiction de la chimie de synthèse, que ce soit pour les traitements de protection des plantes ou les engrais. Cette méthode affirme mieux respecter le vivant et les cycles naturels. Elle vise à gérer de façon globale la production en favorisant l'agrosystème mais aussi la biodiversité, les activités biologiques des sols et les cycles biologiques. » (Ricard et al., 2012[d])

Agroécosystème : « Produit de la modification de l'écosystème par l'homme et constitue un espace d'interaction entre l'homme, ses savoirs et ses pratiques et la diversité des ressources naturelles.» (UNESCO, 2009)

Anholocyclique : « Caractérise le cycle annuel incomplet de certains pucerons qui ont perdu totalement ou partiellement la possibilité de se reproduire par la voie sexuée. Ils se multiplient par parthénogenèse toute l'année .» (Chaubet et al., 2011)

Aphidiphage : « Se dit d'un animal qui se nourrit de pucerons (aphidien). » (Chaubet et al., 2011)

Auxiliaire : « Qui aide grâce à ses compétences. Organisme vivant tels que les ennemis naturels des ravageurs, prédateurs (arthropodes, oiseaux, etc.) et parasitoïdes, les pollinisateurs, les animaux et les micro-organismes qui favorisent la fertilité du sol. » (Ricard et al., 2012[d])

Diœcique : « Se dit de certaines espèces de pucerons qui ont un cycle annuel complet se déroulant sur deux hôtes non apparentés d'un point de vue botanique (un hôte primaire et un hôte secondaire). On parle aussi d'espèces migrantes (ou hétéroeciques). » (Chaubet et al., 2011)

Écosystème : « Système d'interactions complexe des espèces entre elles et entre celles-ci et le milieu. » (Ricard et al., 2012[d])

Fumagine : « Maladie due à des champignons saprophytes de couleur noire qui se développent sur le miellat recouvrant les feuilles en diminuant ainsi la photosynthèse. » (Chaubet et al., 2011)

Gynopare : parente des femelles fécondables (parente d'ovipare) issue d'une femelle parthénogénétique. Les gynopares sont le plus souvent ailés et assurent une dispersion des espèces (Hullé et al ., 1999 ; Chaubet et al., 2011)

Holocyclique : « Se dit du cycle annuel complet des pucerons, comprenant une génération sexuée et une ou plusieurs générations parthénogénétiques.» (Chaubet et al., 2011)

Infrastructure AgroEcologique (IAE) : « Tout habitat d'un agroécosystème dans ou autour duquel se développe une végétation spontanée essentiellement composée d'espèces bisannuelles, pluri-annuelles ou pérennes, ou un couvert semé dit « de service » et intentionnellement non récolté. Elle peut avoir diverses formes : linéaire comme les alignements d'arbres, surfacique comme les prairies inondables, ou ponctuelle comme les mares. Une IAE est le lieu de vie permanent ou intermittent, permettant reproduction, alimentation, refuge, estivation ou hivernation de groupes biologiques appartenant aux six règnes du vivant (archées, bactéries, protistes, fonge, flore, faune). » (Sarthou, 2016)

Miellat : « Excrément liquide des pucerons, riche en sucres, qu'ils projettent sur les feuilles. » (Chaubet et al., 2011)

Parasitoïde : « Organisme vivant qui se nourrit, se développe et/ou se reproduit sur ou à l'intérieur d'un autre organisme vivant, mais qui, contrairement au parasite, tue inévitablement l'hôte qui l'héberge. La plupart des parasitoïdes sont des insectes. Ils peuvent avoir besoin de plusieurs hôtes successifs pour effectuer toutes les phases de leur développement. » (Suty, 2010)

Parthénogenèse : « Multiplication à partir d'un gamète femelle non fécondé. La parthénogenèse est une reproduction monoparentale. Cette reproduction a un avantage sélectif car elle produit un grand nombre d'individus sans la présence de l'organisme mâle. » (Ricard et al., 2012[d])

Parthénogénétique : Relatif à la parthénogenèse

Prédateur : « Organisme vivant qui capture d'autres organismes vivants appelés proies pour s'en nourrir ou pour nourrir sa progéniture. »(Suty, 2010)

Prédation intra-guilde : « Désigne le fait qu'un prédateur puisse se nourrir d'un autre prédateur, alors que ceux-ci ont pour cible une proie commune et sont donc en compétition.» (Ricard et al., 2012[b])

Ravageur : « Animal phytophage (se nourrissant de végétaux) capable de provoquer des dégâts sur une plante cultivée. Les ravageurs sont donc susceptibles d'être nuisible. Les principaux ravageurs se rencontrent parmi les insectes, les acariens, les nématodes, les gastéropodes, les petits vertébrés comme les oiseaux, les rongeurs, les lagomorphes (lièvres et lapins), etc.» (Suty, 2010)

