

Mémoire de Fin d'Études

Master 2 Mention Biologie Végétale (BV)
Parcours : Gestion de la Santé des Plantes

Année universitaire 2022 - 2023

Étude de l'efficacité de *Micromus angulatus* dans la lutte contre le puceron en culture sous serre

Par : Fadwa HOUARI



Soutenu à Angers le : 08 septembre 2023

Maître de stage : Azélie LELONG

ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je, soussigné (e), Fadwa HOUARI,
déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce rapport ou mémoire.

Signature :



Cet engagement de non plagiat doit être inséré en première page de tous les rapports, dossier, mémoires.

Remerciement

Je tiens tout d'abord à exprimer ma sincère gratitude envers **Azélie Lelong**, ma maître de stage au sein de l'entreprise Biobest. Son précieux soutien tout au long de cette période de stage a été une source d'inspiration et de motivation. Ses connaissances techniques partagées, ses conseils avisés dans la rédaction de ce mémoire ainsi que son accompagnement lors des visites de clients ont grandement enrichi mon expérience professionnelle et académique.

Je souhaite également remercier chaleureusement **Benjamin Carbonne**, mon tuteur de stage à l'université d'Angers, pour son aide précieuse. Ses conseils avisés dans la structuration du rapport, ses corrections minutieuses et son assistance dans l'analyse statistique ont grandement contribué à l'amélioration de la qualité de ce travail.

Un grand merci à toute l'équipe de **Biobest France**, qui a créé un environnement professionnel propice à la réussite de ce projet. Vos échanges sur les défis actuels dans le domaine agricole ainsi que les opportunités d'apprentissage lors des visites chez les producteurs m'ont offert une perspective concrète et enrichissante du terrain. Votre générosité à partager vos connaissances et votre expérience a été inestimable.

J'aimerais également exprimer ma reconnaissance envers les entreprises qui ont généreusement accepté de participer à cette étude au sein de leurs serres, en particulier Béjo, Burban Producteur et Cueillette de l'île. Votre collaboration a joué un rôle fondamental dans la réalisation de cette recherche, et je tiens à vous remercier sincèrement pour le temps et les informations précieuses que vous avez partagés.

Enfin, je ne saurais oublier le soutien de ma famille et de mes amis, qui ont été une source constante d'encouragement tout au long de ce parcours.

Merci à chacun d'entre vous pour votre contribution précieuse à la réalisation de ce mémoire. Votre soutien et vos conseils resteront gravés dans ma mémoire alors que je franchis cette étape importante de ma formation.

Table des matières

I. Introduction.....	1
II. État de l'art.....	4
II. 1 Culture sous serre.....	4
II. 2 Puceron	5
II. 2.1 Classification et cycle biologique	5
II. 2.2 Gamme d'hôte et dégâts	7
II. 2.3 Méthodes de lutte	8
II. 3 La lutte biologique.....	9
II. 3.1 Le principe de la lutte biologique	9
II. 3.2 <i>Micromus angulatus</i>	10
II. 4 Objectif et démarche	11
III. Matériel et méthodes.....	12
III. 1 Essais et méthodologie	12
III. 1.1 Essai 1 : Effet de <i>Micromus angulatus</i> sur l'évolution des populations de puceron dans les cultures de fraisier	12
III. 1.2 Essai 2 : Effet de <i>Micromus angulatus</i> sur l'évolution des populations de puceron dans les cultures de fenouil.....	13
III. 1.3 Essai 3 : Étude de la capacité de <i>Micromus angulatus</i> à se disperser dans la serre	14
III. 1.4 Essai 4 : Étude de l'efficacité d'un cocktail d'auxiliaires (<i>Chrysoperla carnea</i> et <i>Micromus angulatus</i>) dans la régulation des populations de puceron	15
III. 2 Analyse statistique des données	16
IV. Résultats.....	17
IV. 1 Effet de <i>Micromus angulatus</i> sur l'évolution des populations de pucerons de serre	17
IV. 1.1 Essai 1 : Cultures fruitière : fraise	17
IV. 1.2 Essai 2 : Culture porte graine : fenouil	17
IV. 2 Essai 3 : Étude de la capacité de dispersion de <i>Micromus angulatus</i> dans la serre.	18
IV. 2.1 Effet de la dose de lâcher de <i>M. angulatus</i> sur les populations de puceron	18
IV. 2.2 Dynamique de régulation des populations de pucerons dans les zones en proximité de la zone d'introduction de <i>M. angulatus</i>	18
IV. 3 Essai 4 : Étude de l'efficacité d'un cocktail d'auxiliaire (<i>Chrysoperla carnea</i> et <i>Micromus angulatus</i>) dans la régulation des populations de puceron.....	19
V. Discussion	21
V. 1 Effet de <i>Micromus angulatus</i> sur l'évolution des populations de pucerons de serre.....	21
V. 2 Étude de la capacité de dispersion de <i>Micromus angulatus</i> dans la serre	23
V. 2.1 Effet de la dose de lâcher de <i>M. angulatus</i> sur les populations de puceron.....	23
V. 2.2 Dynamique de régulation des populations de pucerons dans les zones en proximité de la zone d'introduction de <i>M. angulatus</i>	23
V. 3 Étude de l'efficacité d'un cocktail d'auxiliaire (<i>Chrysoperla carnea</i> et <i>Micromus angulatus</i>) dans la régulation des populations de puceron.....	24
VI. Conclusion et perspectives	27
VII. Références bibliographiques.....	29

Glossaire

Aptère : Qui n'a pas d'ailes, souvent utilisé pour décrire des insectes ou d'autres organismes qui ne possèdent pas d'appendices ailés.

Prédation intragilde : Interaction écologique où des prédateurs qui partagent des ressources similaires s'attaquent les uns les autres en plus de chasser leurs proies habituelles

Fumagine : un dépôt de suie noire qui se développe sur les plantes à la suite de l'infestation par des insectes suceurs tels que les pucerons. La suie est le résultat de la croissance de champignons se nourrissant des sécrétions sucrées des insectes.

Miellat : les sécrétions sucrées produites par certains insectes suceurs tels que les pucerons lorsqu'ils se nourrissent de la sève des plantes. Ils sont souvent consommés par d'autres organismes, comme les fourmis.

Pédicelle : fil de soie au bout duquel sont pondus les œufs de chrysope afin de les protéger des ravageurs.

Polymorphisme : La présence de plusieurs formes distinctes au sein d'une même espèce. Cela peut concerner la morphologie, la couleur, le comportement.

Polyphage : insecte qui se nourrit d'aliments variés

Vivipare : insecte dont l'embryon se développe à l'intérieur de sa mère. Celle- ci donne naissance à des larves.

Pupe : nymphe des insectes de l'ordre des Diptères (mouches, syrphes, cécidomyies, *M. angulatus*...)

Rostre : pièce buccale allongée présente notamment chez les Hémiptères (punaises).

Transition agroécologique : Le processus de passage d'un système agricole conventionnel à un système plus durable, économique en ressources et respectueux de l'environnement, en mettant l'accent sur la biodiversité, la réduction des intrants chimiques et la durabilité à long terme

Liste des abréviations

ANOVA : Analysis of variance

FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

GLM: Generalized linear model

GLMM : Generalized linear mixed model

Ind/ml : Individus par mètre linéaire

l/ha : Litre par hectare

m² : mètre carrée

R&D : Recherche et développement

Liste des annexes

ANNEXE I : Puceron et parasitoïdes de lutte

Liste des illustrations

Figure 1 : Cycle de vie hétéroécique de *B. helichrysi* (Piffaretti, 2012)

Figure 2 : Diversité des cycles de vie chez les pucerons (Piffaretti, 2012)

Figure 3 : Enroulement des feuilles d'agrumes. (Sadat, 2021)

Figure 4 : Dégâts indirectes de puceron

Figure 5 : Cycle biologique de *Micromus angulatus* à 24°C et 70% HR (Biobest, 2023).

Figure 6 : Le plan de la serre d'intervention à La Cueillette de l'Ile

Figure 7 : Le plan de la serre d'intervention à Béjo

Figure 8 : Le plan de la serre d'intervention à Burban producteur, essai 3, variété Manille

Figure 9 : Le plan de la serre d'intervention à Burban producteur, essai 4, variété Dream.

Figure 10 : Dynamique des populations de puceron dans les cultures de fraises en sol, après l'introduction de *M. angulatus*.

Figure 11 : Impact de l'introduction de *Micromus angulatus* sur les populations de pucerons dans les cultures de fenouil en sol

Figure 12 : Colonisation des plantes de fraises (variété Manille) par les pucerons.

Figure 13 : Effet de la dose de lâcher de *M. angulatus* sur les populations de puceron dans les cultures de fraise hors sol.

Figure 14 : Évaluation du potentiel de *M. angulatus* dans la régulation des populations de pucerons dans les zones de lâcher et les zones périphériques (L1, L2 et L3).

Figure 15 : Photographies des pupes de *M. angulatus* observée durant l'essai 3.

Figure 16 : Suivi de la dynamique des populations de pucerons dans les cultures de fraise hors sol, après les lâchers individuels de *M. angulatus*, *C. carnea* et d'une Co-introduction de *M. angulatus* et *C. carnea*.

Figure 17 : Photographie des ravageurs observée durant l'essai 4.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Planning de suivi des essais (comptage et lâcher d'auxiliaires).

Tableau 2 : Présence temporelle des auxiliaires naturelles durant l'essai 3.

Tableau 3 : Présence temporelle des auxiliaires naturelles durant l'essai 4

I. Introduction

Les bioagresseurs sont des organismes responsables de dommages aux cultures et aux récoltes, engendrant des pertes de rendement mondiales estimées chaque année entre 20 et 40 % (FAO, 2023). Les insectes ravageurs des cultures représentent l'un des défis majeurs auxquels les agriculteurs du monde entier sont confrontés. Ces nuisibles ont le potentiel de réduire considérablement les rendements et de causer d'importantes pertes économiques. En 2021, les insectes ravageurs ont endommagé jusqu'à 40 % des cultures mondiales, entraînant des pertes économiques s'élevant à 220 milliards de dollars (Zhao & Tarakanov, 2023).

Parmi ces ravageurs, le puceron est l'un des plus redoutables. Les pucerons, appartenant à la famille des Aphididae, sont des insectes phytophages largement répandus à travers le monde (Hulle et al., 1999). En raison de leurs particularités biologiques et éthologiques, tels que leur potentiel biotique et leurs capacités d'adaptation, ils sont devenus des ravageurs majeurs des cultures, des plantes ornementales et des forêts (Van Harmel et al., 2009 ; Fouarge, 1990). Les pucerons provoquent des dégâts importants sur les cultures maraîchères sous serre, étant donné que la serre offre un climat stable et favorable au développement de ces ravageurs. Cela inclut le maintien de températures et d'humidités élevées, créant ainsi un environnement propice à la reproduction rapide et continue des pucerons (Lambert, 2005 ; Ent et al., 2019, Aguilar, 1964).

En effet, les colonies denses de pucerons affaiblissent les plantes en prélevant la sève, et leurs piqûres induisent une déformation des pousses et des fleurs en raison de la phytotoxicité de leur salive. De plus, même en l'absence de dommages apparents, leur simple présence entraîne la formation de fumagine qui se développent sur le miellat, un liquide très riche en sucre, éjecté par les pucerons. Ce dépôt de fumagine entrave la photosynthèse et la respiration de la plante, tout en souillant les parties consommables, ce qui empêche leur commercialisation (Urban, 2010 ; Turpeau et al., 2023).

La culture maraîchère sous serre offre de nombreux avantages en termes de protection des cultures contre les ravageurs et les conditions climatiques défavorables. Cependant, la production intensive favorise le développement et la dispersion des insectes ravageurs y compris le puceron en raison de la proximité des plantes (Urban, 2010 ; Agroscope, 2023).

Depuis le XXe siècle, les produits phytosanitaires ont été largement utilisé pour résoudre la problématique des insectes ravageurs (Ent et al., 2019). Les pucerons sont principalement

combattus à l'aide d'insecticides de synthèse qui peuvent réduire les populations à un niveau acceptable (Van Harmel et al., 2009 ; Lopez et al., 2012). Cependant, malgré leur efficacité avérée, cette approche présente désormais des risques pour la viabilité des systèmes de production en favorisant l'émergence des populations résistantes. De plus, cette stratégie est contestée pour ses conséquences sur la santé humaine et l'environnement (Dedryver et al., 2010).

Pour faire face à cette problématique, plusieurs méthodes alternatives à la lutte chimique sont mises en œuvre afin de réguler les populations de pucerons. Parmi ces méthodes on trouve la lutte biologique qui repose sur l'utilisation d'organismes vivants, notamment les auxiliaires tels que les prédateurs (*Adalia bipunctata*, *Aphidoletes aphidimyza*, *Chrysoperla carnea*...) et les parasitoïdes (*Aphidius colemani*, *Aphidius ervi*, *Praon volucre*...) pour réduire les populations de pucerons et limiter leur dispersion (Van Emden & Harrington, 2007; Ent et al., 2019).

En France, l'entreprise Biobest accompagne majoritairement des maraîchers serristes pour contrôler les populations de ravageurs de manière naturelle et écologique. Elle offre un cortège d'auxiliaires pour gérer durablement le puceron et s'investit dans la recherche et le développement de nouvelles technologies, de produits et de services qui offrent plusieurs avantages pour la transition agroécologique.

Dans le cadre d'amélioration des stratégies de protection contre le puceron, Biobest innove dans un nouvel auxiliaire, *Micromus angulatus*. Cet hémérobe, vorace prédateur de pucerons est un atout de plus dans les programmes de lutte contre ce ravageur. Ce projet a pour objectif de proposer un axillaire qui présente des avantages distincts et supérieurs à ceux déjà commercialisés ce qui contribue à l'amélioration de l'efficacité de la protection biologique intégrée (PBI). Parmi les avantages de *M. angulatus* on cite (communication interne Biobest) :

- **Gestion des attaques précoces de puceron dans les abris :** *M. angulatus* est actif à des températures basses allant jusqu'à 10 °C, ce qui lui confère la capacité de réguler les attaques précoces de puceron pendant la période de fin d'hiver/début de printemps. Cependant, les conditions climatiques durant cette période ne sont pas très propices au développement de la faune auxiliaire telle que *Chrysoperla carnea* et *Aphidius ervi* qui ne sont actives qu'à des températures de 12 °C et 15 °C respectivement.
- **Utilisée en préventif et en curatif :** les larves et les adultes de *Micromus angulatus* sont voraces et consomment jusqu'à 130 pucerons par jour. Ils ont donc la capacité d'éliminer les premiers foyers de pucerons ainsi que les foyers à importants.
- **Taux de reproduction élevée :** la femelle de *M. angulatus* pond jusqu'à 1000 œufs, soit 2 fois le nombre des pontes de *Chrysoperla carnea* et 4 fois celles d'*Aphidoletes aphidimyza*.

Toutefois, très peu d'études ont été menées sur l'efficacité de *M. angulatus* dans la gestion des populations de pucerons dans des conditions réelles, notamment dans les conditions productrices, où la stratégie d'introduction des auxiliaires doit être adaptée aux exigences de la culture (système de production, conditions climatiques, traitements contre les maladies et les ravageurs) ainsi qu'aux objectifs du producteur lui-même (budget alloué à la lutte biologique intégrée pour l'année). De plus, nous manquons d'informations sur l'efficacité de *M. angulatus* dans les systèmes de culture hors-sol, ainsi que sur sa capacité de dispersion et d'installation dans les serres commerciales.

Pour contribuer à l'amélioration de la lutte biologique intégrée, il est également essentiel de comprendre les interactions possibles entre *M. angulatus* et d'autres auxiliaires.

Afin d'acquérir une connaissance approfondie sur cet axillaires et sur son potentiel à réguler les populations de pucerons dans divers systèmes de culture, nous avons mené des études sur les cultures de fraises en sol et hors sol, ainsi que sur les cultures porte graines de fenouil.

