

**Mise en place de différentes stratégies visant à  
favoriser l'approche « push-pull » pour le contrôle  
des pucerons en cultures maraîchères dans l'est de la  
Chine**

**THOMAS CHEVALIER MENDES LOPES**

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MASTER BIOINGENIEUR EN SCIENCES AGRONOMIQUES**

**ANNÉE ACADÉMIQUE 2010-2011**

**PROMOTEUR: Frédéric Francis**

Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de la Faculté Gembloux Agro-Bio Tech. Le présent document n'engage que son auteur.

# REMERCIEMENTS

---

Arrivé au terme de ce long périple qu'est le TFE, je tiens à remercier les nombreuses personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Je voudrais, avant tout, adresser mes remerciements à mon promoteur, Monsieur Frédéric Francis, pour son enthousiasme à l'égard du projet, pour sa disponibilité, sa promptitude à répondre à mes questions, et enfin, pour ses nombreux conseils, essentiels à l'amélioration de ce travail.

De très chaleureux remerciements vont aussi à tous les responsables académiques et étudiants chinois, de l'IPP (Institute of Plant Protection) et du SAU (Shandong Agricultural University). Thank you professor Julian Chen and professor Liu Yong for all you did for us in China. Thank you for the warm welcome and the excellent accommodations provided. I also would like to say a great "thanks" to Liu Yingjie for his help in the fields. It is a pleasure to work with someone who is always smiling and speaks from the heart. I would like also to thank particularly Liang Liang Cui for all he did for us in China, not only for his commitment to show us the Chinese culture, but also for some parts of the work. At last, I am deeply grateful towards professor Zheng Fang-Qiang for his precious help in the identification of the insects. To all of you, I will never forget what you did for me!

Je voudrais également adresser mes très sincères remerciements à Françoise Gourdien, des services étudiants. Merci pour tout ce que tu as fait pour moi dans cette phase finale, mais aussi au cours de ces deux années à Gembloux. Merci pour ta disponibilité, ton efficacité, et ta grande qualité d'écoute. Merci aussi à Sonia et à Françoise pour votre précieuse aide à l'heure du départ en Chine, lors du petit problème d'avion, qui m'a néanmoins bien préoccupé!

Merci Émilie et Damien d'avoir partagé ce voyage en Chine avec moi, et pour tout le travail que nous avons dû fournir ensemble. Je vous souhaite ce qu'il y a de meilleur pour le TFE, mais aussi pour le futur.

Je voudrais à présent, adresser de profonds remerciements à toute ma famille belge, que j'aime du fond du cœur! Merci Véro et Thierry de m'avoir accueilli dans votre maison comme un fils et de m'avoir toujours motivé et soutenu dans les bons et les mauvais moments, au

long de ces deux années magiques passées en Belgique en votre compagnie. Merci aussi à Thom et GG, mes deux frères belges!

Merci également à tous mes amies du kot et à tous les Tournaisiens, qui rendent mes week-ends toujours mémorables!

Vic, je ne saurais pas exprimer par des mots ce que je sens en écrivant ces lignes. Merci tout simplement pour tout ce que tu m'as déjà apporté et pour tout ce que tu m'apportes actuellement, que ce soit dans mes études ou dans l'existence de tous les jours. Tu es un rayon de soleil dans ma vie et tu me donnes la force pour mener à bien ce que j'entreprends. Merci!

Mes remerciements les plus profonds vont vers ma famille. Ma gratitude envers vous dépasse toutes les limites et peut difficilement être exprimée dans un paragraphe. Vous savez à quel point je tiens à vous et à quel point je vous remercie pour tout ce que vous avez fait et pour tout ce que vous faites pour moi! Merci à mes frères et sœurs que j'aime tant, et à mes parents de m'avoir permis de suivre mon chemin et de faire ces études. Je vous en suis profondément reconnaissant!

C'est à toi Maman, que j'adresse ce dernier paragraphe. Merci pour l'aide essentielle que tu m'as apportée dans ce travail, pour tes nombreux efforts de relecture et pour tes conseils toujours pertinents. Merci de m'avoir accompagné et aidé tout le long de mes études, tu sais à quel point ça a été important pour moi! C'est à toi et au reste de la famille que je dédie ce travail.

« Petit à petit l'oiseau fait son nid »

« Grão a grão, enche a galinha o papo »

Ma Xiao Long (Thomas)

*"Le voyage réalisé dans le cadre du présent travail a été rendu possible grâce au soutien financier de la Commission universitaire pour le Développement du Conseil interuniversitaire de la Communauté française de Belgique ([www.cud.be](http://www.cud.be))"*

## RESUME

---

Les agriculteurs chinois appliquent une grande quantité de pesticides dans les cultures maraîchères. Cette situation, due au contexte socio-économique du milieu agricole du pays, est problématique car elle nuit à la sécurité alimentaire. Le présent travail, mené dans les cultures de courgettes et de pommes de terre, s'est intéressé à la mise en place de stratégies de « push-pull », alternatives à l'utilisation d'insecticides de synthèse. Trois substances sémiologiques ont été utilisées, l' (E)- $\beta$ -farnésène, l' (Z)-3-Hexenyl acetate et un extrait d'ail, ainsi que de l'interculture avec du pois. L'effet de ces différents traitements sur les populations d'insectes auxiliaires aphidiphages a été déterminé par cinq semaines de piégeages et d'observations sur plante. Les résultats indiquent qu'aucun de ces traitements n'a exercé un effet significatif sur les populations d'auxiliaires et de pucerons. Cependant, des tendances ont été observées, notamment avec l'(E)- $\beta$ -farnésène, pour les courgettes. Par ailleurs, des fiches de vulgarisation ont été élaborées, visant à informer et à sensibiliser les agriculteurs chinois sur l'utilisation de pesticides et sur le rôle des insectes auxiliaires dans le contrôle des populations de pucerons.

**Mots-clés :** pesticides, « push-pull », substances sémiologiques, interculture, auxiliaires aphidiphages

## ABSTRACT

---

The Chinese farmers apply a lot of pesticides in their vegetable crops. This situation, due to the socio-economic context of the rural population of the country, affects the food security. This work aims to study alternatives to the intensive use of synthetic pesticides, namely by the establishment of “push-pull” strategies, in courgettes and potato fields. We used three semiochemicals, the (E)- $\beta$ -farnésène, the (Z)-3-Hexenyl acetate and a garlic extract and intercropping with pea. The effect of these treatments in the populations of aphidiphagous beneficial insects was determined by five weeks of insect trapping and observations on the plants. The results indicate that none of the modalities has a significant effect on the populations of beneficial insects and aphids. However, we observed some trends, especially with the (E)- $\beta$ -farnésène in the courgettes fields. In addition, information sheets were made to inform and raise awareness of the Chinese farmers about the use of pesticides and the role of beneficial insects in the control of aphid populations.

**Keywords:** pesticides, « push-pull », semiochemicals, intercropping, aphidiphagous beneficial insects

# TABLES DES MATIÈRES

---

INTRODUCTION.....	1
SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
1 Pucerons.....	3
1.1 Généralités.....	3
1.2 Pucerons : vecteurs efficaces de maladies virales.....	3
1.3 Pucerons des cultures maraîchères.....	4
1.3.1 Pucerons des Cucurbitacées.....	4
1.3.2 Pucerons des Solanacées.....	5
2 Lutte biologique : cas particulier des pucerons.....	6
2.1 Introduction.....	6
2.2 Principales familles d'insectes prédateurs de pucerons.....	7
2.2.1 Coccinelles (Coleoptera : Coccinellidae).....	7
2.2.1.1 Généralités.....	7
2.2.1.2 Cycle biologique.....	8
2.2.1.3 Sélection des sites d'oviposition.....	8
2.2.1.4 Comportement alimentaire.....	9
2.2.1.5 Conclusions.....	10
2.2.2 Syrphes (Diptera : Syrphidae).....	11
2.2.2.1 Généralités.....	11
2.2.2.2 Cycle biologique.....	11
2.2.2.3 Sélection des sites d'oviposition.....	11
2.2.2.4 Comportement alimentaire des larves de syrphe.....	14
2.2.2.5 Conclusions.....	14
2.2.3 Chrysopes (Neuroptera : Chrysopidae).....	15
2.2.3.1 Généralités.....	15
2.2.3.2 Cycle biologique.....	15
2.2.3.3 Sélection des sites d'oviposition.....	16
2.2.3.4 Comportement alimentaire des larves et des adultes.....	16
2.2.3.5 Conclusions.....	17
2.3. Principales familles d'insectes parasitoïdes des pucerons.....	18
2.3.1 Braconidae et Aphelinidae : généralités.....	18
2.3.2 Cycle biologique.....	18
2.3.3 Recherche et sélection des hôtes par les femelles.....	19
2.3.4 Conclusions.....	20
2.4 Conclusion générale sur les auxiliaires.....	21
3 Substances sémiochimiques et stratégies de « push-pull ».....	22
3.1 Substances sémiochimiques.....	22
3.2 Stratégies de « push-pull ».....	23
3.2.1 Introduction.....	23
3.2.2 Principes et applications des stratégies de « push-pull ».....	24
3.3 Conclusions.....	25
OBJECTIFS DU TRAVAIL.....	27
MATERIEL ET METHODES.....	29
4 Enquête réalisée dans la province du Shandong.....	29
5 Mise en place de différentes stratégies de « push-pull ».....	30
5.1 Localisation des champs d'essais.....	30
5.2 Matériel végétal utilisé.....	30

---

5.3 Molécules sémi-chimiques et répartition des différentes modalités.....	33
5.4 Déroulement des expériences sur le terrain .....	34
5.4.1 Méthodologie utilisée.....	34
5.4.2 Analyses statistiques .....	37
6 Elaboration de fiches informatives de vulgarisation .....	37
RESULTATS ET DISCUSSION.....	38
7 Analyse des enquêtes de l'enquête.....	38
7.1 Famille.....	38
7.2 Agriculture .....	41
7.3 Mécanisation .....	42
7.4 Volet phytosanitaire .....	43
7.5 Crédit et autres ressources.....	44
7.6 Structure de commercialisation.....	45
7.7 Conclusion sur l'enquête.....	45
8 Analyse des résultats concernant la mise en place de différentes stratégies de « push-pull » .....	47
8.1 Facteurs pris en compte dans l'analyse statistique.....	47
8.2 Analyse des résultats concernant les captures dans les pièges jaunes.....	47
8.2.1 Prédateurs, parasitoïdes et pucerons dans les cultures de courgettes.....	47
8.2.2 Familles de prédateurs et parasitoïdes dans les cultures de courgettes.....	51
8.2.3 Prédateurs, parasitoïdes et pucerons dans les cultures de pommes de terre .....	53
8.2.4 Familles de prédateurs et parasitoïdes dans les cultures de pommes de terre .....	57
8.2.5 Remarques.....	59
8.3 Analyse des résultats concernant les observations sur plante .....	59
8.3.1 Prédateurs, parasitoïdes et pucerons dans les cultures de courgettes.....	59
8.3.2 Prédateurs, parasitoïdes et pucerons dans les cultures de pommes de terre.....	61
8.3.3 Remarques.....	62
9 Fiches de vulgarisation.....	63
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	69
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	71

# TABLE DES FIGURES

---

<b>Figure 1</b> : Différents médiateurs chimiques (BROSSUT, 1996 cité par DURIEUX <i>et al.</i> , 2010) .....	22
<b>Figure 2</b> : Diagramme illustrant le principe de la stratégie de « push-pull », ainsi que les différents stimuli pouvant être employés (Cook <i>et al.</i> , 2007).....	25
<b>Figure 3</b> : Représentation schématique de l'arrangement spatial des parcelles expérimentales de pommes de terre ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) .....	31
<b>Figure 4</b> : Représentation schématique de l'arrangement spatial des parcelles expérimentales de courgettes ( <i>Cucurbita pepo</i> L.).....	32
<b>Figure 5</b> : Exemple de piège. La molécule sémiochimique se trouve dans le diffuseur au centre et est protégée des précipitations par une bouteille en plastique perforée.....	35
<b>Figure 6</b> : Aspirateur utilisé pour capturer les insectes auxiliaires aphidiphages parasitoïdes sur plante .....	36
<b>Figure 7</b> : Répartition des hommes par tranche d'âge .....	39
<b>Figure 8</b> : Répartition des femmes par tranche d'âge .....	39
<b>Figure 9</b> : Répartition des paysans par niveau d'éducation .....	40
<b>Figure 10</b> : Nombre de prédateurs aphidiphages récoltés, dans les pièges jaunes, en courgettes, en fonction des dates des collectes et des traitements.....	49
<b>Figure 11</b> : Nombre de pucerons récoltés, dans les pièges jaunes, pour les courgettes, en fonction des dates des collectes et des traitements (Données fournies par Emilie BOSQUÉE) .....	50
<b>Figure 12</b> : Nombre de parasitoïdes aphidiphages récoltés, dans les pièges jaunes, pour les courgettes, en fonction des dates des collectes et des traitements.....	51
<b>Figure 13</b> : Nombre de coccinelles récoltées, dans les pièges jaunes, pour les courgettes, en fonction des dates des collectes et des traitements .....	52
<b>Figure 14</b> : Nombre de Braconidés récoltés, dans les pièges jaunes, pour les courgettes, en fonction des dates des collectes et des traitements.....	52
<b>Figure 15</b> : Nombre d'Aphelinidés récoltés, dans les pièges jaunes, pour les courgettes, en fonction des dates des collectes et des traitements.....	53
<b>Figure 16</b> : Nombre de prédateurs aphidiphages récoltés, dans les pièges jaunes, pour les pommes de terre, en fonction des dates des récoltes et des traitements.....	55

**Figure 17** : Nombre de pucerons récoltés, dans les pièges jaunes, pour les pommes de terre, en fonction des dates des collectes et des traitements (Données fournies par Emilie BOSQUEE) .....56

**Figure 18** : Nombre de parasitoïdes aphidiphages récoltés, dans les pièges jaunes, pour les pommes de terre, en fonction des dates des collectes et des traitements .....56

**Figure 19** : Nombre de coccinelles récoltées, dans les pièges jaunes, pour les pommes de terre, en fonction des dates des collectes et des traitements.....57

**Figure 20** : Nombre de Braconidés récoltés, dans les pièges jaunes, pour les pommes de terre, en fonction des dates et des traitements .....58

**Figure 21** : Nombre d'Aphelinidés récoltés, dans les pièges jaunes, pour les pommes de terre, en fonction des dates des collectes et des traitements.....58

# TABLE DES TABLEAUX

---

<b>Tableau 1:</b> Facteurs jouant un rôle dans le comportement de recherche et de ponte des femelles de syrphes aphidiphages (ALMOHAMAD <i>et al.</i> , 2009) .....	13
<b>Tableau 2:</b> Tableau récapitulatif concernant la mise en place des champs d'essais .....	33
<b>Tableau 3 :</b> Répartition de la force de travail par tranche d'âge .....	38
<b>Tableau 4 :</b> Niveaux d'éducation des membres des ménages .....	40
<b>Tableau 5 :</b> Installations agricoles .....	41
<b>Tableau 6 :</b> Surface agricole dédiée au blé et au maraîchage.....	41
<b>Tableau 7 :</b> Autres spéculations pratiquées dans la province du Shandong .....	41
<b>Tableau 8 :</b> Accès des ménages ruraux de la province du Shandong aux équipements agricoles.....	42
<b>Tableau 9 :</b> Produits phytosanitaires utilisés .....	43
<b>Tableau 10 :</b> Tableau reprenant les espèces d'auxiliaires aphidiphages récoltées dans les pièges jaunes, pour les courgettes, ainsi que l'abondance d'individus par espèce, selon les différents traitements (T1 : interculture pois ; T2 : (E)- $\beta$ -farnésène ; T3 : extrait d'ail ; T4 : contrôle ; T5 : (Z)-3-Hexenyl acetate).....	48
<b>Tableau 11 :</b> Nombre de pucerons récoltés dans les pièges jaunes, pour les courgettes, selon les traitements (T1 : contrôle ; T2 (E)- $\beta$ -farnésène (EBF) ; T3 : extrait d'ail; T4 : (Z)-3-Hexenyl acetate ; T5 : interculture pois) (Données fournies par Emilie BOSQUÉE) .....	49
<b>Tableau 12 :</b> Tableau reprenant les espèces d'auxiliaires aphidiphages récoltées dans les pièges jaunes, pour les pommes de terre, ainsi que l'abondance d'individus par espèce, selon les traitements (T1 : (Z)-3-Hexenyl acetate ; T2 : (E)- $\beta$ -farnésène; T3 : extrait d'ail; T4 : contrôle ; T5 : interculture pois).....	54
<b>Tableau 13 :</b> Nombre de pucerons récoltés dans les pièges jaunes, pour les pommes de terre, selon les traitements (T1 : contrôle ; T2 : (E)- $\beta$ -farnésène (EBF) ; T3 : extrait d'ail; T4 : (Z)-3-Hexenyl acetate ; T5 : interculture pois) (Données fournies par Emilie BOSQUÉE) .....	55
<b>Tableau 14 :</b> Tableau reprenant les espèces d'auxiliaires aphidiphages observées sur plante, pour les courgettes, ainsi que l'abondance d'individus par espèce, selon les traitements (T1 : interculture pois ; T2 : (E)- $\beta$ -farnésène ; T3 : extrait d'ail ; T4 : contrôle ; T5 : (Z)-3-Hexenyl acetate).....	60

**Tableau 15 :** Nombre de pucerons observés sur plante, pour les courgettes, selon les traitements (T1 : contrôle ; T2 : (E)- $\beta$ -farnésène (EBF) ; T3 : extrait d'ail; T4 : (Z)-3-Hexenyl acetate ; T5 : interculture pois) (Données fournies par Emilie BOSQUÉE) ...61

**Tableau 16 :** Tableau reprenant les espèces d'auxiliaires aphidiphages observées sur plante, pour les pommes de terre, ainsi que l'abondance d'individus par espèce, selon les traitements (T1 : (Z)-3-Hexenyl acetate ; T2 : (E)- $\beta$ -farnésène; T3 : extrait d'ail; T4 : contrôle ; T5 : interculture pois) .....60

**Tableau 17 :** Nombre de pucerons observés sur plante, pour les pommes de terre, selon les traitements (T1 : contrôle ; T2 : (E)- $\beta$ -farnésène (EBF) ; T3 : extrait d'ail; T4 : (Z)-3-Hexenyl acetate ; T5 : interculture pois) (Données fournies par Emilie BOSQUÉE) ...61

# Introduction

Dans les années 60, la révolution verte, qui a fait naître l'utilisation massive d'intrants chimiques dans les cultures en Chine a permis d'améliorer considérablement les rendements, notamment dans la production céréalière. Cependant, cette augmentation de productivité s'est faite au détriment de l'environnement. En effet, la croissance économique extensive et l'industrialisation de la Chine ont eu pour conséquences directes l'épuisement des ressources naturelles et la transformation de l'environnement. Ceci est particulièrement marquant dans le secteur agricole chinois, qui est un des secteurs économiques les plus importants du pays.

Le modèle productiviste de l'agriculture chinoise se caractérise par l'utilisation importante d'intrants, notamment de pesticides de synthèse, toxiques et contaminants pour les agro-écosystèmes et pour l'environnement au sens large. Ces pesticides sont appliqués de manière systématique, afin de garantir de meilleurs rendements. En effet, à l'échelle mondiale, les agriculteurs chinois font partie de ceux qui utilisent le plus ces substances dans leurs cultures.

L'application répétée de pesticides de synthèse est également la cause directe de la présence de résidus dans les denrées récoltées, ceci étant particulièrement vrai pour les cultures maraîchères, qui reçoivent une grande quantité de ces substances. Ces résidus posent des problèmes pour le commerce international et pour la santé des consommateurs chinois, phénomène qui est amplifié par le fait que ces derniers sont de grands consommateurs de légumes.

A l'heure où la Chine parle d'une seconde révolution verte, axée sur la mise en place d'une agriculture plus durable, la conservation des ressources naturelles et le respect de l'environnement représentent des objectifs à atteindre à long terme. Dans ce sens, un vaste chantier est à entreprendre pour améliorer la qualité environnementale des productions végétales et garantir la sécurité alimentaire en Chine.

Etant donné que la lutte contre les insectes ravageurs des cultures reste un des facteurs les plus déterminants pour l'obtention de bons rendements, il est important, non seulement de tester et de développer des méthodes alternatives pour lutter contre les insectes ravageurs des cultures, mais également de communiquer ces avancées auprès des populations agricoles.

La première phase de ce Travail de Fin d'Etude est consacrée à l'analyse de la structure socio-économique des ménages de la province du Shandong. La deuxième phase s'intéresse aux essais mis en place sur le terrain afin d'évaluer les potentialités des différentes stratégies de « push-pull » visant à contrôler les populations de pucerons en cultures maraichères, notamment par l'action des insectes auxiliaires aphidiphages. Dans une troisième phase, ce travail s'attache à l'élaboration de fiches informatives de vulgarisation destinées aux agriculteurs chinois et dont le principal objectif est d'informer ces derniers de la présence, dans les cultures, d'insectes auxiliaires aphidiphages et de leur importance dans le contrôle des populations aphidiennes.

# Synthèse bibliographique

## 1 Pucerons

---

### *1.1 Généralités*

Les pucerons, qui appartiennent à la famille des Aphididae, constituent un groupe d'insectes extrêmement répandu. En effet, il existe près de 4700 espèces dans le monde (REMAUDIERE et REMAUDIERE, 1997), dont environ 450 ont été identifiées sur des plantes cultivées (BLACKMAN et EASTOP, 2000). Cependant, il est intéressant de noter que, parmi ces espèces, seulement 100 se sont adaptées aux agro-écosystèmes et ont de ce fait une importance économique notable (BLACKMAN et EASTOP, 2007). Les principales espèces ayant un impact au niveau agricole font partie de la sous-famille des Aphidinae, sous-famille qui compte environ 2750 espèces essentiellement présentes dans les zones tempérées du Nord (BLACKMAN et EASTOP, 2007) et qui s'alimentent de plantes herbacées. (BLACKMAN et EASTOP, 2006).

### *1.2 Pucerons : vecteurs efficaces de maladies virales*

Les pucerons sont des insectes qui se multiplient extrêmement rapidement, se dispersent facilement sur de longues distances et transmettent un grand nombre de virus aux plantes. Ces trois caractéristiques expliquent, en grande partie, les dégâts importants qu'ils peuvent causer sur des plantes cultivées (HULLE *et al.*, 1999). Ces dégâts peuvent être de nature directe, par l'extraction de la sève de la plante et/ou indirecte par la transmission de virus qu'ils inoculent à l'occasion de leurs piqûres (WILLIAMS et DIXON, 2007).

Ces trois caractéristiques font également des pucerons les vecteurs les plus efficaces dans la transmission de maladies virales aux plantes (BRAULT *et al.*, 2010). Parmi les 4700 espèces de pucerons identifiées (REMAUDIERE et REMAUDIERE, 1997), 190 ont été décrites comme des espèces vectrices de maladies virales des plantes (NAULT, 1997), certaines étant capables de transmettre plusieurs espèces de virus (EASTOP, 1983 ; NAULT, 1997 ; HULL, 2002). La majorité des espèces vectrices de maladies virales appartiennent aux genres *Myzus*, *Aphis*, *Acyrtosiphon* et *Macrosiphum*, qui font partie de la sous-famille des Aphidinae (KENNEDY *et al.*, 1962). Parmi les 70 genres de virus qui sont actuellement connus, 19 peuvent

être transmis par les pucerons, ce qui représente approximativement 275 espèces de virus, soit environ 50% des virus transmis par les insectes aux plantes (NAULT, 1997). Beaucoup de ces virus provoquent des maladies qui ont un impact économique important sur les plantes cultivées.

### *1.3 Pucerons des cultures maraîchères*

#### *1.3.1 Pucerons des Cucurbitacées*

Les Cucurbitacées sont principalement attaquées par trois espèces de pucerons, à savoir *Myzus persicae* (Sulzer), *Aphis craccivora* Koch et *Aphis gossypii* Glover (WEBB, 2007). De ces trois espèces, *A. gossypii*, qui est communément appelée puceron du cotonnier ou puceron du melon, est l'espèce la plus fréquemment rencontrée et peut provoquer des pertes de rendements considérables lors d'infestations massives (WEBB, 1996), en entraînant une crispation des feuilles et un arrêt de la croissance de la plante (HULLE *et al.*, 1999).

Hormis les dégâts directs que certaines espèces, telles qu'*A. gossypii* et *M. persicae*, peuvent causer aux plantes, les pucerons sont principalement nuisibles aux Cucurbitacées par la transmission de nombreux virus, tels que le *cucumber mosaic cucumovirus* (CMV), le *papaya ringspot virus* (PRSV), le *watermelon mosaic potyvirus* souche 2 (WMV2), le *zucchini yellow mosaic virus* (ZYMV) et le *cucurbit aphid borne yellows luteovirus* (CABYV) (LECOQ *et al.*, 1998). De tous ces virus, le *cucumber mosaic cucumovirus* (CMV) est transmis de façon non-persistante<sup>1</sup> par de nombreuses espèces de pucerons. Parmi ces espèces, *A. gossypii* est la plus efficace (LABONNE *et al.*, 1982 ; GARZO *et al.*, 2004). Le CMV est probablement un des virus les plus communs des Cucurbitacées, et affecte principalement les cultures de melons, concombres et courgettes (LECOQ *et al.*, 1998).

---

<sup>1</sup> Virus dont l'acquisition et la transmission par le puceron vecteur requiert une pénétration très brève du stylet (espace de temps inférieur à une minute). Dans ce mode de transmission, il n'y a pas de période de latence et le puceron perd rapidement sa capacité d'inoculer le virus à des plantes successives.

### **1.3.2 Pucerons des Solanacées**

Les Solanacées sont principalement attaquées par cinq espèces de pucerons, à savoir *Aphis fabae* Scopoli, *A. gossypii*, *Aulacorthum solani* (Kaltenbach), *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) et *M. persicae* (HULLE *et al.*, 1999).

De toutes ces espèces, *M. persicae*, qui est communément appelée puceron vert du pêcher, se trouve en abondance et est le vecteur le plus efficace du *potato leaf roll virus* (PLRV), un virus transmis de façon persistante<sup>2</sup> par les pucerons aux pommes de terre (RAMAN et RADCLIFFE, 1992 ; ROBERT et BOURDIN, 2001). D'autres espèces, telles qu'*A. gossypii* (FOSTER et WOODFORD, 1997) et *A. solani* (ROBERT et ROUZE-JOUAN, 1971), sont des vecteurs potentiels de ce virus, qui peut provoquer des pertes de rendement pouvant aller jusqu'à 79% de la récolte (RAHMAN *et al.*, 2010).

Quant au *potato virus Y* (PVY), il peut être transmis aux pommes de terre de façon non persistante par de nombreuses espèces de pucerons, telles que *M. euphorbiae* (SINGH et BOITEAU, 1986), *A. fabae*, *Aphis nasturtii* Kaltenbach, *Acyrtosiphon pisum* (Harris), *Rhopalosiphum padi* (L.) et *M. persicae*. Cette dernière est, de la même façon que pour le *potato leaf roll virus* (PLRV), la plus efficace dans la transmission du virus (PVY) (SIGVALD, 1984). Ce virus peut causer des pertes de rendement sévères, pouvant aller jusqu'à 87% de la récolte (RAHMAN *et al.*, 2010).

---

<sup>2</sup> Virus dont l'acquisition et l'inoculation par le puceron vecteur requièrent des périodes de temps relativement longues (1 à 2 jours). Dans ce mode de transmission, il y a une période de latence qui se découle entre l'acquisition et l'inoculation du virus. Une fois que cette période de latence est terminée, le puceron peut rester infectieux jusqu'à sa mort.

## 2 Lutte biologique : cas particulier des pucerons

---

### *2.1 Introduction*

Plusieurs définitions du concept de lutte biologique peuvent être trouvées dans la littérature scientifique.

D'un point de vue pratique, celle-ci peut être définie comme l'utilisation d'ennemis naturels des espèces considérées comme nuisibles, afin de réduire les dommages causés par ces dernières, au-dessous d'un seuil considéré comme acceptable (DEBACH et ROSEN, 1991).

D'un point de vue écologique, celle-ci peut être définie comme une stratégie visant à restaurer la biodiversité fonctionnelle des agro-écosystèmes. Cette démarche utilise des techniques qui permettent l'augmentation ou la reconstitution des populations d'insectes auxiliaires ou qui favorisent leur présence par des mesures de conservation et de gestion de leur habitat (ALTIERI et NICHOLLS, 1998).

En ce qui concerne la lutte biologique contre les pucerons, celle-ci a fait l'objet d'une révision, à la fin des années 80, par CARVER (1989). Depuis, l'intérêt pour ce moyen de lutte ne fait que s'accroître. Cette tendance est la conséquence de plusieurs facteurs parmi lesquels nous pouvons citer : les problèmes croissants de résistance aux insecticides chez les pucerons, la suppression de certaines matières actives sur le marché, la volonté de minimiser les dégâts causés par les insecticides sur l'environnement et sur la santé humaine. C'est dans ce contexte que l'homme a été amené à développer des méthodes de lutte biologique alternatives aux méthodes classiques (POWELL et PELL, 2007).

Actuellement, les stratégies de lutte biologique pratiquées dans les cultures en plein champs s'inscrivent davantage dans une logique de gestion intégrée des cultures. Nous voyons ainsi se manifester un intérêt croissant pour la lutte biologique par conservation (POWELL & PELL, 2007). Celle-ci consiste à favoriser l'action des insectes auxiliaires indigènes prédateurs et parasitoïdes, par la manipulation de leur habitat, et/ou de leur comportement (van DRIESCHE & BELLOWS, 1996).

## 2.2 Principales familles d'insectes prédateurs des pucerons

### 2.2.1 Coccinelles (*Coleoptera* : *Coccinellidae*)

#### 2.2.1.1 Généralités

Les coccinelles sont probablement les insectes prédateurs aphidiphages qui ont fait l'objet du plus grand nombre d'études jusqu'à présent (VÖLKL *et al.*, 2007). Leur rôle en tant qu'auxiliaires est largement reconnu par les praticiens de la lutte biologique, ainsi que par le grand public. En effet, ces insectes contribuent au contrôle des populations de pucerons dans une multitude de cultures (FRAZIER et GILBERT, 1976 ; TAMAKI et LONG, 1978 ; LEE *et al.*, 2005 ; MICHELS et BURD, 2007) et ont de ce fait une importance économique non négligeable pour les agriculteurs.

Plusieurs programmes et essais de lutte biologique par acclimatation<sup>3</sup> et par inondation<sup>4</sup>, visant le contrôle des pucerons par l'action prédatrice des coccinelles, ont été mis en place dans différentes parties du monde, avec des efficacités cependant très variables (ZHANG, 1992 ; EL HABI *et al.*, 1999 ; ZAKI *et al.*, 1999 ; EL HABI *et al.*, 2000 ; RANDOLPH *et al.*, 2002). La lutte biologique par conservation, notamment par l'exploitation de substances sémiocchimiques, est un domaine qui semble en revanche prometteur. En effet, plusieurs études en laboratoire ont démontré que le comportement des coccinelles est influencé par ces substances (ZHU *et al.*, 1999 ; AL ABASSI *et al.*, 2000 ; FRANCIS *et al.*, 2004 ; ZHU et PARK, 2005 ; VERHEGGEN *et al.*, 2007 ; GIRLING and HASSALL, 2008 ; PETTERSSON *et al.*, 2008). Cependant, des études complémentaires sont nécessaires afin de déterminer la potentialité de l'utilisation de ces substances, sur le terrain, en condition de cultures.

---

<sup>3</sup> Stratégie de lutte biologique qui consiste à introduire un (ou plusieurs) auxiliaire(s) exotique(s) pour un établissement permanent et un contrôle durable d'un ravageur.

<sup>4</sup> Stratégie de lutte biologique qui consiste à relâcher plus ou moins fréquemment et plus ou moins massivement des auxiliaires dans la culture à protéger.