Service écosystémique : « La notion de service écosystémique renvoie à la valeur (monétaire ou non) des écosystèmes, voire de la Nature en général, en ce sens que les écosystèmes fournissent à l'humanité des biens et services nécessaires à leur bien-être et à leur développement. » (Blanchart et Tourdonnet, 2014)

Table des Annexes

- Annexe 1 : Les quatre grandes catégories de méthodes de lutte biologique

- Annexe 2 : Principales espèces de pucerons rencontrées en culture maraîchère

- Annexe 3 : Détail taxonomique des identifications réalisées

- Annexe 4 : Tableau des classes de pucerons utilisées

- Annexe 5 : Hauteur des espèces plantées sur la ferme pilote de la Durette

- Annexe 6 : Tableau des dates de floraison des espèces plantées sur la ferme pilote de la Durette

- Annexe 7 : Hauteurs des espèces plantées sur la station expérimentale du GRAB

- Annexe 8 : Tableau des dates de floraison des espèces plantées sur la station expérimentale du GRAB

- Annexe 9 : Tableau des effectifs d'auxiliaires par famille aspirés dans les aménagements chez M. Jayet Gendrot

- Annexe 10 : Auxiliaires capturés par date sur la ferme pilote de la Durette

- Annexe 11 : Tableau des effectifs d'auxiliaires par famille aspirés dans les aménagements sur la ferme pilote de la Durette

- Annexe 12 : Auxiliaires capturés par date sur la station expérimentale du GRAB

- Annexe 13 : Tableau des effectifs d'auxiliaires par famille aspirés dans les aménagements sur la station expérimentale du GRAB

- Annexe 14 : Résultats des tests statistiques

Annexe 1 : Les quatre grandes catégories de méthodes de lutte biologique

(Eilenberg et al., 2001 ; Pintureau et al., 2009 ; Borowiec et al., 2011 ; Ricard et al., 2012[b])

Lutte biologique dite classique par introduction et acclimatation	Introduction intentionnelle d'un auxiliaire d'origine exotique, adapté au ravageur ciblé, dans le but d'un établissement permanent de l'auxiliaire et d'un contrôle pérenne du ravageur.
Lutte biologique par augmentation : inondation	Lâchers répétés d'auxiliaires qui ne s'acclimateront pas mais, avant de disparaître, auront protégé les plantes cultivées du ravageur visé.
Lutte biologique par augmentation : inoculation	Lâchers d'auxiliaires qui se reproduiront et dont la descendance régulera les ravageurs visés, mais qui ne s'acclimateront pas en permanence.
Lutte biologique par conservation	Manipulation du milieu pour favoriser les auxiliaires qui régulent naturellement les ravageurs visés.

Annexe 2 : Principales espèces de pucerons rencontrées en culture maraîchère (Lascaux, 2010)

Espèce de pucerons (nom commun)	**Cultures hôtes**
Macrosiphum euphorbiae (puceron de l'euphorbe)	Solanaceae (tomate, poivron, aubergine,etc.) et Cucurbitaceae (courgette)
Macrosiphum rosae (puceron vert du rosier)	tomate, poivron, aubergine
Myzus persicae (puceron vert du pêcher)	poivron, aubergine, salade, courgette
Myzus nicotianae (puceron du tabac)	poivron
Aulacorthum solani (puceron de la pomme de terre)	tomate, poivron, aubergine, concombre, pomme de terre
Aphis gossypii (puceron du coton)	concombre, melon, aubergine, poivron, courgette
Aphis fabae (puceron noir de la fève)	haricots, pomme de terre, carottes
Nasonovia ribisnigri (puceron de la laitue)	salade
Brevicoryne brassicae (puceron cendré du chou)	chou

Annexe 3 : Détail taxonomique des identifications réalisées

(d'après Chaubet et al., 2016[a] ; Chaubet et al., 2016[c] ; Estival, 2016 ; Foucher, 2017)

