

**DEVELOPPEMENT D'UN SYSTEME DE PLANTE-RESERVOIR CONTRE LE PUCERON DE LA  
DIGITALE A BASSE TEMPERATURE**

**UQAM-1-13-1652**

DURÉE DU PROJET : 05-2014 / 05-2017

**RAPPORT FINAL**

Réalisé par :  
Marc Fournier, Ymilie Bellefeuille et Éric Lucas  
Université du Québec à Montréal (UQAM)

7 mars 2017

Les résultats, opinions et recommandations exprimés dans ce rapport émanent de l'auteur ou des auteurs et n'engagent aucunement le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ).

## DEVELOPPEMENT D'UN SYSTEME DE PLANTE-RESERVOIR CONTRE LE PUCERON DE LA DIGITALE A BASSE TEMPERATURE

UQAM-1-13-1652

### RÉSUMÉ DU PROJET

Le puceron de la digitale (*Aulacorthum solani*) est un problème émergent dans les productions sous abris depuis quelques années au Québec. Il cause de plus en plus de dommages dans le poivron, les fines herbes et certaines plantes ornementales (fleurs annuelles et vivaces). Le puceron de la digitale, contrairement aux autres pucerons, se reproduit très bien à des températures basses, entre 10 et 20 °C (Jandricic et al. 2010). Le problème majeur est que la grande majorité des agents de lutte biologique commercialement disponibles ne sont pas efficaces contre le puceron de la digitale. Ils se développent trop lentement pour être efficaces. S'il n'existe pas de prédateur ou de parasitoïde disponible commercialement pour le contrôle d'un ravageur, la lutte chimique s'avère la seule option. Quelques producteurs utilisent des parasitoïdes tels que *Aphidiuservi* et *Aphelinus abdominalis* pour le contrôler, mais uniquement quand les températures dans la serre sont supérieures à 18 °C. Étant donné que la salive de ce puceron est toxique et cause des malformations aux feuilles, la grande majorité des producteurs ont recours à des insecticides (particulièrement à des néonicotinoïdes (Intercept)) pour contrôler ce puceron.

Par contre, certains insectes prédateurs de pucerons comme les syrphes peuvent se développer à des températures inférieures à 4 °C (Honek et Kocourek 1988). L'eupéode d'Amérique, *Eupeodes americanus* est une espèce abondante, présente à travers tout le territoire nord-américain (incluant le Québec) et il est polyphage (consomme plus de 25 espèces de pucerons; Vockeroth et al. 1992). Aucune donnée sur les seuils thermiques de développement n'a été publiée pour cette espèce. Toutefois, les jeunes larves consomment des pucerons au réfrigérateur à 4 °C (observation personnelle). Ce seuil thermique de développement est cohérent avec le seuil thermique de d'autres espèces de syrphes qui se situe entre 5 et 7 °C (Hart et al. 1997; Honek et Kocourek 1988).

*Leucopis annulipes* ou chamaemyide annelé (Chamaemyiidae) est indigène au Québec. La larve est un prédateur furtif se nourrissant de pucerons dans les colonies sans déclencher les mécanismes de défense (Fréchette et al. 2008). L'avantage de *Leucopis* est qu'il nymphose directement sur la plante contrairement à la cécidomyie du puceron qui nymphose au sol. Sa biologie est méconnue et il n'existe pas de données sur les seuils thermiques d'activité. Des observations préliminaires nous laissent penser que son seuil thermique se situerait entre 8 et 10 °C.

Les plantes réservoirs sont des systèmes qui utilisent une plante, une proie alternative et un prédateur. La plante sert de support à la proie alternative, qui n'est pas un ravageur de la culture à protéger. La proie alternative sert à son tour de nourriture à un prédateur. Les larves prédatrices présentes sur les plantes réservoirs ainsi que les adultes produits peuvent se disperser directement dans la culture à protéger. Les larves des deux agents de lutte biologique choisis sont très mobiles et peuvent se déplacer sur

de grandes distances. Nous testerons cette approche. Des systèmes de plantes réservoirs ont été testés pour des syrphes (Huang et al. 2011), mais jamais dans une optique de contrôle du puceron de la digitale. Le chamaemyide annelé n'a jamais été évalué comme prédateur dans un système de plantes réservoirs.

## **OBJECTIFS ET APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE**

Le but du projet était de développer un système de plantes réservoirs avec l'un des deux prédateurs indigènes pour le contrôle du puceron de la digitale; *Eupeodes americanus*, un syrphe et *Leucopis annulipes*, un chamaemyide. Ce projet s'inscrit dans un programme de développement de nouveaux agents de lutte biologique au sein du Laboratoire de Lutte Biologique de l'Université du Québec à Montréal (UQAM).