### **2.2.1.2 Cycle biologique**

La plupart des espèces de coccinelles caractéristiques des régions tempérées sont univoltines<sup>5</sup> ou bivoltines<sup>6</sup> (HODEK, 1973 ; HODEK et HONEK, 1996). La durée de leur cycle biologique varie en fonction des espèces, et est influencée par la température, la quantité d'aliment consommé et par les espèces de proies présentes (OBRYCKI et ORR, 1990 ; MAJERUS, 1994 ; HODEK et HONEK, 1996). Les espèces indigènes des zones tempérées ont un cycle biologique qui varie généralement de 30 à 45 jours (SUTY, 2010). La plupart des espèces sont visibles de mars à novembre et hibernent au stade adulte en formant des colonies très denses (HAGEN, 1962 ; SUTY, 2010). Les adultes reprennent leur activité au printemps dès que les températures sont favorables, pour se nourrir et s'accoupler. Les femelles pondent alors leurs œufs, en général très nombreux (100 à 1500 œufs par femelle selon les espèces) (KAWAUCHI, 1991), en amas (HODEK et HONEK, 1996), sur le feuillage des plantes. Les larves se nourrissent surtout de pucerons et de petits arthropodes, et ont une activité prédatrice qui dure entre deux et trois semaines. Il y a ensuite émergence en 3 à 10 jours d'une pupa fixée au feuillage qui se transforme progressivement en adulte. La durée de vie de ce dernier varie de quelques semaines à plusieurs mois (SUTY, 2010).

### **2.2.1.3 Sélection des sites d'oviposition**

Le nombre d'œufs déposés par les femelles est influencé par l'abondance de proies qu'elles rencontrent dans les cultures (WRATTEN, 1973 ; MILLS, 1982a). En effet, ces dernières préfèrent les colonies ayant une grande proportion de nymphes et une population croissante de pucerons (KINDLMANN et DIXON, 1993 ; DIXON, 1997, 2000). C'est le cas d'*Adalia bipunctata*, qui a tendance à pondre ses œufs avant le pic de population de pucerons (DIXON, 2000). Cette stratégie vise à assurer que les larves auront assez de nourriture pour compléter leur développement et se nymphoser avant que leurs proies ne deviennent insuffisantes (HEMPTINNE *et al.*, 1992).

---

<sup>5</sup> Terme utilisé pour les espèces qui n'ont qu'une génération par an.

<sup>6</sup> Terme utilisé pour les espèces qui ont deux générations par an.

De plus, il a été démontré que chez certaines espèces de coccinelles, telles que *A. bipunctata* (HEMPTINNE *et al.*, 1992 ; DOUMBIA *et al.*, 1998), *C. septempunctata* (RUZICKA, 1997a, 2001, 2002 ; DOUMBIA *et al.*, 1998) et *H. axyridis* (YASUDA *et al.*, 2000), la présence d'une phéromone d'anti-oviposition, dans les traces larvaires conspécifiques<sup>7</sup>, réduit la ponte des femelles, afin de minimiser les risques de cannibalisme et de compétition pour la nourriture. RUZICKA (2001) a également démontré que la phéromone d'anti-oviposition présente dans les traces larvaires de l'espèce de chrysope *C. oculata* réduit considérablement la ponte des femelles de *C. septempunctata*.

#### 2.2.1.4 Comportement alimentaire

Dans la famille des coccinelles, les larves et les adultes sont aphidiphages, et peuvent s'alimenter de plusieurs espèces différentes de pucerons (MAJERUS, 1994 ; HODEK et HONEK, 1996 ; DIXON, 2000). Chez les adultes, la recherche de proies sur de longues distances est influencée par la perception de molécules volatiles émises par les plantes infestées de pucerons. En effet, ces substances sémiocchimiques, qui sont émises par les plantes soumises à un stress, tel que l'attaque d'un herbivore, ont à la fois une action répulsive envers les insectes ravageurs et attractive envers leurs ennemis naturels, tels que les coccinelles (NINKOVIC *et al.*, 2001 ; HEIT *et al.*, 2005).

Sur de courtes distances, les coccinelles perçoivent les molécules volatiles émises par leurs proies, et s'en servent pour les localiser (OBATA, 1986 ; SENGONCA *et al.*, 1994 ; HAMILTON *et al.*, 1999). Lorsqu'un puceron est perturbé, ce dernier secrète, via ses cornicules, une phéromone d'alarme, principalement constituée d'(E)- $\beta$ -farnésène (EBF) (FRANCIS *et al.*, 2005a). Cette substance, qui provoque la fuite de ses congénères, a un effet attractif pour plusieurs espèces de coccinelles, à savoir *Adalia bipunctata* L. (HEMPTINNE *et al.*, 2000 ; FRANCIS *et al.*, 2004), *C. septempunctata* (AL ABASSI *et al.*, 2000), *Hippodamia convergens* Guérin-Ménéville (ACAR *et al.*, 2001) et *Harmonia axyridis* (VERHEGGEN *et al.*, 2007).

La présence de miellat<sup>8</sup> joue également un rôle dans la recherche de proies des coccinelles. En effet, les adultes (HEIDARI et COPLAND, 1993), ainsi que les larves

<sup>7</sup> Ce terme désigne des individus qui appartiennent à la même espèce.

<sup>8</sup> Substance riche en sucre et en acides aminés, secrétée par des insectes homoptères, notamment des pucerons

(CARTER et DIXON, 1984a ; HEIDARI et COPLAND, 1993 ; IDE *et al.*, 2007), passent davantage de temps à chercher leurs proies sur des feuilles où cette substance est présente. La présence de miellat (CARTER et DIXON, 1984a ; HEIDARI et COPLAND, 1993 ; IDE *et al.*, 2007), ainsi que le contact avec une proie (BANKS, 1957 ; CARTER et DIXON, 1982 ; NAKAMUTA, 1985), sont donc des facteurs qui induisent un comportement de recherche intensive, dont la durée va dépendre de l'état de satiété des coccinelles (CARTER et DIXON, 1982 ; CARTER et DIXON, 1984b).

### ***2.2.1.5 Conclusions***

L'efficacité des coccinelles dans le contrôle des populations de pucerons est difficile à déterminer étant donné leur mobilité et leur nature polyphage (FRAZER, 1988). De ce fait, beaucoup de controverses persistent concernant l'amplitude de l'impact des coccinelles dans la réduction des populations de ravageurs tels les pucerons.

En effet, plusieurs espèces ont des caractéristiques typiques des grands prédateurs, ce qui les rend potentiellement très efficaces dans le contrôle des populations denses de pucerons (HODEK et HONEK, 1996). Cependant, les coccinelles se limitent à une ou deux générations par an, et leur pic de population ne coïncide souvent pas avec celui des pucerons, ce qui limite leur efficacité dans la lutte biologique (HEMPTINNE et DIXON, 1991 ; KINDLMANN et DIXON, 1993 ; DIXON, 1997 ; KINDLMANN *et al.*, 2007). Ceci est aggravé du fait que, dans la plupart des conditions environnementales, les populations de coccinelles ont des taux de croissance plus bas que ceux des pucerons (DIXON, 2000 ; MILLS, 1982a, b ; HEMPTINNE et DIXON, 1997 ; KINDLMANN et DIXON, 2001).

L'action des coccinelles aphidiphages sur la dynamique des populations de pucerons peut donc être considérée comme très limitée, voire nulle, sur le long terme (KINDLMANN *et al.*, 2007 ; OBRYCKI *et al.*, 2009). Cependant, ces prédateurs peuvent réduire la densité des populations de pucerons ou ralentir leur croissance durant une partie de la saison culturale et contribuer ainsi au contrôle de ces ravageurs (KINDLMANN *et al.*, 2007 ; POWELL et PELL, 2007 ; OBRYCKI *et al.*, 2009).

## **2.2.2 Syrphes (*Diptera: Syrphidae*)**

### **2.2.2.1 Généralités**

La famille des Syrphidae est une des plus grandes familles d'insectes appartenant à l'ordre des Diptères, avec plus de 5000 espèces dénombrées (THOMPSON & ROTHERAY, 1998). Les larves d'environ un tiers des espèces sont aphidiphages (ROTHERAY, 1989 ; GILBERT, 1993), et peuvent avoir un impact significatif dans la réduction des populations de pucerons, plus spécifiquement dans les cultures de céréales (ANKERSMIT *et al.*, 1986 ; CHAMBERS & ADAMS 1986). Les adultes sont floricoles et s'alimentent de nectar et de pollen (ROTHERAY, 1989 ; GILBERT, 1993), jouant ainsi un rôle important dans la pollinisation des plantes cultivées.

### **2.2.2.2 Cycle biologique**

La plupart des espèces caractéristiques des régions tempérées sont univoltines et se caractérisent par un taux de fécondité élevé (VÖLKL *et al.*, 2007). En effet, si nous regardons plus spécifiquement l'espèce *Episyrphus balteatus* (De Geer) (*Diptera: Syrphidae*), les femelles peuvent pondre en moyenne 2000 à 4500 œufs durant leur cycle de vie (BRANQUART et HEMPTINNE, 2000). Les œufs des syrphes éclosent 2 à 5 jours après la ponte des femelles, et les larves commencent presque immédiatement à s'alimenter des pucerons qui les entourent. Celles-ci passent par 3 stades larvaires et se nymphosent au bout du troisième stade, dans une puppe généralement localisée à l'endroit où la dernière proie a été consommée. La durée du développement larvaire varie selon les espèces et est influencée par la température et par les espèces de proies consommées. En effet, une étude menée par SADEGHI et GILBERT (2000) a démontré que, selon les espèces de pucerons consommées, la durée de développement des larves d'*Episyrphus balteatus* peut varier entre 6 et 14 jours et celle des larves de *Syrphus ribessii* entre 9 et 11 jours.

### **2.2.2.3 Sélection des sites d'oviposition**

La sélection des sites d'oviposition par les femelles de syrphes est influencée par de nombreux facteurs (Tableau 1). Des observations en laboratoire et sur le terrain, dans les champs cultivés, montrent que les femelles pondent à proximité des colonies de pucerons (CHANDLER 1968a, b ; HEMPTINNE *et al.*, 1993), afin de permettre aux larves, qui ont une capacité de dispersion limitée (CHANDLER, 1969), de trouver rapidement de la nourriture. Les

œufs sont, pour la plupart des espèces, déposés de façon isolée ; cependant, certaines espèces pondent les œufs en amas, loin des colonies de pucerons, ou même sur des plantes non infestées (CHAMBERS, 1988). Dans ce cas, les jeunes larves survivent en cannibalisant les œufs conspécifiques (VÖLKL *et al.*, 2007).

La taille des colonies de pucerons a un impact majeur dans la sélection des sites de ponte par les femelles. Généralement, plus la taille de la colonie est grande, plus les femelles pondent (BARGEN *et al.*, 1998 ; SCHOLZ et POEHLING 2000 ; SUTHERLAND *et al.*, 2001). Cependant, certaines espèces évitent de pondre dans des colonies trop denses, et préfèrent des colonies de plus petite taille, ou des colonies ayant une proportion élevée de jeunes pucerons (CHAMBERS, 1991 ; HEMPTINNE *et al.*, 1993). Ceci s'explique par le fait que les colonies trop denses sont, par leur taille, plus vulnérables face à la prédation et donc moins prometteuses en termes de croissance (KAN, 1988a, b).

La présence de miellat est également un facteur déterminant dans la sélection des sites de ponte par les femelles (BARGEN *et al.*, 1998 ; SUTHERLAND *et al.*, 2001 ; LEROY *et al.*, 2010). Plusieurs études ont démontré que cette substance stimule l'oviposition des femelles d'*E. balteatus* et de *Metasyrphus corollae* (BUDENBERG et POWELL, 1992 ; SCHOLZ et POEHLING, 2000 ; LEROY *et al.*, 2010). L'(E)- $\beta$ -farnésène (EBF) a également un pouvoir attractif envers les femelles d'*E. balteatus*, et agit comme un stimulant d'oviposition (ALMOHAMAD *et al.*, 2008 ; VERHEGGEN *et al.*, 2008). Une étude récente menée par ALMOHAMAD *et al.* (2010) a démontré que, à l'instar des coccinelles, les femelles d'*E. balteatus* évitent de pondre dans les colonies où des larves et/ou des traces larvaires conspécifiques sont présentes.

**Tableau 1 : Facteurs influençant le comportement de recherche et de ponte des femelles de syrphes aphidiphages (ALMOHAMAD *et al.*, 2009)**

<b>Sense involved</b>	<b>Influences</b>	<b>References</b>
Visuals cues	1- Size of plant patch	CHANDLER, 1968a; SANDERS, 1983a; 1983b
	2- Density of plant patch	CHANDLER, 1966; 1968c
	3- Color of plants	SANDERS, 1982; SUTHERLAND <i>et al.</i> , 1999; LAUBERTIE <i>et al.</i> , 2006
	4- Form of plant	CHANDLER, 1968a; SUTHERLAND <i>et al.</i> , 1999
	5- Size and position of aphid colony	CHANDLER, 1968b; ITO <i>et al.</i> , 1977; BARGEN <i>et al.</i> , 1998; SCHOLZ <i>et al.</i> , 2000; SUTHERLAND <i>et al.</i> , 2001; ALMOHAMAD <i>et al.</i> , 2006
	6- Shape of aphids	CHANDLER, 1968b
	7- Movement of aphids	CHANDLER, 1968b; Itô <i>et al.</i> , 1977
Olfactory cues	8- Smell of plants	SUTHERLAND <i>et al.</i> , 1999; VERHEGGEN <i>et al.</i> , 2008
	9- Smell of aphids	VOLK, 1964; ALMOHAMAD <i>et al.</i> , 2008c; VERHEGGEN <i>et al.</i> , 2008
	10- Smell of aphid associated with plants	VOLK, 1964; HARMEL <i>et al.</i> , 2007; VERHEGGEN <i>et al.</i> , 2008
Gustatory cues	11- Honeydew	DIXON, 1959; KAN <i>et al.</i> , 1986; BUDENBERG <i>et al.</i> , 1992; BARGEN <i>et al.</i> , 1998; SCHOLZ <i>et al.</i> , 2000; SUTHERLAND <i>et al.</i> , 2001
Touch	12- Actual site for eggs	DIXON, 1959; SCHNEIDER, 1969
<b>Response by females</b>	<b>Influences involved</b>	
Habitat selection	1, 2, 3	
Plant selection	2, 3, 8	
Aphid colony selection	5, 6, 7, 9, 11	
Egg-site selection	5, 6, 7, 12	

#### **2.2.2.4 Comportement alimentaire des larves de syrphes**

Les larves des principales espèces de syrphes sont polyphages et font preuve d'une grande voracité (CHAMBERS, 1988). Les espèces généralistes *E. balteatus* et *Syrphus ribesii* peuvent s'alimenter d'une large gamme d'espèces de pucerons (SADEGHI et GILBERT, 2000). Une seule larve d'*E. balteatus* peut consommer jusqu'à 396 pucerons durant son développement (TENHUMBERG et POEHLING, 1995). Cette même étude montre que le troisième stade larvaire est indéniablement le plus efficace dans la prédation des pucerons, avec approximativement 70% des proies consommées.

Lors de la recherche de proies, les larves d'*E. balteatus* sont sensibles aux molécules volatiles émises par les pucerons et/ou par les plantes infestées de pucerons, et ont une attraction particulière pour l'(E)- $\beta$ -farnésène (EBF) (FRANCIS *et al.*, 2005b).

#### **2.2.2.5 Conclusions**

L'impact des syrphes sur les populations de pucerons est d'autant plus élevé que l'oviposition a lieu précocement dans la saison, et qu'un grand nombre de larves éclosent avant le pic des populations aphidiennes (TENHUMBERG et POEHLING, 1995).

La lutte biologique basée sur l'action des syrphes se concentre surtout sur des mesures de conservation, visant à manipuler l'habitat de ces insectes en leur fournissant des ressources de nourriture. En effet, il est possible, en favorisant la présence de plantes florifères en bordures de champs, d'attirer les adultes au sein des cultures, afin de favoriser l'oviposition, et par conséquent le contrôle biologique des pucerons par les larves (RUPPERT et MOLTHAN, 1991 ; HICKMAN et WRATTEN, 1996 ; COLIGNON *et al.*, 2004).

## **2.2.3 Chrysopes (Neuroptera: Chrysopidae)**

### **2.2.3.1 Généralités**

Les chrysopes sont des prédateurs polyphages extrêmement efficaces (NEW, 1975). En effet, cette famille d'insectes s'alimente d'une large gamme de proies, telles que des Homoptères (Psyllidae, Aleyrodidae, Coccidae), des Hyménoptères (Tenthredinidae), des Coléoptères (Chrysomelidae), des Diptères, des Thysanoptères, des œufs et des jeunes larves de Lépidoptères (Noctuidae, Tortricidae), des acariens et des pucerons (PAULIAN, 1999 cité par MIGNON *et al.*, 2003). De ce fait, les chrysopes représentent un potentiel considérable en tant qu'agents de lutte biologique contre une grande diversité de ravageurs, y compris contre les pucerons (SENIOR et MCEWEN, 2001).

Des avancées considérables ont été faites dans la mise au point de l'élevage en masse de ces insectes, ce qui a permis de mettre en place de nombreux essais et programmes de lutte biologique par inondation (revu par POWELL et PELL, 2007).

### **2.2.3.2 Cycle biologique**

Les chrysopes sont, de la même façon que les coccinelles et les syrphes, des insectes holométaboles. Ceci signifie qu'ils passent par quatre stades au cours de leur cycle de vie, à savoir l'œuf, la larve, la pupa et l'adulte. Les chrysopes peuvent avoir une ou plusieurs générations par an (multivoltinisme facultatif) en fonction des espèces et des conditions climatiques (SAN MARTIN, 2004). Plusieurs espèces de chrysopes rentrent en diapause hivernale en tant qu'adultes, c'est par exemple le cas de l'espèce *Chrysoperla carnea* (Stephens) (NEW, 1988).

Selon les espèces, la fécondité des femelles peut varier entre 150 et 600 œufs pondus durant leur cycle de vie (NEW, 1975, 1988). Ces derniers sont généralement déposés sur la face inférieure des feuilles, à l'extrémité d'un fin filament appelé « pédicelle » (SAN MARTIN, 2004), ce qui permet, en quelque sorte, de les protéger d'autres insectes prédateurs (RUZICKA, 1997b). La durée d'incubation des œufs de *C. carnea* dure environ 5 jours à une température comprise entre 20 et 25 °C (SAN MARTIN, 2004).

Pendant les trois premiers stades larvaires, la chrysope se nourrit d'insectes, tandis que pendant le quatrième, appelé « prépupe », elle cesse de se nourrir afin de tisser le cocon. À nouveau, chez l'espèce *C. carnea*, le stade de prépupe dure environ 4 jours et le stade de pupa 9 jours, avec une température comprise entre 20 et 25°C (SAN MARTIN, 2004).

La durée de vie des adultes dure quelques semaines pour la plupart des espèces, et peut aller jusqu'à 9 mois pour celles qui passent l'hiver à l'état adulte, telles que les espèces appartenant au genre *Chrysoperla* (SAN MARTIN, 2004).

### **2.2.3.3 Sélection des sites d'oviposition**

Lors de la recherche de sites d'oviposition, les femelles de certaines espèces de chrysopes sont attirées par les molécules volatiles émises par les pucerons (ZHU *et al.*, 1999 ; BOO *et al.*, 1998). En effet, une étude menée en laboratoire par ZHU *et al.* (1999) a démontré que l'espèce *C. carnea* est attirée par la phéromone sexuelle des pucerons, composée de (4aS,7S,7aR)-nepetalactone et de (1R,4aS,7S,7aR)-nepetalactol (DAWSON *et al.*, 1989), ainsi que par l'(E)- $\beta$ -farnésène (EBF). Une autre étude menée par BOO *et al.* (1998) a démontré que l'espèce *Chrysopa cognata* est attirée par la phéromone sexuelle des pucerons, et non par l'(E)- $\beta$ -farnésène (EBF). De plus, les adultes de *C. carnea* sont attirés par les produits issus de la décomposition du tryptophane, un acide aminé faisant partie du miellat des pucerons (van EMDEN et HAGEN, 1976).

Les substances volatiles émises par les plantes, telles que le  $\beta$ -caryophyllène et le 2-phenylethanol, ont également un rôle attractif envers les femelles (FLINT *et al.*, 1979 ; ZHU *et al.*, 1999). De la même façon que pour les coccinelles, les traces larvaires de plusieurs espèces de chrysopes contiennent une phéromone d'anti-oviposition qui réduit significativement la ponte des femelles, au niveau intra- et interspécifique (RUZICKA, 1994, 1996, 1998).

Contrairement à la plupart des espèces de syrphes, qui pondent à proximité des colonies de pucerons (CHANDLER 1968a, b ; HEMPTINNE *et al.*, 1993), certaines espèces de chrysopes, telles que *Chrysopa oculata* (CODERRE *et al.*, 1987) et *C. carnea* (NAKAMURA *et al.*, 2000), pondent de façon plus aléatoire, ce qui suggère que les larves doivent rechercher activement leurs proies, suite à l'éclosion.

### **2.2.3.4 Comportement alimentaire des larves et des adultes**

Les larves de chrysopes sont hautement prédatrices, et peuvent adopter un comportement de cannibalisme lorsqu'elles manquent de nourriture. Ces dernières insèrent leurs mandibules dans les proies, et injectent une enzyme digestive, qui a pour but de liquéfier et postérieurement d'absorber les tissus internes de ces dernières (SAN MARTIN, 2004).

La voracité des larves est directement liée à la durée de leur développement qui varie à son tour en fonction de : la taille des proies consommées (MICHAUD, 2001), les espèces de proies consommées (LIU et CHEN, 2001), et la température (SCOPES, 1969). MICHAUD (2001) a démontré que la durée du développement des larves de *Chrysoperla plorabunda* (Fitch) est plus courte lorsque ces dernières consomment des *Toxoptera citricida* (Kirkaldy) au quatrième stade, et que la totalité des pucerons consommés est plus réduite lorsque ces derniers sont de plus grande taille. De plus, une autre étude menée par LIU et CHEN (2001) a mis en évidence que les larves de l'espèce *C. carnea* ont une préférence quant aux espèces de pucerons consommées. En effet, entre le premier et le troisième stade larvaire, chaque larve consomme, en moyenne, par ordre décroissant plus d'*A. gossypii* (292.4 individus), suivi de *M. persicae* (272.6 individus) et de *L. erysimi* (146.4 individus).

Les adultes de certaines espèces, telles que *C. carnea*, se nourrissent de miellat, de nectar et de pollen collectés sur diverses plantes, tandis que d'autres espèces appartenant au genre *Chrysopa* sont prédatrices de pucerons et d'autres insectes à corps mou (SAN MARTIN, 2004).

#### **2.2.3.5 Conclusions**

Peu d'études ont été réalisées sur l'efficacité des chrysopes dans la régulation des populations de pucerons (VÖLKL *et al.*, 2007). Etant donné qu'il s'agit de prédateurs très polyphages, des études ont été menées sur le contrôle d'autres ravageurs des cultures, tels que les acariens (HAGLEY et MILES, 1987) ou les cicadelles (DAANE, 1993). Les études menées sur le contrôle biologique des pucerons par les chrysopes se focalisent surtout sur l'utilisation de l'espèce *C. carnea* dans la lutte biologique par inondation, et démontrent une efficacité variable selon le ratio prédateur-proies (revu par POWELL et PELL, 2007). L'exploitation des substances sémiochimiques, en vue de favoriser le contrôle biologique des populations de pucerons par ces auxiliaires, est une piste intéressante, qui mériterait d'être étudiée de façon plus approfondie dans un futur proche.

## 2.3 Principales familles d'insectes parasitoïdes des pucerons

### 2.3.1 Braconidae et Aphelinidae : généralités

Les termes « insecte parasitoïde » désignent les insectes qui se développent sur ou à l'intérieur d'un organisme dit « hôte » en le tuant inévitablement au cours de son développement. Les insectes parasitoïdes des pucerons sont principalement des micro-hyménoptères appartenant à la famille des Braconidae et des Aphelinidae. La sous-famille des Aphidiinae (Hymenoptera: Braconidae) contient le plus grand nombre d'espèces parasitoïdes des pucerons, avec plus de 600 espèces décrites (MACKAUER et STARÝ, 1967). Au sein de cette sous-famille, toutes les espèces se développent en tant que parasitoïdes des pucerons, tandis que dans la sous famille des Aphelininae (Hymenoptera: Aphelinidae) uniquement les genres *Aphelinus*, *Mesidia* et *Mesidiapsis* contiennent des espèces parasitoïdes des pucerons (HAGEN et van den BOSCH, 1968).

Du fait de leur petite taille (d'où la désignation de micro-hyménoptères), les insectes parasitoïdes des pucerons sont difficilement observables dans les cultures. Cependant, ces parasitoïdes jouent un rôle important dans le contrôle biologique des populations aphidiennes, et ont été utilisés dans des programmes de lutte biologique plus fréquemment que d'autres ennemis naturels des pucerons (POWELL et PELL, 2007).

### 2.3.2 Cycle biologique

Toutes les espèces appartenant à la sous-famille des Aphidiinae sont des endoparasitoïdes<sup>9</sup> solitaires (HAGEN et van den BOSCH, 1968). Les femelles déposent un seul œuf par puceron, ce qui explique le terme « solitaire » utilisé pour décrire ce comportement, et ont une fécondité potentiellement très élevée. En effet, des études en conditions idéales de laboratoire ont démontré que celles-ci pouvaient pondre entre 300 et 1800 œufs durant leur cycle de vie, lorsque les hôtes sont présents en nombre suffisant (HAGVAR et HOFVANG, 1991a cité par VÖLKL *et al.*, 2007).

---

<sup>9</sup> Terme utilisé pour les insectes parasitoïdes qui déposent leurs œufs et se développent à l'intérieur de leur hôte

Cependant, cette fécondité est probablement bien inférieure dans les cultures, puisque, lorsque les températures sont élevées, la longévité des adultes peut devenir extrêmement faible (HAGEN et van den BOSCH, 1968).

Une fois que la larve a éclos à l'intérieur du puceron, elle s'alimente, dans une première phase, de son hémolymphe (COUCHMAN et KING, 1977), puis s'attaque à la globalité des tissus intérieurs, finissant ainsi par tuer son hôte (POLASZEK, 1986). Une fois que son stade mature a été atteint, celle-ci tisse un cocon, soit à l'intérieur du puceron momifié (c'est le cas des espèces appartenant aux genres *Ephedrus*, *Aphidius*, *Lysiphlebus*, *Pauesia* et *Trioxy*) soit en dessous de celui-ci (c'est le cas des espèces appartenant aux genres *Praon* et *Dyscritulus*) (VÖLKL *et al.*, 2007). La période de développement comprise entre la ponte des œufs et l'émergence des adultes a une durée minimale de 10 jours à des températures élevées, et peut dépasser un mois lorsque les températures sont plus basses (HAGEN et van den BOSCH, 1968).

Une fois que les adultes ont émergé de l'hôte, ils s'alimentent du miellat des pucerons et de nectar. La majorité des espèces appartenant à la sous-famille des Aphidiinae sont multivoltines, et les espèces des régions tempérées ont une diapause hivernale (HAGEN et van den BOSCH, 1968 ; VÖLKL *et al.*, 2007).

Dans la sous-famille des Aphelininae, la plupart des espèces appartenant au genre *Aphelinus* sont également des endoparasitoïdes solitaires des pucerons (HAGEN et van den BOSCH, 1968) et ont un cycle biologique très semblable aux espèces de la sous-famille des Aphidiinae. Cependant, contrairement à ces dernières, les femelles du genre *Aphelinus* doivent s'alimenter de l'hémolymphe des pucerons, car celle-ci constitue un apport essentiel au processus de maturation de leurs œufs (STARÝ, 1988). Pour cela, les femelles choisissent des hôtes de moindre qualité pour s'alimenter, et des hôtes de qualité supérieure pour l'oviposition (BAI et MACKAUER, 1990 ; TAKADA et TOKUMARU, 1996), qui sont, de préférence, des pucerons au premier et au deuxième stade larvaire (HAGEN et van den BOSCH, 1968).

### ***2.3.3 Recherche et sélection des hôtes par les femelles***

Lors de la recherche de leurs hôtes potentiels, les femelles de parasitoïdes utilisent différents types de substances semiochimiques (MACKAUER *et al.*, 1996), qui peuvent être perçues à des distances variables (BELL, 1990 ; VÖLK, 2000).

Lorsque les femelles recherchent leurs proies sur des distances relativement longues, c'est-à-dire entre habitats ou entre plantes hôtes de pucerons, les substances volatiles émises par les plantes infestées de pucerons leur donnent une indication sur la présence de ces derniers (DU *et al.*, 1998 ; MÖLCK *et al.*, 2000). En effet, des études menées au moyen d'un tunnel de vol et d'un olfactomètre ont démontré que les femelles appartenant à l'espèce *Aphidius ervi* sont attirées par des synomones émises par des plantes de fèves (*Vicia faba* L.) infestées d'*A. pisum* (DU *et al.*, 1996, 1998 ; POWELL *et al.*, 1998 ; GUERRIERI *et al.*, 1999).

Sur de plus courtes distances, c'est-à-dire quand la reconnaissance visuelle des hôtes potentiels n'est pas encore possible, le miellat, qui agit en tant que kairomone<sup>10</sup> de contact pour les femelles de parasitoïdes, joue un rôle important dans la localisation des pucerons par ces dernières (BUDENBERG, 1990 ; HAGVAR et HOFVANG, 1991b). Les femelles de parasitoïdes passent plus de temps à chercher leurs hôtes sur des plantes où le miellat est présent, ce qui augmente par conséquent leur probabilité de réussite (CLOUTIER et BAUDOUIN, 1990). A cette même échelle, d'autres substances secrétées par les pucerons, telles que la phéromone d'alarme (MICHA et WYSS, 1996 ; FOSTER *et al.*, 2005) et la phéromone sexuelle (HARDIE *et al.*, 1994 ; GLINWOOD *et al.*, 1999), ont un rôle attractif envers les femelles de parasitoïdes.

Sur de très courtes distances, les femelles peuvent détecter leurs hôtes potentiels en utilisant des éléments visuels, tels que la couleur des pucerons, la forme, la taille et les mouvements (MICHAUD et MACKAUER, 1994, 1995 ; BATTAGLIA *et al.*, 1995 ; CHAU et MACKAUER, 2000).

#### **2.3.4 Conclusions**

L'action des insectes parasitoïdes sur les populations de pucerons se fait sentir plus tardivement dans le printemps, puisque le métabolisme de ces auxiliaires exige des températures plus élevées que celui de leurs hôtes (CAMPBELL *et al.*, 1974). En théorie, les caractéristiques intrinsèques de ces insectes, telles qu'un taux de fécondité élevé et une durée très courte entre chaque génération, font de ces auxiliaires des agents de lutte

---

<sup>10</sup> Le terme kairomone est utilisé pour désigner les substances sémiachimiques qui, une fois émises par un organisme, provoquent une modification de comportement qui n'est bénéfique qu'à l'organisme récepteur

biologique potentiellement très efficaces. Cependant, de nombreux facteurs, tels que l'hyperparasitisme<sup>11</sup> (MACKAUER et VÖLKL, 1993), la prédation, et des conditions environnementales adverses (VÖLKL *et al.*, 2007), font que ces derniers n'exploitent en général qu'un petit pourcentage des populations de pucerons, ce qui est parfois insuffisant pour fournir un contrôle biologique efficace contre ces derniers (HAGEN et van den BOSCH, 1968 ; VÖLKL *et al.*, 2007).

#### *2.4 Conclusion générale sur les auxiliaires*

Les pucerons sont attaqués par une large gamme d'ennemis naturels, capables, en théorie, de réduire les populations aphidiennes en dessous du seuil économique d'intervention<sup>12</sup>. Cependant, cette potentialité théorique ne se vérifie pas toujours dans des conditions de terrain, ce qui rend nécessaire la recherche de moyens visant à augmenter l'efficacité du contrôle biologique exercé par les insectes auxiliaires.