II. État de l'art

II. 1 Culture sous serre

La culture sous serre est une pratique agricole qui répond aux défis d'une population mondiale croissante et aux changements climatiques. Grâce à une gestion adaptée et des investissements appropriés, cette méthode peut jouer un rôle crucial pour assurer la sécurité alimentaire, promouvoir la durabilité environnementale et favoriser l'innovation agricole pour les générations à venir (Férat, 2021). En France, les serres et les abris occupent des superficies de moins de 10000 hectares consacrés aux cultures maraîchères et ornementales dont 67% sont des serres non chauffées (serres froides) et 33% des serres chauffées (Urban, 2010).

Sous serre, deux méthodes de production agricole sont utilisées : la culture en sol et la culture hors sol. Dans les cultures en sol les plantes sont cultivées directement dans le sol qui fournit les éléments nutritifs essentiels aux plantes. L'irrigation est généralement effectuée via un système d'arrosage au goutte-à-goutte ou par aspersion pour fournir l'eau nécessaire aux plantes. Selon Morard (1995), la culture hors sol est définie comme « des cultures de végétaux effectuant leur cycle complet de production sans que leur système racinaire ait été en contact avec leur environnement naturel, le sol ». Plusieurs méthodes de culture hors sol se distinguent par l'exposition des racines des plantes à divers types de substrats (non organiques tel que le perlite et laine de roche ; organiques comme la tourbe et le fibre de coco; ou synthétiques comme des flocons, éponges...) ou immergées dans une solution nutritive (Morard, 1995; Gruda, 2009; Savvas and Gruda, 2018). Parmi ces méthodes on cite : l'aéroponie, l'hydroponie stricto sensu et la culture sur substrat. Ces méthodes de cultures hors sol présentent plus d'avantage que les cultures en sol. En effet, ils permettent un contrôle précis des nutriments et de l'humidité, réduit les risques de maladies du sol et empêche le développement des mauvaises herbes qui servent souvent de réservoir pour les insectes ravageurs (Urban, 2010; Blanchette and Bourassa, 2019).

La culture sous serre présente de nombreux avantages, et l'un des plus importants est le contrôle du climat notamment la température, l'humidité et la ventilation. En effet ce système de production permet aux agriculteurs de créer un environnement contrôlé adapté aux besoins spécifiques des plantes cultivées telles que les fraises et les fenouils porte-graine (Urban, 2010).

La production des fraises et des fenouils de bonne qualité nécessite le maintien de la température des serres à 10°C - 22°C et à 15°C - 20°C respectivement. Ces plages de températures offrent un environnement favorable au développement des auxiliaires de culture tel que *Chrysoperla carnea* et *Micromus angulatus*, des prédateurs polyphages utilisée dans la lutte contre le puceron.

Cependant, bien que ces températures soient optimales pour le développement des axillaires, elles peuvent également favoriser la prolifération des pucerons, qui ont leur propre optimum de développement à 22°C (Ent et al., 2019; Lopez et al., 2012; Guérineau, 2003).

Durant les périodes de canicules, la température interne de la serre peut augmenter drastiquement, ce qui peut influencer l'activité des axillaires et favoriser le développement de puceron car les fortes températures favorisent la reproduction asexuée et la survie d'individus actifs tout au long de l'année. Également, l'augmentation de la température favorise la dispersion des pucerons aillées dans la serre (Turpeau et al., 2023).

Bien que les serres à filets anti-insectes offrent un système clos qui empêche l'entrée des ravageurs et l'évasion des auxiliaires, les filets anti-insectes, génèrent des augmentations de température et d'humidité relative importantes, ce qui favorise le développement des ravageurs notamment, les insectes et des maladies fongiques (Fatnassi et al., 2013 ; Correa, 2018 ; Kandel et al., 2020). De plus, l'aspect intensif des cultures favorisent le développement rapide des ravageurs en raison de rapprochement des plantes ce qui facilite la propagation d'insectes d'une plante à une autre (Ryckewaert, 2002).

II. 2 Puceron

II. 2.1 Classification et cycle biologique

II. 2.1.1 Classification

Les pucerons constituent un groupe très important parmi les insectes. Ils appartiennent à la super-famille Aphidoidea, de l'ordre des Hémiptères (Ent et al., 2019). 4700 espèces de pucerons ont été identifiée dans le monde dont 900 sont présentent en Europe (Turpeau et al., 2023).

Ces insectes phytophages ont des aspects très variés, notamment la taille (1mm-1cm), la forme (allongée, ovoïdes...) et la couleur (vert, rouge, rose, jaune, noir...). Également, les cornicules varient d'une espèce à l'autre voire au sein de la même espèce en fonction de l'environnement biotique et abiotique (Blackman & Eastop 1994 ; Piffaretti, 2012).

II. 2.1.2. Cycle biologique

Le cycle de développement des pucerons présente des cas de polymorphisme dans lesquelles les adultes de la même espèce sont présents sous forme aptère ou ailée. Les pucerons ont tendance à générer des individus aptères qui explorent rapidement la plante hôte lorsque les ressources sont abondantes et de bonne qualité. Cependant, en cas de conditions défavorables et lorsque les colonies deviennent abondantes, une plus grande proportion de pucerons ailés est générée (Turpeau et al., 2023)

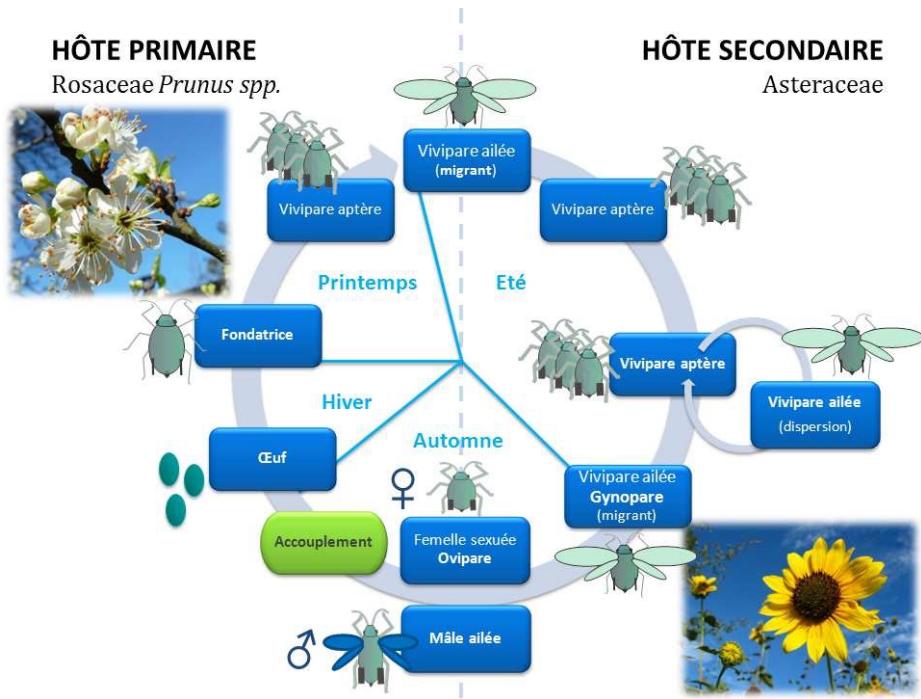


Figure 1. Cycle de vie hétéroécique de *B. helichrysi* (Piffaretti, 2012)

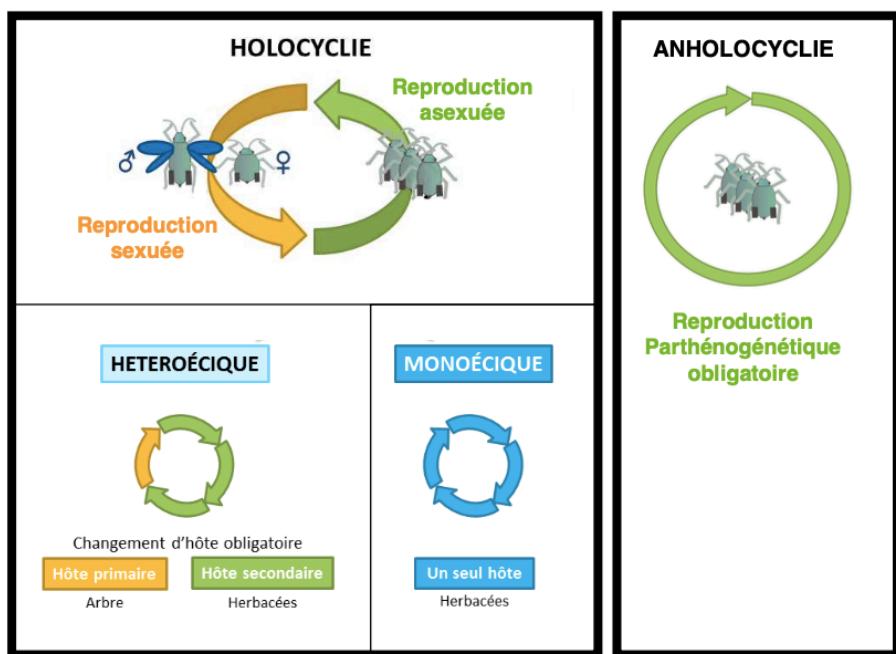


Figure 2. Diversité des cycles de vie chez les pucerons (Piffaretti, 2012)

Durant une grande partie de la saison, les colonies de pucerons sont principalement composées de femelles vivipares où la reproduction s'effectue de manière asexuée. Les descendants issus d'une reproduction asexuée sont génétiquement identiques et conservent les mêmes caractéristiques (la couleur, la forme et la résistance aux pesticides...) que leur mère. Les jeunes pucerons naissent sous forme de larves bien développées et commencent immédiatement à se nourrir de la sève des plantes. Ils se développent rapidement et muent quatre fois avant d'atteindre l'âge adulte. Les exuvies blanches, laissées après chaque mue, sont des indicateurs de leur présence sur les cultures (Ent et al., 2019).

On distingue deux types de pucerons : ceux qui changent de plante hôte en hiver (**Figure 1**) et ceux qui restent sur la même plante. Les premiers se reproduisent de manière asexuée sur leurs plantes hôtes d'été et qui sont généralement des espèces herbacées ou ligneuses et, durant l'hiver ils migrent vers d'autres plantes hôtes notamment les plantes ligneuses et les plantes pérennes où ils se reproduisent sexuellement et pondent leurs œufs d'hiver. Les pucerons du deuxième type, qui ne changent pas de plante hôte, s'accouplent en hiver et pondent des œufs d'hiver. Une fois l'accouplement et la ponte effectués, leur cycle de vie est complet (holocyclique) (Ent et al., 2019). En effet, les plantes hôtes sur lesquelles ont lieu les différents modes de reproduction (sexuée/asexuée) permettent de définir deux types de cycles de vie au sein de l'holocyclie (**Figure 2**) (Moran, 1992) :

- La monoécie : est un cycle de vie se déroulant sur des plantes hôtes souvent apparentées et c'est le type le plus répandu chez les pucerons.
- L'hétéroécie : représentée par 10% des espèces de pucerons qui alternent entre des plantes hôtes de type différents et non apparentées.

Sous serre, la vitesse de reproduction des pucerons est rapide, parce que la population est composée que par des femelles vivipares qui se reproduisent continuellement de façon parthénogénétique avec une durée de génération courte, qui permet une infestation rapide en quelque semaines.

Les formes ailées permettent aux pucerons de réagir de façon optimale aux changements de conditions environnementales et d'assurer la dispersion à des distances considérables (quelques kilomètres) pour chercher une plante hôte à leur convenance en réagissant à sa couleur (la couleur jaune verdâtre est très attractive, vu que c'est un trait de jeunes feuilles, une source de nourriture idéale). Les facteurs qui sont responsables du développement des pucerons ailés sont (Ent et al., 2019) :

- La densité de population (surpopulation) ;
- La réduction de la qualité de la plante (la teneur en eau et en éléments fertilisants) ;
- La température et la photopériode ;
- Les facteurs génétiques.



- A -

-B-

Figure. 3 Enroulement des feuilles d'agrumes (A) et jaunissement des feuilles de pêchers (B)
(Sadat, 2021)



A

B

Figure. 4 Dégâts indirectes de puceron, (A) Miellat de puceron ; (B) Fumagine

II. 2.2 Gamme d'hôte et dégâts

Les pucerons sont parmi les principaux ravageurs des plantes cultivées (cultures maraîchère, fruitière et les grandes cultures) qui colonisent toutes les parties de la plante (Turpeau et al., 2023). Ils sont des polyphages dotés de rostre portant des pièces buccales de type piqueur suceurs qui prélèvent la sève phloémienne pour se nourrir dès leurs naissances (Minks & Harrewijn, 1987). Dans les régions tempérées, presque toutes les cultures sont susceptibles d'être affectées. Néanmoins, certaines espèces de puceron sont spécifiques à un hôte particulier, tandis que d'autres ne présentent aucune préférence envers la plante hôte (Leclant, 2000) (**Annexe I**).

Selon les espèces, les pucerons peuvent occasionner de nombreux dégâts qui peuvent être d'ordre directe ou indirectes (Ent et al., 2019).

II. 2.2.1 Les dégâts directs

Les dégâts directs sont dus aux blessures provoquées par le puceron en prélevant la sève et par les sécrétions salivaires. L'ampleur des dégâts dépendra de la durée pendant laquelle les pucerons sont présents sur la plante, de leur nombre et de la sensibilité de la plante à leur présence (Blackman & Eastop, 1994). En effet, l'absorption de la sève phloémienne perturbe l'équilibre en hormones de croissance et affaiblit les plantes hôtes en entraînant son flétrissement et éventuellement un dessèchement complet si l'infection est apparue assez tôt dans la saison (Ent et al., 2019). Les dommages causés se traduisent par une croissance réduite, un retard de développement, une mauvaise fructification et une diminution du nombre de grains. La salive des pucerons à un effet irritant et toxique sur les plantes. Ces dernières agissent de manière spécifique : les feuilles se recroqueville et jaunissent (**Figure 3**), les pousses se rabougrissent, les fleurs avortent, les chancres apparaissent sur les rameaux ou sur les racines et des galles se forment sur les feuilles et les tiges (Cherqui & Tjallingii, 2000).

II. 2.2.2 Les dégâts indirects

Le puceron extrait des quantités importantes de la sève pour satisfaire ses besoins en protéines. Étant donné que la sève est plus riche en sucre qu'en protéine, l'excédent de sucre absorbé est rejeté par le puceron avec les acides aminés libres, les minéraux, les vitamines, les lipides et les acides organiques sous forme de miellat (Way, 1963 ; Buckley, 1987a ; 1987b). Les quantités de miellat sécrétées varient d'une espèce de puceron à l'autre et peut présenter plus de 100 fois le poids du puceron chaque heure (Hölldobler et al., 1990). La forte teneur en sucre dans le miellat (90 à 95%) rend la culture et les fruits collants et donc impropre à la vente. Également, il favorise le développement des champignons saprophytes de genre *Cladosporium* qui sont responsables des fumagines (**Figure 4**). À la surface des feuilles, ces dépôts noirâtres obstruent les stomates et par conséquent, le taux de la photosynthèse diminue (Rossing, 1991).

Les pucerons ailés sont capables de transmettre des virus pathogènes qui provoquent des perturbations physiologiques rendant les plantes faibles et les fruits non commercialisable. (Dedryver et al., 2010). Parmi les virus transmis on peut citer par exemple : le virus Y de la pomme de terre (PVY) qui est transmis sur les cultures de tomates et le virus de la mosaïque du concombre (CMV) sur les cultures de concombres (Ent et al., 2019).