L'objectif général du projet était de développer un système de plantes réservoirs et de tester deux agents de lutte biologique qui pourraient contrôler le puceron de la digitale à basse température en serre ornementale. Les objectifs spécifiques étaient les suivants :

1. déterminer si les larves de syrphes et celles des chamaemyides peuvent contrôler le puceron de la digitale à basse température.
2. déterminer si les adultes des deux espèces peuvent voler et pondre à basse température.
3. évaluer en serre l'efficacité d'un système de plantes réservoirs avec le meilleur agent de lutte biologique.

Pour ce faire, le projet a été réalisé en trois volets :

**Volet 1 :** Nous avons testé en chambre de croissance pour les deux espèces.

- 1 - La capacité de vol de l'eupéode d'Amérique et du chamaemyide annelé à 3 températures soit 12 °C, 15 °C et 18 °C;
- 2 - La voracité des larves à 12, 15 et 18 °C;
- 3 - La capacité de ponte aux 3 mêmes températures.

**Volet 2 :** Test préliminaire en serre à l'UQAM. À la lumière des résultats obtenus dans le cadre du premier volet, nous avons testé l'efficacité de l'eupéode d'Amérique avec la plante réservoir pour la répression du puceron de la digitale en cage dans une serre expérimentale.

**Volet 3 :** Test en serre de production. Nous avons testé le système établi au volet précédent, dans les serres commerciales Sylvain Cléroux qui produisent des Bégonias et d'autres plantes ornementales.

**La section suivante décrit la méthodologie employée pour la réalisation des différents volets du projet.**

**Volet 1.1 - Capacités de vol de l'eupéode d'Amérique et du chamaemyide annelé à basse température.**

Les pucerons de la digitale ont été fournis par la Dr. Rose Buitenhuis du centre de recherche Vineland Research and Innovation Centre en Ontario au Canada. La plante hôte utilisée pour l'élevage des pucerons était du poivron de 10 feuilles de la variété

Aristote. Les plantes ont été produites dans une serre de l'UQAM dans des cages de mousseline pour éviter la contamination éventuelle par d'autres insectes. Les pucerons étaient gardés dans une cage de mousseline de 35 cm X 35 cm X 35 cm, dans une chambre de croissance à une photopériode de 16 L : 8 O, 60 % H.R. et à une température de 18 °C. Les eupéodes d'Amérique ont été récoltés sur des plantes de *Phlox* sp. à Sainte-Agathe-de-Lotbinière (N 46°23'726" O 71°21'446"). Nous avons utilisé la méthode de Frazer 1972 pour élever les syrphes. Nous avons utilisé des pucerons verts du pêcher (*Myzus persicae*) sur des plantes de pomme de terre (*Solanum tuberosum*) comme nourriture pour les larves de syrphes. Les chamaemyides annelés ont été récoltés sur des pommiers sur les terrains de l'UQAM en 2010. Nous avons également utilisé des pucerons verts du pêcher (*Myzus persicae*) sur des plantes de pomme de terre (*Solanum tuberosum*) comme nourriture pour les larves dans des cages de mousseline 35 cm X 35 cm X 35 cm, dans une chambre de croissance à une photopériode de 16 L : 8 O, 70 % H.R. et à une température de 24 °C.

Nous avons opté pour des observations visuelles des deux insectes. Les adultes des deux espèces étaient récoltés dans la cage d'élevage et placés dans une cage de mousseline de 35 cm X 35 cm X 35 cm contenant un plant de pomme de terre sans puceron. Les mouches étaient âgées de 18 à 36 heures au moment du test. Nous avons utilisé pour le test de vol un minimum de 16 mâles et 17 femelles. Les individus avaient une période d'acclimatation de 30 minutes avant le début du test.

Nous avons utilisé une boîte de plexiglas de 30 cm largeur X 30 cm longueur X 27 cm de hauteur, avec deux ouvertures de 16 cm X 16 cm (Figure 1) placée dans une chambre de croissance de marque Conviron. La luminosité de la chambre était de 7 000 LUX et la H.R. de 60 %. Les individus étaient testés un à la fois. L'individu était placé au centre et nous observions leur comportement durant 10 minutes. Pour chaque individu, nous notions la présence et l'absence de vol actif et le délai avant l'envol. Des tests ont été effectués à 3 températures différentes soit 18, 15 et 12 °C pour chaque groupe. Une sonde numérique de température HOBO a été utilisée pour calibrer la température à l'intérieur de la cage de vol. Le résultat pour un individu était éliminé si la température dépassait la marge de  $\pm 1$  degré Celsius de la température désirée. La moyenne de la température durant les tests à 18 °C ont été de  $17,9 \pm 0,5$  °C, de  $14,6 \pm 0,5$  °C à 15 °C et de  $11,8 \pm 0,6$  °C pour les tests à 12 °C.