Ordre	Famille ou sous-famille	Genre	Espèce
Arachnida	Araneae et Opiliones		
Coleoptera	Coccinellidae	*Adalia*	*bipunctata*
		Coccinella	*septempuntata*
		Harmonia	*axiridis*
		Hippodamia	*variegata, tredecimpunctata*
		Propylea	*quatordecimpuntata*
		Scymninae	*sp.*
	Cantharidae		
	Carabidae		
	Staphylinidae		
Dermaptera	Forficulidae		
Diptera	Syrphidae		
Heteroptera	Anthocoridae	*Anthocoris*	*sp.*
		Orius	*sp.*
	Geocorinae (sous-famille des Lygaeidae)		
	Miridae	*Deraeocoris*	*sp.*
		Dicyphus	*sp.*
		Heterotoma	*sp.*
		Macrolophus	*pygmaeus*
	Nabidae		
	Reduvidae		
Hymenoptera	Aphelinidae	*Aphelinus*	*sp.*
	Braconidae	*Aphidius*	*sp.*
		Diaretiella	*sp.*
		Ephedrus	*sp.*
		Lysiphlebus	*sp.*
		Praon	*sp.*
Neuroptera	Chrysopidae		
Thysanoptera	Aeolothripidae	*Aeolothrips*	*sp.*

Légende :

Prédateurs spécialistes

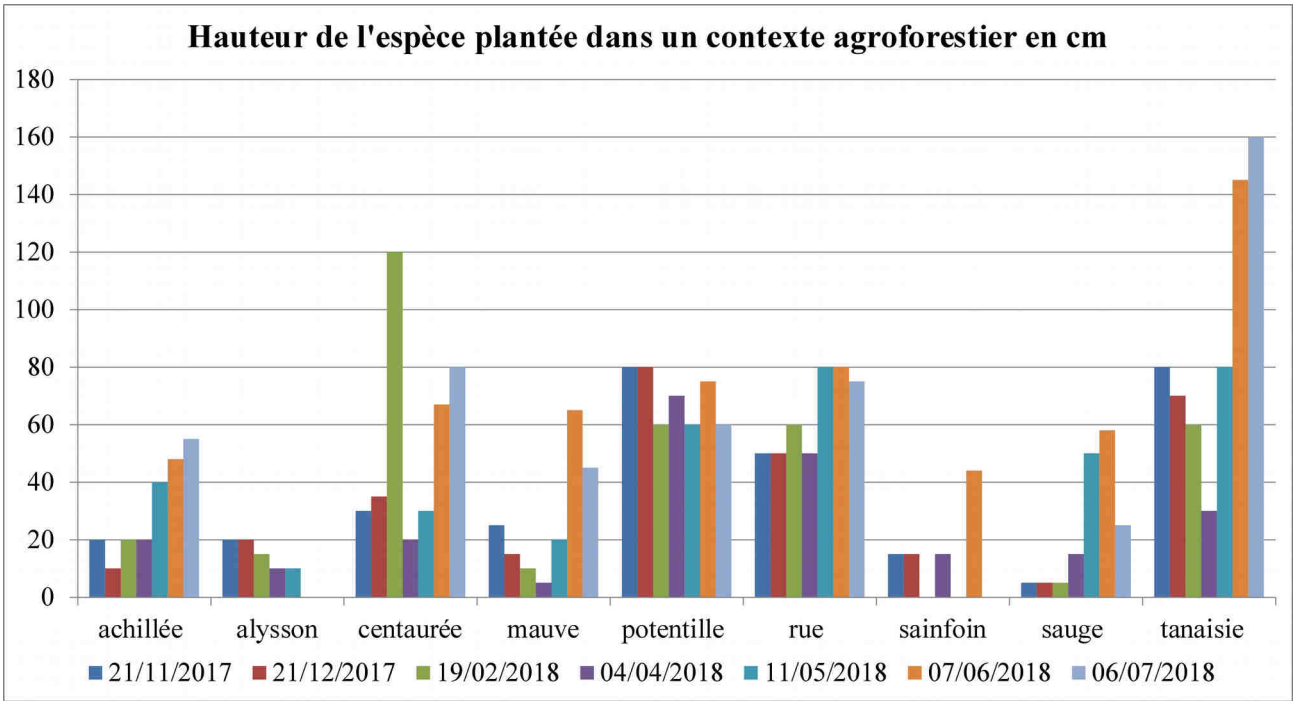
Prédateurs généralistes

Parasitoïdes spécifiques

Annexe 4 : Tableau des classes de puceron utilisées

Classe	**Nombre de puceron**	**Valeur médiane**
Classe 0	aucun	0
Classe 1	1-3	2
Classe 2	4-10	7
Classe 3	11-30	20,5
Classe 4	31-100	65,5
Classe 5	> 100	100