II. 2.3 Méthodes de lutte

II. 2.3.1 Lutte préventive

La reproduction rapide des pucerons et les dégâts qu'ils peuvent engendrer soulignent l'importance d'une détection précoce et la mise en place rapide des stratégies de lutte préventives, afin de maintenir la santé des cultures et réduire les risques et les coûts associés aux infestations et aux maladies. L'inspection périodique des serres est nécessaire pour repérer les foyers de pucerons, en réalisant des observations visuelles sur les cultures et les plaquettes jaunes encollées qui piègent les populations aillées (Ontario, 2022). Dans la lutte préventive, plusieurs méthodes sont envisagées, parmi lesquelles on cite :

- L'inspection de tout nouvel arrivage de plants, surtout ceux ayant subi une conservation à froid (Lambert, 2005).
- La destruction des herbes spontanées à l'intérieur et à l'extérieur des serres, car elles agissent comme des plantes hôtes secondaires, permettant aux pucerons de compléter leur cycle de développement pendant l'hiver (Lambert, 2005).
- L'enfouissement des cultures ayant reçu des œufs de puceron à l'hiver (Lambert, 2005).
- L'adaptation du planning de culture, par exemple, le recul des dates de semis des céréales d'hiver après la phase de dispersion automnale des pucerons (Hullé et al., 2020).
- La plantation des plantes attractives ou répulsives pour orienter les pucerons à des plantes autres que celle d'intérêt (Ent et al., 2019).
- L'utilisation des auxiliaires de culture à des doses préventives (Ent et al., 2019)

II. 2.3.2 Lutte Curative

Dans la lutte curative, plusieurs méthodes sont utilisées dont l'objectif est de réduire les populations de puceron à un seuil acceptable et de minimiser les dégâts sur les cultures. Parmi ces méthodes on cite :

- **La lutte génétique :** la lutte variétale vise à utiliser des variétés de plantes résistantes ou tolérantes aux pucerons (Hullé et al., 2020) ;
- **La lutte biotechnique :** repose sur l'exploitation du comportement de certains insectes pour les piéger (Ryckewaert & Fabre, 2001) ;

- **La lutte chimique :** C'est la méthode qui demeure la plus efficace dans la lutte contre les insectes ravageurs. Elle consiste à traiter à l'aide de produits phytopharmaceutiques en vue de détruire une population de ravageurs.

Bien que les différentes méthodes de lutte contre le puceron offrent des avantages indéniables, elles ne sont pas exemptes de limites. Ces contraintes ont suscité un intérêt croissant pour la mise en œuvre de la lutte biologique en tant qu'alternative prometteuse. Parmi les principales limites de ces méthodes de lutte contre le puceron, on cite :

- Le développement de résistances à cause de l'application à long terme d'insecticides organophosphorés et de pyréthrinoïdes (Ferrero, 2009).
- La nécessité d'une planification à long terme et une très bonne connaissance du ravageur (cas de lutte biotechnique et culturelle) (Chouinard & Gagnon, 2001).
- Coût élevé et efficacité non prévisible dans certaines conditions tel que les basses températures et la présence de femelles déjà accouplée (cas de lutte par la confusion sexuelle) (Chouinard & Gagnon, 2001).

II. 3 La lutte biologique

II. 3.1 Le principe de la lutte biologique

La lutte biologique constitue une pierre angulaire de la protection des plantes sous serre. Elle repose sur l'utilisation d'organismes vivants ou de leurs produits pour prévenir ou réduire les dégâts causés par des ravageurs (Hullé et al., 2020). On distingue trois types de lutte biologique :

* **La lutte biologique par introduction ou l'acclimatation :** consiste à introduire des auxiliaires exotiques pour contrôler les ravageurs. Selon Lenteren et Colazza (2006), cette approche a permis la réduction de 165 espèces de ravageurs dans le monde entier.

***La lutte biologique augmentative :** les auxiliaires, qu'ils soient exotiques ou indigènes, sont régulièrement relâchés à des périodes bien définie selon deux approches distinctes : inondative et inoculative (Winkler, 2005).

* **La lutte biologique par conservation :** La lutte biologique par conservation tend à manipuler l'habitat afin de favoriser les auxiliaires naturellement présents dans la culture (Boller et al., 2004). Les ennemis naturels, ou auxiliaires des cultures, sont souvent utilisés pour réduire les niveaux des populations de pucerons à des seuils économiquement tolérables (Sullivan, 2005). On peut classer ces auxiliaires en 3 grand groupe :

- Les prédateurs qui se nourrissent des pucerons et ont besoin de plusieurs proies pour accomplir leur cycle,
- Les parasitoïdes qui se développent généralement sur un seul hôte, souvent à l'intérieur de celui- ci, et le tuent une fois leur développement larvaire est achevé,



Figure. 5 Cycle biologique de *Micromus angulatus* à 24°C et 70% HR (Biobest, 2023).

- Les pathogènes micro-organismes (champignons, bactéries, virus etc....) agents de maladie.

II. 3.2 *Micromus angulatus*

II. 3.2.1 Classification et description

Micromus angulatus (Stephens, 1836) appelé la chrysope brune, est un hémérope prédateur généraliste. Il appartient à la famille des Hemerobiidae et est largement distribué en Europe, en Amérique du Nord et en Asie du Nord (McEwen et al., 2001 ; Stelzl & Devetak, 1999).

L'adulte de *M. angulatus* est de couleur brune. Il a une envergure de 13 à 17 mm et une taille de 6 à 8 mm (Miermont, 1973). Les larves de *M. angulatus* se distinguent des larves de *Chrysoperla larvae* par plusieurs caractéristiques. Elles ont un corps allongé, une pilosité peu visible et le premier segment est de forme ovale. En revanche, les larves de *C. larvae* ont un corps trapu, une pilosité visible et le premier segment est de forme rectangulaire (Biobest, 2023).

D'après l'ANSES, *Micromus angulatus* est considérée comme indigène de la France métropolitaine continentale et de la Corse. Les souches qui sont déjà commercialisées sur le territoire français n'ont montré aucun effet négatif sur les milieux et les organismes non-cibles (ANSES, 2022). Cependant, la polyphagie de ce macro-organisme, peut l'orienter vers des organismes non-cibles à proximité des points de lâcher en cas de raréfaction de l'organisme cible visé afin de survivre et se reproduire (Taylor & Snyder, 2021).

II. 3.2.2 Cycle biologique

M. angulatus a une capacité de reproduction élevée et présente 2 à 5 générations par an (Khloptseva, 1991 ; Stelzl & Devetak, 1999). Durant toute la vie adulte, la femelle pond un grand nombre d'œufs, atteignant jusqu'à 1000 œufs, qu'elle dépose indépendamment ou en groupe sur les végétaux à proximité des colonies de pucerons. Les œufs sont ovales et beige et non fixée au support par pédoncule comme chez les chrysopes (Biobest, 2023). À 25 °C, la durée d'incubation de l'œuf est de 4 à 5 jours et le développement de la larve à la pupe est de 5 à 6 jours. L'émergence de l'adulte est atteinte en 6 à 7 jours et ils survivent une trentaine de jours (Sato & Takada 2004; Lopez et al., 2012) (**Figure 5**). *M. angulatus* est un auxiliaire robuste qui tolère les températures basses et vivent plus longtemps que les autres ennemis naturelles des pucerons, notamment les *aphidus*, *aphidoletes*, *chrysoparla*... (Biobest, 2023). Également, il présente une faible sensibilité à l'hyper-parasitisme et le risque de prédatation intraguild est très minime.

II. 3.2.3 Utilisation et cibles

Les adultes et les larves de *M. angulatus* se nourrissent de petits arthropodes à corps mou, comme les pucerons, les œufs et larves de lépidoptères, les cicadelles, les thrips, les psylles, les aleurodes, les cochenilles et les acariens tétranyques (Sato & Takada, 2004; ANSES, 2022). Il est commercialisé pour lutter principalement contre les pucerons en cultures légumières, fruitières,

ornementales et en plantes à parfum, aromatiques, médicinales et condimentaires sous serre et en plein champ ainsi qu'en vigne et en zones non agricoles (ANSES, 2022). Il est doté d'une excellente capacité de recherche où les adultes et les larves peuvent consommer 100 à 130 pucerons par jour respectivement (Biobest, 2022).

II. 2 Objectif et démarche

L'objectif de notre travail est d'évaluer le potentiel d'action de *M. angulatus* dans la régulation des populations de puceron dans différentes cultures sous serre (fraise et fenouil). Cette recherche est la poursuite des travaux de service R&D de Biobest Belgique où de nombreux essais concluants ont été réalisés en conditions expérimentales. En effet, ce travail répond à la demande de la filiale Biobest France, qui souhaite évaluer l'efficacité de ce nouvel auxiliaire dans de vraies exploitations agricoles, en conditions réel de production : « conditions producteurs », afin d'intégrer *M. angulatus* dans les pratiques de la lutte biologique.

Pour répondre à cet objectif, nous formulons les hypothèses suivantes qui guideront notre démarche de recherche :

- Hypothèse 1 : Dans des conditions producteurs (lâcher d'un cocktail d'ennemis naturels, traitement phytosanitaire) *M. angulatus* permettra de réguler les populations de pucerons dans les cultures fruitières (fraise) et porte graines (fenouil).
- Hypothèse 2 : *M. angulatus* a la capacité de se disperser dans les zones à proximité de la zone du lâcher et capables de s'installer facilement dans la serre.
- Hypothèse 3 : Le lâcher d'un cocktail d'auxiliaire, notamment *M. angulatus* et *C. carnea*, permet une meilleure régulation des populations de pucerons

La première étape de ce travail a consisté en l'évaluation de l'efficacité de *Micromus angulatus* dans la régulation des populations de puceron dans les cultures de fraise et de fenouil (**Chapitre IV.1**). Ensuite, nous nous sommes focalisés sur l'étude de la capacité de *micromus* à se disperser dans la serre, notamment son installation dans les zones à proximité de la zone du lâcher au niveau des cultures de fraise hors sol (**Chapitre IV.2**). La troisième étape consiste en l'étude de l'efficacité d'un cocktail d'auxiliaire (*C. carnea* et *M. angulatus*) dans la régulation des populations de puceron et donc l'optimisation de la lutte biologique (**Chapitre IV.3**).

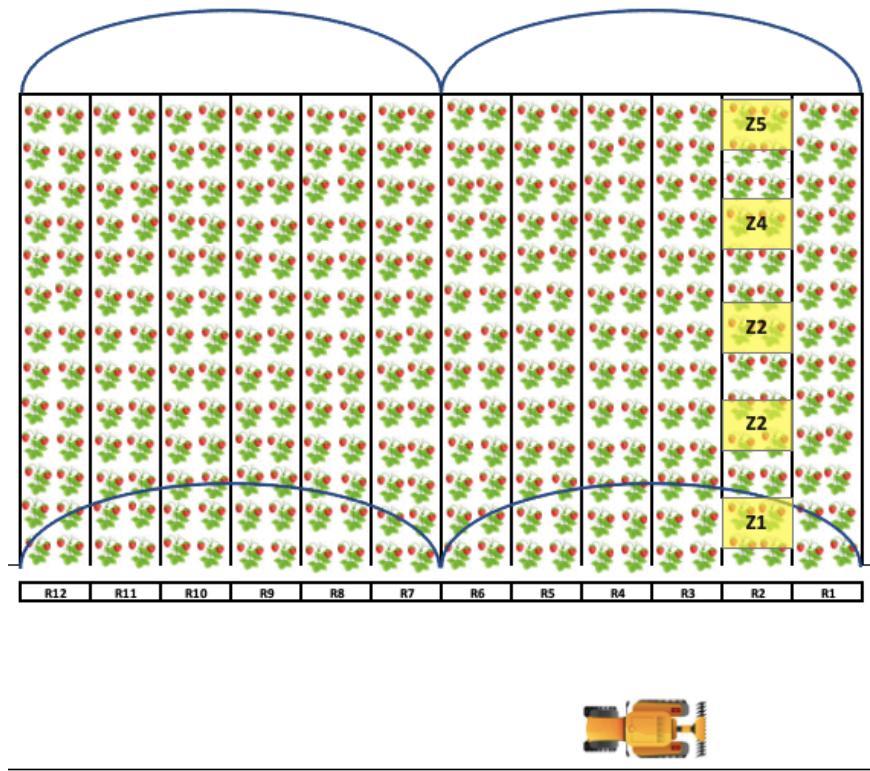


Figure. 6 le plan de la serre d'intervention à La Cueillette de l'Ile, Z1, Z2, Z3, Z4 et Z5 : zone de lâcher de *Micromus angulatus*

Tableau. 1 Planning de suivi des essais (comptage et lâcher d'auxiliaires).

Bleu : Comptage avant premier lâcher ; **Orange** : Comptage entre premier et deuxième lâcher ;

Vert : Comptage après deuxième lâcher

N° Essais	Producteur	Culture /variété	Dates de suivis (Comptage)					
1	Cueillette de l'Île	Fraise/Dream	27/03/23*	06/04/23**	13/04/23	20/04/23		
2	Béjo	Fenouil/ Solaris F1	24/05/23*	31/05/23**	07/06/23	14/06/23	21/06/23	27/06/23
3	Burban Producteur	Fraise/ Gariguette	21/04/23*	27/04/23**	04/05/23	09/05/23	16/05/23	26/05/23
		Fraise/Manille	21/04/23*	27/04/23**	04/05/23	09/05/23	16/05/23	26/05/23
4		Fraise/Dream	13/04/23*	20/04/23**	27/04/23	09/05/23	15/05/23	26/05/23

* : Premier lâcher d'auxiliaire ;

** : Deuxième lâcher d'auxiliaire.

III. Matériel et méthodes

III. 1 Essais et méthodologie

Les essais ont été menés sur deux types de cultures, à savoir les cultures fruitières (fraises) et les cultures porte-graines (fenouil). Ces deux cultures ont été sélectionnées pour plusieurs raisons :

- * Difficulté de la gestion de puceron : Ces cultures sont attaquées par plusieurs espèces de puceron où il n'existe pas de parasitoïdes spécifiques. Sur les cultures de fraisier on trouve le *Myzus ascalonicus* et *Myzus ornatus*, et dans les cultures de fenouil on trouve *Dysaphis bonomii*, *Hyadaphis coriandri*, *Myzus ascalonicus* et *Semiaphis dauci* (Annexe II : puceron et parasitoïdes de lutte)
- * Vulnérabilité des cultures porte graine : La production de semences est un processus énergétiquement coûteux pour les plantes. Lorsqu'une plante investit une grande partie de ses ressources dans la production de semences, elle peut être affaiblie et moins capable de se défendre contre les insectes ravageurs y compris le puceron.
- * Volonté des agriculteurs de participer à l'essais de *Micromus angulatus*.

III. 1.1 Essai 1 : Effet de *Micromus angulatus* sur l'évolution des populations de puceron dans les cultures de fraisier

Pour évaluer la capacité de *Micromus angulatus* à contrôler les foyers de pucerons sous serre, un essai sur les cultures de fraises a été mené. Il s'est déroulé sur le site de La Cueillette de l'Île, située à Savenay (44). L'entreprise est spécialisée dans la production et la vente de fruits et légumes de saison.

L'essai a été réalisé sur la variété Dream, cultivée en sol dans un tunnel de plastique (540 m²), où la température moyenne enregistrée durant la période d'expérimentation était de 27 °C. Deux lâchers de *Micromus angulatus* ont été réalisés dans 5 zones de 2m linéaire (ml), avec une dose de 50 individus/zone (**Figure 6**). Le choix de la zone et de la fréquence du lâcher a été basé sur la présence des foyers de puceron et les recommandations de service R&D de Biobest respectivement. Afin de suivre l'évolution des populations de pucerons, un total de quatre relevés de comptage de nombre de puceron par plante a été entrepris. Un relevé préalable au premier lâcher de *M. angulatus*, suivi d'un relevé entre les deux lâchers, puis complété par deux relevés subséquents après la réalisation du deuxième lâcher.

Le suivis de l'évolution des populations de puceron après le lâcher a été réalisé selon le planning décrite dans le **Tableau 1**, où dans chaque relevée, 60 plantes ont été observées (comptage du nombre de pucerons par plante a été réalisé sur 60 réplicas).