Figure 1. Boîte de vol

**Analyse statistique.** Pour toutes les analyses, nous avons utilisé le logiciel JMP 12. Nous avons utilisé un test de Chi-Carré pour comparer les pourcentages de vol selon les 3 différentes températures. Nous avons utilisé une ANOVA à un critère pour l'analyse des délais de vol. Nous avons utilisé un test de comparaison multiple de Tukey HSD pour identifier les traitements qui étaient significativement différents entre eux. Finalement, nous avons utilisé une régression logistique pour évaluer la température à laquelle 95 %, 90 %, 75 % et 50 % de la population vole. Nous avons comparé les mâles aux femelles pour vérifier s'il y avait des différences entre les deux sexes pour le délai avant le vol actif et le % de vol. Il n'y avait aucune différence entre les mâles et femelles donc les données groupées seront présentées

## **Volet 1.2 – Voracité des larves de l'eupéode d'Amérique et du chamaemyide annelé à basse température.**

Le dispositif expérimental était un cylindre transparent ventilé par deux fenêtres de 12 cm X 12 cm. Le cylindre mesurait 18 cm de diamètre, 45 cm de hauteur et était muni d'un couvercle ventilé (Figure 4). Un plant de poivron était installé dans le cylindre puis 30 pucerons de la digitale de stade II étaient déposés sur le plant. Après 24 heures, une jeune larve de stade I de l'eupéode d'Amérique ou du chamaemyide annelé était déposée sur le plant. Des plants avec 30 pucerons sans prédateur servaient de témoin pour chaque température. L'activité des larves prédatrices a été testée à 3 températures soit 18 °C, 15 °C et 12 °C. La température était enregistrée avec une sonde numérique de type HOBO. Si la température de la chambre variait de  $\pm 1$  °C ou que la mortalité dans le témoin dépassait 10 %, le réplica était annulé. Pour laisser le plus de temps possible aux larves de mouche de consommer le plus grand nombre de pucerons, nous avons utilisé une durée de 75 degrés jours sous le seuil de 3 °C. À cette température, les pucerons passaient du stade II jusqu'à l'adulte sans se reproduire. La durée du test (pour 75 DJ) était de 5 jours à 18 °C, de 6 jours et 6 heures à 15 °C et de 8 jours et 8 heures à 12 °C. À la fin de la période de test, le nombre de pucerons vivants était compté. Pour calculer la consommation, on a soustrait le nombre de pucerons vivants au nombre de pucerons initial (30). Nous avons également calculé la consommation quotidienne en divisant la consommation totale par la durée du test. L'expérience a été répétée quatre fois et chaque réplica était constitué de 7 cylindres par température et de 4 témoins. Nous attribuons, la température aux chambres de croissance de façon aléatoire.



Figure 4. Cylindre expérimental

**Analyses statistiques.** Nous avons effectué une ANOVA pour comparer les quatre blocs de répétitions pour une même température pour la consommation totale et journalière. Il n'y avait aucune différence entre les blocs pour les deux espèces testées pour aucune température. Donc, nous présenterons ici les données groupées, analysées par une Anova à un critère (température). Nous avons utilisé un test de comparaison multiple de Tukey HSD pour identifier les traitements qui étaient significativement différents entre eux. Nous avons comparé les blocs

## **Volet 1.3 – Ponte de l'eupéode d'Amérique et du chamaemyide annelé à basse température.**

Un dispositif similaire à celui de l'expérience du volet 1.2 a été utilisé pour ce volet. Un mâle et une femelle de l'eupéode d'Amérique âgés de moins de 24 h étaient introduits dans le cylindre contenant une fausse fleur. La fausse fleur était constituée d'un tampon démaquillant imbibé à saturation d'un mélange d'eau et de miel (3:1 v/v), sur lequel on plaçait du pollen d'abeille. Nous ajoutons du sucre sur le couvercle et l'intérieur des cylindres était vaporisé d'eau 2 fois par jour. Deux cents pucerons étaient mis sur le plant de poivron. Après 7 jours, nous notions si le mâle et/ou la femelle étaient toujours vivants. Seuls les tests où la femelle était vivante après 7 jours étaient comptabilisés. Par la suite, nous inspections le plant pour trouver des œufs et nous comptons ceux qui étaient présents. Un second test d'une durée de 14 jours a été effectué à 12 °C pour

s'assurer que le temps de maturation des œufs n'était pas supérieur à 7 jours. Le même dispositif était utilisé pour le chamaemyide annelé, à l'exception du fait que nous ajoutons un contenant de type "Solo" de 1,5 once contenant un mélange de levure de bière et de sucre (1:1 v/v) (conditions optimales d'élevage, voir Gaimari et al. 1996).

**Analyses statistiques.** Nous avons utilisé un test de Chi-Carré pour analyser l'effet des différentes températures sur la proportion de femelles ayant pondu. Pour le nombre d'œufs, nous avons utilisé une ANOVA à un critère. Nous avons utilisé un test de comparaison multiple de Tukey HSD pour identifier les traitements qui étaient significativement différents entre eux. Finalement, nous avons utilisé une régression logistique pour évaluer la température à laquelle 95 %, 90 %, 75 % et 50 % de la population se reproduit.