Des progrès considérables sont actuellement enregistrés dans la compréhension des interactions entre les pucerons et leurs ennemis naturels, ce qui permet d'envisager de nouvelles stratégies de lutte contre ces derniers (POWELL et PELL, 2007). La lutte biologique par conservation, notamment par la manipulation du comportement des pucerons et des auxiliaires, semble être une piste d'avenir. Dans ce sens, l'exploitation de substances sémiologiques afin de mettre en place des stratégies de « push-pull » est un domaine qui prend de l'ampleur, et qui mérite d'être étudié plus profondément.

---

<sup>11</sup> Phénomène qui consiste dans le développement d'un parasitoïde dont l'hôte est un autre parasitoïde.

<sup>12</sup> Valeur à laquelle l'abondance de ravageurs justifie le recours à des mesures de lutte.

### 3 Substances sémiochimiques et stratégies de « push-pull »

#### 3.1 Substances sémiochimiques

Les substances sémiochimiques ont été abordées de façon ponctuelle dans les chapitres concernant les insectes auxiliaires prédateurs et parasitoïdes. Cependant, une explication plus précise sur le rôle de ces substances s'impose.

LAW et REGNIER (1971) ont été les premiers scientifiques à proposer le terme « sémiochimiques » pour décrire les substances chimiques, des molécules odorantes, qui interviennent dans les interactions entre les organismes. Ces molécules peuvent être classées en deux catégories différentes, à savoir les phéromones et les substances allélochimiques (Figure 1). Les phéromones ont une action intraspécifique, tandis que les substances allélochimiques ont une action interspécifique (NORDLUND et LEWIS, 1976).

Les substances allélochimiques peuvent, à leur tour, être classées en trois catégories différentes, à savoir les allomones, les kairomones et les synomones. Le terme « allomones » désigne les substances qui, quand émises par un organisme, provoquent une modification de comportement qui n'est bénéfique qu'à l'organisme émetteur. Le terme « kairomones » est lui utilisé pour designer les substances qui, quand émises par un organisme, provoquent une modification de comportement qui n'est bénéfique qu'à l'organisme récepteur. Enfin, le terme « synomones » est utilisé pour designer les substances qui ont un effet bénéfique pour l'organisme émetteur et l'organisme récepteur (NORDLUND et LEWIS, 1976).

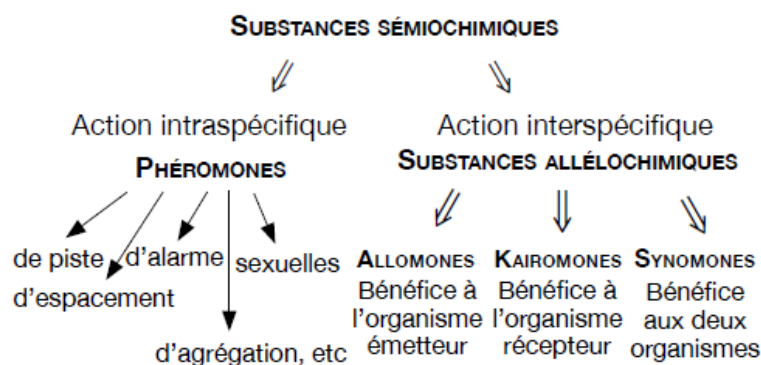


Figure 1 : Différents médiateurs chimiques (BROSSUT, 1996 cité par DURIEUX *et al.*, 2010)

Les phéromones sont classifiées en fonction du rôle qu'elles exercent sur les organismes. On distingue plusieurs types de phéromones, à savoir les phéromones de piste, les phéromones d'espacement, les phéromones d'alarme, les phéromones sexuelles et les phéromones d'agrégation (BROSSUT, 1996 cité par DURIEUX *et al.*, 2010).

De nombreux exemples de substances sémiochimiques ont été donnés dans les chapitres concernant les insectes auxiliaires.

Hormis le fait que l'étude des substances sémiochimiques permette de mieux comprendre les interactions entre les organismes, ainsi que leur comportement, leur développement et leur évolution, d'un point de vue pratique, ces substances constituent une alternative aux insecticides, notamment dans la mise en place de stratégies de « push-pull » (AGELOPOULOS *et al.*, 1999)

## 3.2 Stratégies de « push-pull »

### 3.2.1 Introduction

Le concept de « push-pull » a premièrement été conçu comme une stratégie de gestion intégrée des insectes ravageurs par PYKE *et al.* dans une étude menée en Australie en 1987 (cité par COOK *et al.*, 2007). Ces derniers ont étudié l'action combinée de stimuli de répulsion et d'attraction, afin de mettre en place une stratégie permettant de manipuler la distribution d'*Helicoverpa spp.* dans le coton. Une fois que ces papillons nocturnes devenaient résistants aux insecticides, cette stratégie visait à obtenir un contrôle efficace de ces ravageurs, tout en réduisant la dépendance de l'homme aux insecticides.

Plus tard, le concept a été approfondi et formalisé par MILLER et COWLES en 1990, dans une étude visant à trouver des alternatives aux insecticides pour contrôler la mouche de l'oignon (*Delia antiqua*). Ces derniers ont clairement mis en avant les potentialités de cette stratégie bipolaire d'attraction et de répulsion dans la mise en place de méthodes de lutte alternatives ou complémentaires à l'utilisation d'insecticides.

### 3.2.2 Principes et applications des stratégies de « push-pull »

Le terme « push-pull » est employé pour désigner différentes stratégies de contrôle des insectes ravageurs des cultures. Ces stratégies se basent sur l'utilisation de divers types de stimuli, visant à modifier le comportement des insectes ravageurs et/ou des auxiliaires, afin de contrôler leur distribution et leur abondance dans les cultures (COOK *et al.*, 2007).

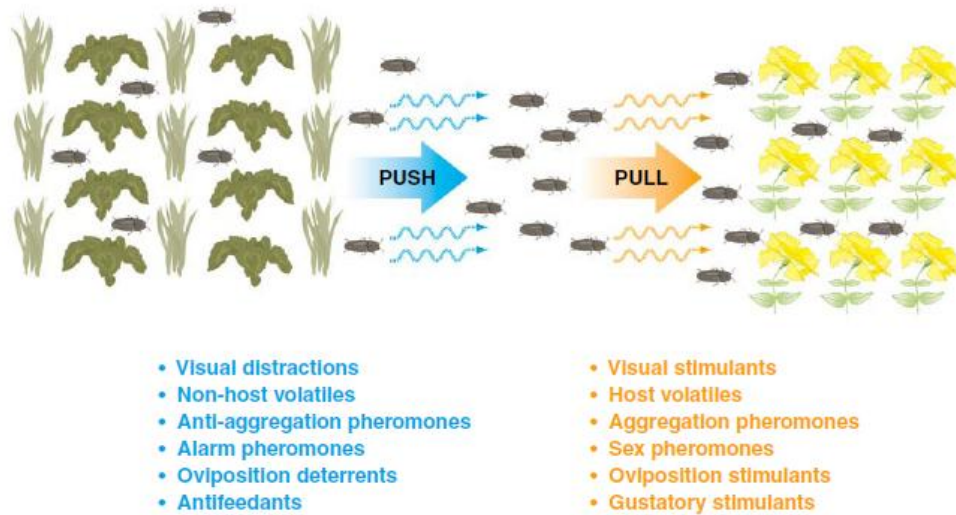
Certaines de ces stratégies ont uniquement pour cible les insectes ravageurs et ont pour objectif de réduire leur abondance dans les cultures à protéger. Pour cela, plusieurs types de stimuli répulsifs peuvent être utilisés pour les éloigner (« push ») des cultures. Simultanément, des stimuli d'attraction peuvent être utilisés pour attirer (« pull ») ces insectes ravageurs vers d'autres ressources qui se trouvent en dehors des cultures, tels que des pièges ou des plantes pièges, où ils se concentrent, facilitant ainsi leur contrôle, par exemple par des applications ciblées d'insecticides (COOK *et al.*, 2007).

La plupart des études réalisées sur les différentes stratégies de « push-pull » visent à modifier le comportement des insectes ravageurs. Cependant, différents stimuli peuvent également être utilisés pour attirer les insectes auxiliaires vers les cultures à protéger. Dans ce cas, l'objectif est de promouvoir le contrôle biologique des insectes ravageurs en attirant une grande quantité d'insectes auxiliaires, capables de réduire leurs populations (COOK *et al.*, 2007).

Le principe des stratégies de « push-pull » est donc de maximiser l'efficacité, l'efficience et la durabilité du contrôle des ravageurs des cultures, tout en minimisant les effets négatifs sur l'environnement (COOK *et al.*, 2007).

Il existe différents types de stimuli pouvant être utilisés dans les stratégies de « push-pull » (Figure 2). Ces derniers sont essentiellement des substances sémiochimiques qui interviennent dans les relations tritrophiques entre les plantes-hôtes, les insectes ravageurs et leurs ennemis naturels. Ces dernières peuvent être extraites des plantes et des insectes (origine naturelle) ou synthétisées (COOK *et al.*, 2007).

Il est également possible d'obtenir un effet de « push-pull » par la diversification des plantes cultivées, notamment par la mise place de l'interculture et de plantes pièges (COOK *et al.*, 2007). Ces plantes, qui ne sont pas des plantes hôtes pour les insectes ravageurs, peuvent également libérer des substances sémiochimiques ayant un effet répulsif envers ces derniers (KHAN *et al.*, 2000) et attractifs envers les auxiliaires (KHAN *et al.*, 1997).



**Figure 2 : Illustration du principe de la stratégie de « push-pull », ainsi que les différents stimuli pouvant être employés (Cook *et al.*, 2007).**

Cette diversification permet également d'augmenter la présence d'insectes auxiliaires prédateurs et parasitoïdes, afin de favoriser le contrôle biologique des insectes ravageurs par ces derniers, comme l'a démontré une étude réalisée par ALHMEDI *et al.* en 2009. Une autre étude très récente réalisée par HONGJIAO *et al.* (2010) en Chine a démontré que la diversité et l'abondance des insectes auxiliaires augmente, lorsque du chou chinois (*Brassica chinensis*) est cultivé en interculture avec d'autres plantes, notamment avec de l'ail (*Allium sativum*).

Il est important de préciser que chaque stimuli utilisé individuellement est moins efficace que l'utilisation combinée de différents stimuli d'attraction et de répulsion (MILLER et COWLES, 1990 ; KHAN *et al.*, 2000).

### 3.3 Conclusion

Peu d'études ont été réalisées sur la mise en place de stratégies de « push-pull », visant à manipuler simultanément le comportement et la distribution des insectes ravageurs et des insectes auxiliaires, afin d'obtenir un contrôle biologique efficace par ces derniers. Plusieurs substances sémiochimiques ont été testées sur le terrain, mais principalement en vue d'obtenir, soit un effet répulsif envers les ravageurs, soit un effet attractif envers les auxiliaires, mais rarement les deux. Les applications commerciales de cette méthode se font rares, par conséquent, ces potentialités sont indéniablement sous-exploitées.

Du fait que les dernières avancées scientifiques ont permis de mieux comprendre le comportement des insectes ravageurs, notamment des pucerons, et des insectes auxiliaires, de

plus en plus de substances sémiochimiques deviennent potentiellement exploitables dans le futur.

La mise en place de stratégies de « push-pull » visant à manipuler le comportement et la distribution des insectes auxiliaires prédateurs et parasitoïdes, afin de favoriser le contrôle biologique des insectes ravageurs par ces derniers, est un domaine d'avenir, qui mérite certainement d'être étudié plus en profondeur (COOK *et al.*, 2007).

# Objectifs du travail

Ce Travail de Fin d'Etudes s'inscrit dans un Projet Interuniversitaire Ciblé (PIC) de coopération entre la Faculté Gembloux Agro-Bio Tech, l'IPP (Institute of Plant Protection) qui fait partie du CAAS (Chinese Academy of Agricultural Sciences) et le SAU (Shandong Agricultural University).

D'un point de vue global, ce projet vise à réduire les dégâts occasionnés par les insectes ravageurs vecteurs de maladies virales (tels que les pucerons), de manière efficace et durable, ce qui n'est pas compatible avec les pratiques agricoles actuelles, qui consistent en l'utilisation de pesticides de synthèse, toxiques et contaminants pour les agro-écosystèmes et pour l'environnement au sens large.

L'ambition du projet est donc de rechercher des solutions alternatives à ces pratiques, qui soient également adaptées aux conditions de production locale et au contexte socio-économique de l'Est de la Chine. Dans ce sens, l'utilisation de nouvelles technologies, telles que des diffuseurs de molécules sémi-chimiques, et la mise en place de systèmes alternatifs de culture, tels que l'interculture, en cultures maraîchères, pourraient constituer des alternatives durables aux pratiques actuelles, permettant de contribuer à atteindre les objectifs globaux préalablement cités. Cette recherche a donc pour objectif de contribuer à l'amélioration de la qualité environnementale et sanitaire des productions végétales, limitant ainsi les problèmes de santé liés à l'ingestion de résidus de pesticides lors de la consommation de denrées végétales produites localement.

D'un point de vue plus spécifique, les objectifs de ce Travail de Fin d'Etudes s'articulent autour de trois axes:

- L'analyse de questionnaires conçus pour caractériser la structure socio-économique des ménages ruraux de la province du Shandong, en Chine.
- La mise en place et l'évaluation de différentes stratégies de « push-pull », ayant pour objectif de contrôler les populations de pucerons, responsables de la transmission de nombreuses maladies virales, nuisibles à la rentabilité des cultures maraîchères étudiées : les pommes de terre (*Solanum tuberosum* L.) et les courgettes (*Cucurbita pepo* L.). Pour cela, deux approches différentes ont été envisagées, d'une part, l'utilisation de différentes substances sémi-chimiques ((Z)-3-Hexenyl acetate, (E)- $\beta$ -farnésène (EBF) et extrait d'ail) et d'autre part la mise en

place de l'interculture avec introduction de pois (*Pisum sativum* L.). Le travail s'est ainsi focalisé sur l'impact de ces différentes modalités sur les populations d'insectes auxiliaires aphidiphages, prédateurs et parasitoïdes.

- L'élaboration de fiches informatives de vulgarisation, visant à informer les agriculteurs chinois sur la présence et le rôle que les insectes auxiliaires aphidiphages peuvent jouer dans le contrôle des populations aphidiennes.

# Matériel et méthodes

## 4 Enquête réalisée dans la province du Shandong

---

L'enquête a été réalisée dans le but d'avoir une vue d'ensemble de la structure socio-économique des ménages ruraux de la province du Shandong. Les questionnaires, réalisés par Monsieur Frédéric FRANCIS et Monsieur Philippe LEBAILLY, ont été administrés dans divers villages de trois districts différents : le district de Fanzheng, le district de Man zhuang et le district de Shan Kou.

Le questionnaire s'articule autour des volets suivants :

- La famille
- L'agriculture
- La mécanisation
- Le volet phytosanitaire
- Le crédit et les autres ressources
- Les structures de commercialisation

Trois enquêteurs de nationalité chinoise ont recueilli les informations chez les paysans. Les 27 questionnaires ont été administrés sur deux périodes, du 15 au 17 juillet 2009 et du 1<sup>er</sup> au 3 août 2009.

L'analyse des questionnaires (voir exemplaire du questionnaire en Annexe 1) a été faite en collaboration avec Damien POLO LOZANO et Emilie BOSQUÉE.

## 5 Mise en place de différentes stratégies de « push-pull »

---

### 5.1 Localisation des champs d'essais

Les champs d'essais utilisés pour la mise en place des essais appartiennent au SAU (Shandong Agricultural University) et se situent dans la ville de Taian (36°09' N ; 117°09' E), dans la province du Shandong, en Chine.

### 5.2 Matériel végétal utilisé

Les essais ont été réalisés sur deux types de cultures : des cultures de pommes de terre (*Solanum tuberosum* L.) et des cultures de courgettes (*Cucurbita pepo* L.).

Pour les cultures de pommes de terre, les plants utilisés appartiennent à la variété « Netherlands 15 ». Les pommes de terre ont été plantées manuellement le 17 mars 2011, et immédiatement recouvertes d'une butte puis d'un plastique en polyéthylène transparent, afin de favoriser l'augmentation de la température à l'intérieur de la butte, et d'accélérer la croissance de la culture.

Pour les cultures de courgettes, les semences utilisées appartiennent à la variété « Worcester ». Celles-ci ont été préalablement plantées en serre le 30 mars 2011, puis les plants ont été transplantés manuellement en plein champ 21 jours plus tard, c'est-à-dire le 20 avril 2011.

Cette installation totalise 15 parcelles de pommes de terre et 15 parcelles de courgettes (Figures 3 et 4).

Par ailleurs, les semences de pois (*Pisum sativum* L.) qui ont été utilisées pour mettre en place un système d'interculture dans 3 parcelles de pommes de terre et 3 parcelles de courgettes appartiennent à la variété « Netherlands white 604 ». Les semences ont été plantées directement en plein champ, le 29 mars 2011. Toutes les parcelles de pois ont une surface de 16 m<sup>2</sup>, et ont été installées à l'une des extrémités des parcelles réservées à cette modalité (Figures 3 et 4).



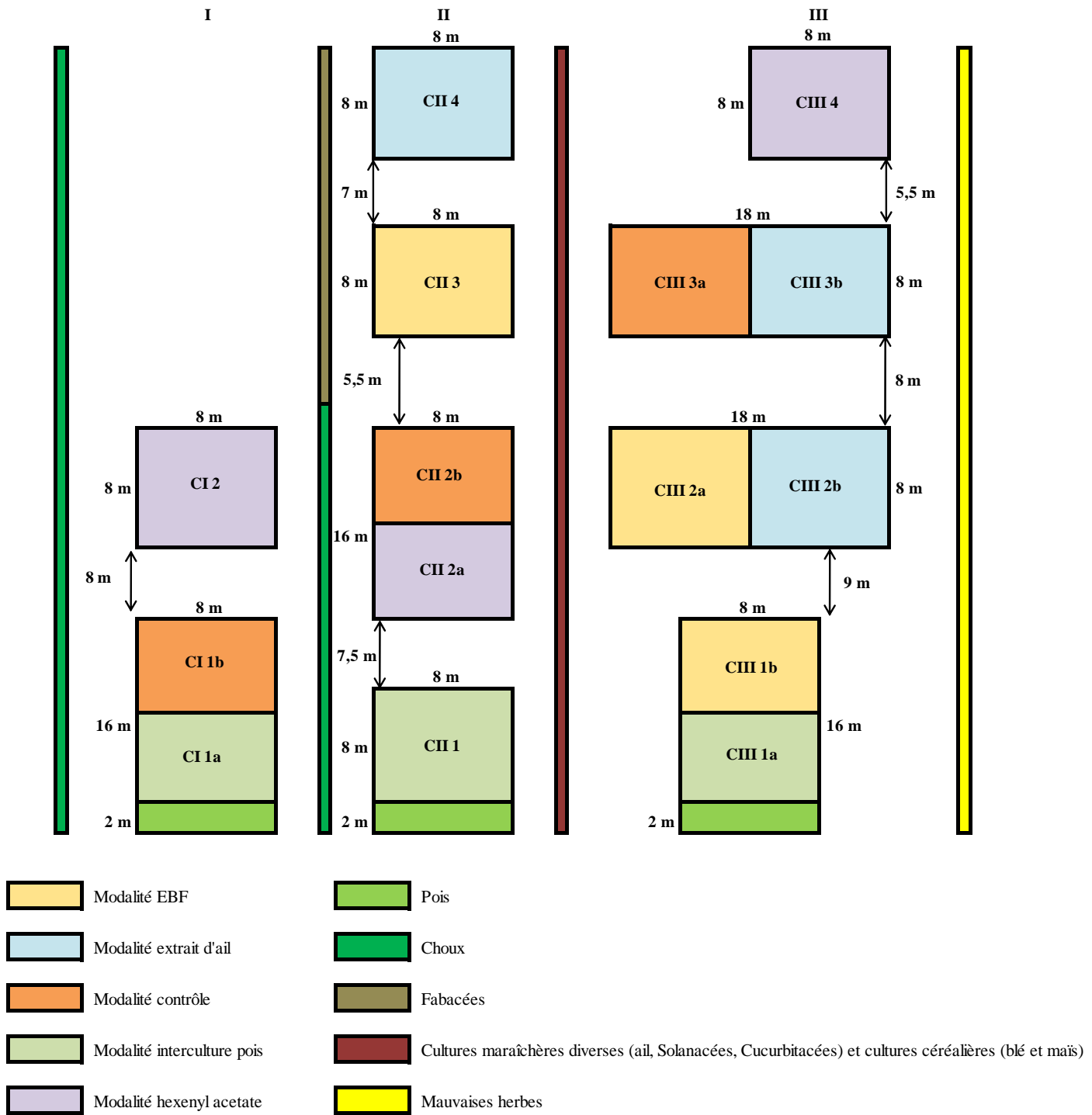


Figure 4 : Représentation schématique de l'arrangement spatial des parcelles expérimentales de courgettes (*Cucurbita pepo L.*)

**Tableau 2 : Tableau récapitulatif concernant la mise en place des champs d'essais**

Matériel végétal	Variétés	Dates de plantation
Pommes de terre ( <i>Solanum tuberosum</i> L.)	« Netherlands 15 »	Plantation en plein champ : 17 mars 2011
Courgettes ( <i>Cucurbita pepo</i> L.)	« Worcester »	- Plantation en serre : 30 mars 2011  - Transplantation en plein champ : 20 avril 2011
Pois ( <i>Pisum sativum</i> L.)	« Netherlands white 604 »	Plantation en plein champ : 29 mars 2011

### 5.3 Molécules sémiologiques utilisées et répartition des différentes modalités

Les molécules sémiologiques utilisées dans les différents essais de pommes de terre et de courgettes ont été extraites à la Faculté Gembloux Agro-Bio Tech et nous ont été fournies par Monsieur Frédéric FRANCIS.

Trois molécules sémiologiques ont été utilisées dans les essais :

- L' (E)- $\beta$ -farnésène (EBF)
- L' (Z)-3-Hexenyl acetate
- Un extrait d'ail

Au total, 5 modalités différentes ont été mises en place dans les parcelles de pommes de terre et dans les parcelles de courgettes, à savoir :

- Modalité (E)- $\beta$ -farnésène (EBF)
- Modalité (Z)-3-Hexenyl acetate
- Modalité extrait d'ail
- Modalité interculture pois
- Modalité contrôle

Trois répétitions ont été réalisées pour chaque modalité et pour chaque type de culture.

Les 5 modalités ont été réparties dans les champs d'essais de pommes de terre et de courgettes par un tirage au sort, afin de garantir le caractère aléatoire de la répartition des parcelles (Figures 3 et 4).

#### 5.4 *Déroulement des expériences sur le terrain*

##### 5.4.1 *Méthodologie utilisée*

La méthodologie utilisée pour la mise en place et l'évaluation de l'efficacité des différentes modalités de « push-pull » est la même que celle qui a été utilisée dans des études précédentes qui recouraient toutes au piégeage d'insectes, menées par FRANCIS *et al.* en 2001, FRANCIS *et al.* en 2003, MIGNON *et al.* en 2003 et FRANCIS *et al.* en 2005c.

L'inventaire des insectes auxiliaires aphidiphages a été réalisé à l'aide de pièges jaunes en plastique (pièges de Moericke), constitués d'un récipient d'un diamètre de 27 cm et une profondeur de 10 cm. Ce type de piège est un des modèles les plus fréquemment utilisés en faunistique entomologique des milieux agricoles. En effet, ils sont peu onéreux, simples à utiliser, efficaces, et se prêtent à des échantillonnages de grande envergure (MIGNON *et al.*, 2003).

Les pièges (Figure 5) contiennent une solution aqueuse de détergent visant à réduire la tension artificielle de l'eau, ce qui permet d'augmenter le nombre d'insectes piégés. Une bouteille en plastique perforée a été placée dans tous les pièges contenant des molécules sémiochimiques ((Z)-3-Hexenyl acetate, (E)- $\beta$ -farnésène (EBF) et extrait d'ail), dans le but de les protéger des précipitations. Une quantité de 100  $\mu$ l de molécules sémiochimiques a été introduite avec une micropipette dans des diffuseurs en caoutchouc, au centre des pièges (Figure 5).

Les pièges ont été placés dans les champs d'essais le 9 mai 2011. Une distance minimale de 10 mètres entre chaque piège a été respectée, afin d'éviter qu'un mélange éventuel se produise entre les molécules de chaque piège, faussant ainsi les résultats. En outre, les pièges ont été placés à une distance minimale de trois mètres des bordures des parcelles, afin de limiter l'effet de bordure. Les pièges coulissaient sur une tige métallique verticale permettant de réguler la hauteur du piège afin de suivre la croissance des plantes.



**Figure 5 : Exemple de piège. La molécule sémiochimique se trouve dans le diffuseur au centre et est protégée des précipitations par une bouteille en plastique perforée**

Les insectes piégés ont été récoltés à intervalle régulier, une fois par semaine, à l'aide d'un tamis et d'un pinceau, afin de préserver leur état. Les molécules sémiochimiques ont également été remplacées hebdomadairement, à la suite des récoltes des insectes. Chaque diffuseur était alors à nouveau rempli de 100  $\mu$ l de substance sémiochimique. Au total, 5 collectes ont été effectuées, entre le 16 mai et le 13 juin 2011.

Les insectes collectés ont été rapportés au laboratoire et conservés dans une solution à 75% d'éthanol, jusqu'à leur identification. Les pucerons et les insectes non ciblés par les différents traitements ont été séparés des insectes auxiliaires aphidiphages prédateurs et parasitoïdes, afin de procéder à l'identification et au comptage de ces derniers, le plus souvent à l'aide d'une loupe binoculaire.

La plupart des insectes auxiliaires aphidiphages ont été identifiés jusqu'à l'espèce. Cependant, il s'est avéré difficile d'identifier certains insectes jusqu'à ce niveau taxonomique, l'identification s'est alors limitée au genre. Il est également important de préciser que seules les principales familles d'insectes prédateurs ont été prises en compte, c'est-à-dire les Coccinellidae, les Syrphidae et les Chrysopidae. D'autres familles n'ont pas été prises en compte en raison de leur nature polyphage qui rend difficile l'analyse de leur impact sur les populations de pucerons.

En complément des récoltes et identifications des insectes auxiliaires aphidiphages récoltés dans les pièges, des observations visuelles sur les plantes ont également été effectuées, afin de déterminer la diversité et l'abondance des espèces d'auxiliaires aphidiphages dans les différentes modalités.

Les observations ont également été réalisées, à intervalle régulier, une fois par semaine, avant de remplacer les molécules sémiochimiques. Toutes les plantes se trouvant dans un rayon d'un mètre autour des pièges de chaque modalité ont été observées. La plupart des insectes prédateurs ont été identifiés directement sur plante, tandis que les insectes difficilement identifiables à l'œil nu, tels que les parasitoïdes, ont été récoltés en utilisant un aspirateur (Figure 6), afin d'être identifiés postérieurement en laboratoire.



**Figure 6: Aspirateur utilisé pour capturer les insectes auxiliaires aphidiphages parasitoïdes sur plante.**

Certaines larves de chrysopes et de syrphes ont été classifiées uniquement jusqu'à la famille en raison de leurs caractères morphologiques peu marqués, rendant impossible la classification jusqu'à l'espèce et même jusqu'au genre dans certains cas.

### 5.4.2 *Analyse statistique*

Les données obtenues à partir des 5 semaines de piégeages et d'observations sur plante, ont été traitées à l'aide du logiciel MINITAB 15.

Une analyse de la variance à deux critères de classification (Two-Way ANOVA) a été réalisée, afin de déterminer l'effet de la durée des traitements, ainsi que des traitements proprement dits sur :

- Les prédateurs, parasitoïdes et pucerons récoltés dans les pièges jaunes, pour les courgettes
- Les familles de prédateurs et parasitoïdes récoltées dans les pièges jaunes, pour les courgettes
- Les prédateurs, parasitoïdes et pucerons récoltés dans les pièges jaunes, pour les pommes de terre
- Les familles de prédateurs et parasitoïdes récoltées dans les pièges jaunes, pour les pommes de terre
- Les prédateurs, parasitoïdes et pucerons observés sur plante, pour les courgettes
- Les prédateurs, parasitoïdes et pucerons observés sur plante, pour les pommes de terre

## 6 Elaboration de fiches informatives de vulgarisation

---

Suite à l'analyse des résultats obtenus, des fiches informatives ont été réalisées afin d'informer les agriculteurs chinois sur les différentes espèces d'insectes auxiliaires aphidiphages que ces derniers peuvent trouver dans les cultures de pommes de terre et de courgettes. Ces fiches ont été rédigées dans un premier temps en anglais, puis postérieurement traduites en chinois. Sur ces documents, la dynamique et le rôle que les populations d'insectes auxiliaires peuvent avoir dans le contrôle des populations de pucerons ont été également spécifiés.

# Résultats et discussion

## 7 Analyse des résultats de l'enquête

### 7.1 Famille

Le volet famille est particulièrement intéressant dans la mesure où il permet de déterminer la force de travail de l'exploitation. Parmi les 27 familles soumises à l'enquête, nous constatons que la majorité des chefs de famille sont des hommes dont la moyenne d'âge est de 57,3 ans. Le nombre moyen d'enfants par ménage rural est de 2,2. Par exploitation, nous comptons en moyenne 4,7 habitants composés de 49% d'hommes et de 51% de femmes. La tranche d'âge majoritaire est celle des 17-60 ans qui représente environ 81% chez les hommes et 75% chez les femmes (Tableau 3).

**Tableau 3 : Répartition de la force de travail par tranche d'âge**

Force de travail	Âge	Nombre de personnes	% par rapport au sexe	% par rapport à la population
<b>Hommes</b>	Moins de 5 ans	1	1,67	0,8
	5-7 ans	1	1,67	0,8
	8-12 ans	0	0	0
	13-16 ans	0	0	0
	17-60 ans	49	81,07	39,2
	60 ans et plus	9	15	7,2
	<b>Total Hommes</b>		60	100
<b>Femmes</b>	Moins de 5 ans	0	0	0
	5-7 ans	1	1,54	0,8
	8-12 ans	2	3,08	1,6
	13-16 ans	4	6,15	3,2
	17-60 ans	49	75,38	39,2
	60 ans et plus	9	13,85	7,2
	<b>Total Femmes</b>		65	100
<b>Total</b>		<b>125</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Nous tenons à signaler que la tranche d'âge 17-60 ans s'avère anormalement large par rapport aux autres tranches qui comprennent un écart plus réduit. Le caractère

discutable de cette répartition doit être cependant modéré par le fait que la tranche 17-60 représente, en réalité, la période pendant laquelle la force de travail est effective.