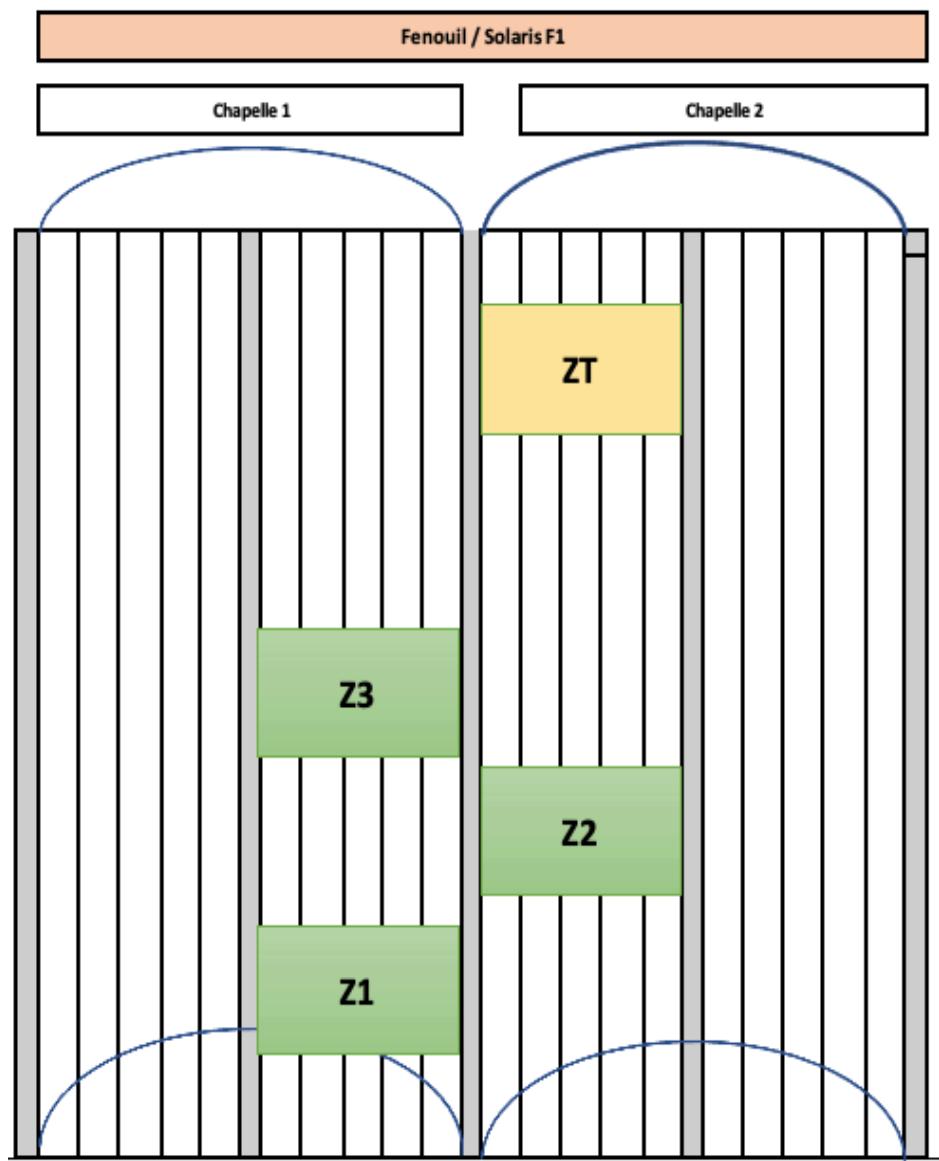


Figure. 7 Le plan de la serre d'intervention à Béjo,
Z1, Z2, Z3 : zones de lâcher de *Micromus angulatus* ; ZT : Zone témoin

Dans cette essaie, l'établissement d'une zone témoin s'est avéré inadéquat en raison de plusieurs éléments concomitants. En premier lieu, les foyers de pucerons étaient localisés et confinés à un emplacement spécifique, à savoir le rang 2 (comme illustré dans la **figure 6**). Cette localisation restreinte a rendu impossible la mise en place d'une zone témoin distincte, car l'infestation était spécifiquement circonscrite à ce rang. De plus, la préférence de l'agriculteur de ne pas laisser une zone sans lâcher d'auxiliaire pour ne pas mettre en péril sa production, a également joué un rôle déterminant dans la prise de cette décision.

III. 1.2 Essai 2 : Effet de *Micromus angulatus* sur l'évolution des populations de puceron dans les cultures de fenouil

Dans l'objectif d'évaluer la capacité de *Micromus angulatus* à contrôler les foyers de pucerons dans les cultures porte-graine sous serre, un essai sur les cultures de fenouil bio a été mené. Il s'est déroulé sur le site de Béjo, située à Baugé en Anjou (49150). L'entreprise est spécialisée dans la production des semences.

L'essai a été réalisé sur la variété Solaris F1, cultivée en sol dans une serre multichappelle en plastique (1000 m²), où la température moyenne enregistrée durant la période d'expérimentation était de 23 °C. Deux lâchers de *Micromus angulatus* ont été réalisé dans 3 zones de 3m², avec une dose de 55 individus/m². Également, une zone témoin a été définie au sein de la serre, située à une distance de 9 mètres des zones où les lâchers ont été effectués (**Figure 7**).

Le choix des zones et de la fréquence du lâcher a été basé sur :

- La présence des foyers important de puceron : Zone à forte densité d'infestation.
- Les zones sont reparties dans l'ensemble de la serre (intérêt d'avoir des données représentatives sur la gestion de puceron dans la totalité de la serre)
- Recommandations de service R&D de Biobest (2 lâchers d'axillaires).

Afin de suivre l'évolution des populations de puceron, un total de six relevés de comptage de nombre de puceron par écaille a été entrepris. Un relevé préalable au premier lâcher de *M. angulatus*, suivi d'un relevé entre les deux lâchers, puis complété par trois relevés subséquents après la réalisation du deuxième lâcher. Les comptages ont été mené sur 24 plantes par zone dont chaque zone de lâcher est considérée comme répétition. L'ensemble des interventions réalisées sur l'essai sont répertoriées dans le **Tableau 1**.

Dans le but de maîtriser les populations de puceron de manière expéditive, le producteur a traité toute la serre avec **Oïkos®**, un insecticide à base d'azadirachtine, utilisable en agriculture biologique. Il était pulvérisé à une faible dose (1,3 l/ha), après le deuxième lâcher de *M. angulatus* (09/06/2023).

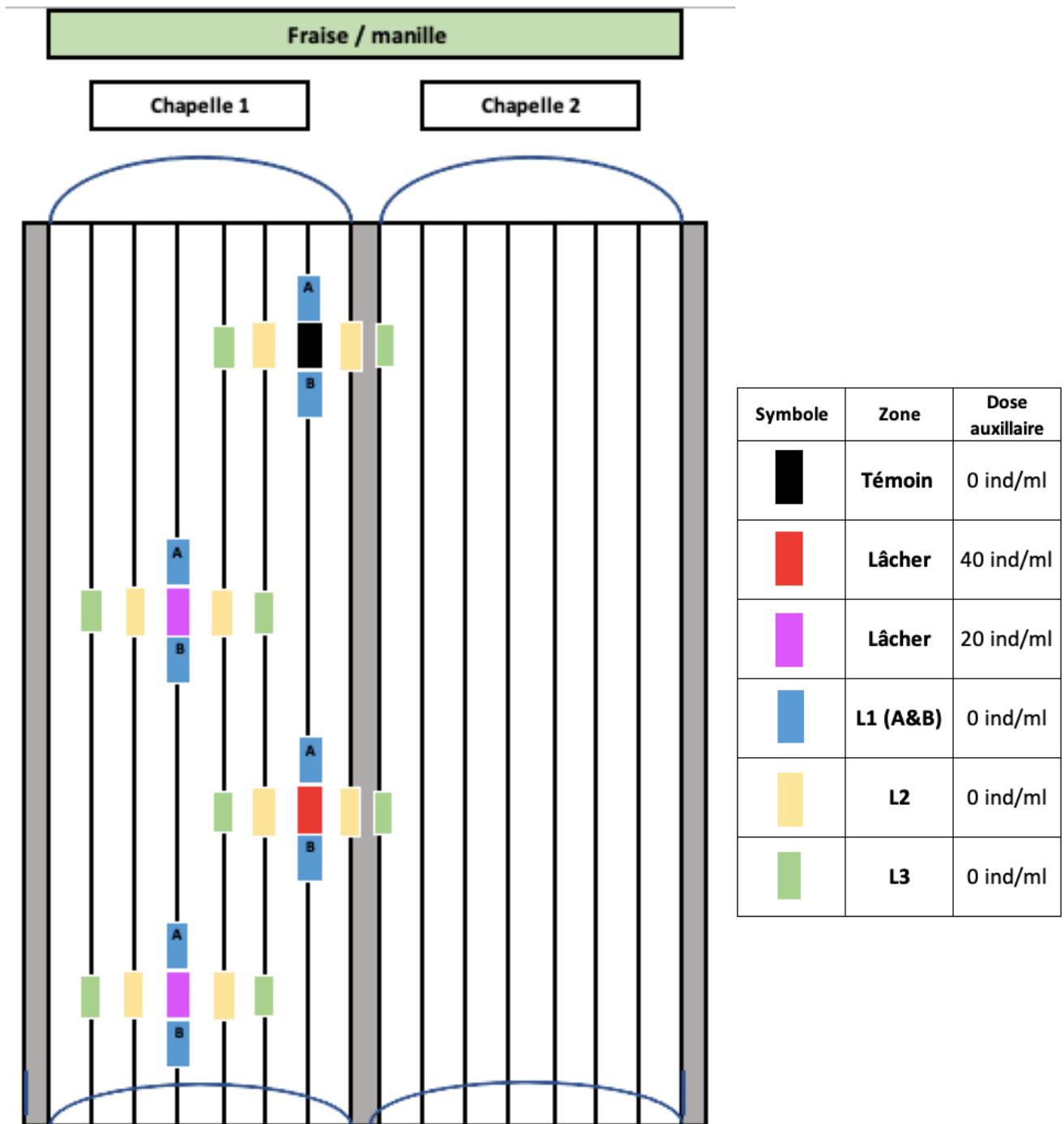


Figure. 8 Le plan de la serre d'intervention à Burban producteur, essai 3, variété Manille. Les rectangles correspondent aux zones de relevés, Noir : zone témoin ; Rouge : zone de lâcher (40 ind/ml) ; Rose : zone de lâcher (20 indv/ml) ; Bleu : zone L1 (0 ind/ml) ; Jaune : zone L2 (0 ind/ml) ; L3 : zone L3 (0 ind/ml)

III. 1.3 Essai 3 : Étude de la capacité de *Micromus angulatus* à se disperser dans la serre

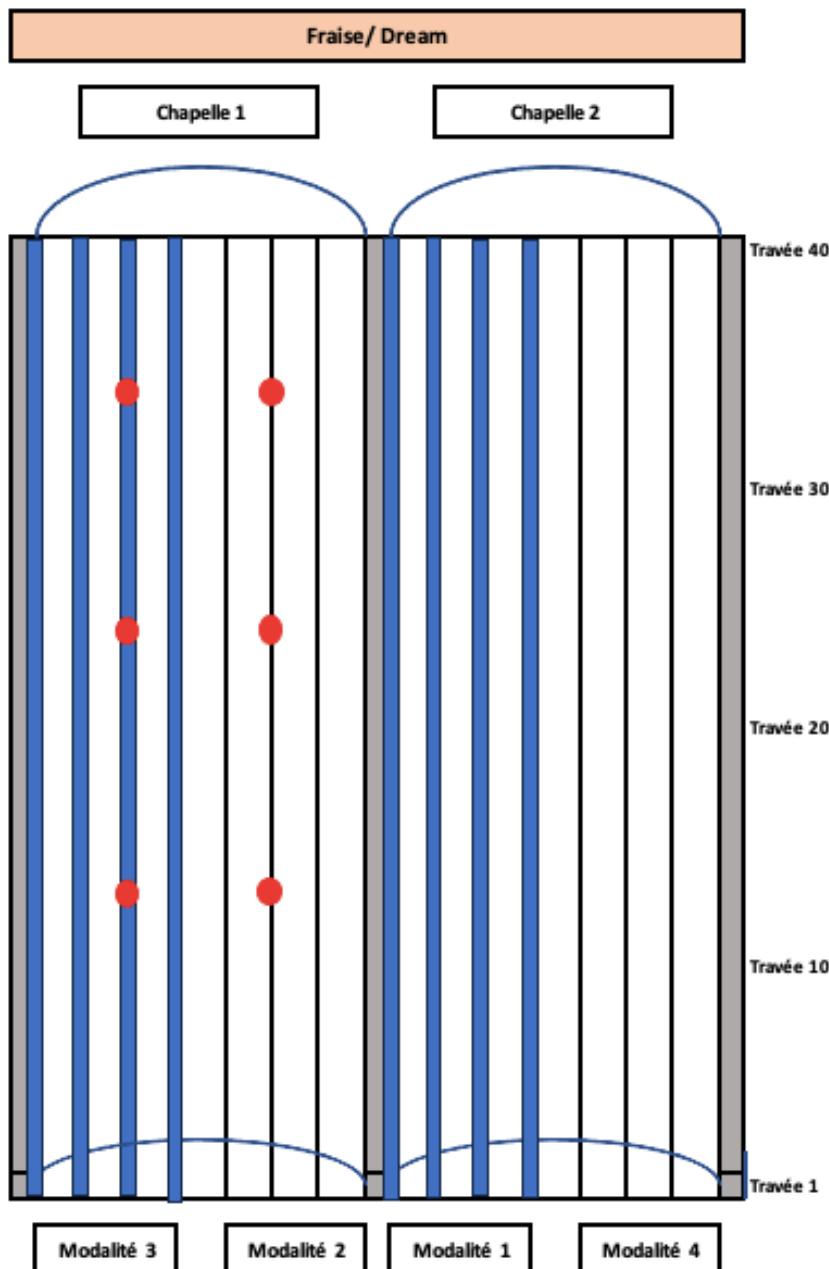
Cet essai a pour but d'évaluer la capacité de dispersion de *Micromus angulatus* dans la serre et de gérer efficacement le puceron dans toutes les zones, y compris celles où aucune introduction de *M. angulatus* n'a été établie. L'étude s'est déroulée dans le site de « Burban Producteur », une entreprise spécialisée dans la production des fraises hors sol, située à La Baule (44500).

L'essai a été réalisé sur la variété manille, cultivée sur des gouttières (hors sol), dans une serre multichappelle en plastique (1000 m²), où la température moyenne enregistrée durant la période d'expérimentation était de 13 °C. Deux lâchers de *M. angulatus* ont été réalisés dans 3 zones de 6 mètre linéaire, avec une dose de 20 ind/ml et 40 ind/ml. Le but d'effectuer un lâcher à deux doses différentes est de vérifier si la doses du lâcher a une influence sur les populations de puceron notamment au niveau des zones de lâcher. Également, une zone témoin a été défini au niveau de la serre et qui est située à une distance de 12 mètres des zones où les lâchers ont été effectués (**Figure 8**).

Afin de suivre la régulation des populations de pucerons au niveau de la zone de lâcher, on a réalisé un comptage du nombre de pucerons par plante (12 plantes par zone), Cependant pour évaluer le potentiel de dispersion de *M. angulatus*, on a compté le nombre de puceron par plante dans des zones de 6m linéaire (12 plantes par zone) est qui sont à proximités de la zone du lâcher (zones périphériques), notamment (**Figure 8**) :

- Zone L1 (12m linéaire) : appartient à la même ligne de la zone de lâcher, composé de 2 sous zones L1A (6m linéaire, positionnée sur le côté droit de la zone de lâcher) et L1B (6m linéaire, positionnée sur le côté gauche de la zone de lâcher) qui délimite la zone du lâcher,
- Zone L2 (6m linéaire) : située dans une autre ligne que celui de la zone de lâcher à une distance de 1m.
- Zone L3 (6m linéaire) : située dans une autre ligne que celui de la zone de lâcher, à une distance de 2,2m.

Dans cet essai, un total de six relevés de comptage de nombre de puceron par plante a été entrepris. Un relevé préalable au premier lâcher de *M. angulatus*, suivi d'un relevé entre les deux lâchers, puis complété par quatre relevés subséquents après la réalisation du deuxième lâcher. Les comptages ont été mené sur 12 plantes par zone dont chaque zone de lâcher est considérée comme répétition. L'ensemble des interventions réalisées sur l'essai sont répertoriées dans le **Tableau 1**. À partir du premier mai, un traitement fongicide à base de soufre (Thiovit® Jet) a été pulvérisé sur les plantes chaque semaine, avec une dose de 1,5 l/ha. Ce traitement a pour objectif de prévenir les attaques d'oïdium.