## Volet 2 – Expérience en serre expérimentale

Nous avons utilisé un système de plantes réservoirs constitué d'un plant d'orge (*Hordeum vulgare*) et du puceron bicolore des céréales (*Rhopalosiphum padi*) et nous avons utilisé l'eupéode d'Amérique comme agent de lutte biologique. L'expérimentation a été effectuée dans une serre, maintenue à 18°C, à l'Université du Québec à Montréal. Nous avons utilisé de 8 à 12 cages en bois d'une dimension de 91,44 cm X 91,44 cm X 60,96 cm. Les cages étaient recouvertes de mousseline et possédaient deux portes d'accès pour faciliter l'échantillonnage des plants. La base des cages était recouverte d'un carton quadrillé servant à indiquer la position des plants. Dans chaque cage, 24 plants de poivrons de 6 à 8 feuilles (variété Aristote) étaient disposés en 4 rangées de 6 plants. Chaque rangée était espacée de 20 cm et chaque plant était séparé de 10 cm au long de la rangée. Chaque plant de poivron était inoculé avec un puceron de la digitale adulte non ailée. Après 24 heures, une plante réservoir contenant environ 500 pucerons bicolores des céréales a été introduite dans la cage en bordure des plants de poivrons. Par la suite, deux jeunes syrphes adultes (1 mâle et 1 femelle) étaient introduits dans la cage. Dans chaque pot d'orge, une baguette de bois munie d'un coton imbibé d'un mélange d'eau et de miel ainsi que de pollen servait de fleur artificielle aux prédateurs. Le coton était changé une fois par semaine.

Nous avons échantillonné de façon aléatoire deux plants de poivrons par rangée par cage, soit huit plants par cage. Pour chacun des plants échantillonnés, le nombre de pucerons a été compté sur deux feuilles choisies aléatoirement, en excluant l'apex de la plante. Les feuilles étaient par la suite remises dans la culture au pied du plant échantillonné pour ne pas modifier la croissance de la population. Le nombre moyen de pucerons par plant était calculé après 2, 3, 4, 5 et 6 semaines. Nous avons deux traitements : a) l'eupéode d'Amérique avec la plante réservoir et b) un témoin avec une plante réservoir uniquement. La température et l'humidité relative ont été mesurées avec une sonde numérique de type HOBO. Les plants étaient fertilisés toutes les semaines avec de l'engrais (20-20-20). La plante réservoir était renouvelée à chaque semaine. Les vieilles plantes réservoirs pour les traitements avec les prédateurs étaient gardées à proximité des nouvelles plantes réservoirs pour permettre aux syrphes effectuer leur nymphose au sol. Nous avons fait deux répétitions de l'expérience. Le premier bloc de l'expérience de 4 cages témoins et de 4 cages traitements a eu lieu entre le 8 janvier et le 19 février 2016 et le deuxième bloc de 6 cages témoins et de 6 cages traitements du 1<sup>er</sup> mars au 12 avril 2016.

À la fin de l'expérience, le nombre de syrphes présents dans la cage était compté et les individus ont été sexés. Chacune des plantes réservoirs était mise dans un cylindre transparent pour récupérer les adultes de syrphes qui pouvaient émerger dans les trois semaines suivantes. Ces données nous ont permis d'évaluer le nombre d'individus produits par un couple de syrphes avec un système de plantes réservoirs.

**Analyse statistique.** Nous avons utilisé une ANOVA factorielle en mesures répétées pour comparer l'effet des traitements, de la semaine et du bloc sur le nombre de pucerons moyen par cage. Nous avons utilisé JMP 12 avec l'application "Repeated Mesures Full-Factorial design (Mixed-Model)" pour faire les calculs. Il y avait plus de pucerons dans le bloc 2 (21,7 pucerons  $\pm$  4,6 à la 6<sup>e</sup> semaine) que pour le bloc 1 (8,3 pucerons  $\pm$  0,8). La température était 1 °C plus élevée dans le bloc 2 que dans le bloc 1 et les plants de poivron ont probablement eu une meilleure croissance due à l'augmentation de l'éclairage naturel dans les serres. À cause de l'interaction triple entre le traitement, la date et le bloc, nous avons utilisé les pentes de croissance de la population de pucerons pour chaque traitement par bloc en utilisant les estimés du "Indicator Function Parameterization. Nous avons utilisé des Chi-Carré pour comparer le ratio des sexes dans les deux blocs. Finalement, nous avons utilisé des corrélations de Spearman pour vérifier l'association entre le nombre de syrphes produits par le système de plantes réservoirs et la densité de pucerons à la 6<sup>e</sup> semaine.