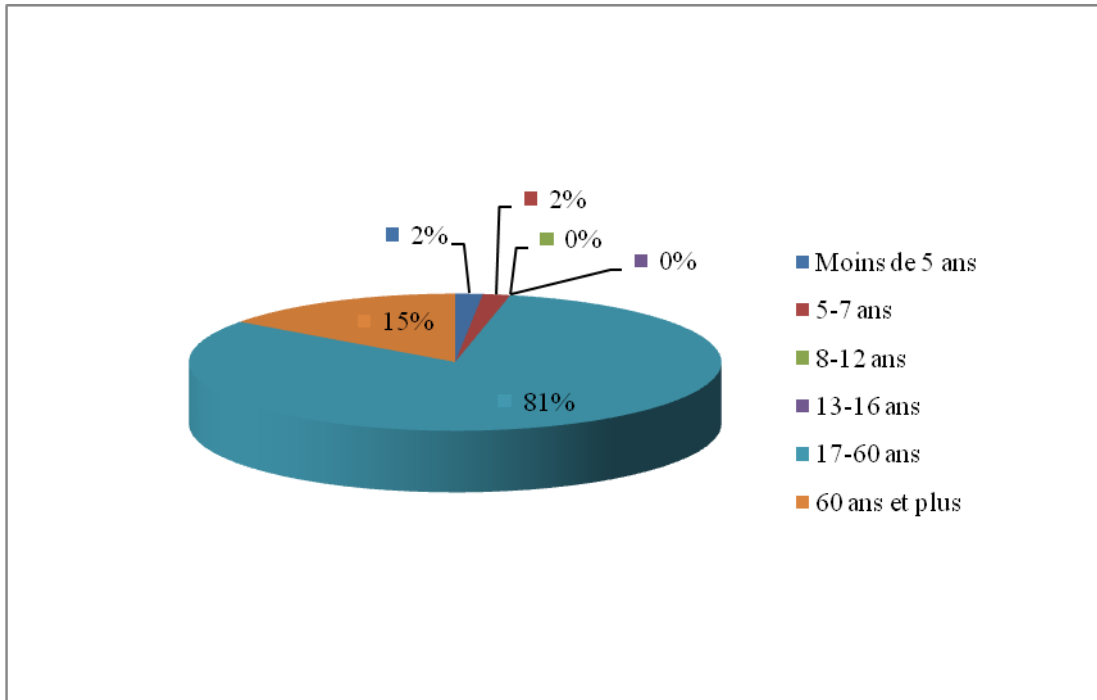


Figure 7: Répartition des hommes par tranche d'âge

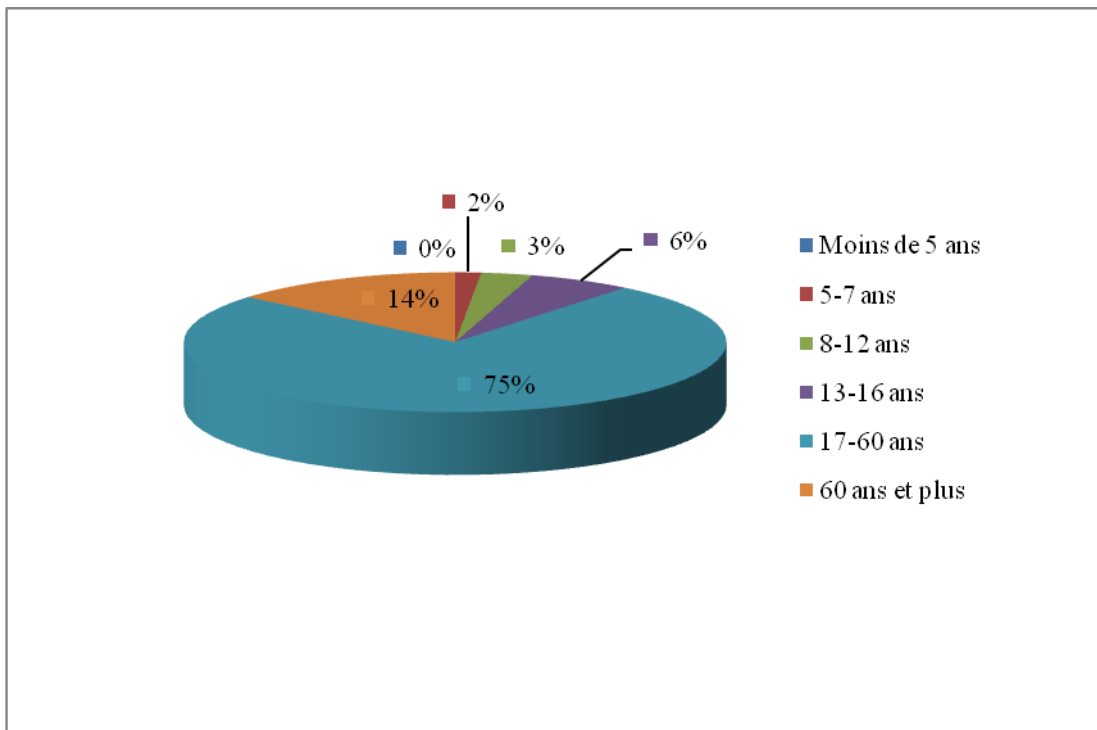
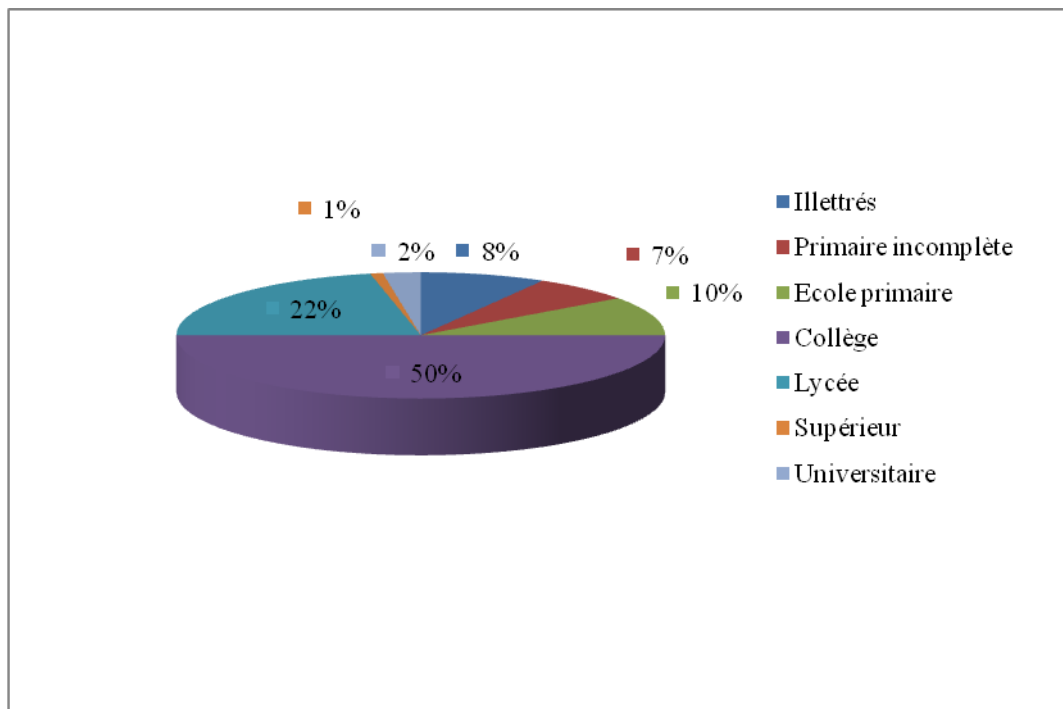


Figure 8: Répartition des femmes par tranche d'âge

L'analyse du Tableau 4 concernant le niveau d'éducation met en évidence que la moitié de la population rurale a un niveau d'étude allant jusqu'au collège. Il est également important de préciser que la part des illettrés dans la population étudiée est non négligeable puisqu'elle représente 8,3%. Les personnes ayant atteint le niveau d'études supérieures ou universitaires représentent une très faible proportion de la population étudiée, avec un pourcentage de 3,3%.

**Tableau 4 : Niveaux d'éducation des membres des ménages**

Education	Nombre de personnes	Pourcentage (%)
Illettrés	10	8,3
Primaire incomplète	8	6,7
Ecole primaire	12	10
Collège	60	50
Lycée	26	21,7
Supérieur	1	0,8
Universitaire	3	2,5
Illettrés	10	8,3
Primaire incomplète	8	6,7
<b>Total</b>	<b>120</b>	<b>100</b>



**Figure 9: Répartition des paysans par niveau d'éducation**

## 7.2 Agriculture

Au niveau du capital foncier, les exploitations sont de très petite taille. En effet, les superficies agricoles oscillent entre 0,03 et 0,6 ha. Le Tableau 6, permet de constater que la superficie moyenne pour la culture du blé est de 0,18 ha et de 0,12 ha pour le maraîchage. De plus, les exploitations présentent une fragmentation non négligeable.

Au niveau des installations agricoles (Tableau 5), nous remarquons que celles-ci sont essentiellement destinées à la production de volailles et de porcs. Nous constatons également que les superficies de ces installations sont de taille réduite.

Ces observations nous amènent à penser que nous sommes face à une agriculture de faible production.

En ce qui concerne les différents types de spéculations pratiquées dans la province du Shandong, le blé et le maïs sont clairement les plus importantes, ainsi que le maraîchage dans une moindre mesure. (Tableaux 6 et 7)

**Tableau 5: Installations agricoles**

Installation agricoles	Nombre de fermes	Superficie moyenne (m2)
Poulailler	8	4,5
Cage à volailles	2	3,5
Etable	3	14,3
Porcherie	6	12,7

**Tableau 6: Surface agricole dédiée au blé et au maraîchage**

Spéculations	Nombre de fermes	Superficie moyenne (ha)	Nombre de parcelles
Blé	27	0,18	2,6
Maraîchage	7	0,12	1

**Tableau 7: Autres spéculations pratiquées dans la province du Shandong**

Autres spéculations	Nombre de fermes
Maïs	27
Pois	1
Arachide	1
Ail	3
Moutarde	1
Pomme de terre	2
Citrouille	1
Chou chinois	2

### 7.3 Mécanisation

L'analyse de ce volet va de pair avec l'analyse du volet « agriculture ». En effet, la taille des exploitations conditionne fortement l'investissement dans l'équipement agricole. Ainsi il s'avère normal que des exploitations de très petite taille aient des niveaux d'investissement en matériel agricole de faible envergure.

En ce qui concerne les équipements de traction mécanisée, nous observons dans le Tableau 8 qu'il existe uniquement quatre fermes possédant un tracteur et deux fermes possédant un motoculteur.

Pour les équipements agricoles, nous constatons que toutes les fermes possèdent au moins un pulvérisateur plastique. Cette information vient compléter les informations fournies par le volet phytosanitaire. En effet, comme nous le verrons par la suite, l'utilisation de pesticides sur les exploitations est systématique.

Dans l'ensemble, le fait que les exploitations soient peu équipées en matériel agricole reflète un niveau faible d'investissement dans l'agriculture, ce qui renforce l'idée qu'il s'agit plutôt d'une agriculture à faibles rendements ou même une agriculture de subsistance pour certaines exploitations.

**Tableau 8: Accès des ménages ruraux de la province du Shandong aux équipements agricoles**

Mécanisation	Equipements	Nombre de fermes
Equipement de traction mécanisée	Motoculteur	2
	Tracteur	4
Equipement agricole	Charrue	8
	Herse	15
	Emotteuse	1
	Pulvérisateur inox	1
	Pulvérisateur plastique	27
	Batteuse à moteur	3
	Pompe hydraulique	7
	Décortiqueuse	1
	Vanneuse manuelle	8
	Vanneuse à moteur	0
	Charrette pour cheval	5
	Batteuse manuelle	0
	Charette pour bovins	0

### 7.4 Volet phytosanitaire

Ce volet est particulièrement important pour notre Travail de Fin d'Études. En effet, l'objectif étant d'étudier et de mettre en place des méthodes alternatives de lutte contre les ravageurs, il est tout d'abord essentiel de comprendre l'ampleur de l'utilisation des pesticides dans la province étudiée.

Les produits phytosanitaires appliqués sur les cultures sont essentiellement des insecticides et des herbicides en moindre mesure. Aucun fongicide n'est utilisé dans les exploitations soumises à l'enquête.

La question concernant le nombre d'applications de produits phytosanitaires est peu claire et difficilement compréhensible. Il nous est donc impossible d'en tirer des conclusions pertinentes.

Une observation plus détaillée des produits insecticides les plus utilisés permet de conclure qu'ils appartiennent en priorité à la famille des organophosphorés, puis à celle des pyréthrinoïdes. Quant aux herbicides, ce sont les produits appartenant à la famille des pyridines qui sont les plus appliqués.

**Tableau 9: Produits phytosanitaires utilisés**

Types de produits phytosanitaires	Produits	Nombre de fermes
Insecticides	Organophosphorés (Omethoate, Phoxim, Methamidophos, Dichlorvos, Phorate)	23
	Pyréthrinoïdes (Deltaméthrine, Cyperméthrin)	6
Herbicides	Pyridine (Paraquat)	20
	Chloroacétanilides (Acetochlor)	1

Le volet phytosanitaire comporte également des rubriques permettant d'évaluer le niveau de connaissance des agriculteurs dans plusieurs domaines relatifs à l'utilisation des pesticides.

Nous avons ainsi constaté que le niveau de connaissance des agriculteurs est particulièrement faible relativement aux types de ravageurs et de maladies qui affectent les cultures pratiquées dans la région. En effet, ces derniers ne connaissent aucune maladie pouvant affecter leurs cultures, ce qui explique le fait qu'aucun fongicide ne soit appliqué. En ce qui concerne les ravageurs, les connaissances des agriculteurs sont très incomplètes, car

la grande majorité s'accorde sur le fait que les principaux ravageurs de leurs cultures sont le puceron et la pyrale du maïs. Or, si nous regardons plus spécifiquement les pucerons, nous observons que presque la totalité des agriculteurs ne connaissent pas les périodes à risques accrus et les différentes espèces qu'ils peuvent trouver dans leurs cultures. Quant aux insectes auxiliaires, uniquement deux agriculteurs sont capables d'identifier une famille d'insectes que l'on peut trouver dans les cultures en nommant les coccinelles.

En outre, les agriculteurs n'ont aucune conscience de la toxicité des produits phytosanitaires qu'ils appliquent sur les cultures et des effets négatifs qu'ils causent sur l'environnement. Il n'est donc pas étonnant d'observer qu'aucun agriculteur ne soit informé des techniques alternatives de lutte contre les ravageurs, telles que les cultures intercalaires de pois ou les molécules sémiochimiques. La lutte biologique est donc un domaine totalement méconnu de ces agriculteurs.

Nous pouvons émettre l'hypothèse que le manque de connaissances sur les domaines précédemment cités est directement lié au niveau d'éducation des différents membres qui constituent le ménage. Suite à ces observations, l'objectif de vulgarisation de ce Travail de Fin d'Etudes prend tout son sens.

### *7.5 Crédit et autres ressources*

Ce volet est intéressant car il permet de déterminer si les agriculteurs ont accès au crédit pour investir dans l'activité agricole. Les résultats montrent qu'aucun agriculteur n'y a accès, ce qui traduit un niveau faible d'investissement dans l'activité agricole. La plupart le justifient par l'obtention de subventions du gouvernement. De plus, aucun ne fournit de crédits à des tiers.

Dans de nombreux cas (20 ménages sur 27), un ou plusieurs membres de la famille exercent une activité extra-agricole, le plus souvent dans le domaine de la construction. Dans le cadre de cette enquête, les revenus générés par ces activités ne sont dévoilés que pour 9 des 20 ménages et ne dépassent, en aucun cas, les 3000 Yuan (322 €).

Cinq familles sur 27 reçoivent de l'argent venant de membre de la famille travaillant à l'extérieur, à raison de 500 à 12000 Yuan. Cependant, nous n'avons pas d'information sur la fréquence à laquelle ces revenus sont perçus ce qui diminue l'intérêt de cette information.

## 7.6 Structures de commercialisation

En ce qui concerne les structures de commercialisation, le blé et le maïs sont les produits les plus commercialisés, ce qui s'explique par le fait que ce sont les deux principales spéculations pratiquées.

Sur la totalité des ménages ruraux soumis à l'enquête, 21 commercialisent leurs produits agricoles, principalement par la vente individuelle au marché, mais également par la vente à un collecteur externe ou local. Dans ce cas, nous considérons donc qu'il ne s'agit plus d'une agriculture de subsistance.

C'est pourquoi, dans le cadre des six ménages qui ne commercialisent pas leurs produits agricoles, nous émettons l'hypothèse que nous sommes face à une agriculture de subsistance.

Il est également important de préciser que la filière biologique est complètement méconnue de l'ensemble des ménages.

## 7.7 Conclusions sur l'enquête

L'enquête a permis d'avoir une meilleure connaissance de la structure socio-économique des ménages ruraux de la province du Shandong. Au regard de ce travail, il est évident que nous sommes face à une agriculture peu productive, voir de subsistance pour certains ménages.

Le volet phytosanitaire de l'enquête nous permet de conclure que les connaissances des agriculteurs dans ce domaine sont inexistantes. Ces résultats sont en accord avec ceux de ZHOU et JIN (2009), deux chercheurs qui ont mené une étude dans la province du Zhejiang, dans l'est de la Chine, pour déterminer les principaux facteurs qui contribuent à l'application de pesticides par les agriculteurs de cette province. Ces chercheurs sont arrivés à la conclusion que les agriculteurs maraîchers qui appliquent le plus de pesticides sont, en général, plus âgés et ont un niveau d'éducation plus faible. Cette étude a également mis en avant le fait que les agriculteurs les moins informés sur les notions de sécurité alimentaire sont ceux qui appliquent le plus de pesticides hautement toxiques. Les résultats obtenus par ces deux chercheurs, ainsi que ceux qui ont été obtenus dans notre enquête, démontrent la nécessité de mettre en place des programmes de formation et de communication, visant à informer les agriculteurs des effets que les pesticides hautement toxiques ont sur la sécurité des denrées

alimentaires et sur la santé humaine. Ces programmes doivent spécialement être dirigés vers les agriculteurs les plus âgés et les agriculteurs ayant un niveau d'éducation plus faible.

Le pan vulgarisation et formation de ce Travail de Fin d'Etudes prend donc tout son sens. Cependant, les coûts des alternatives biologiques doivent se calquer sur les revenus des ménages ruraux, afin que ces derniers puissent porter un intérêt sur ces méthodes.

Il est important de préciser que l'analyse de l'enquête a permis de déceler de nombreuses incohérences qui peuvent éventuellement s'expliquer par un mauvais encodage, une incompréhension, une mauvaise traduction ou encore une mauvaise conversion des unités. Nous avons également constaté un manque important de données dû à des questionnaires incomplets.

En outre, bien que la taille de l'échantillon soit réduite et donc potentiellement peu représentative, les résultats obtenus sont très déterminants et caractérisent indubitablement la population agricole de la province du Shandong.

## 8 Analyse des résultats concernant la mise en place de différentes stratégies de « push-pull »

---

### *8.1 Facteurs pris en compte dans l'analyse statistique*

L'analyse des résultats concernant la mise en place de stratégies de « push-pull » prend en compte deux facteurs : la durée des traitements et les traitements proprement dits.

Quant au premier facteur, l'analyse de la phénologie des populations d'insectes auxiliaires aphidiphages et de pucerons permet de voir la dynamique de ces populations durant les semaines d'expérimentations. L'analyse de ce facteur permet également de déterminer s'il y a eu synchronisation ou non des différents pics de populations de pucerons et d'insectes auxiliaires aphidiphages. Ce facteur est essentiel dans la détermination de l'efficacité du contrôle biologique exercé par ces derniers.

L'analyse du deuxième facteur permet, quant à elle, de déterminer si les traitements ont un effet significatif sur ces populations.

### *8.2 Analyse des résultats concernant les captures dans les pièges jaunes*

Dans une première phase, l'analyse des résultats obtenus lors des piégeages dans les cultures de courgettes et de pommes de terre passe par une approche globale, focalisée sur la totalité des prédateurs, parasitoïdes et pucerons récoltés. Une approche plus spécifique est ensuite envisagée, par l'analyse de l'effet de ces deux facteurs sur les différentes familles d'insectes prédateurs et parasitoïdes.

#### ***8.2.1 Prédateurs, parasitoïdes et pucerons dans les cultures de courgettes***

Le détail des espèces d'auxiliaires récoltées dans chaque piège jaune, ainsi que l'abondance d'individus par espèce se trouve dans l'Annexe 2.

Le Tableau 10 regroupe les espèces d'auxiliaires aphidiphages récoltées dans les pièges jaunes, ainsi que l'abondance d'individus par espèce, en fonction des différents traitements.

**Tableau 10: Tableau reprenant les espèces d'auxiliaires aphidiphages récoltées dans les pièges jaunes, pour les courgettes, ainsi que l'abondance d'individus par espèce, selon les différents traitements (T1 : interculture pois ; T2 : (E)- $\beta$ -farnésène ; T3 : extrait d'ail ; T4 : contrôle ; T5 : (Z)-3-Hexenyl acetate)**

Courgettes ( <i>Cucurbita pepo</i> L.) - Pièges jaunes							
Espèces d'auxiliaires récoltées selon les différents traitements			T1	T2	T3	T4	T5
Prédateurs	Coccinellidae	<i>C. septempunctata</i> (adulte)	16	34	19	23	19
		<i>C. septempunctata</i> (larve)	0	0	0	1	0
		<i>H. convergens</i> (adulte)	2	3	4	0	3
		<i>Platynaspis sp.</i> (adulte)	5	7	2	4	0
		<i>P. japonica</i> (adulte)	4	2	3	0	4
		<i>P. japonica</i> (larve)	0	0	0	2	0
		<i>H. axyridis</i> (adulte)	0	0	0	0	1
	Syrphidae	<i>E. tenax</i> (adulte)	1	0	1	1	0
		<i>E. corollae</i> (adulte)	0	3	3	4	5
		<i>E. arbustorum</i> (adulte)	0	2	0	0	0
	Chrysopidae	<i>C. carnea</i> (adulte)	1	1	0	0	2
		<i>C. carnea</i> (larve)	0	0	0	0	2
		<i>C. pallens</i> (adulte)	1	0	0	0	0
		Larve de Chrysopidae	0	0	0	0	1
Parasitoïdes	Braconidae	<i>Lysiphlebus sp.</i>	6	9	12	4	7
		<i>A. avenae</i>	0	1	0	1	1
		<i>D. rapae</i>	1	0	0	0	2
		<i>A. gifuensis</i>	19	17	16	16	12
		<i>L. gracilis</i>	1	4	19	8	4
	Aphelinidae	<i>Aphelinus sp.</i>	24	61	27	21	37
Total			81	144	106	85	100

La réalisation de l'analyse de la variance à deux critères de classification (Two-Way ANOVA) sur le nombre de prédateurs aphidiphages récoltés, met en évidence une différence hautement significative ( $F = 4,52$  ;  $P < 0,01$ ) entre les dates de collectes, tandis qu'aucune différence significative ( $F = 0,82$  ;  $P = 0,521$ ) n'a été observée entre les traitements.

Le même type de résultats a été obtenu pour les insectes parasitoïdes aphidiphages, puisque une différence très hautement significative ( $F = 8,63$  ;  $P < 0,001$ ) entre les dates de collectes a été mise en évidence, tandis qu'aucune différence significative ( $F = 0,71$  ;  $P = 0,586$ ) n'a été observée entre les traitements.

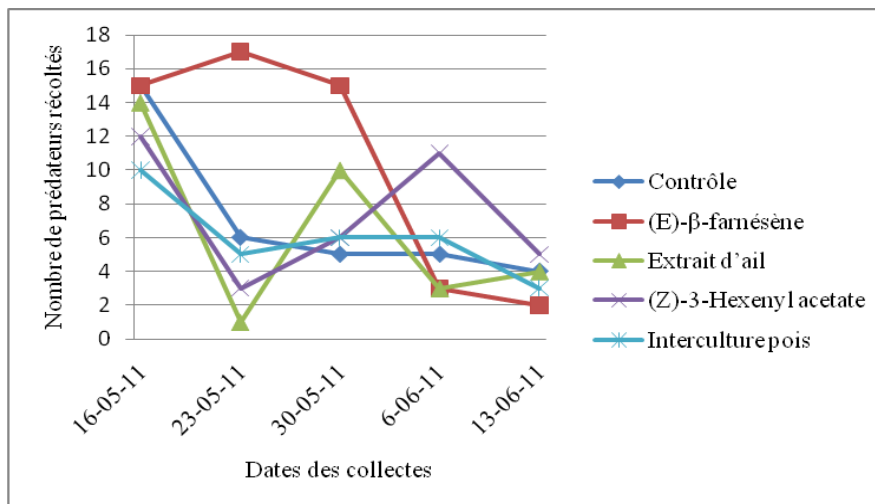
Le Tableau 11 présente le nombre de pucerons récoltés dans les pièges jaunes, pour les courgettes, selon les traitements.

**Tableau 11: Nombre de pucerons récoltés dans les pièges jaunes, pour les courgettes, selon les traitements (T1 : contrôle ; T2 : (E)-β-farnésène (EBF) ; T3 : extrait d'ail; T4 : (Z)-3-Hexenyl acetate ; T5 : interculture pois) (Données fournies par Emilie BOSQUÉE)**

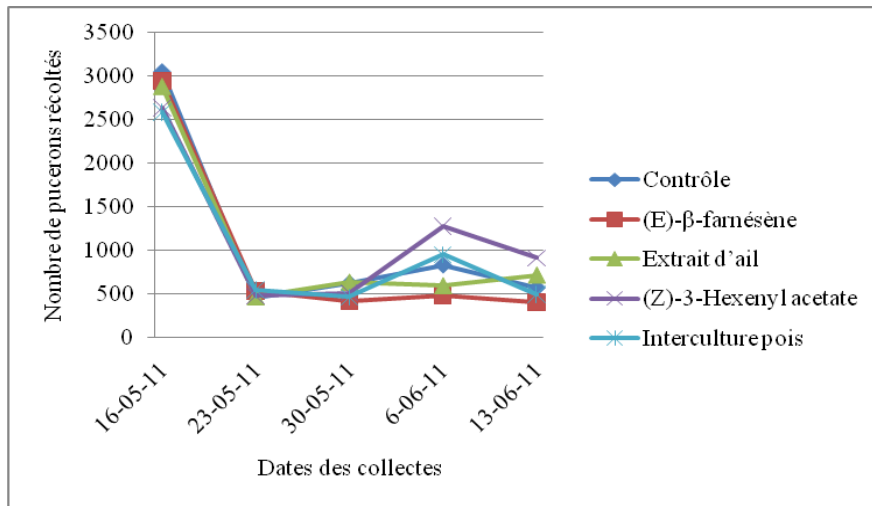
Courgettes ( <i>Cucurbita pepo</i> L.) - Pièges jaunes					
Dates	T1	T2	T3	T4	T5
16-05-11	3051	2946	2888	2635	2587
23-05-11	457	527	464	473	541
30-05-11	613	411	634	507	458
6-06-11	825	480	593	1275	949
13-06-11	564	403	715	909	487
Total	5510	4767	5294	5799	5022

Pour ces insectes, une différence très hautement significative ( $F = 49,35$  ;  $P < 0,001$ ) entre les dates de collectes a été mise en évidence, tandis que, comme pour les prédateurs et parasitoïdes, aucune différence significative ( $F = 1,55$  ;  $P = 0,235$ ) n'a été observée entre les traitements.

Nous pouvons constater que la plus grande quantité d'insectes prédateurs aphidiphages a été récoltée pendant la première semaine (Figure 10). Cette observation va de pair avec l'analyse de la Figure 11, qui représente le nombre de pucerons récoltés dans les pièges jaunes, en fonction des dates de collectes et des différents traitements.



**Figure 10: Nombre de prédateurs aphidiphages récoltés, dans les pièges jaunes, en courgettes, en fonction des dates des collectes et des traitements**

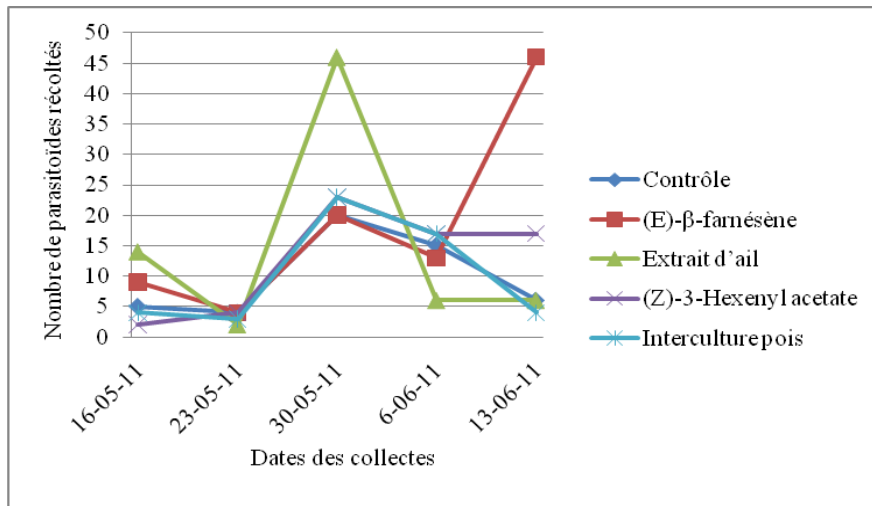


**Figure 11: Nombre de pucerons récoltés, dans les pièges jaunes, en courgettes, en fonction des dates des collectes et des traitements (Données fournies par Emilie BOSQUÉE)**

Comme pour les prédateurs, le pic des populations aphidiennes a eu lieu pendant la première semaine de collectes. Dans ce cas, nous constatons une synchronisation entre les pics de populations de prédateurs et de pucerons, facteur qui est bénéfique à l'efficacité du contrôle biologique exercé par ces auxiliaires.

La dynamique des populations de parasitoïdes est différente de celle des prédateurs, puisque le pic des populations a eu lieu à la troisième semaine de collectes pour tous les traitements, excepté pour l'(E)-β-farnésène (Figure 12). Nous observons ici un manque de synchronisation avec les populations aphidiennes, pour lesquelles le deuxième pic intervient à la quatrième semaine de collectes.

L'analyse statistique des résultats obtenus pour les prédateurs, parasitoïdes et pucerons ne met en évidence aucune différence significative entre les traitements. Cependant, nous pouvons observer certaines tendances, puisque l'(E)-β-farnésène a permis, simultanément, d'attirer plus de prédateurs et d'éloigner plus de pucerons, notamment dans la troisième semaine, favorisant ainsi l'approche « push-pull ».



**Figure 12: Nombre de parasitoïdes aphidiphages récoltés, dans les pièges jaunes, pour les courgettes, en fonction des dates des collectes et des traitements**

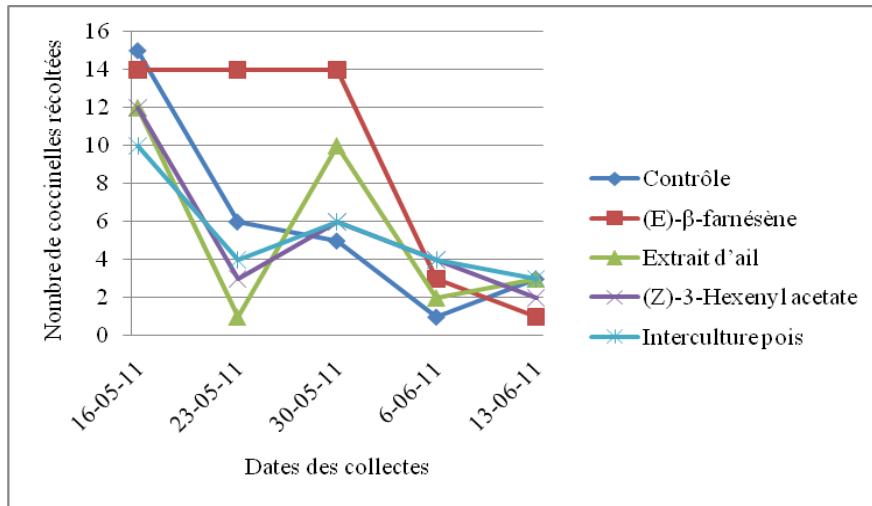
### 8.2.2 Familles de prédateurs et parasitoïdes dans les cultures de courgettes

Les coccinelles représentent la majorité des insectes prédateurs aphidiphages récoltés dans les pièges (85%), suivies des syrphes (11%) et des chrysopes (4%). Parmi les coccinelles, l'espèce *C. septempunctata* représente 71% des individus récoltés.

En ce qui concerne cette famille, une différence très hautement significative ( $F = 7,78$  ;  $P < 0,001$ ) entre les dates de collectes a été mise en évidence, tandis qu'aucune différence significative ( $F = 0,84$  ;  $P = 0,504$ ) n'a été observée entre les traitements.