Annexe 5 : Hauteur des espèces plantées sur la ferme pilote de la Durette



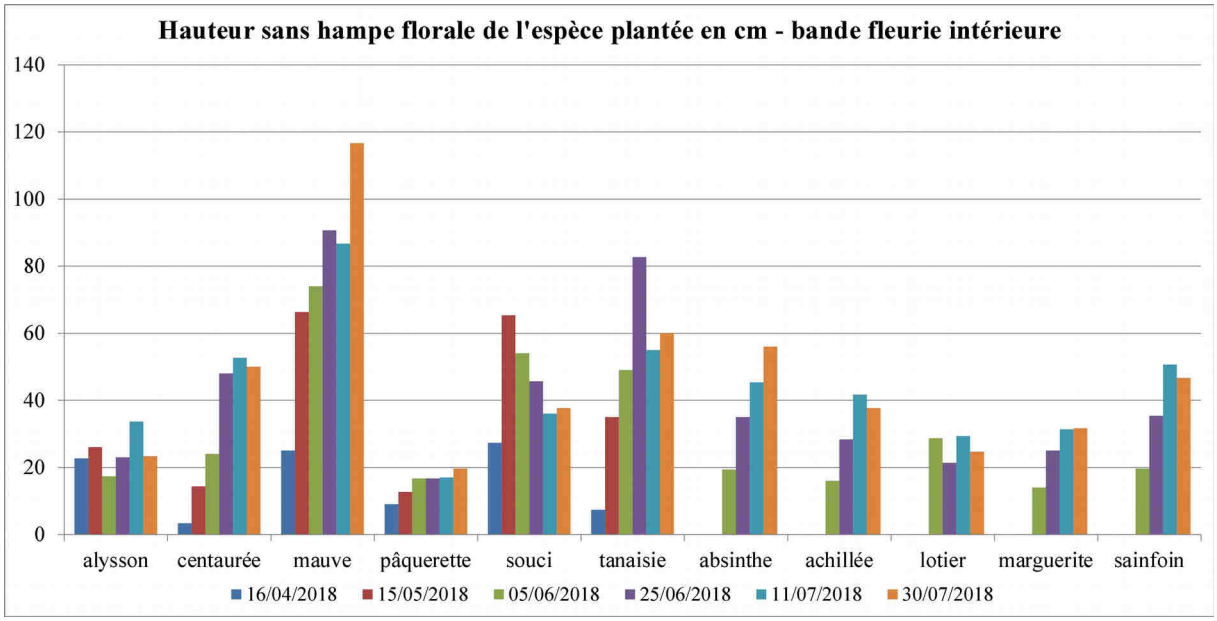
Annexe 6 : Tableau des dates de floraison des espèces plantées sur la ferme pilote de la Durette

Espèce	21/11/2017	21/12/2017	19/02/2018	04/04/2018	11/05/2018	07/06/2018	06/07/2018
achillée							
alysson							
centaurée							
mauve							
potentille							
rue							
sainfoin							
sauge							
tanaisie							

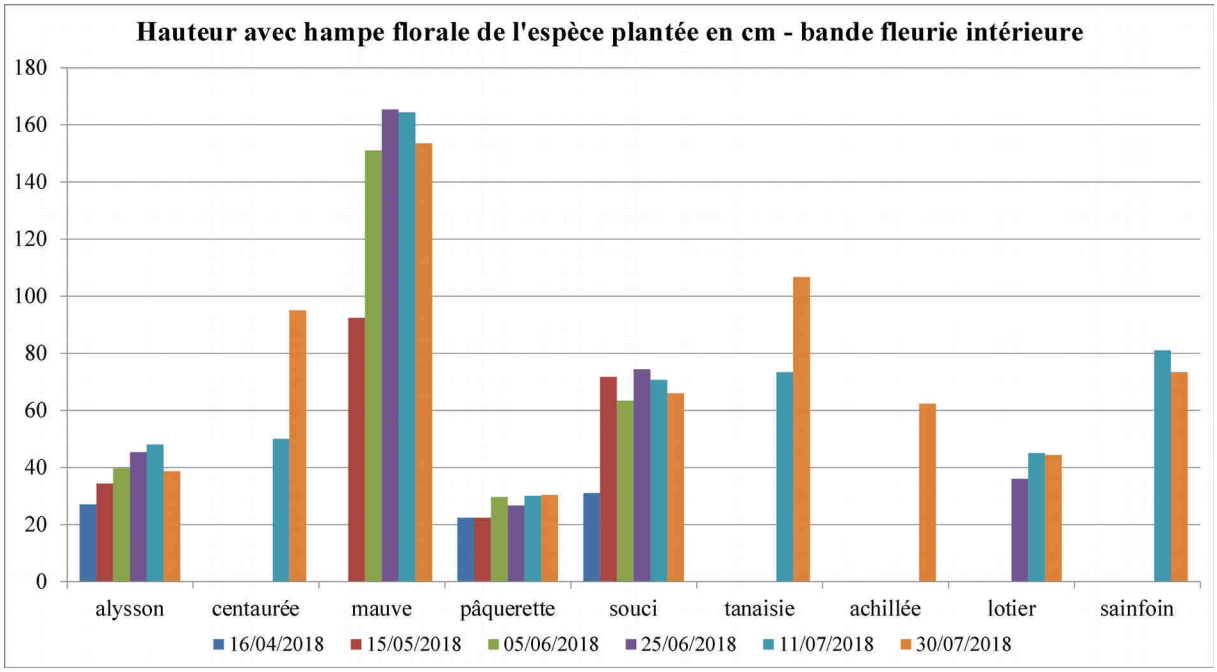
Légende :