### **Volet 3 – Expérience en cage en serre commerciale**

Les tests ont été effectués dans deux serres de Bégonia (27 m X 200 m) chez les Serres Cléroux situé à Mirabel, dans le nord de la région de Montréal. Nous avons tenté de recruter d'autres producteurs, mais la plupart produisent des graminées ornementales dans leurs serres et la présence de plants d'orge et de pucerons bicolores des céréales représentaient un obstacle majeur pour eux. Nous avons fait des prétests et nous avons constaté que le puceron de la digitale et le puceron bicolore des céréales étaient incapables de se reproduire sur les différentes variétés de *Begonia semperflorens*. L'expérience s'est déroulée à la température de production dans deux serres. La première semaine, afin de favoriser l'enracinement, la température est maintenue entre 19-20 °C, puis pour le reste de la production la température est abaissée à 17°C. Nous avons utilisé la moitié de la serre pour laisser une zone tampon entre nos expériences et le corridor du complexe de serre. Les cassettes de fleurs étaient directement disposées sur le sol. Dans chaque serre, nous avons disposé quatre plantes réservoirs inoculées avec 10 larves de stade 1 âgées de moins de 24 heures. Les plantes réservoirs étaient disposées dans le centre de la serre avec des fleurs artificielles telles que décrites dans le volet 2. Chaque semaine, quatre nouvelles plantes réservoirs étaient introduites dans la serre à côté des anciennes. Chaque semaine, dix syrphes adultes (5 ♂ et 5 ♀) étaient relâchés dans la serre. Dans chaque serre, nous avons disposé 10 cages de 25,4 cm X 25,4 cm X 60,96 cm. Cinq cages étaient ouvertes (seulement avec le cadre de bois) et les 5 autres étaient fermées (cage de bois avec de la mousseline sur les 5 côtés et une porte en velcro) pour empêcher les syrphes d'avoir accès aux pucerons. Les cages étaient disposées d'une façon aléatoire dans la serre. Chaque cage contenait un plant de poivron de 6 à 8 feuilles de la variété Aristote. Deux pucerons adultes ont été déposés sur chaque plant. Les plants étaient arrosés au besoin avec de l'eau et avec de l'engrais (20-20-20). Une sonde Hobo a été placée dans une cage pour suivre la température dans la serre. Une fois par semaine, nous dénombrions le nombre de pucerons sur les plants de poivrons ainsi que les œufs et les

larves de syrphes présents. Nous comptons également le nombre d'œufs et de larves trouvés dans les plantes réservoirs. La durée du test était de 6 semaines. L'expérience dans la première serre a duré du 31 mars au 12 mai. L'expérience dans la deuxième serre a duré du 13 avril au 25 mai. Le 6 avril, nous avons constaté que des fourmis étaient présentes dans les serres et qu'elles s'occupaient des pucerons sur les plantes réservoirs. Les fourmis avaient nettoyé les plantes réservoirs des larves de syrphes. La semaine suivante, nous avons modifié le protocole en ajoutant une bande de Tanglefoot® (colle pour insecte marchant) dans le centre de la partie extérieure de tous les pots de poivrons. Les plantes réservoirs ont été surélevées pour empêcher les plants d'orge d'entrer en contact avec les bégonias et la base des pots a également été enduite de Tanglefoot®. Un système anti-fourmis a été mis en place dans la deuxième serre dès la première semaine. À la fin de l'expérience, chacune des plantes réservoirs était mise dans un cylindre transparent pour récupérer les syrphes adultes qui auraient pu émerger dans les trois semaines suivantes (afin de confirmer que l'espèce était bien *Eupeodes americanus*).

**Analyse statistique.** Nous avons utilisé une ANOVA en mesures répétées pour comparer le nombre de pucerons par cage en fonction de sa condition (fermée ou ouverte). Les deux serres ont été analysées séparément puisqu'elles n'ont pas reçu exactement le même traitement. Nous avons utilisé des Chi-Carrés pour comparer le ratio des sexes dans les deux serres.



## RÉSULTATS SIGNIFICATIFS OBTENUS

### Volet 1.1 - Capacités de vol de l'eupéode d'Amérique et du chamaemyide annelé à basse température

Les pourcentages de vol pour l'eupéode d'Amérique et le chamaemyide annelé selon les trois températures sont présentés au tableau 1. Pour l'eupéode d'Amérique, tous les individus s'envolaient à 18 °C et la grande majorité (94 %) s'est envolée à 15 °C. Cependant, le pourcentage d'individus qui volaient a chuté à 13 % à 12 °C ( $X^2 = 142.1$ ,  $df = 2$ ,  $p = 0.0001$ ,  $n = 161$ ; Tableau 1, Figure 2). Pour cette même espèce, le pourcentage d'individu qui volait était semblable à 18 et 15 °C, mais il a été significativement inférieur pour le groupe à 12 °C (Figure 2). Pour le chamaemyide annelé, 99 % des individus se sont envolés à 18 °C tandis que seulement 24 % des individus ont effectué un vol actif à 15 °C à 12 °C, le pourcentage des individus qui volaient a baissé à 8 % ( $X^2 = 88.2$ ,  $df = 2$ ,  $p = 0.0001$ ,  $n = 158$ ; Tableau 1, Figure 2). Pour les deux espèces, le pourcentage d'individus volant a diminué significativement avec la diminution de la température. La proportion des syrphes qui volaient était supérieure à celle des chamaemyides qui volaient à 18 et 15 °C (Figure 2).