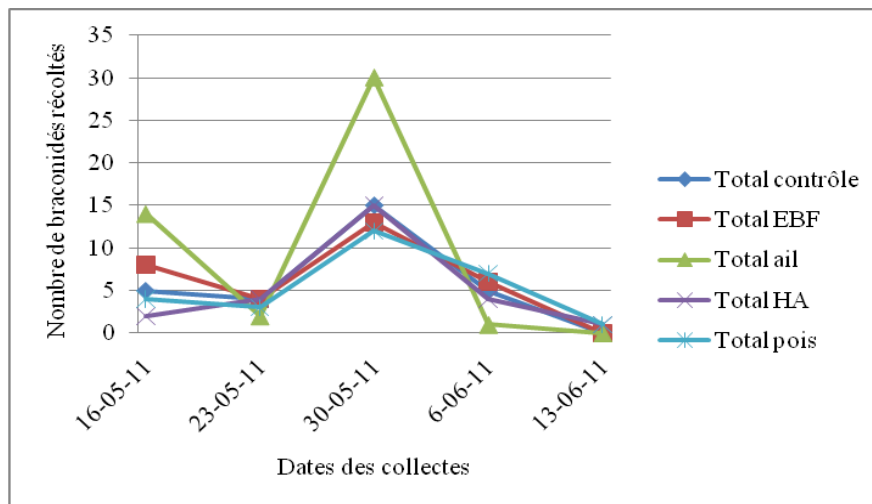
Quant aux autres familles de prédateurs, le nombre d'insectes récoltés a été trop faible pour obtenir des résultats statistiquement représentatifs. Ces deux familles ne seront donc pas prises en compte dans l'analyse des résultats obtenus pour les courgettes.

Etant donné que les coccinelles sont majoritaires parmi les prédateurs, les Figures 10 et 13 se ressemblent fortement. En effet, comme pour les prédateurs, le pic des populations de ces auxiliaires a eu lieu en même temps que celui des pucerons. De plus, il n'est pas surprenant d'observer que l'(E)-β-farnésène tend à attirer plus de coccinelles que les autres traitements, notamment pour l'espèce *C. septempunctata* (Tableau 10). Cette observation confirme les résultats obtenus par AL ABASSI *et al.* (2000), qui démontrent le rôle attractif de cette substance envers cette espèce de coccinelles.

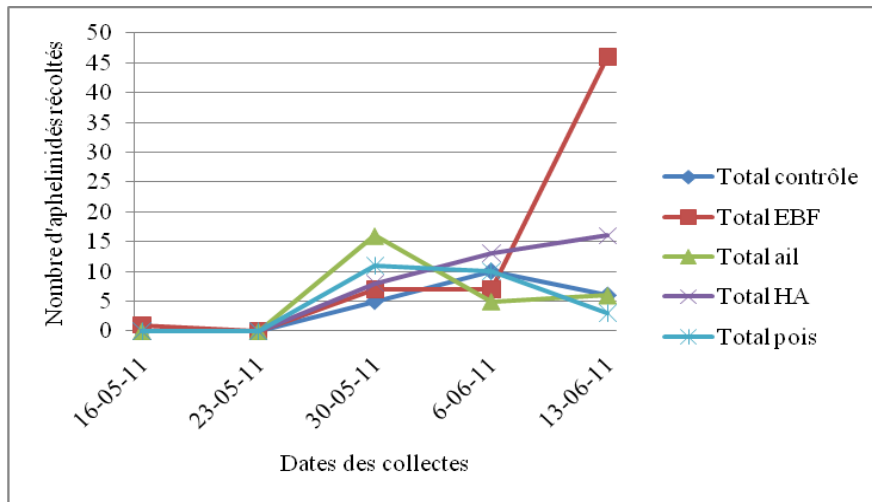


**Figure 13: Nombre de coccinelles récoltées, dans les pièges jaunes, pour les courgettes, en fonction des dates des collectes et des traitements**

En ce qui concerne les familles d'insectes parasitoïdes aphidiphages, la réalisation de l'analyse de la variance à deux critères de classification (Two-Way ANOVA) pour les Braconidae met en évidence une différence très hautement significative ( $F = 12,29$  ;  $P < 0,001$ ) entre les dates de collectes, tandis qu'aucune différence significative ( $F = 0,15$  ;  $P = 0,962$ ) n'a été observée entre les traitements.



**Figure 14: Nombre de Braconidés récoltés, dans les pièges jaunes, pour les courgettes, en fonction des dates des collectes et des traitements**



**Figure 15: Nombre d’Aphelinidés récoltés, dans les pièges jaunes, pour les courgettes, en fonction des dates des collectes et des traitements**

Les mêmes résultats ont été obtenus pour les Aphelinidae, puisqu’une différence très hautement significative ( $F = 15,99$  ;  $P < 0,001$ ) entre les dates de collectes a été mise en évidence et qu’aucune différence significative ( $F = 0,65$  ;  $P = 0,627$ ) n’a été observée entre les traitements.

La durée des traitements a une influence très marquée sur les populations de Braconidés et d’Aphelinidés (Figures 14 et 15). En effet, ces deux familles de parasitoïdes apparaissent plus tard dans la saison, notamment à partir de la troisième collecte. Ce phénomène peut s’expliquer par le fait que les températures moyennes ont augmenté à partir de cette semaine (voir Annexe 3). Comme le démontre CAMPBELL *et al.* (1974), l’action des insectes parasitoïdes sur les populations de pucerons se fait sentir plus tardivement dans le printemps, puisque le métabolisme de ces auxiliaires exige des températures plus élevées que celui de leurs hôtes.

### **8.2.3 Prédateurs, parasitoïdes et pucerons dans les cultures de pommes de terre**

Le détail des espèces d’auxiliaires récoltées dans chaque piège jaune, ainsi que l’abondance d’individus par espèce figure dans l’Annexe 4.

Le Tableau 12 regroupe les espèces d’auxiliaires aphidiphages récoltées dans les pièges jaunes, ainsi que l’abondance d’individus par espèce, en fonction des différents traitements.

**Tableau 12: Tableau reprenant les espèces d'auxiliaires aphidiphages récoltées dans les pièges jaunes, pour les pommes de terre, ainsi que l'abondance d'individus par espèce, selon les traitements (T1 : (Z)-3-Hexenyl acetate ; T2 : (E)- $\beta$ -farnésène; T3 : extrait d'ail; T4 : contrôle ; T5 : interculture pois)**

Pommes de terre ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) - Pièges jaunes							
Espèces d'auxiliaires récoltées selon les différents traitements			T1	T2	T3	T4	T5
Prédateurs	Coccinellidae	<i>C. septempunctata</i> (adulte)	0	0	5	3	3
		<i>C. septempunctata</i> (larve)	0	0	0	1	0
		<i>H. convergens</i> (adulte)	0	0	2	1	0
		<i>Platynaspis</i> sp. (adulte)	2	2	1	4	1
		<i>P. japonica</i> (adulte)	12	10	9	3	6
		<i>H. axyridis</i> (adulte)	5	2	3	0	0
	Syrphidae	<i>E. tenax</i> (adulte)	1	0	1	0	1
		<i>E. corollae</i> (adulte)	0	2	0	0	0
		<i>E. arbustorum</i> (adulte)	1	0	0	0	0
		<i>S. macrogaster</i> (adulte)	1	1	0	0	1
	Chrysopidae	<i>C. carnea</i> (adulte)	7	7	2	3	6
		<i>C. carnea</i> (larve)	0	0	1	1	0
		Larve de Chrysopidae	0	0	0	1	0
Parasitoïdes	Braconidae	<i>Lysiphlebus</i> sp.	1	2	2	2	3
		<i>A. avenae</i>	2	1	4	1	1
		<i>D. rapae</i>	2	0	0	0	1
		<i>A. gifuensis</i>	27	18	42	17	11
		<i>L. gracilis</i>	0	2	2	3	0
	Aphelinidae	<i>Aphelinus</i> sp.	18	25	21	30	31
Total			79	72	95	70	65

Le même type d'analyse statistique a été réalisé pour les pommes de terre.

En ce qui concerne les prédateurs aphidiphages, une différence très hautement significative ( $F = 12,69$  ;  $P < 0,001$ ) entre les dates de collectes a été mise en évidence, tandis qu'aucune différence significative ( $F = 0,22$  ;  $P = 0,927$ ) n'a été observée entre les traitements.

Quant aux parasitoïdes, une différence hautement significative ( $F = 4,37$  ;  $P < 0,01$ ) entre les dates de collectes a été mise en évidence, tandis que, de la même manière que pour les prédateurs, aucune différence significative ( $F = 0,84$  ;  $P = 0,506$ ) n'a été observée entre les traitements.

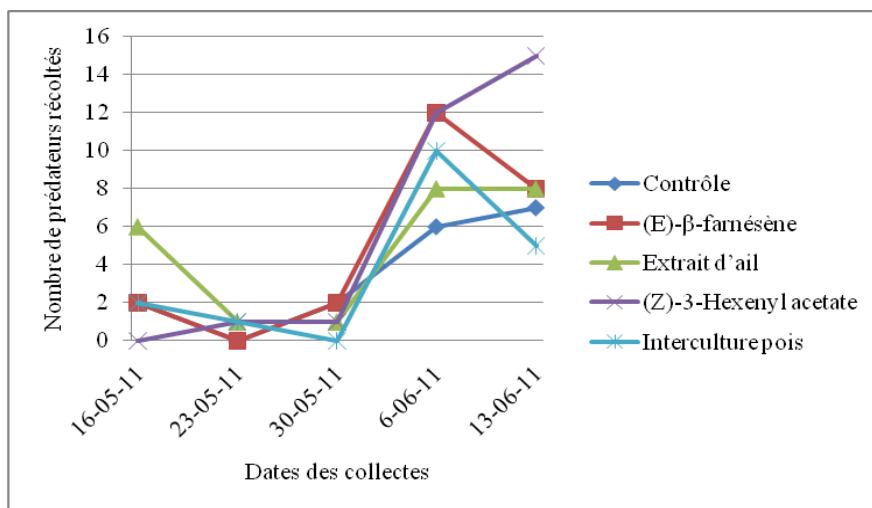
Le Tableau 13 présente le nombre de pucerons récoltés dans les pièges jaunes, pour les pommes de terre, selon les traitements.

**Tableau 13: Nombre de pucerons récoltés dans les pièges jaunes, pour les pommes de terre, selon les traitements (T1 : contrôle ; T2 : (E)-β-farnésène (EBF) ; T3 : extrait d’ail; T4 : (Z)-3-Hexenyl acetate ; T5 : interculture pois) (Données fournies par Emilie BOSQUÉE)**

Pommes de terre ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) - Pièges jaunes					
Dates	T1	T2	T3	T4	T5
16-05-11	2561	2632	2467	1915	1797
23-05-11	418	690	503	537	408
30-05-11	330	562	313	539	304
6-06-11	699	1011	647	848	1128
13-06-11	1093	892	1203	1392	1037
Total	5101	5787	5133	5231	4674

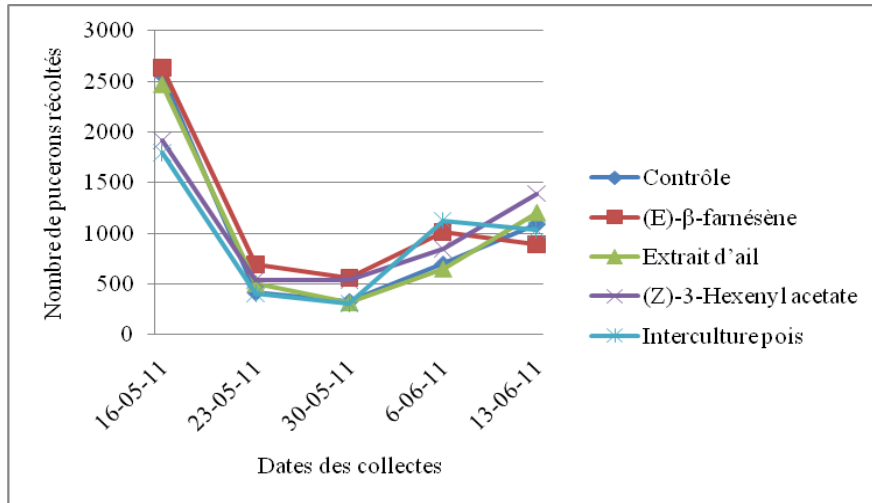
Pour ces insectes, une différence très hautement significative ( $F = 50,33$  ;  $P < 0,001$ ) entre les dates de collectes a été mise en évidence, tandis qu’aucune différence significative ( $F = 1,43$  ;  $P = 0,269$ ) n’a été observée entre les traitements.

Les résultats obtenus sont très similaires à ceux des courgettes. Quelques différences peuvent néanmoins être observées, puisque la présence de prédateurs est plus marquée pendant la quatrième semaine de collectes (Figure 16).



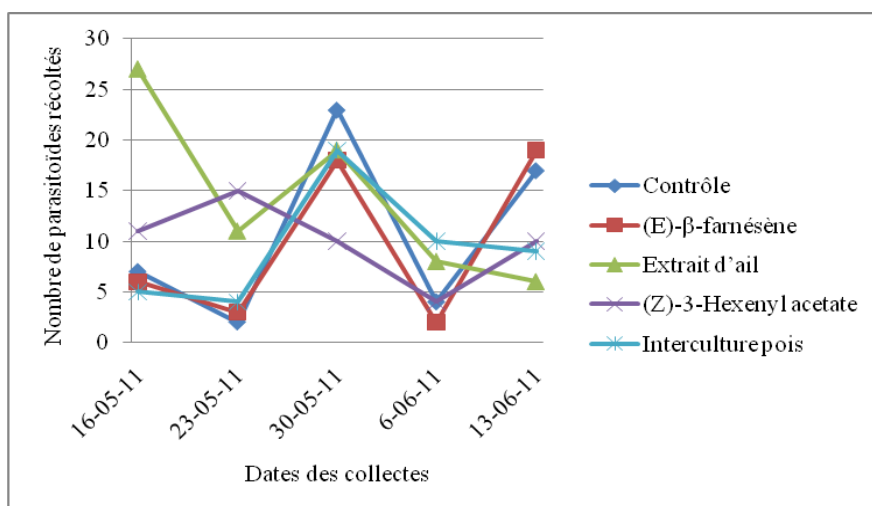
**Figure 16: Nombre de prédateurs aphidiphages récoltés, dans les pièges jaunes, pour les pommes de terre, en fonction des dates des collectes et des traitements**

Peu de prédateurs ont été piégés lors de la première semaine, qui correspond au pic de populations de pucerons (Figure 17). Contrairement aux courgettes, ce manque de synchronisation suggère que la lutte biologique exercée par les prédateurs a été moins efficace pour les pommes de terre.



**Figure 17: Nombre de pucerons récoltés, dans les pièges jaunes, pour les pommes de terre, en fonction des dates des collectes et des traitements (Données fournies par Emilie BOSQUÉE)**

Quant aux parasitoïdes, comme pour les courgettes, nous observons un manque de synchronisation avec les pics de populations aphidiennes (Figures 17 et 18), excepté pour l'(Z)-3-Hexenyl acetate, qui a présenté un pic dans la première semaine.



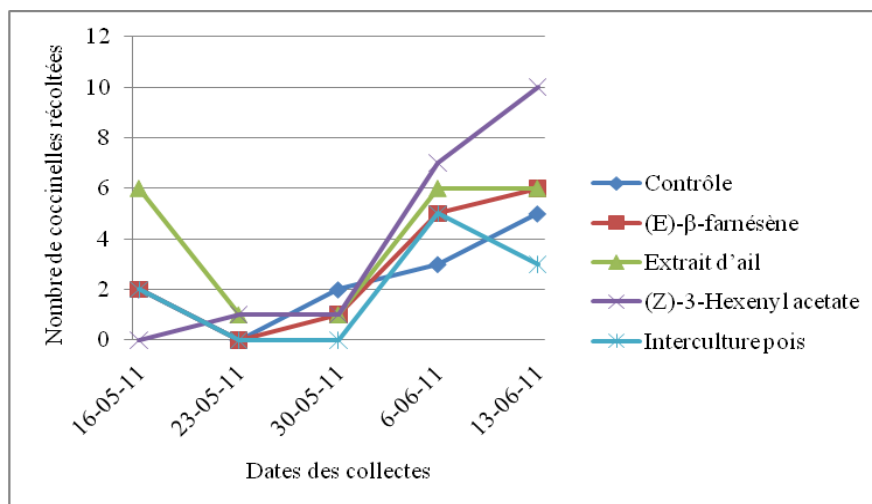
**Figure 18: Nombre de parasitoïdes aphidiphages récoltés, dans les pièges jaunes, pour les pommes de terre, en fonction des dates des collectes et des traitements**

### 8.2.4 Familles de prédateurs et parasitoïdes dans les cultures de pommes de terre

Les coccinelles représentent la majorité des insectes prédateurs aphidiphages récoltés dans les pièges (67%). Contrairement aux résultats obtenus pour les courgettes, plus de chrysopes (25%) que de syrphes (8%) ont été récoltés. Parmi les coccinelles, l'espèce *P. japonica* représente 53% des individus récoltés.

En ce qui concerne cette famille, une différence très hautement significative ( $F = 7,48$  ;  $P < 0,001$ ) entre les dates de collectes a été mise en évidence, tandis qu'aucune différence significative ( $F = 0,71$  ;  $P = 0,591$ ) n'a été observée entre les traitements.

Contrairement aux courgettes, aucun traitement n'a manifesté une tendance particulière d'attraction envers les coccinelles. Globalement, moins de coccinelles ont été piégées dans les pommes de terre, et l'on observe un manque de synchronisation avec les pics de populations de pucerons (Figures 17 et 19).

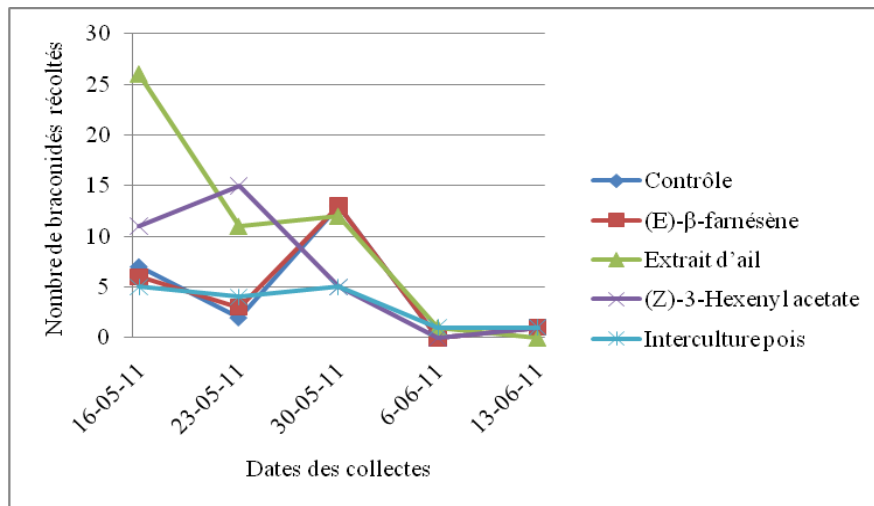


**Figure 19: Nombre de coccinelles récoltées, dans les pièges jaunes, pour les pommes de terre, en fonction des dates des collectes et des traitements**

Quant aux chrysopes, l'espèce *C. carnea* représente presque la totalité (96%) des insectes récoltés dans cette famille. L'analyse statistique met en évidence une différence très hautement significative ( $F = 8,34$  ;  $P < 0,001$ ) entre les dates de collectes, tandis qu'aucune différence significative ( $F = 0,22$  ;  $P = 0,927$ ) n'a été observée entre les traitements. Ces derniers n'ont donc pas d'effet sur cette espèce.

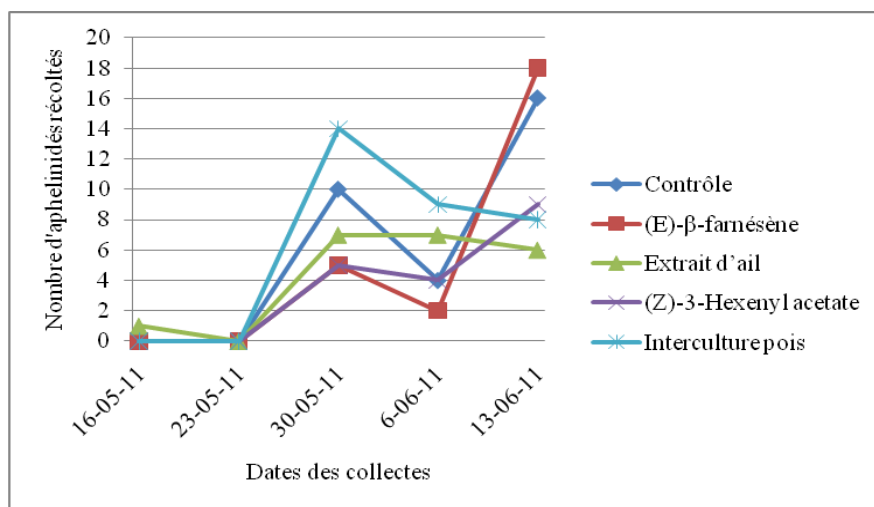
Pour les syrphes, le nombre d'insectes récoltés a été trop faible pour obtenir des résultats statistiquement représentatifs. Cette famille ne sera donc pas prise en compte dans l'analyse des résultats obtenus pour les pommes de terre.

En ce qui concerne les parasitoïdes, notamment les Braconidés, une différence très hautement significative ( $F = 14,51$  ;  $P < 0,001$ ) entre les dates de collectes a été mise en évidence, tandis qu'aucune différence significative ( $F = 2,04$  ;  $P = 0,103$ ) n'a été observée entre les traitements.



**Figure 20: Nombre de Braconidés récoltés, dans les pièges jaunes, pour les pommes de terre, en fonction des dates des collectes et des traitements**

Le même type résultat a été obtenu pour les Aphelinidae. En effet, une différence très hautement significative ( $F = 18,61$  ;  $P < 0,001$ ) entre les dates de collectes a été mise en évidence, tandis qu'aucune différence significative ( $F = 0,30$  ;  $P = 0,877$ ) n'a été observée entre les traitements.



**Figure 21: Nombre d'Aphelinidés récoltés, dans les pièges jaunes, pour les pommes de terre, en fonction des dates des collectes et des traitements**

### 8.2.5 Remarques

Les résultats obtenus lors du piégeage d'insectes auxiliaires doivent être replacés dans le contexte dans lequel les expérimentations ont été réalisées.

En effet, celles-ci se sont déroulées dans des parcelles de taille très réduite, et dans un environnement très diversifié. Une grande diversité de cultures se trouvait à proximité des parcelles expérimentales (voir Figures 3 et 4), ce qui a rendu difficile l'obtention d'un environnement homogène, et par conséquent de résultats comparables entre modalités. Les résultats obtenus lors du piégeage donnent une idée très générale de l'effet des différentes modalités sur les auxiliaires. En effet, certaines espèces non inféodées à la culture, telles qu'*Aphidius avenae* Haliday, qui parasite principalement l'espèce de puceron *Sitobion avenae* Fabricius, un ravageur des céréales, ont été récoltés dans les parcelles qui se trouvaient à proximité de blé.

Il est également important de préciser qu'aucun indice de biodiversité n'a été calculé, puisque les espèces récoltées dans les différents traitements, pour les courgettes et pour les pommes de terre, ont été pratiquement les mêmes.

## 8.3 Analyse des résultats concernant les observations sur plante

Les observations sur plante permettent d'avoir une vision plus spécifique des espèces réellement inféodées à la culture, qui jouent un rôle dans le contrôle des populations de pucerons. L'analyse statistique des résultats s'intéresse uniquement aux prédateurs, parasitoïdes et pucerons, puisque le nombre d'insectes observés pour chaque famille d'auxiliaires est réduit, ce qui rend difficile l'obtention de résultats statistiquement représentatifs.

### 8.3.1 Prédateurs, parasitoïdes et pucerons dans les cultures de courgettes

Le détail des espèces d'auxiliaires observées sur plante, ainsi que l'abondance d'individus par espèce se trouve dans l'Annexe 5.

Le Tableau 14 regroupe les espèces d'auxiliaires aphidiphages observées sur plante, en courgettes, ainsi que l'abondance d'individus par espèce, en fonction des traitements.

**Tableau 14: Tableau reprenant les espèces d'auxiliaires aphidiphages observées sur plante, pour les courgettes, ainsi que l'abondance d'individus par espèce, selon les traitements (T1 : interculture pois ; T2 : (E)-β-farnésène ; T3 : extrait d'ail ; T4 : contrôle ; T5 : (Z)-3-Hexenyl acetate)**

Courgettes ( <i>Cucurbita pepo</i> L.) - Observations sur plante							
Espèces d'auxiliaires observées selon les différents traitements			T1	T2	T3	T4	T5
Prédateurs	Coccinellidae	<i>C. septempunctata</i> (adulte)	4	1	5	4	3
		<i>C. septempunctata</i> (larve)	0	3	7	4	5
		<i>P. japonica</i> (adulte)	4	4	3	3	2
		<i>P. japonica</i> (larve)	0	0	0	0	1
	Syrphidae	<i>E. corollae</i> (adulte)	5	3	5	3	3
		<i>S. scripta</i> (adulte)	1	0	1	0	0
		Larve de Syrphidae	1	1	0	2	0
	Chrysopidae	<i>C. carnea</i> (larve)	0	0	2	2	1
		Larve de Chrysopidae	0	0	1	0	1
	Parasitoïdes	Braconidae	<i>A. avenae</i>	0	0	0	0
<i>A. gifuensis</i>			12	9	10	11	6
<i>L. gracilis</i>			0	0	0	1	0
Total			27	21	34	30	23

En ce qui concerne les prédateurs, la réalisation de l'analyse de la variance à deux critères de classification (Two-Way ANOVA) met en évidence une différence significative ( $F = 3,37$  ;  $P < 0,05$ ) entre les dates de collectes, tandis qu'aucune différence significative ( $F = 0,61$  ;  $P = 0,659$ ) n'a été observée entre les traitements.

Quant aux parasitoïdes, une différence très hautement significative ( $F = 16,83$  ;  $P < 0,001$ ) entre les dates de collectes a été mise en évidence, tandis qu'aucune différence significative ( $F = 0,49$  ;  $P = 0,743$ ) n'a été observée entre les traitements.

Le Tableau 15 présente le nombre de pucerons observés sur plante, pour les courgettes, selon les traitements.

L'analyse statistique des données concernant les pucerons, met en évidence une différence hautement significative ( $F = 8,63$  ;  $P < 0,01$ ) entre les dates de collectes, tandis qu'aucune différence significative ( $F = 1,11$  ;  $P = 0,384$ ) n'a été observée entre les traitements.

**Tableau 15: Nombre de pucerons observés sur plante, pour les courgettes, selon les traitements (T1 : contrôle ; T2 : (E)- $\beta$ -farnésène (EBF) ; T3 : extrait d'ail; T4 : (Z)-3-Hexenyl acetate ; T5 : interculture pois) (Données fournies par Emilie BOSQUÉE)**

Courgettes ( <i>Cucurbita pepo</i> L.) - Plantes					
Dates	T1	T2	T3	T4	T5
16-05-11	1340	1685	2220	2900	1520
23-05-11	1595	2700	2950	2410	2405
30-05-11	1160	1900	1705	1210	1060
6-06-11	430	505	735	410	345
13-06-11	125	260	135	160	110
Total	4650	7050	7745	7090	5440

### 8.3.2 Prédateurs, parasitoïdes et pucerons dans les cultures de pommes de terre

Le détail des espèces d'auxiliaires observées sur plante, ainsi que l'abondance d'individus par espèce figure dans l'Annexe 6.

Le Tableau 16 regroupe les espèces d'auxiliaires aphidiphages observées sur plante, ainsi que l'abondance d'individus par espèce, en fonction des traitements.

**Tableau 16: Tableau reprenant les espèces d'auxiliaires aphidiphages observées sur plante, pour les pommes de terre, ainsi que l'abondance d'individus par espèce, selon les traitements (T1 : (Z)-3-Hexenyl acetate ; T2 : (E)- $\beta$ -farnésène; T3 : extrait d'ail; T4 : contrôle ; T5 : interculture pois)**

Pommes de terre ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) - Observations sur plante							
Espèces d'auxiliaires observées selon les différents traitements			T1	T2	T3	T4	T5
Prédateurs	Coccinellidae	<i>C. septempunctata</i> (adulte)	0	0	0	2	0
		<i>C. septempunctata</i> (larve)	0	0	1	10	1
		<i>P. japonica</i> (adulte)	0	0	2	0	3
		<i>P. japonica</i> (larve)	0	3	0	0	1
		<i>H. axyridis</i> (adulte)	0	0	0	0	1
		<i>H. axyridis</i> (larve)	0	0	0	0	1
	Syrphidae	<i>E. corollae</i> (adulte)	3	3	5	3	3
		<i>S. scripta</i> (adulte)	1	2	0	0	1
		Larve de Syrphidae	0	0	0	1	0
	Chrysopidae	<i>C. carnea</i> (adulte)	0	0	1	0	0
		<i>C. carnea</i> (larve)	0	1	0	0	0
		Larve de Chrysopidae	0	1	1	1	0
	Parasitoïdes	Braconidae	<i>Lysiphlebus</i> sp.	1	0	0	1
<i>A. avenae</i>			0	1	0	0	0
<i>A. gifuensis</i>			10	11	12	8	9
<i>L. gracilis</i>			0	1	0	0	0
Total			15	23	22	26	20

En ce qui concerne les prédateurs, aucune différence significative ( $F = 0,99$  ;  $P = 0,422$ ) entre les dates de collectes été mise en évidence. Aucune différence significative ( $F = 0,32$  ;  $P = 0,862$ ) n'a été également trouvée entre les traitements.

Quant aux parasitoïdes, une différence très hautement significative ( $F = 17,62$  ;  $P < 0,001$ ) entre les dates de collectes n'a été mise en évidence, tandis qu'aucune différence significative ( $F = 0,12$  ;  $P = 0,975$ ) n'a été observée entre les traitements.

En ce qui concerne les pucerons, le Tableau 17 présente le nombre de pucerons observés pour les pommes de terre, selon les différents traitements.

**Tableau 17: Nombre de pucerons observés sur plante, pour les pommes de terre, selon les traitements (T1 : contrôle ; T2 : (E)- $\beta$ -farnésène (EBF) ; T3 : extrait d'ail; T4 : (Z)-3-Hexenyl acetate ; T5 : interculture pois) (Données fournies par Emilie BOSQUÉE)**

Pommes de terre ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) - Plantes					
Dates	T1	T2	T3	T4	T5
16-05-11	309	264	246	129	81
23-05-11	197	121	138	57	43
30-05-11	38	7	0	15	9
6-06-11	5	6	7	17	5
13-06-11	2	43	3	11	2
Total	551	441	394	229	140

L'analyse statistique des données concernant les pucerons, met en évidence une différence très hautement significative ( $F = 15,63$  ;  $P < 0,001$ ) entre les dates de collectes, tandis qu'aucune différence significative ( $F = 1,26$  ;  $P = 0,326$ ) n'a été observée entre les traitements.

### 8.3.3 Remarques

La diversité d'espèces, ainsi que l'abondance d'individus par espèce observée sur plante est considérablement plus faible que pour les récoltes en piège.

D'une part, ces observations ne sont pas représentatives de la totalité de la parcelle, puisqu'elles ont été réalisées sur un nombre limité de plantes. D'autre part, en ce qui concerne les parasitoïdes, aucun Aphelinidé n'a été récolté, leur petite taille les rendant difficilement repérables.

Néanmoins, nous pouvons constater que les résultats obtenus lors des piégeages ne sont pas représentatifs de l'ensemble de la culture, puisque une quantité plus faible d'auxiliaires peut potentiellement exercer un contrôle biologique des populations de pucerons.