	Floraison
	Absence de floraison
	Pas d’observations

Annexe 7 : Hauteurs des espèces plantées sur la station expérimentale du GRAB



Hauteur sans hampe florale des espèces plantées sur la station expérimentale du GRAB



Hauteur avec hampe florale des espèces plantées sur la station expérimentale du GRAB

Annexe 8 : Tableau des dates de floraison des espèces plantées sur la station expérimentale du GRAB

Espèce	16/04/2018	15/05/2018	05/06/2018	25/06/2018	11/07/2018	30/07/2018
absinthe						
achillée						
alysson						
centaurée						
lotier						
mauve						
pâquerette						
souci						
tanaisie						
sainfoin						
marguerite						

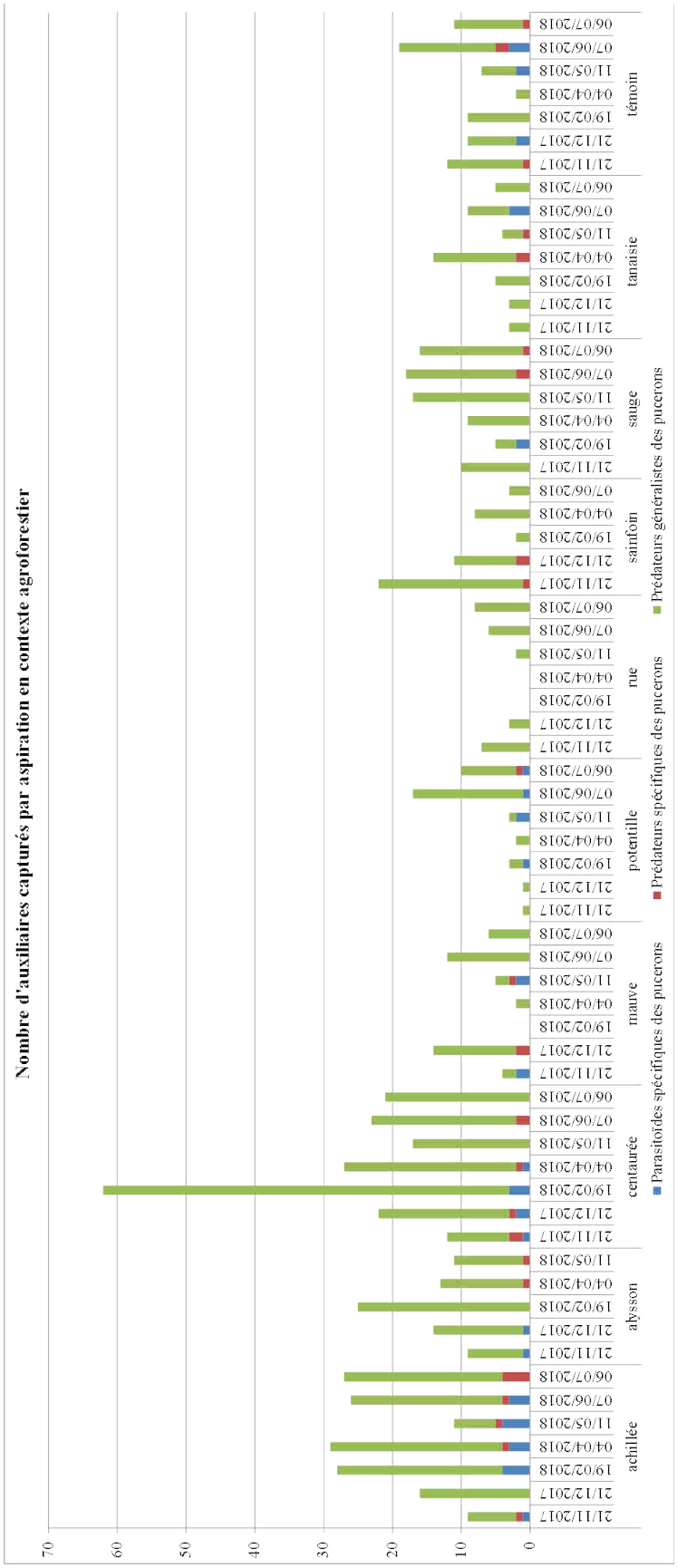
Légende :