Modalité	Description
1	Lâcher de <i>C. carnea</i> seul sur tout le rang (18 ind/ml)
2	Lâcher ponctuel de <i>M. angulatus</i> (10 ind/ml)
3	Lâcher de <i>C. carnea</i> sur tout le rang (18 ind/ml) avec un lâcher Ponctuel de <i>M. angulatus</i> (10 ind/ml)
4	Zone témoin (Pas de lâcher)

Symbol	Signification
■	<i>Chrysoperla carnea</i>
●	<i>Micromus angulatus</i>

Figure. 9 Le plan de la serre d'intervention à Burban producteur, essai 4, variété Dream.

III. 1.4 Essai 4 : Étude de l'efficacité d'un cocktail d'auxiliaires (*Chrysoperla carnea* et *Micromus angulatus*) dans la régulation des populations de puceron

Pour optimiser la lutte biologique, on a réalisé un lâcher de *Chrysoperla carnea* et *Micromus angulatus* dans des cultures de fraise hors sol chez l'agriculteur « Burban Producteur ».

L'essai a été mené sur la variété Dream, cultivée sur des gouttières (hors sol), dans une serre multichappelle en plastique (5000 m²), où la température moyenne enregistrée durant la période d'expérimentation était de 13 °C. Le lâcher a été effectué conformément au calendrier décrit dans le **Tableau 1** selon différentes modalités (**Figure 9**):

- Modalité 1 : Lâcher de *C. carnea* seul sur tout le rang (18 ind/ml)
- Modalité 2 : Lâcher ponctuel de *M. angulatus* seul (10 ind/ml)
- Modalité 3 : Lâcher de *C. carnea* sur tout le rang (18 ind/ml) avec un lâcher ponctuel de *M. angulatus* (10 ind/ml).
- Modalité 4 : Zone témoin (Pas de lâcher)

Un total de six relevés de comptage de nombre de puceron par plante a été entrepris. Un relevé préalable au premier lâcher de *M. angulatus*, suivi d'un relevé entre les deux lâchers, puis complété par quatre relevés subséquents après la réalisation du deuxième lâcher. Dans chaque relevée, les comptages ont été mené sur 18 plantes par modalité, ce qui donne un de totale 72 plantes observées. L'ensemble des interventions réalisées sur l'essai sont répertoriées dans le **Tableau 1**.

III. 2 Analyse statistique des données

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel R Studio, version 4.2.1 (2022-06-23).

Les données provenant de diverses expérimentations (Essai 1, 2, 3 et 4) étaient basées sur des comptages, lesquels ne suivaient pas une distribution normale mais se conformaient à une loi de Poisson. Par conséquent, lorsque la variable analysée résultait de données de comptage, une approche statistique de type régression de Poisson ou modèle linéaire généralisé (GLM), doit être employée. L'utilisation d'une approche GLM nécessite de satisfaire trois conditions : les réponses doivent être distribuées selon une loi de Poisson, elles doivent être indépendantes et les résultats du modèle ne doivent pas montrer de surdispersion.

Dans le cadre de notre expérimentation, la répétition et l'observation temporelle des modalités dans chaque essai ont conduit à des réponses appariées. Par conséquent, la condition d'indépendance des réponses requise pour le GLM n'était pas remplie. Cela a conduit à l'adoption d'un modèle linéaire généralisé à effets mixtes (GLMM).

Tout comme le GLM, les résultats issus d'un GLMM sont validés qu'en absence de surdispersion. Cependant cette condition n'étant également pas respectée dans notre cas. Pour atténuer les limitations liées à la distribution des résidus, un ajustement du modèle linéaire a été effectuée en intégrant des effets aléatoires au niveau de l'observation. Cette approche visait à obtenir une meilleure représentation des relations entre les variables étudiées.

Afin de comparer les effets des différents facteurs et interactions dans le modèle, une analyse de variance (ANOVA) de type "3" a été réalisée. Pour une compréhension approfondie des résultats, des comparaisons deux à deux ont été effectuées à l'aide du test de Tukey.

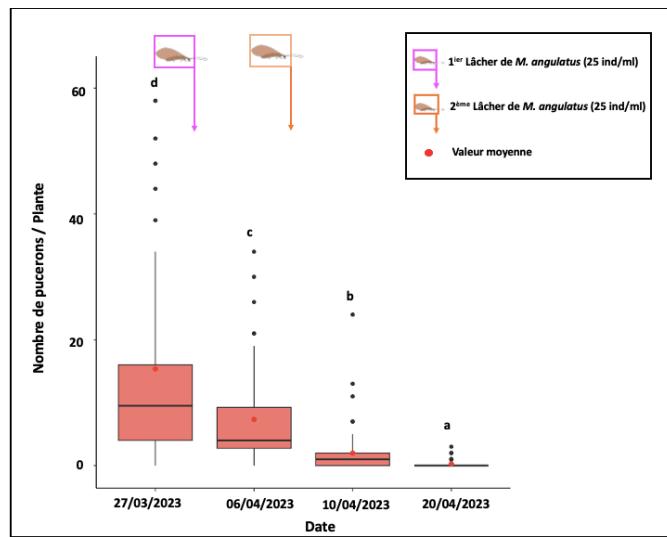


Figure 10. Dynamique des populations de puceron dans les cultures de fraises en sol, après l'introduction de *M. angulatus*. (Les différentes lettres indiquent des différences significatives, avec $p<0,05$)

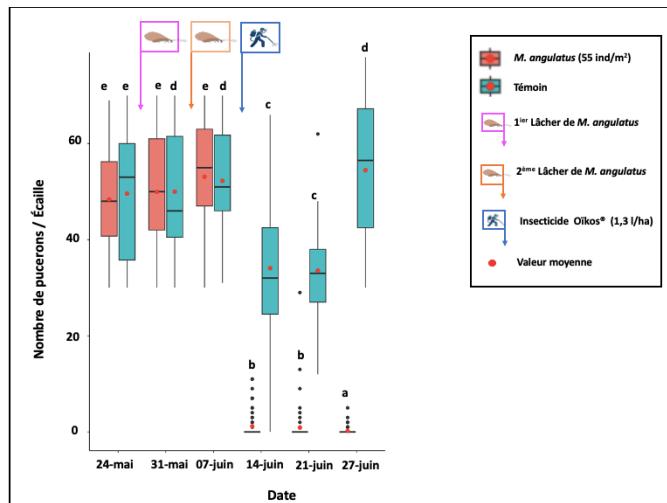


Figure. 11 Impact de l'introduction de *Micromus angulatus* sur les populations de pucerons dans les cultures de fenouil en sol. (Les différentes lettres indiquent des différences significatives, avec $p<0,05$)

IV. Résultats

IV. 1 Effet de *Micromus angulatus* sur l'évolution des populations de pucerons de serre

IV. 1.1 Essai 1 : Cultures fruitière : fraise

Dans cet essai nous avons détecté une variation significative du nombre de pucerons par plante après le lâcher de *M. angulatus* au cours de temps ($\chi^2 = 206.78$, P-value < 2,2⁻¹⁶).

Les résultats présentés dans la **figure 10** montrent qu'avant le lâcher d'auxiliaire (27 mars), le nombre moyen de pucerons par plante enregistré était de 15,36 individus par plante. La première introduction de *M. angulatus*, à raison de 25 ind/m lin., a entraîné une diminution significative du nombre moyen de pucerons par plante à 7,33. Les populations de pucerons ont connu une réduction encore plus marquée après le deuxième lâcher, avec une moyenne de 1,96 pucerons par plante pour le 10 avril et le 20 avril, respectivement.

IV. 1.2 Essai 2 : Culture porte graine : fenouil

Dans cet essai nous avons détecté un effet significatif de l'interaction Date*Modalité ($\chi^2 = 1364.66$; P-value < 2,2⁻¹⁶).

Les résultats de la **figure 11** nous montrent qu'avant tout lâcher d'auxiliaire (24 mai), le nombre moyen de pucerons par écaille est presque similaire entre le témoin (49,58 ind/écaille) et la zone de lâcher de *M. angulatus* (48,38 ind/écaille), indiquant une situation relativement homogène (même densité de pucerons dans toutes les zones de la serre). Après le premier lâcher à une densité de 55 individus par mètre carré, il a été observé une légère augmentation du nombre de pucerons par plante dans la zone témoin par rapport à la zone de lâcher. Cette différence significative entre les deux zones a été maintenue après la deuxième introduction de *M. angulatus*. L'application de l'insecticide Oïkos® dans toute la serre (09 juin) semble avoir eu un effet significatif, entraînant une réduction importante du nombre moyen de pucerons chez les plantes témoins (34,08 ind/écaille) et les plantes avec lâcher (1,18 ind/écaille). 18 jours après le traitement Oïkos® (27 juin), les plantes témoins ont connu une augmentation du nombre de pucerons jusqu'à une moyenne de 54,45 pucerons/écaille, ce qui est équivalent aux valeurs moyennes de pucerons avant le traitement Oïkos®. Cependant, des niveaux extrêmement faibles de pucerons ont été maintenus dans la zone où *M. angulatus* a été introduit, avec une moyenne de 0,22 ind/écaille.

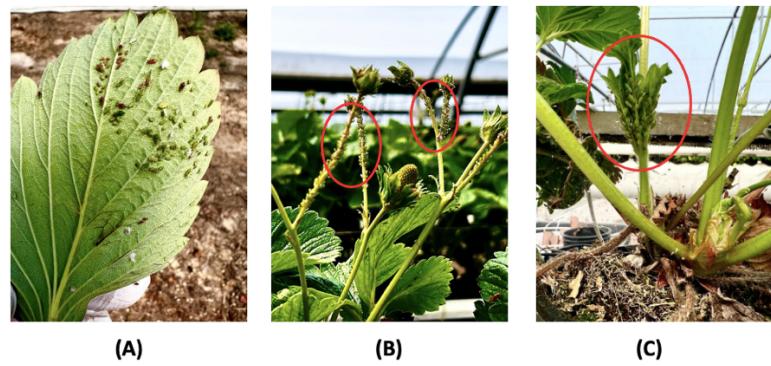


Figure. 12 Colonisation des plantes de fraises (variété Manille) par les pucerons.
 (A) : puceron sur feuilles ; (B) : pucerons sur hampes florales ; (C) : Puceron dans le cœur des plantes.

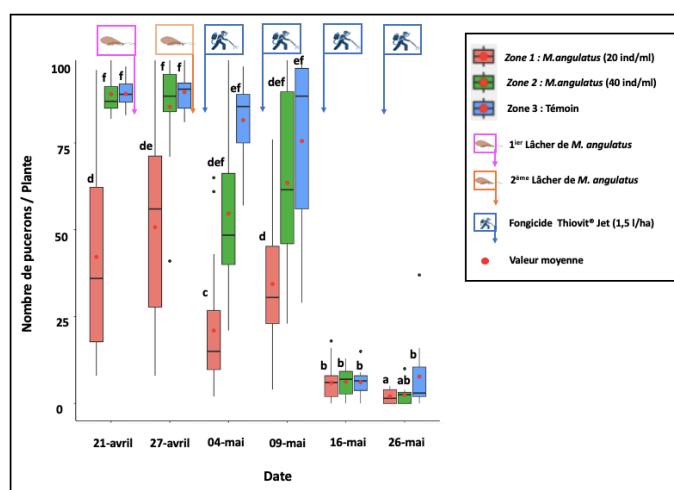


Figure. 13 Effet de la dose de lâcher de *M. angulatus* sur les populations de puceron dans les cultures de fraise hors sol. (Les différentes lettres indiquent des différences significatives, avec $p<0,05$)

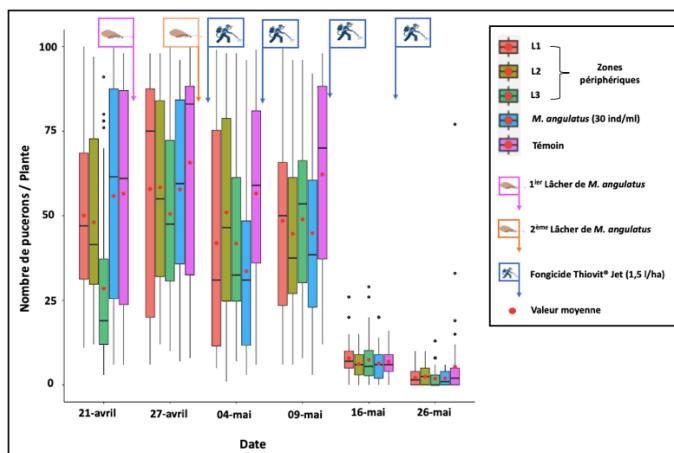


Figure. 14 Évaluation du potentiel de *M. angulatus* dans la régulation des populations de pucerons dans les zones de lâcher et les zones périphériques (L1, L2 et L3)

IV. 2 Essai 3 : Étude de la capacité de dispersion de *Micromus angulatus* dans la serre.

Dans cet essai une infestation importante de puceron a été observée dans les fraises, variété Manille, avec une répartition homogène dans l'ensemble de la serre. La figure 12 illustre la colonisation des pucerons sur les différentes parties de la plante, notamment les feuilles (A), les hampes florales (B) et le cœur de la plante (C).

IV. 2.1 Effet de la dose de lâcher de *M. angulatus* sur les populations de puceron

Dans cet essai, nous avons détecté un effet significatif de l'interaction Date*Modalité ($\chi^2 = 35,32$; P-value = 0,0001).

Les résultats de la figure 13 montrent qu'avant l'introduction de *M. angulatus* (21 avril), la densité de pucerons était variable dans les 3 zones de relevées. La zone 1 avait une densité moyenne de puceron égal à 89 ind/plante. En revanche, les zones 2 et 3 présentées des densités moyennes plus élevées, avec 89,16 ind/ plante dans la zone 2, et 42,16 ind/ plante dans la zone 3. Le premier lâcher de *M. angulatus* n'a eu aucun impact sur les populations de pucerons, quelle que soit la dose de lâcher.

Après sept jours suivant le deuxième lâcher de *M. angulatus*, conjointement au traitement Thiovit® Jet, une diminution significative de nombre moyen de puceron par plante a été notée dans la zone 1 (21 ind/plante), cependant aucune variation significative de nombre de puceron n'a été observée dans la zone 2 (54,66 ind/plante) comparativement à la zone témoin (81,58 ind/plante).

Le traitement hebdomadaire des plantes avec le fongicide Thiovit® Jet a contribué à la diminution significative des populations de pucerons chez les plantes témoins, ainsi que chez les plantes ayant subi un lâcher de 20 ind/ml et 40 ind/ml. Les moyennes de pucerons par plante ont atteint respectivement 6,16 ind/plante, 5,95 ind/plante et 6,28 ind/plante. Cependant, la quatrième application de Thiovit® Jet a conduit à une diminution significative du nombre de pucerons dans la zone 1 comparativement à la zone témoin (observé lors du relevé effectué le 26 mai).

IV. 2.2 Dynamique de régulation des populations de pucerons dans les zones en proximité de la zone d'introduction de *M. angulatus*

Dans cet essai nous avons détecté un effet significatif de l'interaction Date*Modalité ($\chi^2 = 44,17$; P-value 0.001).

Le graphique de la figure 14 présente le nombre de pucerons/plante dans 5 zones distinctes : la zone témoin, la zone de lâcher de *M. angulatus* (30 indiv/plante) et les zones dites “ Zones périphériques” (L1, L2, et L3). Avant le lâcher d'auxiliaire (21 avril), une répartition homogène des populations de pucerons a été observée dans l'ensemble des zones, à l'exception de la zone



Figure. 15 Photographies des pupes de *M. angulatus* observée durant l'essai 3.