## 9 Fiches de vulgarisation

---

Les fiches de vulgarisation présentant les dangers inhérents à l'utilisation de pesticides, ainsi que les auxiliaires aphidiphages retrouvés dans les courgettes et pommes de terre sont présentées ci-dessous.

La totalité des fiches de vulgarisation a été réalisé en collaboration avec Damien POLO LOZANO et Emilie BOSQUÉE. La version anglaise figure dans l'Annexe 7.

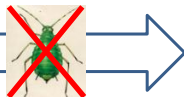
# Aphidophagous beneficials found in potatoes and courgettes fields: their role on aphid populations control

## Predators

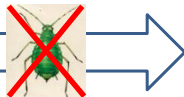


### Ladybirds

- Adults eat aphids
- Very easy to see on the crops
- Useful for aphid control



- Larva eat aphids
- Easy to see on the crops
- Useful for aphid control

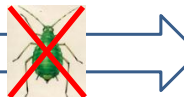


### Hoverflies

- Adults are useful for pollination

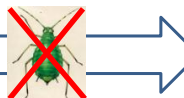


- Larva eat aphids
- Easy to see on the crops
- Useful for aphid control



### Lacewings



- Some adults eat the aphids
- Easy to see on the crops
- Can be useful for aphid control



- Larva eat aphids
- Useful for aphid control

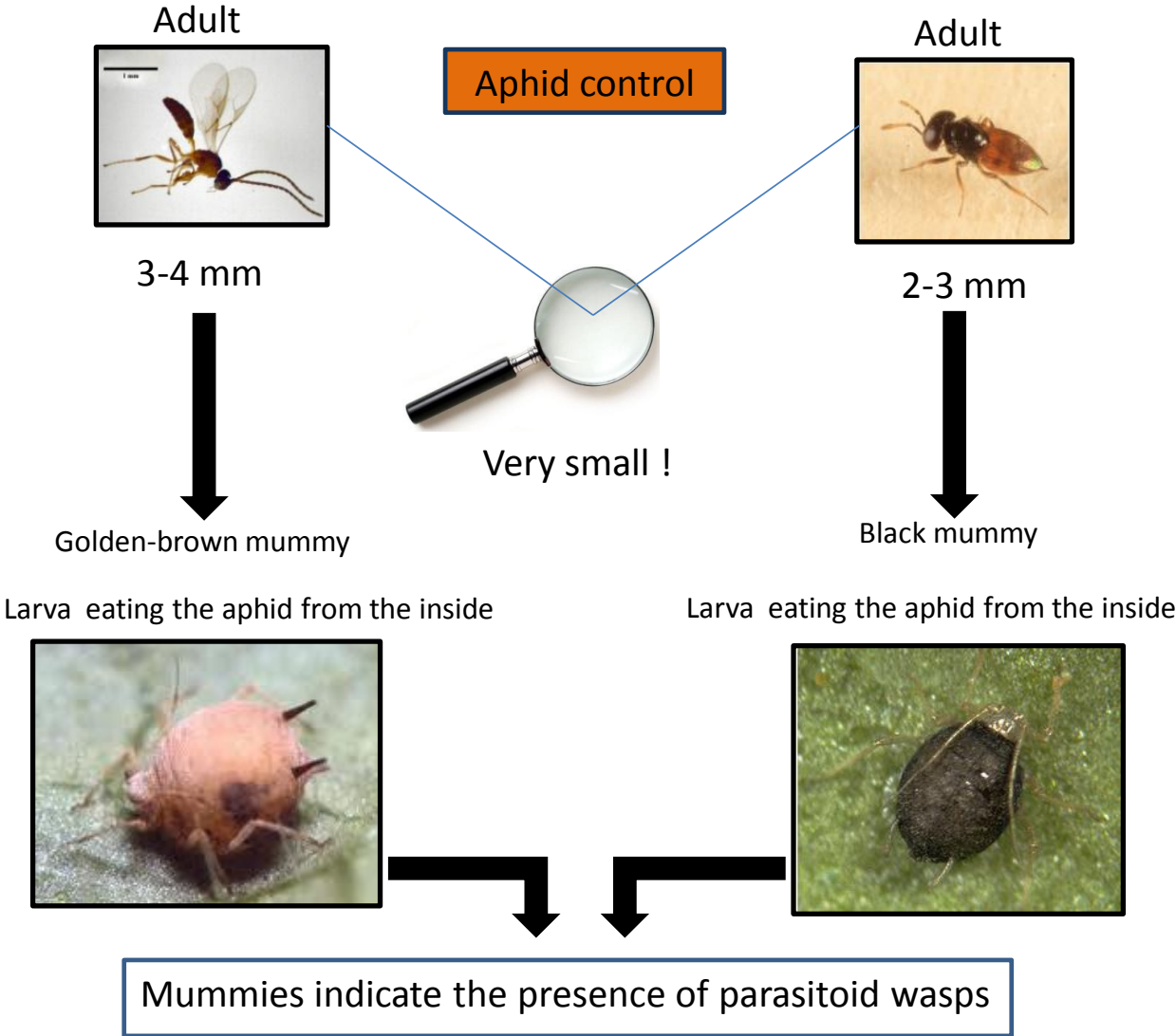



**A  
P  
H  
I  
D  
  
C  
O  
N  
T  
R  
O  
L**


 **Don't apply pesticides!**  
**Pesticides kill these beneficials!** 

Aphidophagous beneficials found in potatoes and courgettes fields: their role on aphid populations control

**Parasitoid wasps**

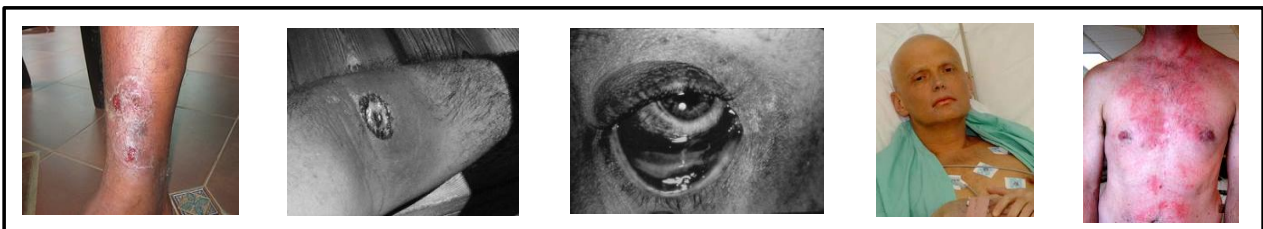
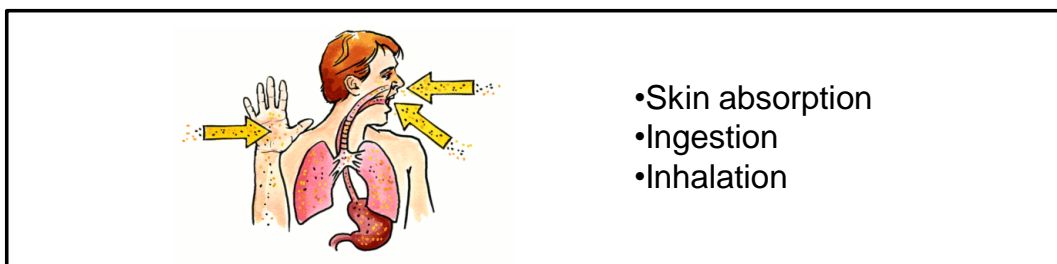


 **Don't apply pesticides!**  
**Pesticides kill these beneficials!**



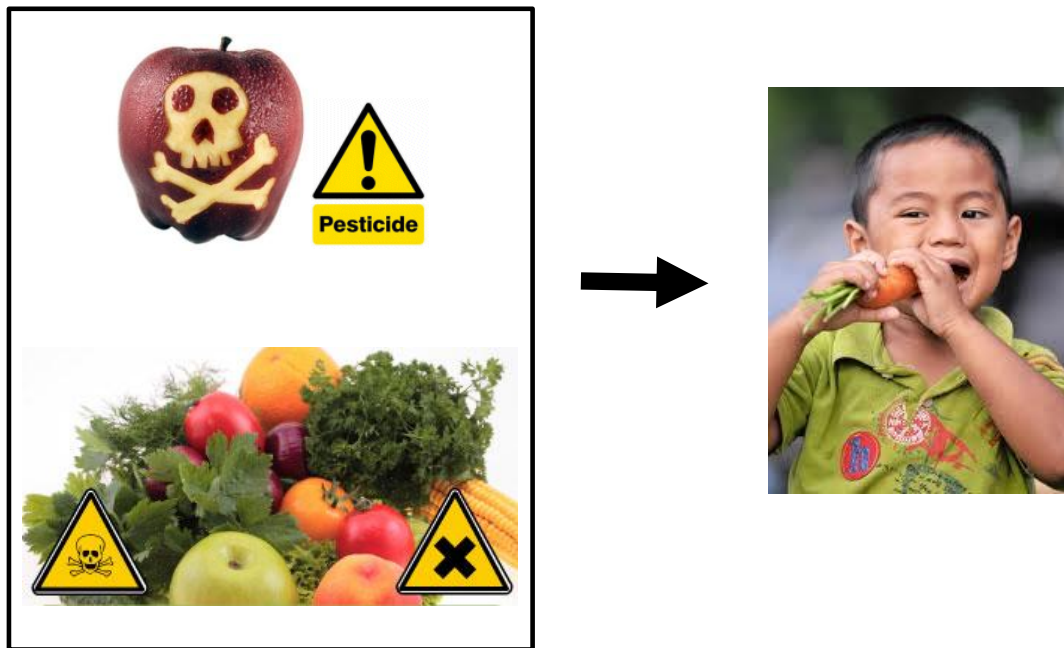
## Danger of pesticides

**Danger for the applicators, harvesters , bystanders**



## Danger of pesticides

### Danger for the consumers



### Danger for the environment: water, fauna



## Two Alternatives to pesticides

### 1) Semiochemicals

Informative molecules used by insects or plants to communicate

Molecule



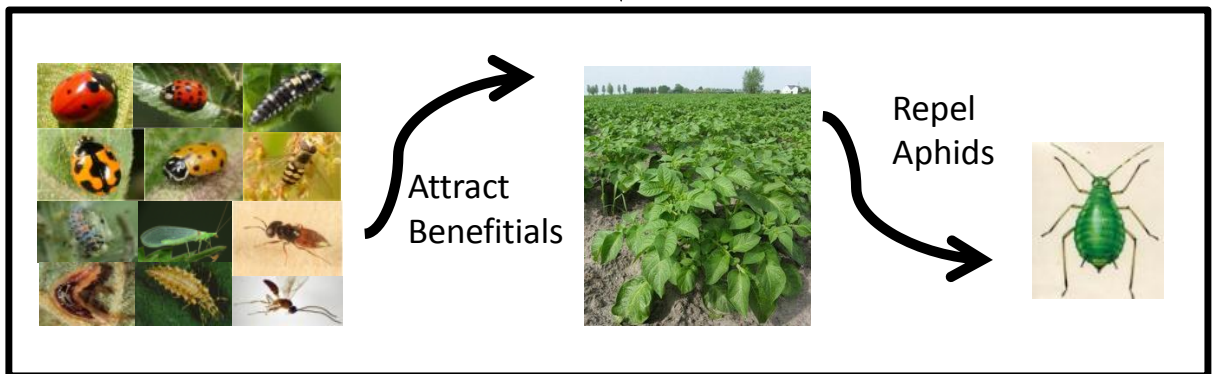
### 2) Intercropping

Grow a crop in association with another one, in the same field

Example:

Pea

Vegetable or cereal



**Advantages:** Safe for the farmers, consumers and environment



## Conclusions et perspectives

Ce Travail de Fin d'Etudes nous permet de formuler les conclusions suivantes.

Tout d'abord, la réalisation de l'enquête nous a permis de mieux cerner le contexte socio-économique dans lequel les expériences se sont déroulées et de vérifier, notamment par l'analyse du volet phytosanitaire, que les connaissances des agriculteurs chinois dans ce domaine révèlent d'importantes carences.

Les substances sémiocchimiques employées, ainsi que le système d'interculture pois/courgettes et pois/pommes de terre, n'a pas fourni de résultats satisfaisants. En effet, aucun des traitements n'a exercé un effet de « push-pull » prononcé. Cependant, il est important d'analyser ces résultats dans le contexte de terrain. En effet, les expérimentations ont été réalisées dans un environnement très diversifié avec des parcelles de taille réduite. Bien que ces deux caractéristiques puissent favoriser la biodiversité au sein des cultures et par conséquent la présence d'insectes auxiliaires, elles présentent pour nos expérimentations, un environnement qui, n'étant pas homogène, rend difficile la comparaison entre les-différents traitements.

De plus, des tendances ont été observées avec l'(E)- $\beta$ -farnésène, qui a permis, en quelque sorte, d'exercer un effet de « push-pull » dans les courgettes. Cette substance a un potentiel dans la mise en place de systèmes durables de lutte contre les pucerons. Ceci a également été vérifié à travers d'autres expériences menées à la ferme expérimentale de Gembloux Agro-Bio Tech (Zhou HAIBO, données non publiées). Ces expériences ont en effet fourni des résultats significatifs, notamment de répulsion de pucerons avec de l'(E)- $\beta$ -farnésène (FRANCIS, communication personnelle). Quant aux autres substances et à l'interculture de pois, il serait prématuré de les exclure du panel de possibilités. Plus d'études sont donc nécessaires pour confirmer les résultats obtenus lors de ce travail.

Un travail considérable reste à faire dans le domaine de la protection des plantes en Chine, afin de mettre en place des systèmes alternatifs aux méthodes de lutte classiques contre les ravageurs, notamment les pucerons. Ces solutions doivent être adaptées au contexte socio-économique local et un système de communication performant doit être mis en place afin de transmettre aux agriculteurs les nouvelles avancées dans ce domaine. En effet, il est impératif que ces derniers prennent conscience des effets néfastes d'une utilisation intensive de pesticides de synthèse.

Dans ce contexte, la Chine représente un terrain propice à l'approfondissement de la recherche agronomique, pour la mise en œuvre d'un développement plus durable.

## Références bibliographiques

- ACAR E. B., MEDINA J. C., LEE M. L. & BOOTH G. M., 2001. Olfactory behaviour of convergent lady beetles (Coleoptera: Coccinellidae) to alarm pheromone of green peach aphid (Hemiptera: Aphididae). *Can. Entomol.*, **133**(3), 389-397
- AGELOPOULOS N., BIRKETT M. A., HICK A. J., HOOPER A. M., PICKETT J. A., POW E. M., SMART L. E., SMILEY D. W. M., WADHAMS L. J. & WOODCOCK C. M., 1999. Exploiting semiochemicals in insect control. *Pesticide Science.*, **55**, 225-235
- AL ABASSI S., BIRKETT M. A., PETERSSON J., PICKETT J. A., WADHAMS L. J. & WOODCOCK C. M., 2000. Response of the seven-spot ladybird to an aphid alarm pheromone and an alarm pheromone inhibitor is mediated by paired olfactory cells. *Journal of Chemical Ecology.*, **26**, 1765–1771
- ALHMEDI A., HAUBRUGE E. & FRANCIS F., 2009. Effect of stinging nettle habitats on aphidophagous predators and parasitoids in wheat and green pea fields with special attention to the invader *Harmonia axyridis* Pallas (Coleoptera: Coccinellidae). *Entomological Science.*, **12**, 349–358
- ALMOHAMAD R., VERHEGGEN F. J., FRANCIS F. & HAUBRUGE E., 2008. Impact of aphid colony size and associated induced plant volatiles on searching and oviposition behaviour of a predatory hoverfly. *B. J. Entomol.*, **10**, 17-26
- ALMOHAMAD R., VERHEGGEN F. J. & HAUBRUGE E., 2009. Searching and oviposition behavior of aphidophagous hoverflies (Diptera: Syrphidae): a review. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **13** (3), 467-481
- ALMOHAMAD R., VERHEGGEN F. J., FRANCIS F., LOGNAY G. & HAUBRUGE E., 2010. Assessment of oviposition site quality by aphidophagous hoverflies: reaction to conspecific larvae. *Animal Behaviour.*, **79**, 589-594
- ALTIERI M. A. & NICHOLLS C. I., 1998. Biological control in agro-ecosystems through management of entomophagous insects. In: Dhaliwal G. S & Heinrichs E. A., eds. *Critical Issues in Insect Pest Management*. New Delhi: Commonwealth Publishers, 67-86
- ANKERSMIT G. W., DIJMAN H., KEUNING N. J., MERTENS H., SINS A. & TACOMA H. M., 1986. *Episyrphus balteatus* as a predator of the aphid *Sitobion avenae* on winter wheat. *Entomologia Experimentalis et Applicata.*, **42**, 271-277
- BAI B. & MACKAUER M., 1990. Oviposition and host-feeding patterns in *Aphelinus asychis* (Hymenoptera: Aphelinidae) at different aphid densities. *Ecological Entomology.*, **15**, 9-16

- BANKS C. J., 1957. The behaviour of individual coccinellid larvae on plants. *British Journal of Animal Behaviour.*, **5**, 12-24
- BARGEN H., SAUDHOF K. & POEHLING H.-M., 1998. Prey finding by larvae and adult females of *Episyrphus balteatus*. *Entomol. Exp. Appl.*, **87**(10), 245-254
- BATTAGLIA D., PENNACCHIO F., ROMANO A. & TRANFAGLIA A., 1995. The role of physical cues in the regulation of host recognition and acceptance behavior of *Aphidius ervi* Haliday (Hymenoptera: Braconidae). *Journal of Insect Behavior.*, **8**, 739-750
- BELL W., 1990. Searching behaviour patterns in insects. *Annual Review of Entomology.*, **35**, 447-467
- BLACKMAN R. L. & EASTOP V. F., 2000. Aphids on the World's Crops: An Identification and Information Guide. 2 éd. Chichester: Wiley
- BLACKMAN R. L. & EASTOP V. F., 2006. Aphids on the World's Herbaceous Plants and Shrubs. Chichester: Wiley
- BLACKMAN R. L. & EASTOP V. F., 2007. Taxonomic Issues. In: van Emden H. F. & Harrington R., eds. Aphids as Crop Pests. Cambridge, Massachusetts: CAB International, 1-3
- BOO K.-S., CHUNG I. B., HAN K. S., PICKETT J. A. & WADHAMS L. J., 1998. Response of the lacewing *Chrysopa cognate* to pheromones of its aphid prey. *Journal of Chemical Ecology.*, **24**, 631-643
- BRANQUART E. & HEMPTINNE J. L., 2000. Development of ovaries, allometry and reproductive traits and fecundity of *Episyrphus balteatus* (Diptera: Syrphidae). *European Journal of Entomology.*, **97**, 165-170
- BRAULT V., UZEST M., MONSION B., JACQUOT E. & BLANC S., 2010. Aphids as transport devices for plant viruses. *C.R. Biologies.*, **333**, 524-538
- BROSSUT R., 1996. Pheromones. La communication chimique chez les animaux. Paris : CNRS éditions
- BUDENBERG W. J., 1990. Honeydew as a contact kairomone for aphid parasitoids. *Entomologia Experimentalis et Applicata.*, **55**, 139-148
- BUDENBERG W. J. & POWELL W., 1992. The role of honeydew as an ovipositional stimulant for two species of syrphids. *Entomologia Experimentalis et Applicata.*, **64**, 57-61
- CAMPBELL A., FRAZER B. D., GILBERT N., GUTIERREZ A. P. & MACKAUER M., 1974. Temperature requirements of some aphids and their parasites. *Journal of Applied Ecology.*, **11**, 431-438

- CARTER M. C. & DIXON A. F. G., 1982. Habitat quality and the foraging behaviour of coccinellid larvae. *Journal of Animal Ecology.*, **51**, 865-878
- CARTER M. C. & DIXON A. F. G., 1984a. Honeydew: an arrestant stimulus for coccinellids. *Ecol. Entomol.*, **9**, 383-387
- CARTER M. C. & DIXON A. F. G., 1984b. Foraging behaviour of coccinellid larvae: duration of intensive search. *Entomologia Experimentalis et Applicata.*, **36**, 133-136
- CARVER M., 1989. Biological control of aphids. In: Minks A. K. & Harrewijn P., eds. Aphids. Their Biology, Natural Enemies and Control, Volume 2C. New York; Amsterdam: Elsevier, 141-165
- CHAMBERS R. J. & ADAMS T. H. L., 1986. Quantification of the impact of hoverflies (Diptera: Syrphidae) on cereal aphids in winter wheat: an analysis of field populations. *Journal of Applied Ecology.*, **23**, 895-904
- CHAMBERS R. J., 1988. Syrphidae. In: Minks A. K. & Harrewijn P., eds. Aphids. Their Biology, Natural Enemies and Control, Volume 2B. New York; Amsterdam: Elsevier, 259-270
- CHAMBERS R. J., 1991. Oviposition by aphidophagous hoverflies (Diptera : Syrphidae) in relation to aphid density and distribution in winter wheat. In: Polgár L. A., Chambers R., Dixon A. F. G & Hodek I., eds. Behaviour and Impact of Aphidophaga. The Hague: SPB Academic Publishing, 115-121
- CHANDLER A. E. F., 1968a. Some factors influencing the occurrence and site of oviposition by aphidophagous Syrphidae (Diptera). *Annals of Applied Biology.*, **61**, 435-446
- CHANDLER A. E. F., 1968b. The relationship between aphid infestations and oviposition by aphidophagous Syrphidae. *Annals of Applied Biology.*, **61**, 425-434
- CHANDLER A. E. F., 1969. Locomotory behavior of first instar larvae of aphidophagous Syrphidae (Diptera) after contact with aphids. *Anim. Behav.*, **17**, 673-678
- CHAU A. & MACKAUER M., 2000. Host-instar selection in the aphid parasitoid *Monoctonus paulensis* (Hymenoptera, Braconidae, Aphidiinae): a preference for small pea aphids. *European Journal of Entomology.*, **97**, 347-353
- CLOUTIER C. & BAUDOIN F., 1990. Searching behaviour of the aphid parasitoid *Aphidius nigripes* (Hymenoptera: Aphidiidae) foraging on potato plants. *Environmental Entomology.*, **19**, 222-228
- CODERRE D., PROVENCHER L. & TOURNEUR J.-C., 1987. Oviposition and niche partitioning in aphidophagous insects on maize. *The Canadian Entomologist.*, **119**, 195-203

- COLIGNON P., FRANCIS F., FADEUR G. & HAUBRUGE E., 2004. Aménagement de la composition floristique des mélanges agri-environnementaux afin d'augmenter les populations d'insectes auxiliaires. *Parasitica.*, **60**(3-4), 3-18
- COOK S. M., KHAN Z. R. & PICKETT J. A., 2007. The use of push-pull strategies in integrated pest management. *Annual Review of Entomology.*, **52**, 375-400
- COUCHMAN J. P. & KING P. E., 1977. Morphology of the larval stages of *Diaeretiella rapae* (M'Intosh) (Hymenoptera: Aphidiidae). *International Journal of Insect Morphology and Embryology.*, **6**, 127-136
- DAANE K. M., 1993. Effectiveness of leafhopper control varies with lacewing release methods. *Calif. Agric.*, **47**(6), 19-23
- DAWSON G. W., JANES N. F., MUDD A., PICKETT J. A., SLAWIN A. M. Z., WADHAMS L. J. & WILLIAMS D. J., 1989. The aphid sex pheromone. *Pure Appl. Chem.*, **61**, 555-558
- DEBACH P. & ROSEN D., 1991. Biological Control by Natural Enemies. Cambridge, UK: Cambridge University Press
- van DRIESCHE R. G. & BELLOWS T. S., 1996. Biological Control. New York: Chapman and Hall
- DIXON A. F. G., 1997. Patch quality and fitness in predatory ladybirds. *Ecological Studies.*, **130**, 205-223
- DIXON A. F. G., 2000. Insect Predator-Prey Dynamics: Ladybird Beetles and Biological Control. Cambridge: Cambridge University Press
- DOUMBIA M., HEMPTINNE J.-L. & DIXON A. F. G., 1998. Assessment of patch quality by ladybirds: role of larval tracks. *Oecologia.*, **113**, 197-202
- DURIEUX D., VERHEGGEN F. J., VANDEREYCKEN A., JOIE E. & HAUBRUGE E., 2010. Synthèse bibliographique: l'écologie chimique des coccinelles. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **14**(2), 351-367
- DU Y.-J., POPPY G. M. & POWELL W., 1996. Relative importance of semiochemicals from first and second trophic levels in host foraging behavior of *Aphidius ervi*. *Journal of Chemical Ecology.*, **22**, 1591-1605
- DU Y.-J., POPPY G. M., POWELL W. J., PICKETT J. A., WADHAMS L. & WOODCOCK C. L., 1998. Identification of semiochemicals released during aphid feeding that attract the parasitoid *Aphidius ervi*. *Journal of Chemical Ecology.*, **24**, 1355-1368
- EASTOP V., 1983. The biology of the principal aphid virus vectors. In: Plumb R. T. & Thresh J. M., eds. Plant Virus Epidemiology. Blackwell: Oxford, 115-132

- EL HABI M., EL JADD L., SEKKAT A. & BOUMEZZOUGH A., 1999. Lutte contre *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) sur concombre sous serre par *Coccinella septempunctata* Linnaeus (Coleoptera : Coccinellidae). *Insect Science and its Application.*, **19**, 57-63
- EL HABI M., SEKKAT A., EL JADD L. & BOUMEZZOUGH A., 2000. Biology of *Hippodamia variegata* Goeze (Col., Coccinellidae) and its suitability against *Aphis gossypii* Glov. (Hom., Aphididae) on cucumber under greenhouse conditions. *Journal of Applied Entomology.*, **124**, 365-374
- van EMDEN H. F. & HAGEN K. S., 1976. Olfactory reactions of the green lacewing *Chrysopa carnea*, to tryptophan and certain breakdown products. *Envir. Ent.*, **5**, 469-473.
- FLINT H. M., SLATER S. S. & WALTERS S., 1979. Caryophyllene: an attractant for the green lacewing. *Environmental Entomology.*, **8**, 1123-1125
- FOSTER G. N. & WOODFORD J. A. T., 1997. Melon and cotton aphid (*Aphis gossypii* Glover: (Homoptera: Aphididae)) as a potential new virus vector of potatoes in Scotland. *The Entomologist.*, **116**, 175-178
- FOSTER S. P., DENHOLM I., THOMPSON R., POPPY G. M. & POWELL W., 2005. Reduced response of insecticide-resistant aphids and attraction of parasitoids to aphid alarm pheromone; a potential fitness trade-off. *Bulletin of Entomological Research.*, **95**, 37-46
- FRANCIS F., COLIGNON P., HASTIR P., HAUBRUGE E. & GASPARD C., 2001. Evolution of aphidophagous ladybird populations in a vegetable crop and implications as biological agents. *Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent.*, **66/2a**, 333-340
- FRANCIS F., COLIGNON P. & HAUBRUGE E., 2003. Evaluation de la présence des Syrphidae (Diptera) en cultures maraîchères et relation avec les populations aphidiennes. *Parasitica.*, **59**(3-4), 129-139
- FRANCIS F., LOGNAY G. & HAUBRUGE E., 2004. Olfactory responses to aphid and host plant volatile releases: (E)- $\beta$ -farnesene an effective kairomone for the predator *Adalia bipunctata*. *Journal of Chemical Ecology.*, **30**, 741-755
- FRANCIS F., VANDERMOTEN S., VERHEGGEN F. J., LOGNAY G. & HAUBRUGE E., 2005a. Is the (E)- $\beta$ -farnesene only volatile terpenoid in aphids? *J. Appl. Entomol.*, **129**(1), 6-11
- FRANCIS F., MARTIN T., LOGNAY G. & HAUBRUGE E., 2005b. Role of (E)- $\beta$ -farnesene in systematic aphid prey location by *Episyrphus balteatus* larvae. *Eur. J. Entomol.*, **102**(3), 431-436
- FRANCIS F., FADEUR G. & HAUBRUGE E., 2005c. Effet des tournières enherbées sur les populations de syrphes en grandes cultures. *Notes fauniques de Gembloux.*, **56**, 7-10

- FRAZER B. D., 1988. Coccinellidae. In: Minks A. K. & Harrewijn P., eds. Aphids. Their Biology, Natural Enemies and Control, Volume 2B. New York; Amsterdam: Elsevier, 364
- FRAZIER B. D. & GILBERT N., 1976. Coccinellids and aphids: a quantitative study of the impact of adult ladybirds (Coleoptera: Coccinellidae) preying on field populations of pea aphids (Homoptera: Aphididae). *Journal of the Entomological Society of British Columbia.*, **73**, 33–56.
- GARZO E. I., DUQUE M. & FERERES A., 2004. Transmission efficiency of different non-persistent viruses infecting melon by four aphid species. *Spanish Journal of Agricultural Research.*, **2** (3), 369-376
- GILBERT F. S., 1993. Hoverflies. Naturalists' Handbooks No. 5. 2 éd. Slough: Richmond Press
- GIRLING R. D. & HASSALL M., 2008. Behavioural responses of the seven-spot ladybird *Coccinella septempunctata* to plant headspace chemicals collected from four crop Brassicas and *Arabidopsis thaliana*, infested with *Myzus persicae*. *Agricultural and Forest Entomology.*, **10**, 297–306
- GLINWOOD R. T., DU Y.-J. & POWELL W., 1999. Responses to aphid sex pheromones by the pea aphid parasitoids *Aphidius ervi* and *Aphidius eadyi*. *Entomologia Experimentalis et Applicata.*, **92**, 227-232
- GUERRIERI E., POPPY G. M., POWELL W., TREMBLAY E. & PENNACCHIO F., 1999. Induction and systemic release of herbivore-induced synomones regulating in-flight orientation of *Aphidius ervi* (Hymenoptera: Braconidae). *Journal of Chemical Ecology.*, **25**, 1247-1261
- HAGEN K. S., 1962. Biology and ecology of predaceous Coccinellidae. *Annual Review of Entomology.*, **7**, 289-326
- HAGEN K. S. & van den BOSCH R., 1968. Impact of pathogens, parasites and predators of aphids. *Annual Review of Entomology.*, **13**, 325-384
- HAGLEY E. A. C. & MILES N., 1987. Release of *Chrysoperla carnea* Stephens (Neuroptera: Chrysopidae) for control of *Tetranychus urticae* Koch (Acarina: Tetranychidae) on peach grown in a protected environment structure. *The Canadian Entomologist.*, **119**, 205-206
- HAGVAR E. B. & HOFVANG T., 1991a. Aphid parasitoids (Hymenoptera, Aphidiidae): biology, host selection and use in biological control. *Biocontrol News and Information.*, **12**, 13-41
- HAGVAR E. B. & HOFVANG T., 1991b. Effect of honeydew and hosts on plant colonization by the aphid parasitoid *Ephedrus cerasicola*. *Entomophaga.*, **34**, 495-501