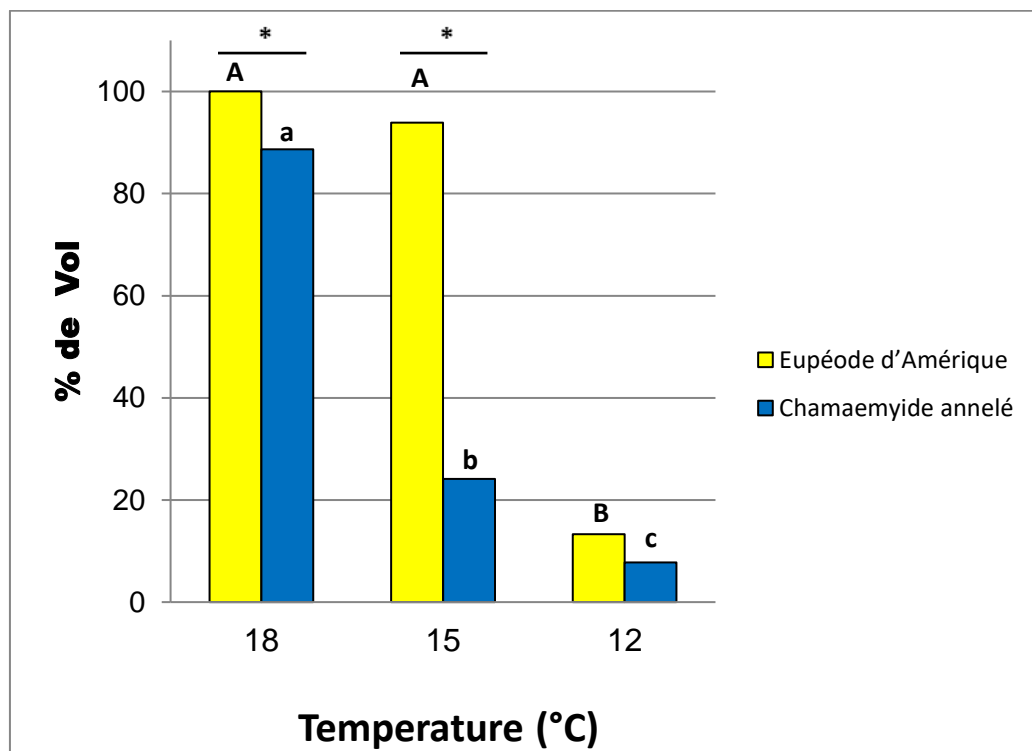


Figure 2. Pourcentage de vol selon 3 différentes températures pour l'eupéode d'Amérique (*Eupeodes americanus*) et le chamaemyide annelé (*Leucopis annulipes*). Les traitements avec une lettre différente sont significativement différents ( $p < 0.05$ ). Les lignes avec un astérisque montrent une différence significative entre les deux prédateurs par température. Les valeurs sont les moyennes et les erreurs types.

Tableau 1. Pourcentage de vol pour l'eupéode d'Amérique (*Eupeodes americanus*) et le chamaemyide annelé (*Leucopis annulipes*) qui ont fait un vol actif. Les données sont le pourcentage de vol pour les mâles, les femelles et les données regroupées. Les valeurs entre parenthèses représentent le nombre d'individus ayant volé comparativement au nombre total d'individus.

T°	Eupéode d'Amérique			Chamaemyide annelé		
	Male (%)	Femelle (%)	Total (%)	Male (%)	Femelle (%)	Total (%)
18 °C	<b>100</b> (37/37)	<b>100</b> (32/32)	<b>100</b> (69/69)	<b>92,3</b> (24/26)	<b>85,2</b> (23/27)	<b>88,7</b> (47/53)
15 °C	<b>87,5</b> (14/16)	<b>100</b> (17/17)	<b>93,9</b> (31/33)	<b>23,1</b> (6/26)	<b>25,0</b> (7/28)	<b>24,1</b> (13/54)
12 °C	<b>9,1</b> (2/22)	<b>16,2</b> (6/37)	<b>13,6</b> (8/59)	<b>7,4</b> (2/27)	<b>8,3</b> (2/24)	<b>7,8</b> (4/51)

Les délais avant l'envol sont présentés au tableau 2. Les délais avant l'envol ont varié selon les 3 différentes températures pour l'eupéode d'Amérique ( $F = 11.7$ ,  $df = 2.105$ ,  $P = 0.0001$ ; Tableau 2, Figure 3). Le délai avant un vol actif a été semblable à 18 et 15 °C et il est significativement plus court que le délai de vol à 12 °C (Figure 3). Pour le chamaemyide annelé, les délais avant l'envol ont également varié selon les 3 températures ( $F = 17.2$ ,  $df = 2.61$ ,  $P = 0.0001$ ; Tableau 2, Figure 3). Le délai avant un vol actif a été semblable à 18 et 15 °C et a été significativement plus court que le délai de vol à 12 °C (Figure 3). Aucune différence entre les espèces pour une température donnée n'a été observée.