Tableau. 2 Présence temporelle des auxiliaires naturelles durant l'essai 3

Date	<i>Adalia bipunctata</i> (œuf/ adulte)	Momies de <i>Praon volucre</i>	<i>Episyphus balteatus</i> (œuf/adultes)	<i>Halyomorpha halys</i> (Adulte)
21/04/2023				
27/04/2023		X		X
04/05/2023	X	X	X	
09/05/2023	X	X	X	X
16/05/2023	X	X		X
26/05/2023	X	X		

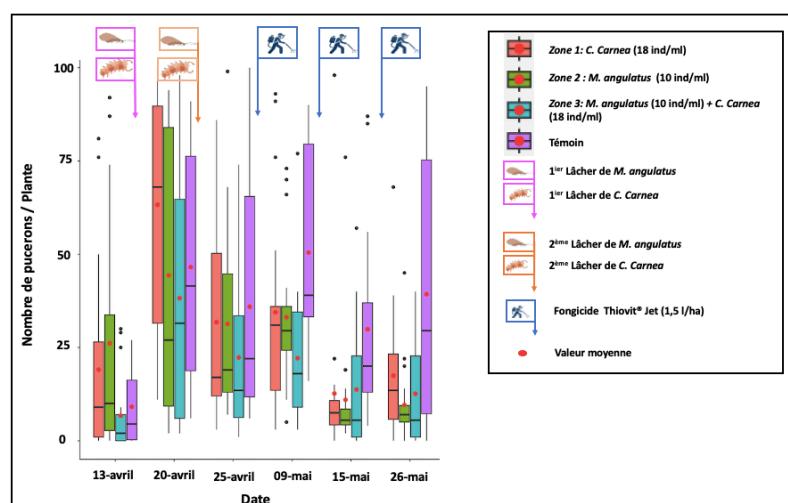


Figure. 16 Suivi de la dynamique des populations de pucerons dans les cultures de fraise hors sol, après les lâchers individuels de *M. angulatus*, *C. carnea* et d'une Co-introduction de *M. angulatus* et *C. carnea*.

L3 qui a présenté une infestation plus faible, avec une moyenne du nombre de pucerons par plante égale à 28,50 ind/lm. Après sept jours suivant la première introduction de *M. angulatus*, une augmentation significative de nombre de pucerons a été observée dans la zone L3 (50,55 ind/plante). Néanmoins, aucune variation significative n'a été observée dans les autres zones.

Le 4 mai, une réduction significative de la moyenne du nombre de pucerons par plante a été notée dans la zone de lâcher de *M. angulatus*, conjointement à l'application du Thiovit® Jet. Cependant aucune variation de nombre de puceron n'a été observée dans les zones périphériques. Par ailleurs, quelques pupes de *M. angulatus* (1 à 2 pupes par zone) ont été observées dans les zones de lâcher (**Figure 15**).

Le 16 mai, s'est observée une diminution importante du nombre moyen de pucerons par plante dans toutes les zones, une tendance qui s'est maintenue jusqu'au 26 mai, vraisemblablement en raison des pulvérisations hebdomadaires de Thiovit® Jet.

Durant cet essai d'autres auxiliaires de cultures ont été observées dans la serre, notamment *l'Adalia bipunctata*, *l'Episyphus balteatus*, *l'Halyomorpha halys* ainsi que les momies de *Praon volucre*.

Le **tableau 2** résume la présence temporelle de ces auxiliaires naturelle.

IV. 3 Essai 4 : Étude de l'efficacité d'un cocktail d'auxiliaire (*Chrysoperla carnea* et *Micromus angulatus*) dans la régulation des populations de puceron

Afin d'évaluer l'efficacité d'un cocktail d'auxiliaires à réguler les populations de pucerons, nous avons suivi la densité de pucerons par plante dans trois zones de lâcher distinctes. Ces zones comprenaient : la zone 1, où *C. carnea* a été relâché ; la zone 2, où *M. angulatus* a été introduit ; et la zone 3, où à la fois *C. carnea* et *M. angulatus* ont été introduits. Parallèlement, nous avons observé l'évolution des populations de pucerons dans la zone témoin. Cette observation a été effectuée à la suite de la première et de la deuxième introduction d'auxiliaires. (**Figure 16**)

Dans cet essai nous avons détecté un effet significatif de l'interaction Date*Modalité ($\chi^2 = 32,11$; P-value = 0,006)

Lors du relevé effectué le 20 avril, il a été constaté une augmentation significative du nombre moyen de pucerons par plante dans l'ensemble des zones dans les 7 jours après la première introduction d'auxiliaires. Toutefois, une diminution notable a été observée cinq jours après la seconde introduction d'auxiliaires dans la zone 1, 2. L'introduction simultanée de ces deux auxiliaires a conduit à une réduction marquée du nombre moyen de pucerons (22,32 indiv/plante), comparativement à l'introduction individuelle de *M. angulatus* (31,33 indiv/plante) et de *C. carnea* (31,77 indiv/ plante).

Tableau. 3 Présence temporelle des auxiliaires naturelles durant l'essai 4

Date	<i>Adalia bipunctata</i> (œuf/ adulte)	Momies de <i>Praon volucre</i>	<i>Episyrrhus balteatus</i> (larve/adultes)	<i>Halyomorpha halys</i> (Adulte)
13/04/2023		X	X	
20/04/2023		X	X	
25/04/2023		X	X	
09/05/2023	X	X	X	X
15/05/2023	X	X		X
26/05/2023	X	X		

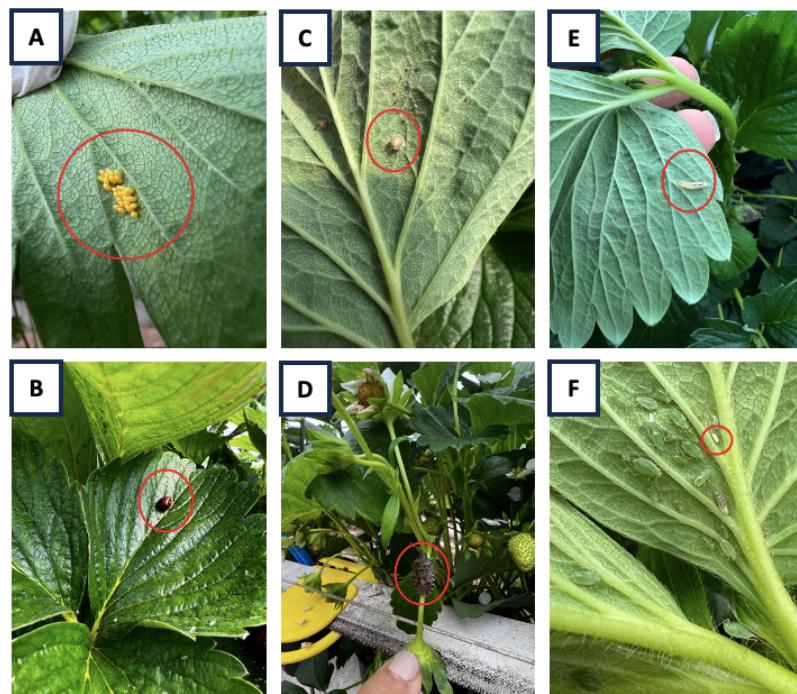


Figure. 17 Photographie des ravageurs observée durant l'essai 4. A : Œufs de coccinelle ; B : *Adalia bipunctata* ; C : Momies de *Praon volucre* ; D : *Halyomorpha halys* ; E : Lave de *Episyrrhus balteatus* ; F : Œuf d'*Episyrrhus balteatus*.

Au 15 mai, le traitement hebdomadaire des plantes avec le fongicide Thiovit® Jet a entraîné une réduction notable du nombre de pucerons, tant dans la zone témoin (28,88 ind/plante) que dans les zones de lâcher. Plus précisément, dans la zone 2 (11 ind/plante), correspondant à l'introduction de *M. angulatus*, la diminution a été significative, tandis que dans la zone 1 (12,66 ind/plante), correspondant à l'introduction de *C. carnea*, la variation du nombre de pucerons n'a pas été significative. En revanche, dans la zone 3, où un mélange d'auxiliaires a été introduit, le niveau de pucerons est demeuré relativement élevé (13,72 ind/plante).

En date du 26 mai, il a été relevé une augmentation du nombre moyen de pucerons dans la zone témoin (39,27 individus par plante) ainsi que dans la zone 1 (17,44 individus par plante). Dans la zone 2, où les auxiliaires *M. angulatus* ont été introduits, le niveau de pucerons n'a pas montré de variation significative.

Tout au long de l'expérimentation, la présence d'autres auxiliaires a été observée dans toutes les zones, y compris la zone témoin. Cela comprend notamment les œufs et les adultes d'*Adalia bipunctata* (à partir du 09 mai), ainsi qu'*Episyrrhus balteatus*, présents du 13 avril au 25 avril. De plus, la présence constante de momies de *Praon volucre* a été relevée sur les feuilles des plantes tout au long de la période d'essai (**Figure 17 ; Tableau 3**).

V. Discussion

V. 1 Effet de *Micromus angulatus* sur l'évolution des populations de pucerons de serre

Le suivi de la dynamique des populations de pucerons dans les cultures de fraises en sol (Essai 1) nous a permis d'évaluer le potentiel de prédation de *M. angulatus*. Le nettoyage des premiers foyers de pucerons a été remarquable dès le premier lâcher d'auxiliaires, et cette tendance s'est accentuée après le deuxième lâcher. La régulation rapide (éradication de puceron en 20 jours) et efficace semble être attribuable à l'action de *M. angulatus*, étant donné qu'aucun traitement n'a été administré dans la serre, que ce soit avant ou pendant l'expérimentation. Le lâcher de *M. angulatus* dès l'apparition des premiers foyers de puceron est l'élément clé pour le succès de la stratégie de lutte. De plus, des conditions climatiques défavorables, notamment des températures dépassant 22 °C, pourraient entraîner un ralentissement de la multiplication des pucerons (Hullé, 2020).

Ces résultats soulignent l'importance du lâcher de *M. angulatus* lorsque la densité de puceron est faible (15,36 pucerons/plante) et localisée en un seul endroit (population non diffuse). Néanmoins, l'absence d'une zone témoin dans cet essai crée une lacune en termes de comparaison nécessaire pour évaluer de manière fiable si les variations du nombre de pucerons observées sont véritablement attribuables à *M. angulatus* ou à d'autres facteurs.

Ces résultats s'inscrivent dans la lignée des tendances observées dans des études antérieures de service R&D de Biobeste groupe, où des corrélations similaires entre l'introduction de *M. angulatus* et la régulation des populations de pucerons ont été rapportées.

Dans l'étude menée par Paraskevi *et al.* (2022), le lâcher de 2 adultes de *M. angulatus* par plante dans des cultures de poivron (*Capsicum annuum L.*) a contribué à une réduction de 100% du nombre de puceron vert du pêcher (*Myzus persicae*) en seulement 3 semaines après le lâcher. Cette réduction a été observée dans des conditions de température de 25+1 °C, où la densité initiale d'infestation de pucerons était 20 individus par plante.

D'autres études réalisées par le service R&D de Biobest Espagne, en condition producteurs (résultats en cours de soumission pour publication) ont montré un effet positif de *M. angulatus* dans la régulation des populations de *Macrosiphum euphorbiae* dans les cultures de poivron. Les auteurs ont constaté qu'un seul lâcher de 50 individus par plante est suffisant pour réduire à 75% le nombre de feuilles colonisées par *M. euphorbiae* après 6 jours de lâcher. Cependant, les détails concernant la densité d'infestation (le nombre de pucerons par plante) avant le lâcher de *M. angulatus* n'ont pas été fournis, empêchant ainsi d'appréhender pleinement le potentiel de *M. angulatus* pour la régulation des pucerons à une densité initiale donnée (Robledo *et al.*, 2022a)

Cette convergence de constatations issu des essais en laboratoire (travaux de Paraskevi *et al.*, 2022) et des essais sur le terrain (travaux de Robledo *et al.*, 2022a) renforce la plausibilité d'un lien entre l'effet de l'auxiliaire et les variations observées dans les populations de pucerons, malgré l'absence d'un groupe témoin dans la présente étude.

Les résultats obtenus dans l'essai 2, qui a été mené sur les cultures de fenouils montrent que le premier lâcher de *M. angulatus* à une dose de 55 ind/m², équivalente à 2 ind/plante, n'a pas eu d'effet sur les populations de pucerons. Cela pourrait être lié à la forte densité de pucerons, qui était trois fois supérieure à celle observée dans l'essai 1 et deux fois supérieure à celle notée dans les travaux de Paraskevi *et al.* (2022). Cependant, le deuxième lâcher d'auxiliaires conjointement à l'application de l'insecticide *Oïkos®* a permis une régulation importante des pucerons dans la zone de lâcher en comparaison avec la zone témoin en seulement 7 jours. Cette tendance s'est maintenue dans les zones de lâcher, tandis qu'une reprise de l'augmentation des populations de pucerons a été observée dans la zone témoin 20 jours après le deuxième lâcher combiné à Oïkos®. Cette réduction du nombre de pucerons pourrait principalement être attribuée à l'effet d'Oïkos®, reconnu pour son action insecticide polyvalente destinée à protéger les cultures maraîchères, les grandes cultures et les cultures arboricoles contre un large spectre de ravageurs tels que le doryphore, les pucerons, les aleurodes et les thrips (Leugygax, 2018)

En raison de son efficacité accrue contre les jeunes larves d'insectes et du fait qu'il n'agit pas sur les adultes, il est probable que son action dans cet essai ait été principalement axée sur la régulation des larves de pucerons, contribuant ainsi à la diminution des populations de larves de pucerons dans les zones de lâchers et dans la zone témoin. Néanmoins, les populations adultes qui ne sont pas éliminées par l'Oïkos® sont prédatées par *M. angulatus* dans les zones de lâcher. En revanche, dans la zone témoin, ces adultes ont contribué à la multiplication des pucerons, expliquant ainsi l'augmentation du nombre de pucerons dans cette zone.

Une action non ciblée de l'Oïkos® peut potentiellement affecter *M. angulatus*, entravant ainsi les pontes ou le développement de *M. angulatus*, similaire à ce qui a été observé dans les travaux de Cordeiro *et al.* (2010), où une diminution de la durée de survie des larves de *Chrysoperla externa* et *Ceraeochrysa cubana* a été constatée à la suite de l'application de produits à base d'azadirachtine.

V. 2 Étude de la capacité de dispersion de *Micromus angulatus* dans la serre

V. 2.1 Effet de la dose de lâcher de *M. angulatus* sur les populations de pucerons

Afin d'étudier l'impact de la dose de lâcher de *M. angulatus* sur les populations de pucerons, l'essai 3 a permis d'établir une relation entre la densité de pucerons et l'efficacité de la dose de lâcher. Les résultats obtenus ont montré qu'en conjonction avec une première pulvérisation du fongicide Thiovit® Jet, les deux lâchers de 20 ind/ml ont entraîné une diminution du nombre de pucerons par plante, tandis que le lâcher à 40 ind/ml n'a pas provoqué de variation dans le nombre de pucerons. Cette disparité dans la régulation pourrait être due à la densité initiale de pucerons dans la zone de lâcher, où il a été observé qu'il y avait deux fois moins de pucerons dans la zone avec un lâcher de 20 ind/plante par rapport à la zone avec un lâcher de 40 ind/ml.

La chute du nombre de pucerons dans toutes les zones de lâcher, ainsi que dans la zone témoin, après 3 pulvérisations hebdomadaires de Thiovit® Jet, semble être due à l'activité aphicide du soufre. Cette action du soufre a été démontrée dans les travaux de Öncüer (1972), où l'auteur suggère que les fongicides à base de soufre, d'oxychloronil de cuivre, de zinèbe et de carbendazime ont une activité aphicide de 11 à 14 %. D'autres études réalisées à Washington en 2009 ont également noté que le traitement au soufre avait supprimé les populations de pucerons du houblon (Gent *et al.*, 2009). Ces résultats corroborent l'effet du soufre dans la régulation des pucerons, ce qui explique probablement la baisse observée dans notre étude après l'application de Thiovit® Jet.

V. 2.2 Dynamique de régulation des populations de pucerons dans les zones en proximité de la zone d'introduction de *M. angulatus*

Le suivi de la dynamique des populations de pucerons dans les zones périphériques, situées à proximité des zones de lâcher, a permis d'évaluer le potentiel de dispersion de *M. angulatus*. Il s'est avéré que deux lâchers de *M. angulatus* à une dose de 30 ind/ml, accompagnés d'une seule pulvérisation de Thiovit® Jet, ont entraîné une réduction de 39,8 % du nombre de pucerons par plante. En revanche, cela n'a provoqué aucune variation du nombre de pucerons dans les zones périphériques. L'écart notable dans le nombre de pucerons entre la zone témoin et la zone de lâcher semble être attribuable à l'action de *M. angulatus*, étant donné que la même quantité de fongicide a été pulvérisée dans l'ensemble de la serre, incluant la zone témoin.