- HAMILTON R. M., DOGAN E. B., SCHAALJE G. B. & BOOTH G. M., 1999. Olfactory response of the lady beetle *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae) to prey related odors, including a scanning electron microscopy study of the antennal sensilla. *Environ. Entomol.*, **28**(5), 812-822
- HARDIE J., HICK A. J., HÖLLER C., MANN J., MERRITT L., NOTTINGHAM S. F., POWELL W., WADHAMS L. J., WITTHINRICH J. & WRIGHT A. F., 1994. The responses of *Praon* spp. parasitoids to aphid sex pheromone components in the field. *Entomologia Experimentalis et Applicata.*, **71**, 95-99
- HEIDARI M. & COPLAND M. J. W., 1993. Honeydew: a food resource or arrestant for the mealybug predator *Cryptolaemus montrouzieri* ? *Entomophaga.*, **38**(1), 63-68
- HEIT G., CASTRESANA J., PUHL L. & MAREGGIANI G., 2005. Role of volatiles emitted by cultivated and wild Solanaceae in foraging behaviour of coccinellid predators. *IDESIA.*, **23**(3), 13-19
- HEMPTINNE J. L. & DIXON A. F. G., 1991. Why have ladybirds been generally so ineffective in biological control? In: Polgár L. A., Chambers R., Dixon A. F. G & Hodek I., eds. Behaviour and Impact of Aphidophaga. The Hague: SPB Academic Publishing, 149-157
- HEMPTINNE J. L., DIXON A. F. G. & COFFIN J., 1992. Attack strategy of ladybird beetles (Coccinellidae): factors shaping the numerical response. *Oecologia.*, **90**, 238-245
- HEMPTINNE J. L., DIXON A. F. G., DOUCET J. L. & PETERSEN J. E., 1993. Optimal foraging by hoverflies (Diptera: Syrphidae) and ladybirds (Coleoptera: Coccinellidae): mechanisms. *European Journal of Entomology.*, **90**, 451-455
- HEMPTINNE J. L. & DIXON A. F. G., 1997. Are aphidophagous ladybirds (Coccinellidae) prudent predators? *Biological Agriculture and Horticulture.*, **15**, 151-159
- HEMPTINNE J.-L., GAUDIN M., DIXON A. F. G. & LOGNAY G., 2000. Social feeding in ladybird beetles: adaptive significance and mechanism. *Chemoecology.*, **10**(3), 149-152
- HICKMAN J. & WRATTEN S. D., 1996. Use of *Phacelia tanacetifolia* strips to enhance biological control of aphids by hoverfly larvae in cereal fields. *J. Econ. Entomol.*, **89**, 832-840
- HODEK I., 1973. Biology of Coccinellidae. The Hague: W. Junk
- HODEK I. & HONEK A., 1996. Ecology of Coccinellidae. Dordrecht : Kluwer
- HONGJIAO C., MINSHENG Y. & CUI L., 2010. Effects of intercropping systems on community composition and diversity of predatory arthropods in vegetable fields. *Acta Ecologica Sinica.*, **30**, 190-195
- HULL R., 2002. Matthew's Plant Virology. 4 éd. London: Academic Press

- HULLE M., IGHIL E. T-A., ROBERT Y. & MONNET Y., 1999. Les pucerons des plantes maraîchères. Cycles biologiques et activités de vol. Paris : INRA
- IDE T., SUZUKI N. & KATAYAMA N., 2007. The use of honeydew in foraging for aphids by larvae of the ladybird beetle, *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae). *Ecol. Entomol.*, **32**, 455-460
- KAN E., 1988a. Assessment of aphid colonies by hoverflies. I. Maple aphids and *Episyrphus balteatus* (De Geer) (Diptera: Syrphidae). *Journal of Ethology.*, **6**, 39-48
- KAN E., 1988b. Assessment of aphid colonies by hoverflies. II. Pea aphids and 3 syrphid species: *Betasyrphus serarius* (Wiedemann), *Metasyrphus frequens* Matsumura and *Syrphus vitripennis* (Meigen) (Diptera: Syrphidae). *Journal of Ethology.*, **6**, 135-142
- KAWAUCHI S., 1991. Selection for highly prolific females in three aphidophagous coccinellids. In: Polgár L. A., Chambers R., Dixon A. F. G & Hodek I., eds. Behaviour and Impact of Aphidophaga. The Hague: SPB Academic Publishing, 177-181
- KENNEDY J. S., DAY M. F. & EASTOP V. F., 1962. A Conspectus of Aphids as Vectors of Plant Viruses. London: Commonwealth Institute of Entomology
- KHAN Z. R., AMPONG-NYARKO K., CHILISWA P., HASSANALI A., KIMANI S., LWANDE W., OVERHOLT W. A., PICKETT J. A., SMART L. E., WADHAMS L. J. & WOODCOCK C. M., 1997. Intercropping increases parasitism of pests. *Nature.*, **388**, 631-32
- KHAN Z. R., PICKETT J. A., van den BERG J., WADHAMS L. J. & WOODCOCK C. M., 2000. Exploiting chemical ecology and species diversity: stem borer and striga control for maize and sorghum in Africa. *Pest Management Science.*, **56**, 957-962
- KINDLMANN P. & DIXON A. F. G., 1993. Optimal foraging in ladybirds (Coleoptera: Coccinellidae) and its consequences for their use in biological control. *European Journal of Entomology.*, **90**, 443-450
- KINDLMANN P. & DIXON A. F. G., 2001. When and why top-down regulation fails in arthropod predator-prey systems. *Basic and Applied Ecology.*, **2**, 333-340
- KINDLMANN P., JAROSIK V. & DIXON A. F. G., 2007. Population dynamics. In: van Emden H. F. & Harrington R., eds. Aphids as Crop Pests. Cambridge, Massachusetts: CAB International, 311-329
- LABONNE G., QUIOT J. B. & MONESTIEZ P., 1982. Contribution of different aphid species to the spread of cucumber mosaic virus (CMV) in a muskmelon plot. *Agronomie.*, **2**, 797-804
- LAW J. H. & REGNIER F. E., 1971. Phéromones. *Annu Rev Biochem.*, **40**, 533-548

- LECOQ H., WISLER G. & PITRAT M., 1998. Cucurbit viruses: the classic and the emerging. In: McCreight J. D., eds. Cucurbitaceae '98: Evaluation and Enhancement of Cucurbit Germplasm. Alexandria, Virginia: ASHS Press, 126-142
- LEE J. H., ELLIOT N. C., KINDLER S. D., FRENCH B. W., WALKER C. B. & EIKENBARY R. D., 2005. Natural enemy impact on the Russian wheat aphid in southeastern Colorado. *Environmental Entomology.*, **34**, 115–123
- LEROY P. D., VERHEGGEN F. J., CAPELLA Q., FRANCIS F. & HAUBRUGE E., 2010. An introduction device for the aphidophagous hoverfly *Episyrphus balteatus* (De Geer) (Diptera: Syrphidae). *Biological Control.*, **54**, 181–188
- LIU T.-X. & CHEN T.-Y., 2001. Effects of three aphid species (Homoptera: Aphididae) on development, survival and predation of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Applied Entomology and Zoology.*, **36**, 361-366
- MACKAUER M. & STARÝ P., 1967. World Aphidiidae. Paris: Le François
- MACKAUER M. & VÖLKL W., 1993. Regulation of aphid populations by aphidiid wasps: does parasitoid foraging behaviour or hyperparasitism limit impact? *Oecologia.*, **94**, 339-350
- MACKAUER M., MICHAUD J. P. & VÖLKL W., 1996. Host choice by aphidiid parasitoids (Hymenoptera: Aphidiidae): host recognition, host quality and host value. *Canadian Entomologist.*, **128**, 959-980
- MAJERUS M. E. N., 1994. Ladybirds. London : Harper Collins
- MICHA S. G. & WYSS U., 1996. Aphid alarm pheromone (E)- $\beta$ -farnesene: a host-finding kairomone for the aphid primary parasitoid *Aphidius uzbekistanicus* (Hymenoptera: Aphidiinae). *Chemoecology.*, **7**, 132-139
- MICHAUD J. P. & MACKAUER M., 1994. The use of visual cues in host evaluation by aphidiid wasps. Comparison between three *Aphidius* parasitoids of the pea aphid. *Entomologia Experimentalis et Applicata.*, **70**, 273-283
- MICHAUD J. P. & MACKAUER M., 1995. The use of visual cues in host evaluation by aphidiid wasps. Comparison between *Ephedrus californicus*, *Monoctonus paulensis* and *Praon pequodorum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata.*, **74**, 267-275
- MICHAUD J. P., 2001. Evaluation of green lacewings, *Chrysoperla plorabunda* (Fitch) (Neurop., Chrysopidae), for augmentative release against *Toxoptera citricida* (Hom., Aphididae) in citrus. *Journal of Applied Entomology.*, **125**, 383-388
- MICHELS JR. G. J. & BURD J. D., 2007. IPM case studies: sorghum. In: van Emden H. F. & Harrington R., eds. Aphids as Crop Pests. Cambridge, Massachusetts: CAB International, 627–637.

- MIGNON J., COLIGNON P., HAUBRUGE E. & FRANCIS F., 2003. Effet des bordures de champs sur les populations de chrysopes [Neuroptera : Chrysopidae] en cultures maraîchères. *Phytoprotection.*, **84**, 121-128
- MILLER J. R. & COWLES R. S., 1990. Stimulo-deterrent diversion: a concept and its possible application to onion maggot control. *Journal of Chemical Ecology.*, **16**, 3197-3212
- MILLS N. J., 1982a. Voracity, cannibalism and coccinellid predation. *Ann. Appl. Biol.*, **101**, 144-148
- MILLS N. J., 1982b. Satiation and the functional response: a test of a new model. *Ecological Entomology.*, **7**, 305-315
- MÖLCK G., MICHA S. G. & WYSS U., 2000. Attraction to odour of infested plants and learning behaviour in the aphid parasitoid *Aphelinus abdominalis*. *Journal of Plant Diseases and Protection.*, **106**, 557-567
- NAKAMUTA K., 1985. Mechanism of the switchover from extensive to area-concentrated search behaviour of the ladybird beetle *Coccinella septempunctata bruckii*. *Journal of Insect Physiology.*, **31**, 849-856
- NAKAMURA M., NEMOTO H. & AMANO H., 2000. Ovipositional characteristics of lacewings, *Chrysoperla carnea* (Stephens) and *Chrysopa pallens* (Rambur) (Neuroptera : Chrysopidae) in the field. *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology.*, **44**, 17-26
- NAULT L. R., 1997. Arthropod transmission of plant viruses: a new synthesis. *Annals of the Entomological Society of America.*, **90**, 521-541
- NEW T. R., 1988. Neuroptera. In: Minks A. K. & Harrewijn P., eds. Aphids. Their Biology, Natural Enemies and Control, Volume 2B. New York; Amsterdam: Elsevier, 249-258
- NEW T. R. R., 1975. The biology of Chrysopidae and Hemerobiidae (Neuroptera) with reference to their usage as biocontrol agents: a review. *Trans. Royal Entomol. Soc. London.*, **127**, 115-140
- NINKOVIC V., AL ABASSI S. & PETERSSON J., 2001. The influence of aphid-induced plant volatiles on ladybird beetle searching behavior. *Biol. Control.*, **21**, 191-195
- NORDLUND D. A. & LEWIS W. J., 1976. Terminology of chemical releasing stimuli in intraspecific and interspecific interactions. *J. Chem. Ecol.*, **2**, 211-220
- OBATA S., 1986. Mechanisms of prey finding in the aphidophagous ladybird beetle, *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Entomophaga.*, **31**, 303-311

- OBRYCKI J. J. & ORR C. J., 1990. Suitability of three prey species for Nearctic populations of *Coccinella septempunctata*, *Hippodamia variegata* and *Propylaea quattuordecimpunctata*. *Journal of Economic Entomology.*, **83**, 1292-1297
- OBRYCKI J. J., HARWOOD J. D., KRING T. J. & O'NEIL R. J., 2009. Aphidophagy by Coccinellidae: Application of biological control in agroecosystems. *Biological Control.*, **51**, 244–254
- PAULIAN M., 1999. Les Chrysopes, auxiliaires contre des insectes divers. *Phytoma.*, **522**, 41-46
- PETTERSSON J., NINKOVIC V., GLINWOOD R., AL ABASSI S., BIRKETT M., PICKETT J. & WADHAMS L., 2008. Chemical stimuli supporting foraging behaviour of *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae): volatiles and allelobiosis. *Applied Entomology and Zoology.*, **43**, 315–321
- POLASZEK A., 1986. The effects of two species of hymenopterous parasitoids on the reproductive system of the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata.*, **40**, 285-292
- POWELL W., PENNACCHIO F., POPPY G. M. & TREMBLAY E., 1998. Strategies involved in the location of hosts by the parasitoid *Aphidius ervi* Haliday (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae). *Biological Control.*, **11**, 104-112
- POWELL W. & PELL J. K., 2007. Biological Control. In: van Emden H. F. & Harrington R., eds. *Aphids as Crop Pests*. Cambridge, Massachusetts: CAB International, 469-499
- PYKE B., RICE M., SABINE B. & ZALUCKI M. P., 1987. The push-pull strategy-behavioural control of *Heliothis*. *Australian Cotton Growers.*, 7-9
- RAHMAN M. S., AKANDA A. M., MIAN I. H., BHUIAN M. K. A. & KARIM M. R., 2010. Growth and yield performance of different generations of seed potato as affected by PVY and PLRV. *Bangladesh J. Agril. Res.*, **35** (1), 37-50
- RAMAN K. V. & RADCLIFFE E. B., 1992. Pest aspects of potato production, Part 2. Insect pests. In: Harris P. M., eds. *The Potato Crop, The Scientific Basis for Improvement*. 2 éd. London: Chapman and Hall, 476-506
- RANDOLPH T. L., KROENING M. K., RUDOLPH J. B., PEAIRS F. B. & JEPSON R. F., 2002. Augmentative releases of commercial biological control agents for Russian wheat aphid management in winter wheat. *Southwestern Entomologist.*, **27**, 34-44
- REMAUDIÈRE G. & REMAUDIÈRE M., 1997. *Catalogue des Aphididae du Monde*. Paris : INRA

- ROBERT Y. & ROUZE-JOUAN J., 1971. Premières observations sur le rôle de la température au moment de la transmission de l'enroulement par *Aulacorthum solani* Kltb., *Macrosiphum euphorbiae* Thomas et *Myzus persicae* Sulz. *Potato Research.*, **14**, 154-157
- ROBERT Y. & BOURDIN D., 2001. Aphid transmission of potato viruses. In: Loebenstein G., Berger P. H., Brunt A. A. & Lawson R. H., eds. *Virus and Virus-Like Diseases of Potatoes and Production of Seed-Potatoes*. Dordrecht: Kluwer, 195-225
- ROTHERAY G. E., 1989. Aphid Predators. Cambridge Naturalists' Handbooks, No. 7. Cambridge: Cambridge University Press
- RUPPERT V. & MOLTHAN J., 1991. Augmentation of aphid antagonists by field margins rich in flowering plants. In: Polgár L. A., Chambers R., Dixon A. F. G & Hodek I., eds. *Behaviour and Impact of Aphidophaga*. The Hague: SPB Academic Publishing, 243-247
- RUZICKA Z., 1994. Oviposition-detering pheromone in *Chrysopa oculata* (Neuroptera: Chrysopidae). *Eur. J. Entomol.*, **91**, 361-370
- RUZICKA Z., 1996. Oviposition-detering pheromone in chrysopids: intra- and interspecific effects. *Eur. J. Entomol.*, **93**, 161-166
- RUZICKA Z., 1997a. Recognition of oviposition-detering allomones by aphidophagous predators (Neuroptera: Chrysopidae, Coleoptera: Coccinellidae). *Eur. J. Entomol.*, **94**, 431-434
- RUZICKA Z., 1997b. Protective role of the egg stalk in Chrysopidae (Neuroptera). *European Journal of Entomology.*, **94**, 111-114
- RUZICKA Z., 1998. Further evidence of oviposition-detering allomone in chrysopids (Neuroptera: Chrysopidae). *Eur. J. Entomol.*, **95**, 35-39
- RUZICKA Z., 2001. Oviposition responses of aphidophagous coccinellids to tracks of ladybird (Coleoptera: Coccinellidae) and lacewing (Neuroptera: Chrysopidae) larvae. *Eur. J. Entomol.*, **98**(2), 183-188
- RUZICKA Z., 2002. Persistence of deterrent larval tracks in *Coccinella septempunctata*, *Cycloneda limbifer* and *Semiadalia undecimnotata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Eur. J. Entomol.*, **99**(4), 471-475
- SADEGHI H. & GILBERT F., 2000. Aphid suitability and its relationship to oviposition preference in predatory hoverflies. *Journal of Animal Ecology.*, **69**, 771-784
- SAN MARTIN G., 2004. Clé de détermination des Chrysopidae de Belgique. Wavre : Jeunes & Nature
- SCHOLZ D. & POEHLING H.-M., 2000. Oviposition site selection of *Episyrphus balteatus*. *Entomol. Exp. Appl.*, **94**(2), 149-158

- SCOPES N. E. A., 1969. The potential of *Chrysopa carnea* as a biological control agent of *Myzus persicae* on glasshouse chrysanthemums. *Annals of Applied Biology.*, **64**, 433-439
- SENGONCA C. & LIU B., 1994. Responses of the different instar predator, *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae), to the kairomones produced by the prey and non-prey insects as well as the predator itself. *J. Plant Dis. Protect.*, **101**, 173-177
- SENIOR L. J. & MCEWEN P. K., 2001. The use of lacewings in biological control. In: McEwen P. K., New T. R. & Whittington A. E., eds. *Lacewings in the Crop Environment*. Cambridge: Cambridge University Press, 296-302
- SIGVALD R., 1984. The relative efficiency of some aphid species as vectors of potato virus Y° (PVY°). *Potato Research.*, **27**, 285-290
- SINGH R. P. & BOITEAU G., 1986. Re-evaluation of the potato aphid, *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas), as vector of potato virus Y. *American Potato Journal.*, **63**, 335-340
- STARÝ P., 1988. Aphelinidae. In: Minks A. K. & Harrewijn P., eds. *Aphids. Their Biology, Natural Enemies and Control*, Volume 2B. New York; Amsterdam: Elsevier, 185-188
- SUTHERLAND J. P., SULLIVAN M. S. & POPPY G. M., 2001. Oviposition behaviour and host colony size discrimination in *Episyrphus balteatus* (Diptera: Syrphidae). *Bull. Entomol. Res.*, **91**, 411-417
- SUTY L., 2010. *La lutte biologique. Vers de nouveaux équilibres écologiques*. Dijon : Educagri
- TAKADA H. & TOKUMARU S., 1996. Observations on oviposition and host-feeding behaviour of *Aphelinus gossypii* Timberlake (Hymenoptera: Aphelinidae). *Applied Entomology and Zoology.*, **31**, 263-270
- TAMAKI G. & LONG G. E., 1978. Predator complex of the green peach aphid on sugarbeets: expansion of the predator power and efficacy model. *Environmental Entomology.*, **7**, 835-842
- TENHUMBERG B. & POEHLING H.-M., 1995. Syrphids as natural enemies of cereal aphids in Germany: Aspects of their biology and efficacy in different years and regions. *Agriculture, Ecosystems and Environment.*, **52**, 39-43
- THOMPSON F. C. & ROTHERAY G. E., 1998. Family Syrphidae. In: Papp L. & Darvas B., eds. *Manual of Palaearctic Diptera*, Vol. 3. Budapest: Science Herald, 880
- VERHEGGEN F. J., FAGEL Q., HEUSKIN S., LOGNAY G., FRANCIS F. & HAUBRUGE E., 2007. Electrophysiological and behavioral responses of the multicolored Asian lady beetle,

- Harmonia axyridis*, to sesquiterpene semiochemicals. *Journal of Chemical Ecology*., **33**, 2148–2155
- VERHEGGEN F. J., ARNAUD L., BARTRAM S., GOHY M. & HAUBRUGE E., 2008. Aphid and plant volatiles induce oviposition in an aphidophagous hoverfly. *J. Chem. Ecol.*, **34**(3), 301-307
- VÖLKL W., 2000. Foraging behaviour and sequential multisensory orientation in the aphid parasitoid, *Pauesia picta* (Hymenoptera, Aphidiidae) at different spatial scales. *Journal of Applied Entomology*., **124**, 307-314
- VÖLKL W., MACKAUER M., PELL J. K. & BRODEUR J., 2007. Predators, Parasitoids and Pathogens. In: van Emden H. F. & Harrington R., eds. *Aphids as Crop Pests*. Cambridge, Massachusetts: CAB International, 187-215
- WEBB S. E., 1996. Management of melon aphid on muskmelon and watermelon with insecticides specific for Homoptera. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*., **109**, 202-205
- WEBB S. E., 2007. IPM case studies: cucurbits. In: van Emden H. F. & Harrington R., eds. *Aphids as Crop Pests*. Cambridge, Massachusetts: CAB International, 639
- WILLIAMS I. S. & DIXON A. F. G., 2007. Life cycles and polymorphism. In: van Emden H. F. & Harrington R., eds. *Aphids as Crop Pests*. Cambridge, Massachusetts: CAB International, 81
- WRATTEN S. D., 1973. The effectiveness of the coccinellid beetle, *Adalia bipunctata* (L.) as a predator of the lime aphid, *Eucalipterus tiliae* (L.). *J. Anim. Ecol.*, **42**, 785-802
- YASUDA H., TAKAGI T. & KOGI K., 2000. Effects of conspecific and heterospecific larval tracks on the oviposition behaviour of the predatory ladybird, *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Eur. J. Entomol.*, **97**, 551-553
- ZAKI F. N., EL-SHAARAWY M. F. & FARAG N. A., 1999. Release of two predators and two parasitoids to control aphids and whiteflies. *Journal of Pest Science*., **72**, 19-20
- ZHANG Z. Q., 1992. The natural enemies of *Aphis gossypii* Glover (Hom, Aphididae) in China. *Journal of Applied Entomology*., **114**, 251-262
- ZHU J., COSSE A. A., OBRYCKI J. J., BOO K. S. & BAKER T. C., 1999. Olfactory reactions of the twelve-spotted lady beetle, *Coleomegilla maculata* and the green lacewing, *Chrysoperla carnea* to semiochemicals released from their prey and host plant: electroantennogram and behavioral responses. *Journal of Chemical Ecology*., **25**, 1163–1177

ZHU J. & PARK K. C., 2005. Methyl salicylate, a soybean aphid-induced plant volatile attractive to the predator *Coccinella septempunctata*. *Journal of Chemical Ecology.*, **31**, 1733–1746

# ANNEXES

*Annexe 1* – Exemple du questionnaire soumis aux ménages ruraux de la province du Shandong

**Questionnaire : structure socio-économique des ménages ruraux**

Date de l'enquête (J/M/A) : ...../...../..... Province : .....

Nom de l'enquêteur : ..... District : .....

Commune : .....

N° de code : .....

Village : .....

**1. La famille**

- 1.1 Nom du chef de ménage : ..... Homme Femme  
 Etat civil : Célibataire Marié Veuf/Div.
- 1.2 Age du chef de ménage : ..... ans  
 Nombre total d'enfants : .....
- Depuis quand êtes-vous chef de ménage (J/M/A) ...../...../.....
- 1.3 Date d'installation de la famille dans le village (J/M/A): ...../...../.....
- 1.4 Structure du ménage (habitant sous un même toit) :

Age	Nombre d'hommes	Nombre de femmes	Sous-totaux
Moins de 5 ans			
De 5 à 7 ans			
De 8 à 12 ans			
De 13 à 16 ans			
De 17 à 60 ans			
Plus de 60 ans			
<b>Sous-totaux</b>			<b>TOTAL</b>

- 1.7 Niveau d'éducation des membres de la famille vivant sous un même toit :

Education	Hommes	Femmes	Education	Hommes	Femmes
Illettrés			Lycée		
Primaire incomplète			Supérieure		
Ecole primaire			Universitaire		
Collège					
<b>Sous-totaux</b>			<b>Sous-totaux</b>		
					<b>TOTAL</b>

## 2. L'habitat

2.1 Type de maison :

Murs	Toit	Sol
Chaumes ou Torchis	Tôles	Bois
Bois	Fibro-ciment	Béton
Maçonnerie	Tuiles	Carrelages
Autre		

2.2 Superficie de la maison : .....m<sup>2</sup> Année de construction : .....

Nombre de pièces : .....

2.3 Equipements de la maison familiale :

Types d'équipement	Quantité	Mode d'acquisition
Radio		
TV noir et blanc		
TV couleur		
Vidéo		
Machine à coudre		
Bicyclette		
Moto		
Voiture		

2.4 Autres installations :

Type	Superficie (m <sup>2</sup> )	Qualité	Type	Superficie (m <sup>2</sup> )	Qualité
Poulailler			Porcherie		
Cage à volailles			Aire de séchage		
Cage piscicole			Grenier		
Etable			Autres ...		
Toilettes sans chasse d'eau			Toilettes avec chasse d'eau		

## 3. L'agriculture

3.1 Superficie totale de la ferme : ..... ha  
 Dont superficie de blé : ..... ha répartie en ..... parcelles  
 Dont superficie maraîchage : ..... ha répartie en ..... parcelles  
 Nombre total de parcelles composant votre exploitation : ..... parcelles  
 Superficie sans concept (plate) : ..... et durée/an : .....

3.2 Depuis votre installation, avez-vous **agrandi** la superficie : Oui Non

Si oui, Avez-vous **acheté** de la terre ? Comment Oui Non

3.3 Distance entre le siège de l'exploitation et les différentes parcelles ?

Rappel : Nombre total de parcelles : ..... Parcelles (cfr. 3.1)

Parcelles	Distance (km)	Superficie (ha)
A		
B		
C		
D		
E		

### 3.4 Système de culture et superficie des cultures annuelles :

Spécifications	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Sous-totaux
	S1			S2				S3					
Blé													
Ail													
Maraîchage													
Autre													

3.5 Avez-vous opéré des changements récents dans votre système de culture ? Oui Non

Si oui, décrivez ces modifications et leurs causes :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3.6 Avez-vous une source d'eau individuelle ? Oui Non

Si oui, précisez le type : Mare Etang Puits à pompe

Avez-vous accès à une source d'eau collective ? Oui Non

Si oui, précisez le type : Rivière Mare Etang Puits à pompe Lac

## 4. Mécanisation

### 4.1 Animaux de traction

Animaux	Nombre de têtes en propriété	Location		Echange ou Prêt gratuit
		Mise en location	Prise en location	
Buffles				
Bœufs				
Chevaux				

### 4.2 Equipements de traction mécanisée

Type d'équipement	Nombre en propriété	Location		Echange ou Prêt gratuit
		Mise en location	Prise en location	
Motoculteur				
Tracteur				

### 4.3 Equipements agricoles

Type d'équipement	Nombre en propriété	Location		Echange ou Prêt gratuit
		Mise en location	Prise en location	
Charrue				
Herse				
Emotteuse				
Pulvérisateur plastique				
Pulvérisateur inox				
Batteuse manuelle				
Batteuse à moteur				
Pompe hydraulique				
Décortiqueuse				
Vanneuse manuelle				
Vanneuse à moteur				
Charrette pour cheval				
Charrette pour bovins				



## 6. Le crédit et les autres ressources

### 6.1 Le crédit

6.1.1 Avez-vous des crédits en cours ? Oui Non

\* Si oui, date de(s) emprunt(s) ? (J/M/A) 1) ...../...../..... 2) ...../...../.....

Taux d'intérêt ? 1) .....% / ..... 2) .....% / .....

Durée de l'emprunt ? 1) ..... 2) .....

Montant de l'emprunt ? 1) ..... 2) .....

Caution ? .....

Sources de crédit ? 1) .....

2) .....

Utilisations du crédit ? .....

.....

.....

\* Si non, pourquoi n'avez-vous pas recours au crédit ?

.....

.....

6.1.2 Faites-vous du crédit à des tiers ? Oui Non

Si oui, date de(s) crédit(s) ? (J/M/A) 1) ...../...../..... 2) ...../...../.....

Taux d'intérêt ? 1) .....% / ..... 2) .....% / .....

Durée des prêts ? 1) ..... 2) .....

Montant des prêts ? 1) ..... 2) .....

Caution demandée ? .....

### 6.2 Les autres ressources

#### 6.2.1 Des membres du ménage habitant sous ce toit exercent-ils une activité extra-agricole ?

Oui Non

Si oui, précisez :

Personne et sexe	Activité ou métier	Fréquence	Revenu moyen journalier pour le ménage		
			< 3 000	3 000 << 6 000	> 6 000
1					
2					
3					
4					
5					

#### 6.2.2 Revenus issus de la location d'équipements ? Oui Non

Si oui, quels équipements ? .....

.....

.....

Revenus générés : .....

.....

6.2.3 Des membres du ménage habitant sous ce toit travaillent-ils comme saisonniers agricoles ?

Oui

Non

Si oui, précisez :

Personne et sexe	Type d'activité agricole	Journalier ou mensuel	Revenu moyen journalier ou mensuel
1			
2			
3			
4			

6.2.4 Recevez-vous de l'argent de membres de la famille travaillant à l'extérieur (et n'habitant pas sous ce toit) ?

Oui

Non

Si oui, combien par an ? .....

## 7. Les structures de commercialisation

Commercialisez-vous certains de vos produits agricoles ?

Oui

Non

Si oui, précisez lesquels et le(s) mode(s) de commercialisation :

Produits agricoles	Vente individuelle au marché local	Vente à un collecteur local	Vente à un collecteur externe	Groupement de producteurs	Autre structure à préciser ...
1					
2					
3					
4					

Connaissance d'une filière « bio » ? Ex. ail ?