Tableau 2. Délai (en secondes) avant un vol actif pour l'eupéode d'Amérique (*Eupeodes americanus*) et le chamaemyide annelé (*Leucopis annulipes*). Les données représentent le nombre de secondes écoulées avant le vol pour les mâles, les femelles et les données moyennes pour les deux aphidiphages.

T°	Eupéode d'Amérique			Chamaemyide annelé		
	Mâle	Femelle	Total	Mâle	Femelle	Total
18 °C	61 ± 13 (n = 37)	56 ± 18 (n = 32)	59 ± 11 (n = 69)	53 ± 25 (n=24)	68 ± 31 (n=23)	60 ± 16 (n=47)
15 °C	87 ± 22 (n = 14)	99 ± 25 (n = 17)	94 ± 17 (n = 31)	81 ± 26 (n=6)	82 ± 48 (n=7)	82 ± 27 (n=13)
12 °C	250 ± 169 (n = 2)	231 ± 73 (n = 6)	236 ± 62 (n = 8)	426 ± 5 (n=2)	349 ± 55 (n=2)	387 ± 31 (n=4)

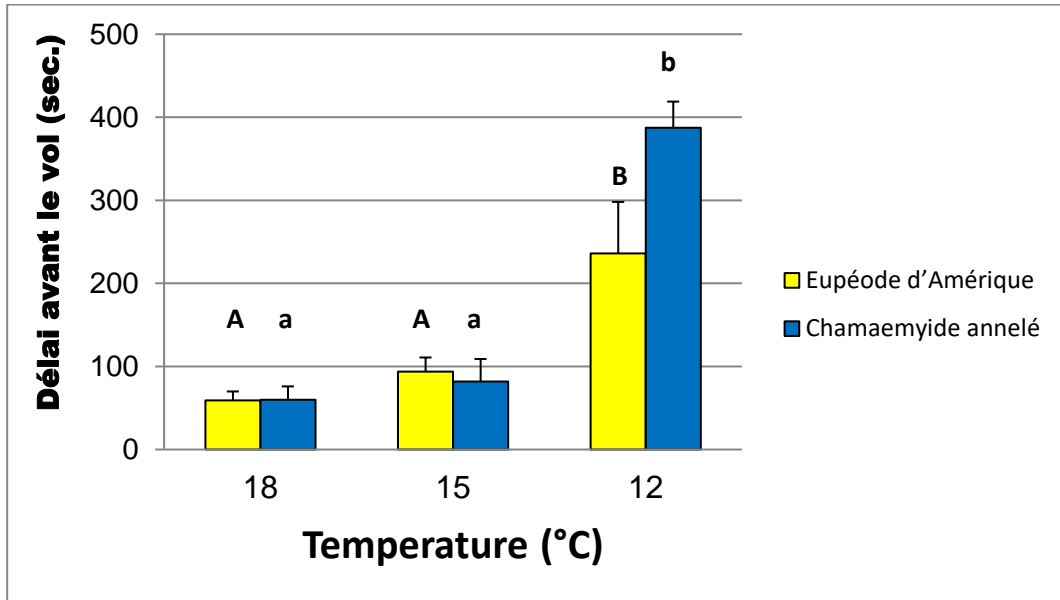


Figure 3. Délai avant le vol actif selon 3 différentes températures pour l'eupéode d'Amérique (*Eupeodes americanus*) et le chamaemyide annelé (*Leucopis annulipes*). Les traitements avec une lettre différente sont significativement différents ( $p < 0.05$ ). Les lettres majuscules sont pour l'eupéode d'Amérique et les lettres minuscules sont pour le chamaemyide annelé. Les valeurs sont les moyennes et les erreurs types.

Le tableau 3 indique les températures pour lesquelles 95 %, 90 %, 75 % et 50 % des populations de l'eupéode d'Amérique et du chamaemyide annelé ont effectué un vol. Les valeurs sont présentées avec les intervalles de confiance. La température à laquelle 95 % de la population de l'eupéode d'Amérique volait est basse, soit 15,1 °C. Elle est de 19,5 °C pour le chamaemyide annelé. À une température de 13,3 °C, 50 % de la population de l'eupéode d'Amérique volait, tandis que pour le chamaemyide annelé, la température à laquelle 50 % de la population volait était de 15,9 °C. Les températures pour lesquelles 95 %, 90 %, 75 % et 50 % de la population de l'eupéode d'Amérique volait étaient toujours inférieures comparativement à celles observées pour le chamaemyide annelé.

Tableau 3. Températures (°C) pour lesquelles 95 %, 90 %, 75 % et 50 % des populations de l'eupéode d'Amérique (*Eupeodes americanus*) et du chamaemyide annelé (*Leucopis annulipes*) volaient. Les valeurs représentent les températures de vol et les intervalles de confiance à 95 %.