Ces observations indiquent que *M. angulatus* joue un rôle dans la régulation des pucerons mais sa dispersion reste limitée aux zones du lâcher. En effet, plusieurs facteurs peuvent influencer directement ou indirectement sa capacité de propagation et son installation dans la serre, parmi ceux-ci, on peut mentionner :

- La capacité de vol : Les déplacements de *M. angulatus* sont supposés être de faible distance et à une moindre hauteur, parce qu' ils volent mal. Cette limitation a pour conséquence de restreindre sa capacité de dispersion au sein de la serre (Chasset, 2006).
- Habitat : *M. angulatus*, une hémérobe des strates herbacées (Chasset, 2006), est potentiellement mal adapté à un système de culture hors sol. En effet, cet environnement pourrait entraver ses déplacements. Les gouttières, bien qu'elles imitent un habitat arboré, peuvent représenter un défi pour *M. angulatus* s'il venait à tomber par terre, car il pourrait avoir des difficultés à remonter dans la gouttière pour rejoindre à nouveau les plantes qui s'y trouvent.
- Structure des œufs : Les œufs des Hemerobiidae sont pondus sans pédicelle et sont donc déposés directement sur la végétation (Miermont, 1973). Cela les rend plus exposés à des prédateurs tels que les fourmis (San Martin, 2004), ce qui influe sur le taux de reproduction de nouveaux individus et leur installation dans les cultures. Les pédicelles jouent un rôle important en assurant une fixation solide des œufs. En l'absence de ces structures, les œufs pourraient facilement tomber au sol, augmentant ainsi le risque de prédation. Même après l'éclosion, étant donné la capacité de vol limitée de *M. angulatus*, les jeunes individus pourraient avoir du mal à rejoindre les zones plus élevées, comme les gouttières.

L'application hebdomadaire de Thiovit® Jet semble être responsable de la diminution drastique des pucerons dans toutes les zones, puisque le même effet a été observé dans la zone témoin. Cependant, il convient de noter que la présence de *M. angulatus* dans la zone du lâcher pourrait également contribuer à cette diminution des pucerons.

Les résultats obtenus dans notre étude ne concordent pas avec ceux réalisés par Robledo *et al.*, en 2022, sur les cultures en sol de poivrons. Dans leur étude, ils ont conclu qu'avec une dose minimale de 1 ind/m², le *M. angulatus* a pu se stabiliser dans l'ensemble de la serre, y compris dans les zones témoins. Cette divergence entre les deux études pourrait être due au système de culture, à la densité d'infestation initiale et aux conditions climatiques de l'expérimentation (Robledo *et al.*, 2022b).

V. 3 Étude de l'efficacité d'un cocktail d'auxiliaire (*Chrysoperla carnea* et *Micromus angulatus*) dans la régulation des populations de puceron

Nos résultats soulignent que le premier lâcher de *C. carnea*, soit seul soit en association avec *M. angulatus*, ne conduit pas à une régulation des populations de pucerons. Les pucerons persistent à proliférer et à accroître leurs colonies. En revanche, le premier lâcher exclusif de *M. angulatus* prévient l'accroissement du nombre de pucerons. Cette dynamique pourrait être attribuée à l'effet

prédateur vorace de *M. angulatus* qui maintient les populations de pucerons à une densité stable, correspondant à la densité initiale de pucerons avant le lâcher.

Le deuxième lâcher, en conjonction avec 2 pulvérisations de Thiovit® Jet, a révélé un “effet synergique” entre l’auxiliaire *M. angulatus* et le traitement. Cet effet s'est manifesté par une diminution prononcée du nombre de pucerons dans la zone où *M. angulatus* a été relâché seul, Toutefois, ni la zone de lâcher individuel de *C. carnea* ni celle où les deux auxiliaires ont été introduits n'ont montré de régulation des populations de pucerons.

L'absence de régulation des pucerons lors du lâcher individuel de *C. carnea* pourrait être liée aux effets non intentionnels dommageables de Thiovit® Jet, vu que le soufre affecte la faune auxiliaire, notamment *C. carnea*, *Aphidius rhopalosiphi* et *Typhlodromus pyri* (ANSES, 2009). De plus, il est possible que la température de déroulement de l'essai (13°C) ait influencé le développement et la reproduction de cet auxiliaire, étant donné que son optimum d'activité correspond à 28 °C, et qu'à des températures plus basses son cycle de développement ralentit et s'étend jusqu'à 69 jours (Nadeem et al., 2012; Ent et al., 2019). Néanmoins, à 13°C, les pucerons se multiplient assez rapidement car leurs plages d'activité s'étendent de 4 °C à 22 °C. (Hullé et al., 2020; Sato, 2004). L'inefficacité de la régulation des pucerons lors du lâcher d'un cocktail d'auxiliaires pourrait être attribuée à une prédatation intragUILDE entre *M. angulatus* et *C. carnea*, ainsi qu'avec d'autres ennemis naturels observés dans la serre, notamment *Adalia bipunctata*, *Episyrrhus balteatus*, *Praon volucre* et *Halyomorpha halys*.

Des études ultérieures ont révélé que les prédateurs indigènes des pucerons, tels que les punaises et les coccinelles, ciblaient massivement les *C. carnea* relâchées, entravant ainsi efficacement le contrôle des populations de pucerons (Lucas, 2001). Les recherches menées par Navi et R.K. Patil (2010) pour évaluer la compatibilité intragUILDE entre les prédateurs potentiels des pucerons ont démontré que les larves de *C. carnea* dévoraient massivement les œufs et les larves de *Micromus igorotus* (à hauteur de 100 % et 90 % respectivement). Cependant, une légère prédatation des œufs de syrphe (*Ischiodon scutellaris*) et de coccinelle (*Cheilomenes sexmaculata*) par *M. igorotus* a été observée. Les *C. sexmaculata* ont manifesté un comportement vorace envers *M. igorotus*, avec les larves consommant jusqu'à 86,70 % de ses œufs et 97 % de ses larves. Les adultes ont également consommé les œufs et les larves de *M. igorotus*, bien qu'aucune prédatation d'adulte n'ait été observée. Par ailleurs, les œufs et les larves de *M. igorotus* se sont avérés vulnérables à l'*Ischiodon scutellaris*, avec des taux de prédatation de 29,32 % et 53,30 % respectivement.

La résistance des adultes de *M. igorotus* à l'attaque des autres ennemis naturelle peuvent expliquer en partie la régulation de puceron observée dans les zones de lâchers de *M. angulatus* et la consommation de ses œufs et ses larves par d'autre ennemis naturels peut refléter pourquoi il n' y avait pas d'installation de *M. angulatus* dans la serre.

L'éventuelle résistance des adultes de *M. igorotus* face à l'attaque d'autres ennemis naturels pourrait potentiellement contribuer à expliquer la régulation des pucerons observée dans les zones de lâchers de *M. angulatus*. De plus, il est possible que la consommation potentielle des œufs et des larves de *M. igorotus* par d'autres ennemis naturels puisse contribuer à expliquer la raison pour laquelle n'y ait pas eu d'installation de *M. angulatus* dans la serre.

VI. Conclusion et perspectives

L'objectif de ce travail était d'évaluer le potentiel d'action de *M. angulatus* dans la régulation des populations de pucerons dans différentes cultures sous serre, notamment les cultures de fraises et de fenouil.

Cette étude a démontré que le lâcher de 25 individus de *M. angulatus* par mètre linéaire est efficace pour réguler les premiers foyers de pucerons dans les cultures de fraises en sol. Cela suggère que cet auxiliaire peut jouer un rôle significatif dans la réduction des populations de pucerons, en particulier lorsque la densité de pucerons est faible et localisée. Cependant, l'absence de témoin dans cet essai a limité la capacité de tirer des conclusions définitives sur l'effet exclusif de *M. angulatus*. De plus, la combinaison du lâcher de *M. angulatus* (55 ind/m²) et du traitement Oïkos® s'est révélée efficace dans la régulation des populations de pucerons dans les cultures de fenouil en sol.

Dans des cultures de fraises hors sol, en combinaison avec le traitement fongicide Thiovit® Jet, le lâcher de *M. angulatus* à une dose de 20 ind/ml a contribué de manière significative à la diminution des populations de pucerons, comparativement au lâcher à une dose de 40 ind/ml.

L'évaluation de la dynamique des populations de pucerons dans les zones périphériques situées à proximité de la zone de lâcher de *M. angulatus* a mis en évidence la capacité limitée de dispersion de cet auxiliaire, malgré son rôle positif dans la régulation des populations de pucerons dans les zones de lâcher.

Dans des conditions de traitement avec le fongicide Thiovit® Jet, la combinaison de *M. angulatus* avec *C. carnea* n'a pas montré de régulation des pucerons, tout comme le lâcher de *C. carnea* seul. Cependant, un effet synergique a été révélé entre *M. angulatus* et le traitement Thiovit® Jet, entraînant une réduction significative du nombre de pucerons dans la zone où *M. angulatus* a été lâché individuellement.

Ces résultats préliminaires ont soulevé des questions concernant l'efficacité de *M. angulatus*, en lien avec la densité de pucerons, son comportement dans divers systèmes de culture, son interaction avec d'autres auxiliaires tels que *C. carnea*, ainsi que sa réaction face aux traitements insecticides et fongicides. Les réponses à ces questions pourraient jouer un rôle crucial pour assurer l'efficacité de la méthode de lutte et la réussite de l'intégration de *M. angulatus* dans la stratégie de lutte intégrée. En termes de perspectives pour les travaux à venir, nous suggérons :

- Évaluer l'efficacité de *M. angulatus* dans la gestion des premiers foyers de pucerons en incluant une zone témoin.
- Analyser le comportement de *M. angulatus* dans différents systèmes de culture, tels que la culture en sol et hors sol.
- Évaluer l'impact de l'insecticide Oïkos® et du fongicide Thiovit® Jet sur *M. angulatus* et *C. carnea*.
- Évaluer la capacité de dispersion de *M. angulatus* dans les cultures en sol.
- Étudier les interactions potentielles entre *M. angulatus*, *C. carnea* et d'autres auxiliaires naturels.

VII. Références bibliographiques

- ANSES.** 2015. Thiovit Jet Microbilles (AMM n°2000018). Maisons-Alfort, 28 p
- Blackman R. L, et Eastop V. F.** 1994. *Aphids on the world's trees: an identification and information guide.* CAB International in association with The Natural History Museum. London.
- Blanchette A, Bourassa M.** 2019. *Les exceptionnelles 2019 : annuelles et potagères à découvrir. Gestion et technologie agricoles*, Canada, 28 p.
- Biobest.** 2023. *Fiches techniques : Protection biologique.*
- Boller E.F, Häni F, Poehling H.M.** 2004. *Ecological infrastructures: ideabook on functional biodiversity at the farm level, temperate zones of Europe.* IOBCwprs, Commission on Integrated Production Guidelines and Endorsement, Switzerland.
- Buckley R.C.** 1987a. Interactions involving plants, homoptera, and ants. *Annu. Rev. Entomol.*, 8, 111-135 p.
- Buckley R.C.** 1987b. Ant-plant-homopteran interactions. *Adv. Ecol. Res.*, 16, 53-85 p.
- Chasset J.** 2006. *Étude de la Bio-écologie des Névroptères dans une perspective de lutte biologique par conservation.* Thèse de doctorat. Université d'Angers, France. 241 p.
- Cherqui A, Tjallingii WF.** 2000. Salivary proteins of aphids, a pilot study on identification, separation and immunolocalisation. *Journal of Insect Physiology* 46, 1177–1186 p.
- Cordeiro EMG, Corrêa AS, Venzon M, Guedes RNC.** 2010. Insecticide survival and behavioral avoidance in the lacewings *Chrysoperla externa* and *Ceraeochrysa cubana*. *Chemosphere* 81, 1352–1357.
- Correa P.** 2018. *Potentiel de la lutte physique en maraîchage au Sénégal et impact sur la régulation naturelle.* Dakar : UCAD, 59 p. Mémoire de master 2 : Biologie végétale : Université Cheikh Anta Diop
- Chouinard G, Gagnon S.** 2001. *Méthodes alternatives à la lutte chimique en pomiculture : Principales techniques applicables au Québec.* Cannada: Gouvernement du Quebec, Ministeres des Communications, p128.
- Dedryvers C.A, Le Ralec A, Fabre F.** 2010 - The conflicting relationships between aphids and men: A review of aphid damage and control strategies. *Comptes Rendus Biologies* 333: 539-553 p.
- Ent S van der, Knapp M, Klapwijk J, Moerman E, Schelt J van, Weert S de.** 2019. *Connaître et reconnaître, la biologie des ravageurs, des maladies et leurs solutions naturelles.* Pays-Bas, 443 p. ISBN : 978-90-827567-2-2
- Fatnassi H, Boulard T, Bouirden L.** 2013. Development, validation and use of a dynamic model for simulate the climate conditions in a large-scale greenhouse equipped with insect-proof nets. *Computers and Electronics in Agriculture* 98, 54– 61.
- Férat F.** 2021. Transition écologique du maraîchage et des serres agricoles. *Journaux officiels des questions SENAT : 15e législature, n°20510*, 688 p.
- Ferrero M.** 2009. Le système tritrophique tomate tetranyques tisserands- *Phytoseiulus longipes* : Etude de la variabilité des comportements alimentaires du prédateur et conséquences pour la lutte biologique. Thèse doctorat, Montpellier.
- Fouarge C.** 1990. Les pucerons sont-ils dangereux ? *Revue Agronomique Belge*, 47, 4-6 p.

Gent D. H, James D. G, Wright L. C, Brooks D. J, Barbour J. D, Dreves A. J, Fisher G. C, Walton V. M. 2009. Effects of Powdery Mildew Fungicide Programs on Twospotted Spider Mite (Acari: Tetranychidae), Hop Aphid (Hemiptera: Aphididae), and Their Natural Enemies in Hop Yards. *J. Econ. Entomol.* 102(1): 274-286 p.

Gruda N. 2009. Does soilless culture have an influence on product quality of vegetables? *Journal of Applied Botany and Food Quality* 82, 141–147.

Guérineau C. 2003. La culture du fraisier sur substrat. France: Éd. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, 165 p. ISBN : 9782879112022, 2879112028

Harmel N, Haubrige É, Francis F. 2010. Etude des salives de pucerons : un préalable au développement de nouveaux bio-insecticides. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* in press.

Hölldobler B, Wilson E.O. 1990. The ants. The Belknap Press of the Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

Hullé M, Chaubet B, Turpeau E, Simon J.C. 2020. Encyclop’Aphid: a website on aphids and their natural enemies. *Entomologia generalis*: doi:10.1127/entomologia/2019/0867

Hullé M, Turpeau-Ait Ighil E, Robert Y, Monnet Y. 1999. Les pucerons des plantes maraîchères. Cycle biologiques et activités de vol. Association de Coordination Technique Agricole et Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, 136 p.

Kendal DR, Marconi TG, Badillo-Vargas IE, Enciso J, Zapata SD, Lazcano CA, Crosby K, Carlos, A.A. 2020. Yield and fruit quality of high-tunnel tomato cultivars produced during the off-season in South Texas. *Scientia Horticulturae* 272, 109582.

Lambert L. 2005 - Les pucerons dans les légumes de serre : Des bêtes de sève. Ministère de l’Agriculture, des Pêcheries et de l’Alimentation, Québec.

Leclant F. 2000. Les pucerons des plantes cultivées. Association de coordination technique agricole. 128 p. ISBN : 978-2-7380-0940-1 2-7380-0940-9

Lenteren J.C, Colazza S. 2006. IOBC Newsletter 80. International Organization for Biological Control of Noxious Animals and Plants (IOBC).

Lopes T, Bosque E, Polo D, Chen JL, Dengra C, Yong L, Fang-Qianz Z, Haubrige E, Bragard C, Francis F. 2012. Évaluation de la diversité des pucerons et de leurs ennemis naturels en cultures maraîchères dans l’Est de la Chine. *Entomologie faunistique -Faunistic Entomology*, 64(3), 63-71 p.