	Floraison
	Absence de floraison
	Pas d'observations

Annexe 9 : Tableau des effectifs d'auxiliaires par famille aspirés dans les aménagements chez M. Jayet Gendrot

Modalité	Punaises prédatrices	Carabidae	Staphylinidae	Forficulidae	Araneae et Opiliones	Coccinellidae	Aphelinidae + Braconidae	Total auxiliaires contre pucerons
bande fleurie	11	1	0	22	19	2	2	57
	19%	2%	0%	39%	33%	4%	4%	100%
témoin	0	1	3	12	27	0	8	51
	0%	2%	6%	24%	53%	0%	16%	100%

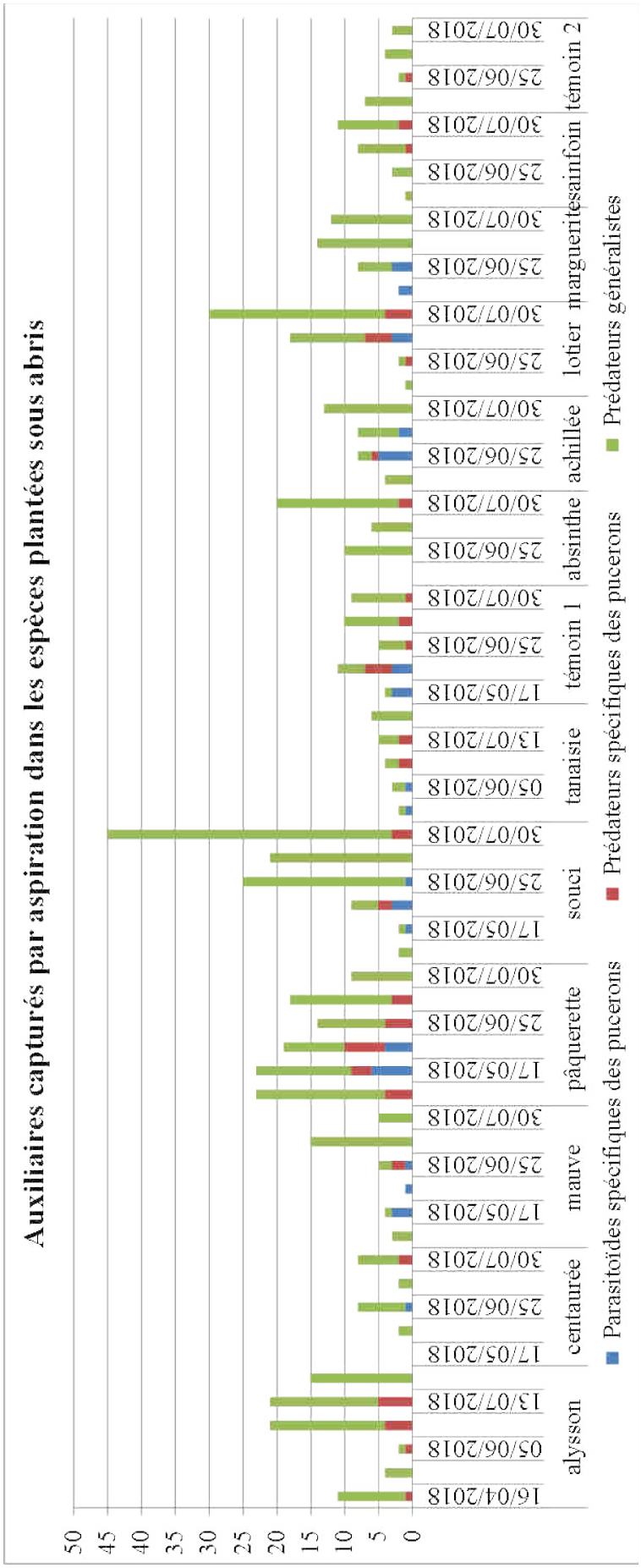
Annexe 10 : Auxiliaires capturés par date sur la ferme pilote de la Durette



Annexe 11 : Tableau des effectifs d'auxiliaires par famille aspirés dans les aménagements sur la ferme pilote de la Durette