## 8. Remarques de l'enquêteur :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Espèces d'auxiliaires récoltées dans les pièges		Courgettes ( <i>Cucurbita pepo</i> L.) Modalité: Extrait d'ail												Total					
		SIII 2b						SIII 3b							SII 4				
		16-Mai	23-Mai	30-Mai	06-Jun	13-Jun	16-Mai	23-Mai	30-Mai	06-Jun	13-Jun	16-Mai	23-Mai		30-Mai	06-Jun	13-Jun		
Prédateurs	Coccinellidae	5	0	2	0	1	6	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19
		0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
		0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4
		0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Parasitoïdes	Syrphidae	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
		4	1	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	3	0	12
		0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	13	0	19
Aphelinidae		8	1	0	1	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	16
		0	0	0	1	4	0	0	10	3	2	0	0	0	0	0	6	1	27
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Espèces d'auxiliaires récoltées dans les pièges		Courgettes ( <i>Cucurbita pepo</i> L.) Modalité: Contrôle												Total					
		SIII 3a						SII 2b							SII 1b				
		16-Mai	23-Mai	30-Mai	06-Jun	13-Jun	16-Mai	23-Mai	30-Mai	06-Jun	13-Jun	16-Mai	23-Mai		30-Mai	06-Jun	13-Jun		
Prédateurs	Coccinellidae	6	0	1	0	0	2	3	0	0	0	6	3	1	0	0	1	0	23
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
		0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Parasitoïdes	Syrphidae	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
		4	0	2	1	0	0	0	4	2	0	0	3	0	0	0	0	0	16
		0	0	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	2	0	0	0	8
Aphelinidae		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
		0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4
		0	0	0	1	2	0	0	5	2	1	0	0	0	7	3	0	0	21



*Annexe 3* – Données météorologiques de la ville de Taian, fournies par le SAU (Shandong Agricultural University)

Date	Average T(°C)	T (°C) (max)	T (°C) (min)	Relative Humidity (%)	Wind direction	Wind velocity (m/s)	Weather	Daily precipitation (mm)
May 1	19,5	25,6	15,5	26	SW	1,9	few cloudy	
2	17,2	22,1	11,5	58	NE	1,9	few cloudy	
3	18,2	24,6	11,0	62	WSW	1,7	few cloudy	
4	19,3	24,3	13,3	53	W	2,0	few cloudy	
5	20,4	25,7	14,5	51	SW	2,7	few cloudy	
6	22,7	27,8	18,8	51	NNE	1,8	cloudy	
7	23,5	29,1	19,9	44	NE	3,2	cloudy	
8	18,1	22,8	14,1	81	S	4,0	thunderstorm	51,8
9	19,6	24,3	16,0	84	SE	1,9	rainy	5,2
10	14,8	18,4	13,1	86	NE	4,4	overcast	
11	18,2	24,7	12,7	72	SW	2,0	few cloudy	
12	20,1	23,8	17,0	36	NE	3,2	sunny	
13	19,7	26,2	11,1	41	S	2,5	few cloudy	
14	20,3	27,6	11,9	49	SSW	1,8	few cloudy	
15	21,9	27,1	15,6	55	NE	2,1	few cloudy	
16	22,3	28,2	17,5	48	NE	2,3	thunderstorm	0,9
17	23,3	28,4	15,8	54	SE	3,6	cloudy	
18	22,7	29,6	16,3	73	SW	1,7	thunderstorm	14,1
19	22,2	26,2	20,7	64	WSW	3,0	cloudy	
20	17,0	20,7	16,1	70	WSW	2,8	rainy	7,3
21	14,7	17,6	11,8	68	WSW	1,5	rainy	0,3
22	15,5	20,2	10,8	66	W	1,4	cloudy	
23	16,2	22,5	9,3	66	SSW	2,2	cloudy	
24	19,0	24,0	12,5	59	E	1,3	cloudy	
25	19,5	26,5	14,6	54	WSW	1,5	cloudy	
26	20,8	26,1	12,1	51	NNW	2,3	cloudy	
27	21,1	26,6	14,9	63	E	1,3	sunny	
28	23,1	29,0	16,0	55	SSE	1,6	sunny	
29	22,9	27,4	18,0	46	W	1,7	cloudy	
30	23,7	27,0	20,3	55	W	2,0	cloudy	
31	23,6	31,3	18,0	59	W	2,5	cloudy	

Date	Average T (°C)	T (°C) (max)	T (°C) (min)	Relative Humidity (%)	Wind direction	Wind velocity (m/s)	Weather	Daily precipitation (mm)
June 1	22,8	20,4	14,0	52	SE	1,6	cloudy	
2	25,2	30,9	16,1	43	WSW	2,0	cloudy	
3	26,4	32,6	21,6	43	WSW	2,1	few cloudy	
4	28,0	34,3	18,9	41	WSW	2,3	few cloudy	
5	26,8	31,3	21,1	40	S	1,9	few cloudy	
6	25,5	29,4	21,8	58	SE	1,6	few cloudy	
7	25,7	32,1	19,6	64	SSW	2,3	rainy	0,3
8	28,3	35,6	23,7	50	WSW	2,3	cloudy	
9	27,5	33,2	20,9	45	NE	2,0	few cloudy	
10	25,5	30,4	22,7	43	SW	2,6	few cloudy	
11	25,4	32,3	16,5	46	W	2,1	few cloudy	
12	27,3	32,4	21,9	40	SSW	3,3	few cloudy	
13	27,7	34,8	16,9	32	SW	2,3	few cloudy	
14	26,0	33,4	19,6	35	E	1,9	few cloudy	
15	24,4	31,4	17,8	45	NE	1,6	few cloudy	
16	24,8	30,1	18,7	55	S	1,9	few cloudy	
17	25,5	29,0	22,9	63	WSW	1,5	few cloudy	
18	25,9	32,1	21,0	65	SSW	2,0	cloudy	
19	25,8	32,0	20,3	62	WSW	0,9	cloudy	
20	26,6	30,9	22,4	59	ESE	1,8	cloudy	
21	27,5	33,8	19,8	48	W	1,7	sunny	
22	26,0	28,4	24,3	75	SSW	1,9	rainy	1,8
23	25,3	27,0	23,9	87	NE	1,3	thunderstorm	11,7
24	24,4	28,7	21,5	66	W	3,7	cloudy	
25	24,0	27,5	19,2	52	W	3,1	cloudy	
26	22,7	25,6	21,0	59	ENE	3,8	cloudy	
27	25,1	32,2	17,2	57	WSW	1,8	cloudy	
28	24,3	29,4	20,4	72	WNW	1,7	thunderstorm	25,2
29	27,0	32,9	19,8	67	WNW	1,9	few cloudy	
30	28,8	33,9	25,3	72	ENE	1,6	cloudy	



Espèces d'auxiliaires récoltées dans les pièges		Pommes de terre ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) Modalité: Extrait d'ail												Total				
		P11a			P11b			P12a			P12b							
		16-Mai	23-Mai	30-Mai	06-Jun	13-Jun	16-Mai	23-Mai	30-Mai	06-Jun	13-Jun	16-Mai	23-Mai		30-Mai	06-Jun	13-Jun	
Prédateurs	<b>Coccinellidae</b>																	
	<i>C. septempunctata</i> (adulte)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
	<i>Platynaspis</i> sp. (adulte)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	<i>H. convergens</i> (adulte)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	<i>H. axyridis</i> (adulte)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3
	<i>P. japonica</i> (adulte)	0	0	0	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	9
	<b>Syrphidae</b>																	
	<i>E. tenax</i> (adulte)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	<b>Chrysopidae</b>																	
	<i>C. carnea</i> (adulte)	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>C. carnea</i> (larve)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Parasitoïdes	<b>Braconidae</b>																	
	<i>A. avenae</i>	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4
	<i>L. gracilis</i>	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	<i>Lysiphlebus</i> sp.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	<i>A. giffensis</i>	7	2	4	0	0	12	8	2	0	0	3	1	2	1	0	0	42
<b>Apelinidae</b>																		
<i>Aphelinus</i> sp.	1	0	2	5	3	0	0	4	1	0	0	0	0	1	1	3	21	

Espèces d'auxiliaires récoltées dans les pièges		Pommes de terre ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) Modalité: Contrôle												Total				
		P11b			P11c			P12b			P12c							
		16-Mai	23-Mai	30-Mai	06-Jun	13-Jun	16-Mai	23-Mai	30-Mai	06-Jun	13-Jun	16-Mai	23-Mai		30-Mai	06-Jun	13-Jun	
Prédateurs	<b>Coccinellidae</b>																	
	<i>C. septempunctata</i> (adulte)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	<i>H. convergens</i> (adulte)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	<i>Platynaspis</i> sp. (adulte)	0	0	1	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4
	<i>P. japonica</i> (adulte)	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	3
	<i>C. septempunctata</i> (larve)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	<b>Chrysopidae</b>																	
	<i>C. carnea</i> (adulte)	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	3
	Larve de Chrysopidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	<i>C. carnea</i> (larve)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Parasitoïdes	<b>Braconidae</b>																	
	<i>A. avenae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	<i>L. gracilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	<i>Lysiphlebus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	<i>A. giffensis</i>	2	0	3	0	1	0	1	5	0	0	4	0	1	0	0	0	17
<b>Apelinidae</b>																		
<i>Aphelinus</i> sp.	0	0	6	0	9	0	0	4	3	2	0	0	0	1	5	3	30	



**Annexe 5** - Détail des différentes espèces d'auxiliaires observées sur plante, pour les courgettes, ainsi que l'abondance d'individus par espèce, en fonction des traitements

Courgettes ( <i>Cucurbita pepo</i> L.) Modalité: Interculture pois																		
Espèces d'auxiliaires observées sur plante		SII 1a					SII 1					SII 1a				Total		
		16-Mai	23-Mai	30-Mai	06-Jun	13-Jun	16-Mai	23-Mai	30-Mai	06-Jun	13-Jun	16-Mai	23-Mai	30-Mai	06-Jun		13-Jun	
Prédateurs	Coccinellidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
	Syrphidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Parasitoïdes	Braconidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
		0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	2	4	1	0	0	0	12
Courgettes ( <i>Cucurbita pepo</i> L.) Modalité: EBF																		
Espèces d'auxiliaires observées sur plante		SII 1b					SII 2a					SII 3				Total		
		16-Mai	23-Mai	30-Mai	06-Jun	13-Jun	16-Mai	23-Mai	30-Mai	06-Jun	13-Jun	16-Mai	23-Mai	30-Mai	06-Jun		13-Jun	
Prédateurs	Coccinellidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Syrphidae	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
Parasitoïdes	Braconidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
		2	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Courgettes ( <i>Cucurbita pepo</i> L.) Modalité: Extrait d'ail																		
Espèces d'auxiliaires observées sur plante		SII 2b					SII 3b					SII 4				Total		
		16-Mai	23-Mai	30-Mai	06-Jun	13-Jun	16-Mai	23-Mai	30-Mai	06-Jun	13-Jun	16-Mai	23-Mai	30-Mai	06-Jun		13-Jun	
Prédateurs	Coccinellidae	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
	Syrphidae	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
Parasitoïdes	Braconidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
		0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Parasitoïdes	Chrysopidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Parasitoïdes	Braconidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
		2	2	0	0	0	1	0	0	0	4	0	0	1	0	0	0	10



**Annexe 6** - Détail des différentes espèces d'auxiliaires observées sur plante, pour les pommes de terre, ainsi que l'abondance d'individus par espèce, en fonction des traitements

Espèces d'auxiliaires observées sur plante		Pommes de terre ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) Modalité: Hexenyl acetate																
		PII 3				PIV 3				PIII 2				Total				
Prédateurs	Syrphidae	16-Mai	23-Mai	30-Mai	06-Jun	13-Jun	16-Mai	23-Mai	30-Mai	06-Jun	13-Jun	16-Mai	23-Mai	30-Mai	06-Jun	13-Jun	Total	
	<i>E. corollae</i> (adulte)	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	3
	<i>S. scripta</i> (adulte)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Parasitoïdes	<i>A. glifensis</i>	2	0	0	0	0	3	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	10
	<i>Lysiphlebus</i> sp.	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1


Espèces d'auxiliaires observées sur plante		Pommes de terre ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) Modalité: EBF																
		PII 2b				PII 3				PI I a				Total				
Prédateurs	Coccinellidae	16-Mai	23-Mai	30-Mai	06-Jun	13-Jun	16-Mai	23-Mai	30-Mai	06-Jun	13-Jun	16-Mai	23-Mai	30-Mai	06-Jun	13-Jun	Total	
	<i>P. japonica</i> (larve)	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	<i>E. corollae</i> (adulte)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3
	<i>S. scripta</i> (adulte)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	Larve de Chrysopidae	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	<i>C. carnea</i> (larve)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Parasitoïdes	<i>A. glifensis</i>	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	5	2	0	0	0	0	11
	<i>A. avenae</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	<i>L. gracilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1

Espèces d'auxiliaires observées sur plante		Pommes de terre ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) Modalité: Extrait d'ail																
		PII 2a				PI I b				PII 2a				Total				
Prédateurs	Coccinellidae	16-Mai	23-Mai	30-Mai	06-Jun	13-Jun	16-Mai	23-Mai	30-Mai	06-Jun	13-Jun	16-Mai	23-Mai	30-Mai	06-Jun	13-Jun	Total	
	<i>C. septempunctata</i> (larve)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	<i>P. japonica</i> (adulte)	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	<i>E. corollae</i> (adulte)	0	0	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
	<i>C. carnea</i> (adulte)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Larve de Chrysopidae	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Parasitoïdes	<i>A. glifensis</i>	2	1	0	0	0	2	3	0	0	0	4	0	0	0	0	0	12



*Annexe 7* - Version Anglaise des fiches de vulgarisation



**Pest management:  
informative sheets about aphids,  
beneficials and non target insects  
on courgettes and potatoes**

**Bosquée E.  
Chevalier Mendes Lopes T.  
Polo Lozano D.**

# Table of content

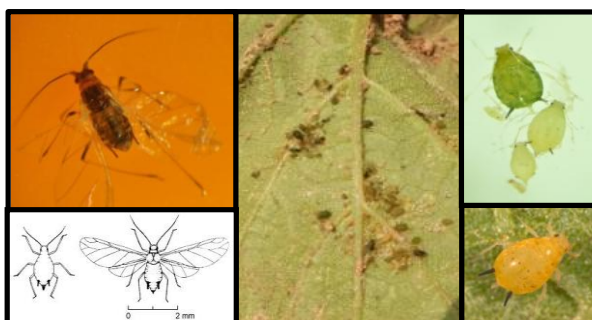
Species of aphids found in potatoes and courgettes fields.....	3
Virus in potatoes and courgettes fields transmitted by aphids.....	5
Aphidophagous beneficials found in potatoes and courgettes fields: their role on aphid populations control.....	6
Other pests in potatoes fields.....	8
Other pests in courgettes fields.....	9
Neutral insects.....	10
Danger of pesticides.....	11
Two Alternatives to pesticides.....	13

## Species of aphids found in potatoes and courgettes fields



### **Peach aphid (*Myzus persicae*)**

- Most important aphid found on potatoes plants
- Winged aphids easily recognizable: green with specific dark spot on the abdomen
- Adult size: 2 mm
- Type of virus transmitted for potatoes and courgettes : PVY, PLRV, CMV



### **Coton aphid (*Aphis gossypii*)**

- Most important aphid found on courgettes plants
- Different colors for the abdomen
- Black corniculs
- Adult size: 2 mm
- Type of virus transmitted for potatoes and courgettes : PVY, PLRV, CMV



### **Potato aphid (*Macrosiphum euphorbiae*)**

- Big size: 2,5-4 mm
- Very long corniculs
- Green or pink
- Type of virus transmitted for potatoes and courgettes : PVY, PLRV, CMV



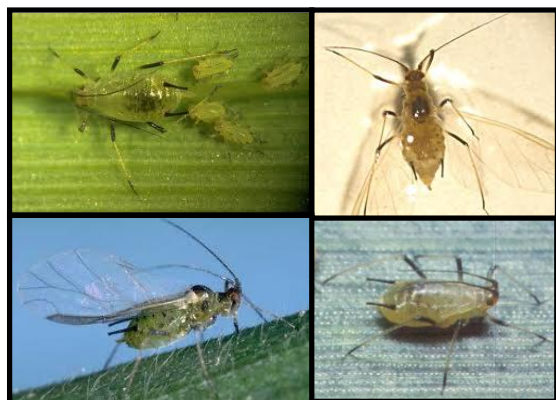
### **Foxglove or Glasshouse aphid (*Aulacorthum solani*)**

- Pale green or yellow with a dark green spot around corniculs
- Adult size: 1,8-3 mm
- Type of virus transmitted for potatoes and courgettes: PVY, PLRV, CMV



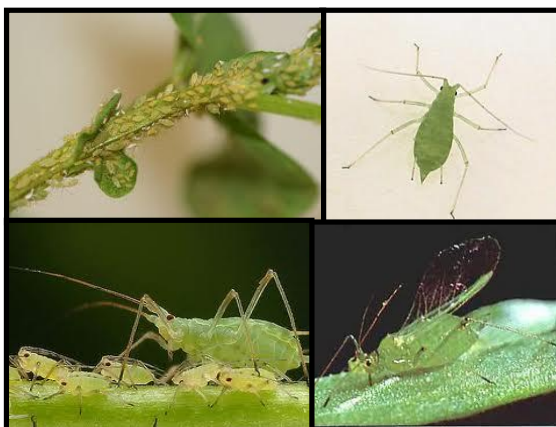
**Danger for potatoes and courgettes**

## Species of aphids found in potatoes and courgettes fields



### **Grain aphid (*Sitobion avenae*)**

- Different colors for the abdomen: green, yellow, purple, red
- Black corniculs
- Adult size: 2-2,8 mm
- Found on cereals : wheat, barley, oats , rye



### **Pea aphid (*Acyrthosiphon pisum*)**

- Green or pink
- Red eyes
- Very long antenna
- Adult size: 2,2-3 mm
- Found on pea, bean, alfalfa, clover, tare

**Harmless for potatoes and courgettes**

## Virus in potatoes and courgettes fields transmitted by aphids



### **PVY symptoms:**

- Mosaics and/or necroses (local lesions, veinal necroses or tuber necroses)
- Leaves may become distorted and brittle, often exhibiting a wrinkled and rough appearance

Concerned crops: potato , tobacco, tomato, pepper.



### **PLRV symptoms:**

- Leaves rolled upward with a brittle, leathery texture
- Yellow leaves, slightly stunted , reddish appearance
- Dwarf plants

Concerned crops: potato , tobacco, tomato, pepper.



### **CMV symptoms:**

- Leaf mosaic or mottling
- Yellowing, ringspots, stunting
- Leaf, flower and fruit distortion



Concerned crops: courgettes, melons, peppers, beans, tomatoes, carrots, celery, lettuce, spinach, beets.

## Aphidophagous beneficials found in potatoes and courgettes fields: their role on aphid populations control

### Predators



#### Ladybirds

- Adults eat aphids
- Very easy to see on the crops
- Useful for aphid control



- Larva eat aphids
- Easy to see on the crops
- Useful for aphid control



#### Hoverflies

- Adults are useful for pollination



- Larva eat aphids
- Easy to see on the crops
- Useful for aphid control



#### Lacewings

- Some adults eat the aphids
- Easy to see on the crops
- Can be useful for aphid control



- Larva eat aphids
- Useful for aphid control



**A  
P  
H  
I  
D  
  
C  
O  
N  
T  
R  
O  
L**



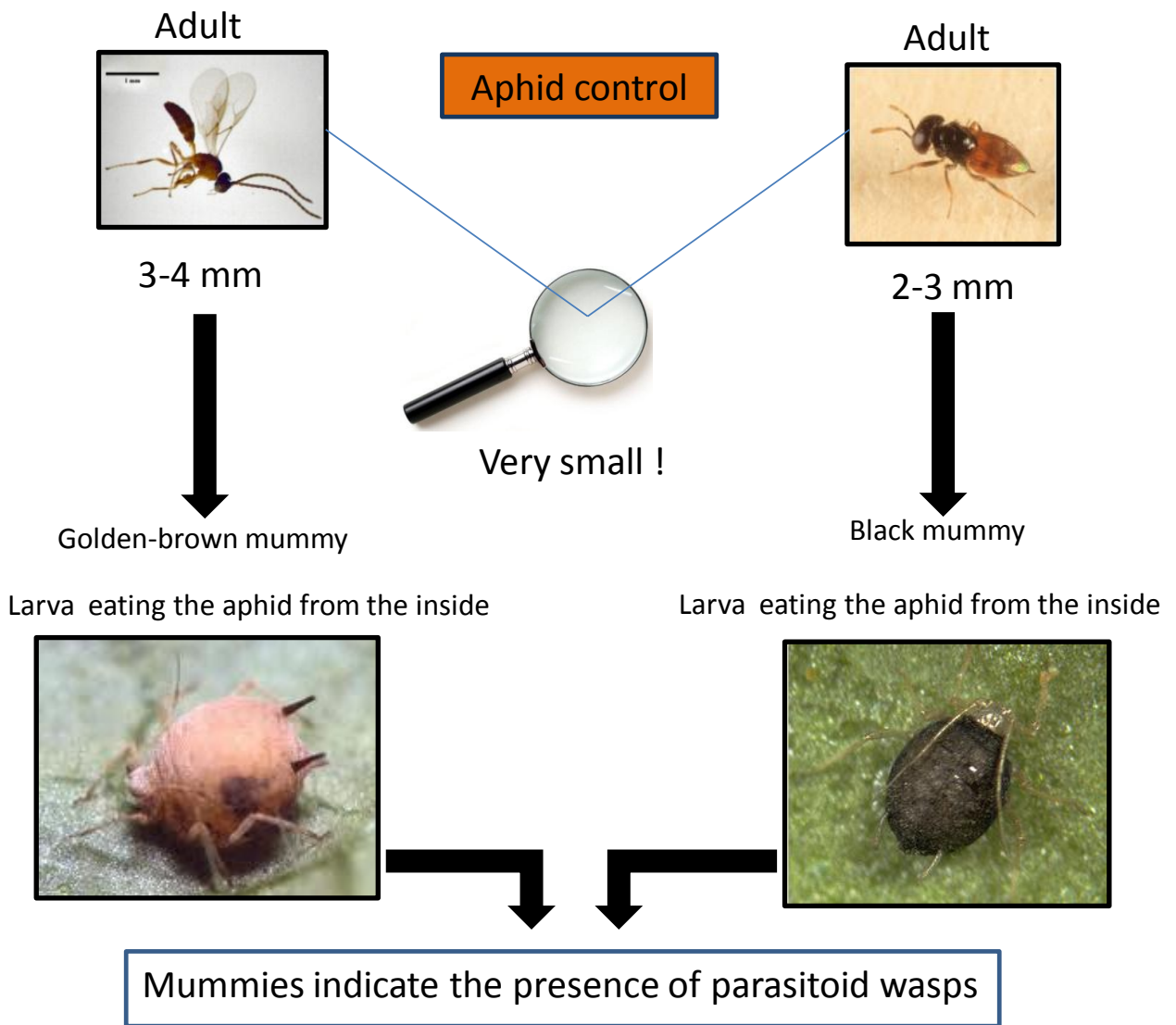
**Don't apply pesticides!**


**Pesticides kill these beneficials!**




## Aphidophagous beneficials found in potatoes and courgettes fields: their role on aphid populations control

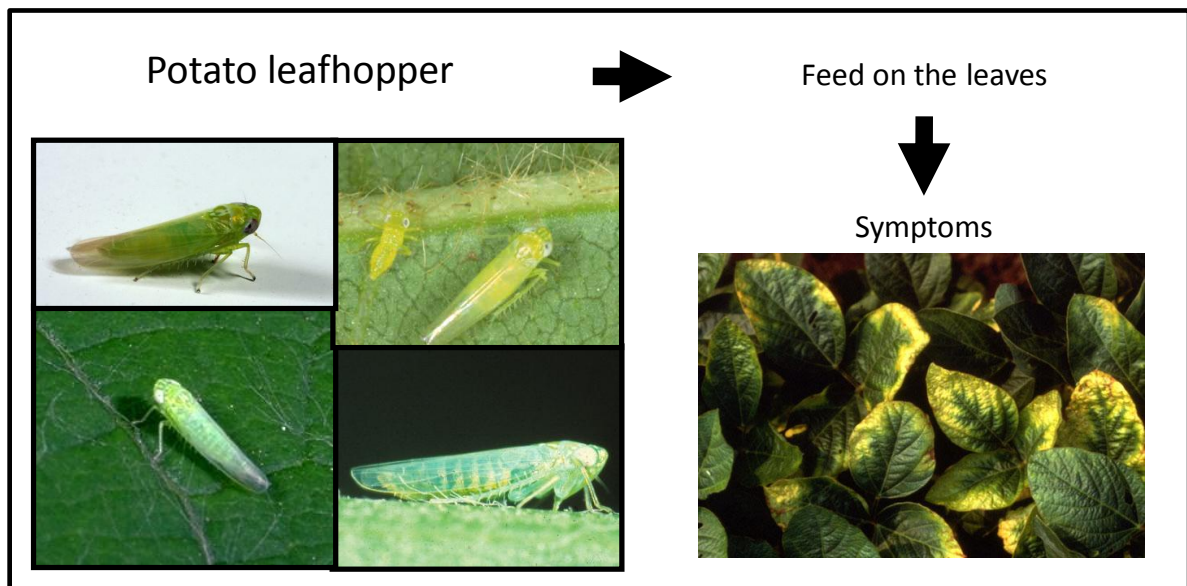
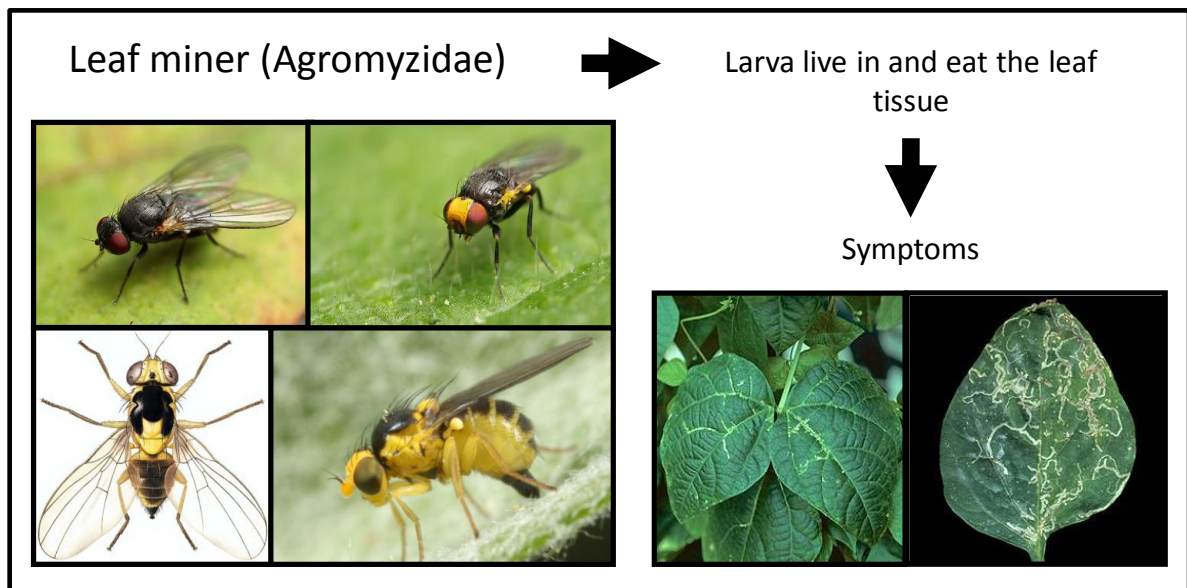
### Parasitoid wasps



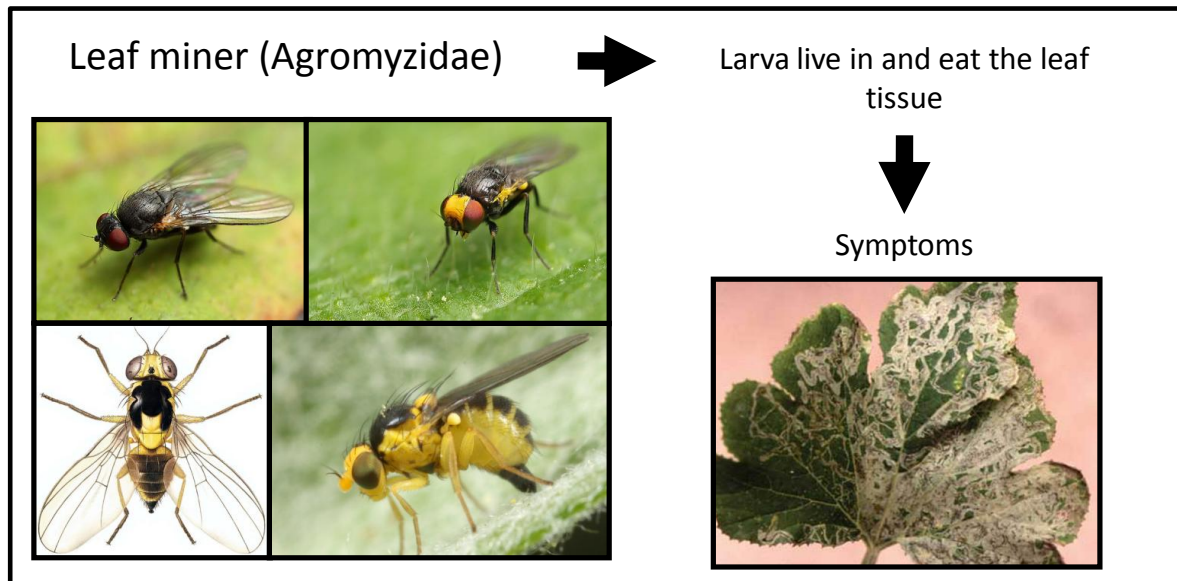
 **Don't apply pesticides!**  
**Pesticides kill these beneficials!**



## Other pests in potatoes fields



## Other pests in courgettes fields



## Neutral insects

Flies



Harmless for  
crops

Ants



Harmless for  
crops

Bees

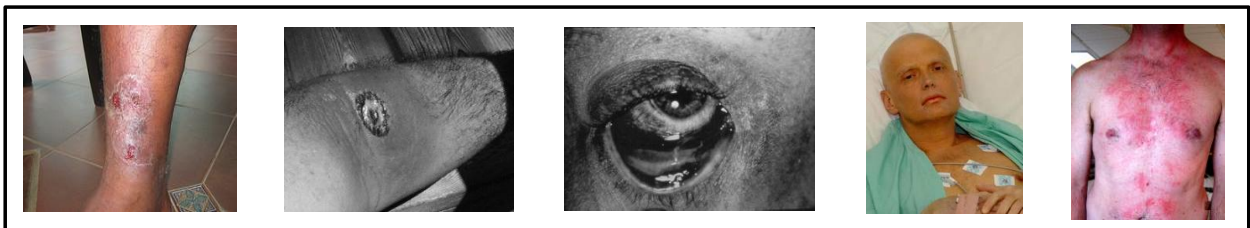
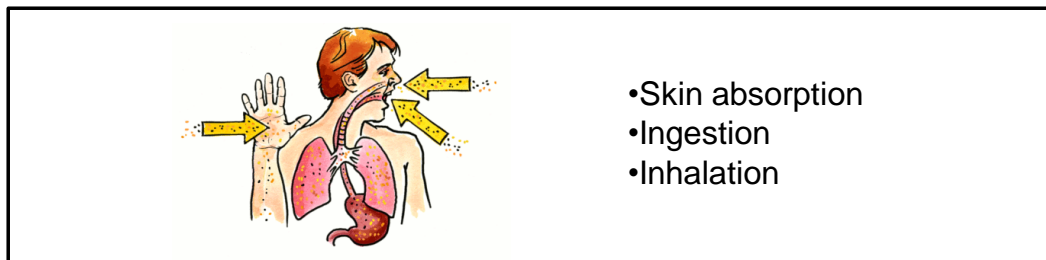


Harmless for  
crops

+ Useful for pollination

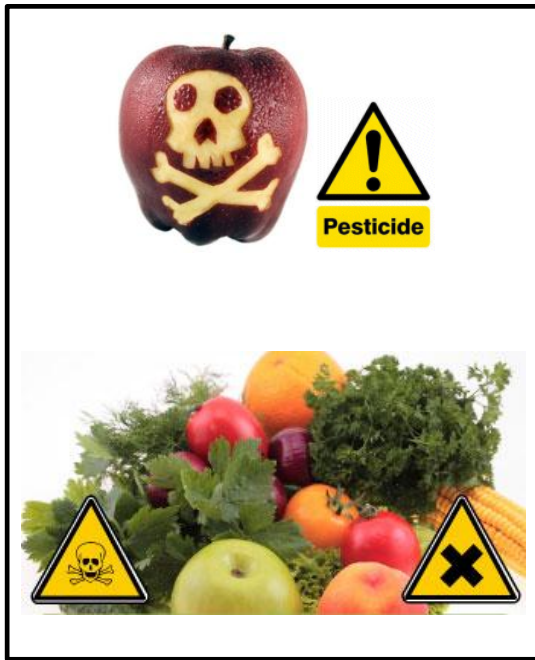
## Danger of pesticides

**Danger for the applicators, harvesters , bystanders**



## Danger of pesticides

### Danger for the consumers



### Danger for the environment: water, fauna



## Two Alternatives to pesticides

### 1) Semiochemicals

Informative molecules used by insects or plants to communicate

Molecule



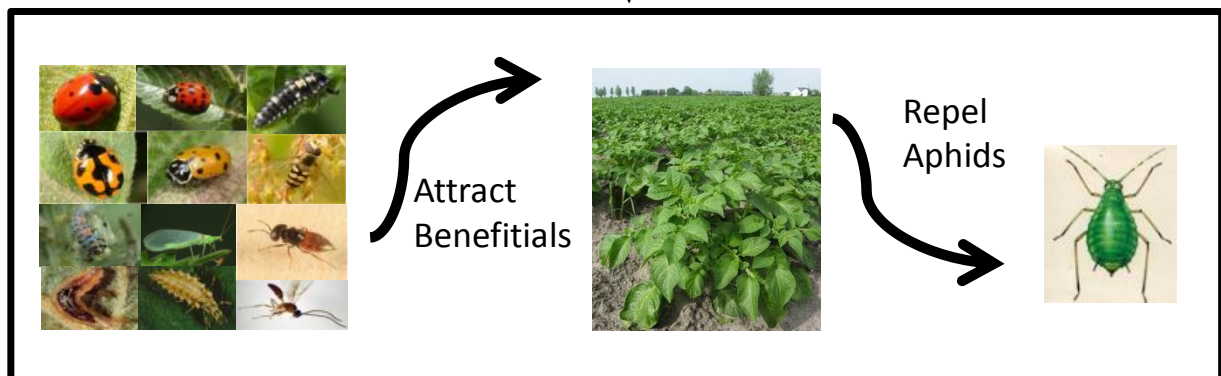
### 2) Intercropping

Grow a crop in association with another one, in the same field

Example:

Pea

Vegetable or cereal



**Advantages:** Safe for the farmers, consumers and environment