Lucas E. 2001. Prédation intragUILDE et lutte biologique, VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement [Online], Volume 2 Numéro 2. URL: <http://journals.openedition.org/vertigo/4102>; DOI: <https://doi.org/10.4000/vertigo.4102>

McEwen P, New T, Whittington A. 2001. Lacewings in the crop environment. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511666117>

Moran N. A. 1992. « The Evolution of aphid life cycles ». *Annual Review of Entomology* 37: 321-348.

Morard P. 1995. Les cultures végétales hors sol. France: Lavoisier.

Miermont Y. 1973. Étude au laboratoire d'un prédateur aphidiphage Eumicromus angulatus Stephens (Neuroptera, Hemerobiidae). Thèse doctorat. Université Paul Sabatier de Toulouse. 103p.

Minks A. K, Harrewijn P. 1987 - Aphids their biology, natural enemies and control, vol. A. F. A. KINGAUF. Elsevier, Amsterdam. 76-95p.

Nadeem S, Hamed M, Nadeem MK, Hasnain M, Atta BM, Saeed NA, Ashfaq M. 2012. Comparative study of developmental and reproductive characteristics of *Chrysoperla Carnea* (Stephens) (Neuroptera : Chrysopidae) at different rearing temperatures. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 22(2), 399-402 p. ISSN: 1018-7081

Navi S, R.K.Patil SL. 2010. Intraguild predation studies between *Micromus igorotus* (Banks), *Chrysoperla carnea* (Stephens). in press.

Öncüer C. (1972). L'action des quelques fongicides envers l'infection de l'*Entomophthora thaxteriana* Petch (Entomophthorales: Entomophthoraceae) pathogène des pucerons et leur activité aphicide. *fürk. Bit. Kor. Derg*, 2 (4): 211 – 222p

Paraskevi N, Broufas G.D, Wäckers F, Pekas A, Pappas M.L. 2022. Overlooked lacewings in biological control: The brown lacewing *Micromus angulatus* and the green lacewing *Chrysopa formosa* suppress aphid populations in pepper. *Journal of Applied Entomology* **146**, 796–800.

Piffaretti J. 2012. Différenciation génétique et écologique des populations du puceron *Brachycaudus helichrysi* (Hemiptera : Aphididae) : mise en évidence de deux espèces sœurs aux cycles de vie contrastés. Thèse de doctorat. Biologie de l'évolution et écologie. Montpellier SupAgro, 260 p.

Robledo A, Cano I, Abeijon D, Boonen S, Pekas A. 2022 a. Release of the brown lacewing *Micromus angulatus*, eggs and adults against the aphid *Macrosiphum euphorbiae* in sweet pepper. R&D Report. Biobest Spain.

Robledo A, Cano I, Abeijon D. 2022 b. Stablishing the brown lacewing *Micromus angulatus* in sweet pepper. R&D Report. Biobest Spain.

Rossing W. A. H. 1991. Simulation of damage in winter wheat caused by the grain aphid *Sitobion avenae*. 3. Calculation of damage at various attainable yield levels. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 97: 87-103 p.

Ryckewaert P. 2002. Situation et perspectives de lutte contre les insectes ravageurs des cultures maraîchères : exemples de zones insulaires tropicales. In : CFCS Caribbean Food Crops Society, Trois Ilets, Martinique, 1-5 juillet 2002. s.l. : s.n., 5 p. Annual Meeting of Caribbean Food Crops Society. 38, Trois-Ilets, Martinique.

Sadat A. 2021. Contribution à l'étude des pucerons et de leurs hyménoptères parasitoïdes dans la Mitidja. Thèse de doctorat. Bioagresseurs et phytopharmacie. École Nationale Supérieur d'agronomie. Algérie, 234 p.

Sato T, Takada H. 2004. Biological studies on three *Micromus* species in Japan (Neuroptera: Hemerobiidae) to evaluate their potential as biological control agents against aphids: 1. Thermal effects on development and reproduction. *Applied Entomology and Zoology* **39**, 417–425.

Savvas D, Gruda N. 2018. Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry – A review. *European Journal of Horticultural Science* 83, 280–293.

Stelzl M, Devetak D. 1999. Neuroptera in agricultural ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74(1-3), 305–321. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00040-7](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00040-7)

Sullivan D.J. 2005. Aphids (Hemiptera: Aphididae). In: Capinera J. L. (ed.), *Encyclopedia of Entomology*, Ed. Springer (Netherlands), 127 – 146 p.

Turpeau E, Hullé M, Chaubet B. 2023. L'encyclopédie des pucerons. *Encyclop'Aphid*.

Urban L. 2010. La production sous serre Tome 1: La gestion du climat (2e éd.). N.p., Lavoisier. 356 p. ISBN : 9782743017682, 2743017686

Van Emden HF, Harrington R. 2007. *Aphids as crop pests* / edited by Helmut F. van Emden and Richard Harrington. Wallingford, UK ; Cambridge, MA: CABI.

Van Harmel N, Haubrûge É, Francis F. 2010. Étude des salives de pucerons : un préalable audéveloppement de nouveaux bio-insecticides. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* in press.

Way, M. J. 1963. Mutualism Between Ants and Honeydew-Producing Homoptera. *Annual Review of Entomology*, 8(1), 307–344 p. doi:10.1146/annurev.en.08.010163.001515

Winkler K. 2005. Assessing the risks and benefits of flowering field edges: strategic use of nectar sources to boost biological control. *Mémoire de Thesis*, Wageningen University, Laboratory of Entomology, The Netherlands.

Sitographie

Agroscope, 2023. Lutte biologique contre les insectes ravageurs des cultures sous serre
<https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/fr/home/themes/production-vegetale/protection-vegetaux/entomologie/lutte-biologique-entomologie.html>

FAO.2023. Questions et réponses concernant la lutte contre les organismes nuisibles et la gestion des pesticides.

<https://www.fao.org/news/story/fr/item/1398831/icode/>

Leugygax. 2018. Oikos ® : Insecticide systémique pour l’arboriculture, les grandes cultures et les cultures maraîchères. Fiche technique.

[https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=0CDgQw7AJahcKEwjIyc6U1fqAAxUAAAAAHQAAAAAQAw&url=https%3A%2F%2Fshop.leugygax.ch%2Fshop%2Fresources%2Fdownloads%2FOikos\(F\).pdf&psig=AOvVaw1OR3SAGQf3BF3uIZ7ZBQm8&ust=1693151002438775&opi=89978449](https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=0CDgQw7AJahcKEwjIyc6U1fqAAxUAAAAAHQAAAAAQAw&url=https%3A%2F%2Fshop.leugygax.ch%2Fshop%2Fresources%2Fdownloads%2FOikos(F).pdf&psig=AOvVaw1OR3SAGQf3BF3uIZ7ZBQm8&ust=1693151002438775&opi=89978449)

Ontario, 2022. Les pucerons en serriculture : Apprenez à reconnaître les pucerons en serriculture, et renseignez-vous sur les dommages qu’ils causent et les stratégies de lutte. ISSN : 1198-7138
<https://www.ontario.ca/fr/page/les-pucerons-en-serriculture>

Zhao R, Tarakanov V. 2023. Comment les rayonnements aident-ils à lutter contre les insectes ravageurs. Agence internationale de l'énergie atomique.

<https://www.iaea.org/fr/newscenter/news/rayonnements-pour-lutter-contre-les-ravageur>

Annexes

ANNEXE I : Puceron et parasitoïdes de lutte

Espèces de Puceron	Parasitoïdes de lutte
Anuraphis subterranea	Aucun
Aphis fabae	Aphelinus asychis Aphelinus chaonia Aphelinus humilis Aphidius colemani Aphidius matricariae Binodoxys angelicae Diaeretiella rapae Ephedrus nacheri Ephedrus persicae Aphelinus Ephedrus plagiator Lipolexis gracilis Lysiphlebus cardui Lysiphlebus confusus Lysiphlebus fabarum Lysiphlebus testaceipes Praon abjectum Praon volucre Ephedrus persicae
Aphis frangulae	Aphelinus chaonia Lysiphlebus fabarum Binodoxys angelicae
Aphis gossypii	Aphelinus asychis Diaeretiella rapae Aphelinus flavipes Aphelinus mali Aphelinus varipes Aphidius colemani Aphidius matricariae Binodoxys acalephae Binodoxys angelicae Ephedrus persicae Lipolexis gracilis Lysiphlebus fabarum Lysiphlebus testaceipes Praon volucre
Aphis lambersi	Aphidius salicis Lysiphlebus fabarum
Aphis spiraecola	Binodoxys angelicae Aphelinus mali Aphidius colemani Aphidius matricariae Binodoxys acalephae Diaeretiella rapae

	<i>Ephedrus plagiator</i>
	<i>Lysiphlebus fabarum</i>
<i>Aulacorthum solani</i>	<i>Aphelinus asychis</i>
	<i>Aphidius urticae</i>
	<i>Aphelinus flavipes</i>
	<i>Diaeretiella rapae</i>
	<i>Aphidius ervi</i>
	<i>Praon volucre</i>
	<i>Aphidius matricariae</i>
	<i>Aphidius salicis</i>
<i>Cavariella aegopodii</i>	<i>Ephedrus helleni</i>
	<i>Binodoxys heraclei</i>
	Aucun
<i>Cavariella archangelicae</i>	Aucun
<i>Cavariella konoii</i>	Aucun
<i>Cavariella pastinacae</i>	Aucun
<i>Cavariella theobaldi</i>	Aucun
<i>Dysaphis angelicae</i>	Aucun
<i>Dysaphis apiifolia</i>	<i>Binodoxys angelicae</i>
	<i>Ephedrus dysaphidis</i>
	<i>Ephedrus persicae</i>
	<i>Lysiphlebus fabarum</i>
	<i>Praon volucre</i>
<i>Dysaphis bonomii</i>	Aucun
<i>Dysaphis crataegi</i>	<i>Binodoxys angelicae</i>
	<i>Ephedrus dysaphidis</i>
	<i>Ephedrus persicae</i>
	<i>Lysiphlebus fabarum</i>
	<i>Praon volucre</i>
<i>Dysaphis foeniculus</i>	<i>Binodoxys angelicae</i>
	<i>Ephedrus dysaphidis</i>
	<i>Ephedrus persicae</i>
	<i>Lysiphlebus fabarum</i>
	<i>Praon volucre</i>
<i>Hyadaphis coriandri</i>	Aucun
<i>Hyadaphis foeniculi</i>	<i>Aphelinus daucicola</i>
	<i>Aphelinus varipes</i>
	<i>Ephedrus persicae</i>
	<i>Diaeretiella rapae</i>
	<i>Praon volucre</i>
<i>Hyadaphis passerinii</i>	Aucun
<i>Lipaphis erysimi</i>	<i>Aphidius matricariae</i>
	<i>Diaeretiella rapae</i>
	<i>Ephedrus nacheri</i>
	<i>Lysaphidus erysimi</i>
	<i>Praon volucre</i>
<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	<i>Aphelinus abdominalis</i>
	<i>Aphelinus asychis</i>
	<i>Aphidius ervi</i>

	<i>Aphidius picipes</i>
	<i>Aphidius urticae</i>
	<i>Ephedrus plagiator</i>
	<i>Praon volucre</i>
	<i>Toxares deltiger</i>
<i>Myzus ascalonicus</i>	Aucun
<i>Myzus ornatus</i>	Aucun
<i>Myzus persicae</i>	<i>Aphelinus abdominalis</i>
	<i>Aphelinus asychis</i>
	<i>Aphelinus mali</i>
	<i>Aphidius colemani</i>
	<i>Aphidius ervi</i>
	<i>Aphidius matricariae</i>
	<i>Aphidius picipes</i>
	<i>Binodoxys angelicae</i>
	<i>Diaeretiella rapae</i>
	<i>Ephedrus cerasicola</i>
	<i>Ephedrus persicae</i>
	<i>Ephedrus plagiator</i>
	<i>Lysiphlebus confusus</i>
	<i>Lysiphlebus fabarum</i>
	<i>Praon staryi</i>
	<i>Praon volucre</i>
<i>Pemphigus phenax</i>	<i>Aphelinus nikolskajae</i>
	<i>Monoctonia vesicarii</i>
<i>Semiaphis dauci</i>	Aucun

 	Diplôme: Master Mention : Biologie Végétale (BV) Parcours : Gestion de la Santé des Plantes
Auteur(s) : Fadwa Houari Date de naissance* : 11/03/1996	Organisme d'accueil : Biobest France Adresse : 294 rue Rousanne, 84100 ORANGE
Nb pages : 28 Annexe(s) : 1	Maître de stage : Azélie LELONG
Année de soutenance : 2023	
Titre français : Étude de l'efficacité de <i>Micromus angulatus</i> dans la lutte contre le puceron en culture sous serre	
Titre anglais : Study of the Efficacy of <i>Micromus angulatus</i> in Controlling Aphids in Greenhouse Cultivation	
<p><i>Micromus angulatus</i> (Stephens, 1836) est une espèce de la famille des Hemerobiidae, largement répandue en Europe, en Amérique du Nord et en Asie du Nord, dont les larves et les adultes sont de voraces prédateurs de pucerons. Il a récemment été introduit dans les méthodes de lutte biologique contre le puceron en Europe, et en particulier en France. Notre étude vise à évaluer le potentiel d'action de <i>M. angulatus</i> dans la régulation des populations de pucerons dans différentes cultures sous serre, notamment les cultures de fraises et de fenouils. Nous avons constaté que le lâcher de <i>M. angulatus</i> dans les cultures de fraises, à raison de 25 individus par mètre linéaire, était efficace pour la régulation des premiers foyers de pucerons. De plus, la combinaison de <i>M. angulatus</i> avec le traitement Oïkos® à raison de 55 individus par mètre carré a efficacement contrôlé les populations de pucerons dans les cultures de fenouil en sol. Dans les cultures de fraises hors sol, en association avec le fongicide Thiovit® Jet, un lâcher de <i>M. angulatus</i> à 20 individus par mètre linéaire a significativement réduit les pucerons par rapport à un lâcher de 40 individus par mètre linéaire. Cependant, la dispersion de <i>M. angulatus</i> demeure limitée, malgré son efficacité dans la régulation des pucerons dans les zones de lâcher. L'association de <i>M. angulatus</i> avec <i>Chrysoperla carnea</i> n'a pas montré de régulation des pucerons sous le traitement Thiovit® Jet, mais une synergie a été observée entre <i>M. angulatus</i> et ce traitement.</p>	
<p><i>Micromus angulatus</i> (Stephens, 1836) is a species of the Hemerobiidae family, widely distributed in Europe, North America, and Northern Asia, with both larvae and adults being voracious aphid predators. It has recently been incorporated into biological control methods against aphids in Europe, particularly in France. Our study aims to assess the potential action of <i>M. angulatus</i> in regulating aphid populations in different greenhouse crops, notably in strawberry and fennel. We observed that releasing <i>M. angulatus</i> in strawberry crops, at a density of 25 individuals per linear meter, effectively controlled initial aphid infestations. Additionally, the combination of <i>M. angulatus</i> with the Oïkos® treatment, at a density of 55 individuals per square meter, successfully managed aphid populations in soil-grown fennel crops.</p>	
<p>In soilless strawberry cultivation, when combined with the Thiovit® Jet fungicide treatment, releasing <i>M. angulatus</i> at 20 individuals per linear meter significantly reduced aphids compared to a release of 40 individuals per linear meter. However, the dispersal of <i>M. angulatus</i> remains limited despite its efficacy in regulating aphids within release zones. The combination of <i>M. angulatus</i> with <i>Chrysoperla carnea</i> did not exhibit aphid regulation under the Thiovit® Jet treatment, but a synergy was observed between <i>M. angulatus</i> and this treatment.</p>	
Mots-clés : <i>Micromus angulatus</i> , <i>Chrysoperla carnea</i> , fraise, fenouil, puceron, préation , lutte biologique, axillaires.	
Key Words: <i>Micromus angulatus</i> , <i>C. carnea</i> , strawberry, fennel, aphid, predation, biological control, axillaries	