Modalité	Punaises prédatrices	Carabidae	Staphylinidae	Forficulidae	Araneae + Opiliones	Chrysopidae	Coccinellidae	Cantharidae	Aphelinidae + Braconidae	Aeolothripidae	Total auxiliaires contre pucerons
achillée	5	4	13	2	95	2	6	1	15	3	146
	3%	3%	9%	1%	65%	1%	4%	1%	10%	2%	100%
alysson	1	1	6		60	1	1		2		72
	1%	1%	8%	0%	83%	1%	1%	0%	3%	0%	100%
centaurée	5	6	57	16	79		6		7	8	184
	3%	3%	31%	9%	43%	0%	3%	0%	4%	4%	100%
mauve	4	6	4	5	11	2	1		4	6	43
	9%	14%	9%	12%	26%	5%	2%	0%	9%	14%	100%
potentille	2		1	2	17		1	9	5		37
	5%	0%	3%	5%	46%	0%	3%	24%	14%	0%	100%
rue	1		1	2	17			1		4	26
	4%	0%	4%	8%	65%	0%	0%	4%	0%	15%	100%
sainfoin	0			1	42		3				46
	0%	0%	0%	2%	91%	0%	7%	0%	0%	0%	100%
sauge	6	2	8	7	46	1	2		2	1	75
	8%	3%	11%	9%	61%	1%	3%	0%	3%	1%	100%
tanaisie	5		1	5	24		3		3	2	43
	12%	0%	2%	12%	56%	0%	7%	0%	7%	5%	100%
témoin	2	2	9	7	37	1	3		7	1	69
	3%	3%	13%	10%	54%	1%	4%	0%	10%	1%	100%

Annexe 12 : Auxiliaires capturés par date sur la station expérimentale du GRAB



Annexe 13 : Tableau des effectifs d'auxiliaires par famille aspirés dans les aménagements sur la station expérimentale du GRAB

Modalité	Punaises prédatrices	Carabidae	Staphylinidae	Forficulidae	Araneae + Opiliones	Chrysopidae	Coccinellidae	Aphelinidae + Braconidae	Aeolothripidae	Syrphidae	Total auxiliaires contre pucerons
alysson	19		4	4	29		1		7	10	74
	26%	0%	5%	5%	39%	0%	1%	0%	9%	14%	100%
centaurée	4		1		12		1	1		1	20
	20%	0%	5%	0%	60%	0%	5%	5%	0%	5%	100%
mauve	12			2	10		2	5	2		33
	36%	0%	0%	6%	30%	0%	6%	15%	6%	0%	100%
pâquerette	2	6	13	11	44		18	10		2	106
	2%	6%	12%	10%	42%	0%	17%	9%	0%	2%	100%
souci	70			1	23		3	5		2	104
	67%	0%	0%	1%	22%	0%	3%	5%	0%	2%	100%
tanaisie	5		1		8		2	2		2	20
	25%	0%	5%	0%	40%	0%	10%	10%	0%	10%	100%
témoin 1	6	1		1	17		8	6			39
	15%	3%	0%	3%	44%	0%	21%	15%	0%	0%	100%
absinthe	9		3		20		2		2		36
	25%	0%	8%	0%	56%	0%	6%	0%	6%	0%	100%
achillée	6		4		15		1	7			33
	18%	0%	12%	0%	45%	0%	3%	21%	0%	0%	100%
lotier	16		1		22		3	3		6	51
	31%	0%	2%	0%	43%	0%	6%	6%	0%	12%	100%
marguerite	3	1	8		18			5	1		36
	8%	3%	22%	0%	50%	0%	0%	14%	3%	0%	100%
sainfoin	2	1			17		3				23
	9%	4%	0%	0%	74%	0%	13%	0%	0%	0%	100%
témoin 2	3	3	2	1	6	1					16
	19%	19%	13%	6%	38%	6%	0%	0%	0%	0%	100%

Annexe 14 : Résultats des tests statistiques

Légende : F1 : facteur aménagement avec deux modalités (SN : sol nu et BF : bande fleurie)

F2 : facteur distance à l'aménagement avec deux modalités (rang extérieur et rang intérieur)

Date	Facteur	Test	P - value du test	Résultats
03/05/2018	F1	ANOVA	0,036	Différence significative SN > BF
	F2		0,919	Pas de différence significative
	F1*F2		0,919	Pas de différence significative
22/05/2018	F1	ANOVA	0,230	Pas de différence significative
	F2		0,619	Pas de différence significative
	F1*F2		0,725	Pas de différence significative
13/06/2018	F1	ANOVA	0,160	Pas de différence significative
	F2		0,667	Pas de différence significative
	F1*F2		0,547	Pas de différence significative
27/06/201	F1	ANOVA	0,194	Pas de différence significative
	F2		0,246	Pas de différence significative
	F1*F2		0,192	Pas de différence significative

1. Effet de l'aménagement et de la distance à l'aménagement sur le nombre de pucerons observés dans la culture adjacente

Date	Facteur	Test	P - value du test	Résultats
03/05/2018	F1	ANOVA	0,033	Différence significative SN > BF
22/05/2018	F1	ANOVA	0,278	Pas de différence significative
13/06/2018	F1	ANOVA	0,334	Pas de différence significative
27/06/2018	F1	ANOVA	0,320	Pas de différence significative

2. Effet de l'aménagement sur le nombre de pucerons observés dans la culture adjacente

Date	Facteur	Test	P - value du test	Résultats
Toutes les dates	F1	ANOVA	0,176	Pas de différence significative

3. Effet de l'aménagement sur l'AUPPC calculée au 27/06/2018

Auteur : KOCH Lucie	Année : 2017-2018	Confidentiel : NON

THEME : Recherche/Développement

Titre : Biodiversité fonctionnelle en maraîchage biologique
Functional biodiversity in organic market gardening

Sous titre : Évaluation de l'impact de bandes fleuries plantées sur la gestion de l'enherbement et la régulation des pucerons en culture maraîchère biologique.
Evaluation of wildflower strips planted impact on sodding and aphids control in organic market gardening.

Mots-clés : bande fleurie, biodiversité fonctionnelle, culture maraîchère biologique, lutte biologique par conservation, puceron
Key- words : wildflower strips, functional biodiversity, organic market gardening, conservation biological control, aphid

Résumé :
Dans le but de promouvoir la biodiversité fonctionnelle en maraîchage biologique, le GRAB réalise de nombreux essais sur ce thème. Les travaux actuels concernent les espèces vivaces, censées favoriser la présence d'auxiliaires indigènes contre les pucerons. En plus de cette fonction de zone refuge pour les auxiliaires, un intérêt est désormais porté sur la capacité de ces bandes fleuries pérennes à contrôler efficacement les adventices. Ce stage s'insère dans le suivi de ces essais de gestion agroécologique des pucerons. Trois sites ont été suivis : une parcelle en agroforesterie située au sein d'une ferme pilote et deux tunnels maraîchers, un sur la station du GRAB et un chez un producteur. Durant la saison, des observations botaniques et entomologiques (aspirations et identifications des auxiliaires) ont ainsi été réalisées. Il apparaît que des espèces comme *Lobularia maritima, Centaurea jacea* et *Calendula officinalis* semblent à la fois pouvoir attirer un grand nombre d'auxiliaires et avoir une fonction de plantes couvre-sols. Différentes espèces testées comme *Achillea millefolium*, *Lotus corniculatus, Bellis perennis*, etc., ont montré que l'abondance et la diversité des auxiliaires de pucerons sont plus importantes en comparaison à la flore spontanée du témoin. L' effet de la bande fleurie sur la population de pucerons a été mis en évidence dans le tunnel suivi chez le producteur. Les faibles effectifs de pucerons rencontrés cette année ne nous ont pas permis de mettre en évidence l'effet de la distance à l'aménagement sur la régulation des pucerons. Néanmoins, les bandes fleuries semblent avoir joué un rôle de complémentation (nectar, pollen) et de supplémentation (proies alternatives) vis à vis des ennemis naturels.

Summary :
In order to promote functional biodiversity in organic market gardening, the GRAB conducts numerous tests around the theme. Current works concern perennial species, supposed to favor the presence of natural indigenous enemies against aphids. Besides the function of refuge area for the indigenous natural enemies, interest is now to check the capacity of the perennial wildflower strips to control weeds. This internship was during the monitoring of agro-ecological management of aphids. Three sites were followed, a parcel on agroforestry located in a pilot farm and two tunnels, one in the station of GRAB and one at a producer's. During the season, botanic observations and entomological observations (aspirations and identifications of natural enemies) were realized. It appears that species like *Lobularia maritima, Centaurea jacea, Calendula officinalis* are able to attract a lot of natural enemies and have a cover crop function. Different species tested like *Achillea millefolium*, *Lotus corniculatus, Bellis perennis,* have shown that abundance and diversity of natural enemies are more important in comparison with spontaneous witness flora. The impact of wildflower strips on the aphids' population has been observed in the plot monitored at one of the producer's. The low staff of aphids encountered has not allowed to shed light on the effect of distance management on the regulation of aphids. However, wildflower species seem to have contributed to complementation (nectar, pollen) and supplementation (alternative prey) towards natural enemies.

Nombre total de volumes : 1
Nombre total de pages du document principal : 63

Demandeur : Groupe de Recherche en Agriculture Biologique