	Eupéode d'Amérique (°C)	Chamaemyide annelé (°C)
95 %	15,1 [14,4 - 16,4]	19,5 [18,5 - 21,2]
90 %	14,6 [14,0 - 15,7]	18,6 [17,8 - 19,9]
75 %	13,9 [13,4 - 14,8]	17,3 [16,7 - 18,1]
50 %	13,3 [12,8 - 13,8]	15,9 [15,4 - 16,5]

Les syrphes ont conservé une bonne capacité de vol à des températures inférieures à 15 °C. En effet, 95 % des syrphes ont été en mesure de voler à cette température. Bien que les délais d'envol aient été plus longs lorsque la température baissait, une différence de seulement 30 secondes a été observée entre 18 et 15 °C. De plus, 50 % des syrphes étaient toujours actifs à 13,3 °C. Pour les chamaemyides, le pourcentage des individus ayant volé a chuté à 24 % à 15 °C. Par contre, les individus qui ont effectué un vol l'ont fait aussi rapidement que les syrphes, et ce, pour les trois températures. La température a dû être d'environ 16 °C pour que 50 % de la population soit active. Les résultats obtenus suggèrent que les syrphes ont une meilleure capacité de vol à basse température que les chamaemyides annelés.

### **Volet 1.2 – Voracité des larves de l'eupéode d'Amérique et du chamaemyide annelé à basse température.**

La consommation totale (à 75 DJ) des larves de syrphes n'a pas été significativement différente entre les 3 températures testées ( $F = 0,17$ ,  $df = 2,93$ ,  $p = 0.8437$ ; Figure 5). La consommation journalière a diminué significativement avec la température ( $F = 35,6$ ,  $df = 2,93$ ,  $p = 0.0001$ ; Figure 6). Le taux de consommation journalier le plus élevé a été de 4.5 pucerons/jour à 18 °C, suivi du taux de consommation de 3.6 pucerons/jour à 15 °C. Finalement, le taux de consommation le plus faible a été observé à 12 °C, soit de 2.8 pucerons/jour. La consommation totale des larves de chamaemyide annelé n'est pas significativement différente entre les 3 températures testées ( $F = 1,17$ ,  $df = 2,124$ ,  $p = 0.2774$ ; Figure 5). Également, le taux de consommation journalier n'est pas significativement différent aux 3 températures testées. ( $F = 1,30$ ,  $df = 2,124$ ,  $p = 0.2749$ ; Figure 6). Par contre, la consommation des syrphes a été significativement plus élevée à toutes les températures que celle des chamaemyides (Figure 5 et 6). Elle est de 3 à 4 fois plus supérieure (Figure 5) et la consommation journalière et de 2 à 3 fois plus grande (Figure 6).

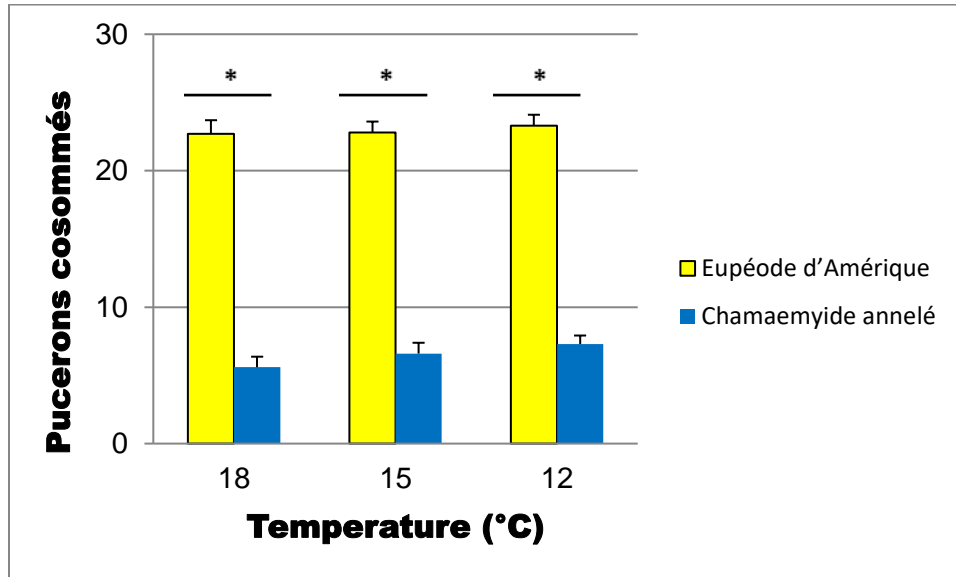


Figure 5. Consommation totale de pucerons de la digitale pour 3 températures pour l'eupéode d'Amérique (*Eupeodes americanus*) et le chamaemyide annelé (*Leucopis annulipes*). Les lignes avec un astérisque montrent une différence significative entre les deux prédateurs par température. Les valeurs sont les moyennes de pucerons consommés avec leur erreur-type.

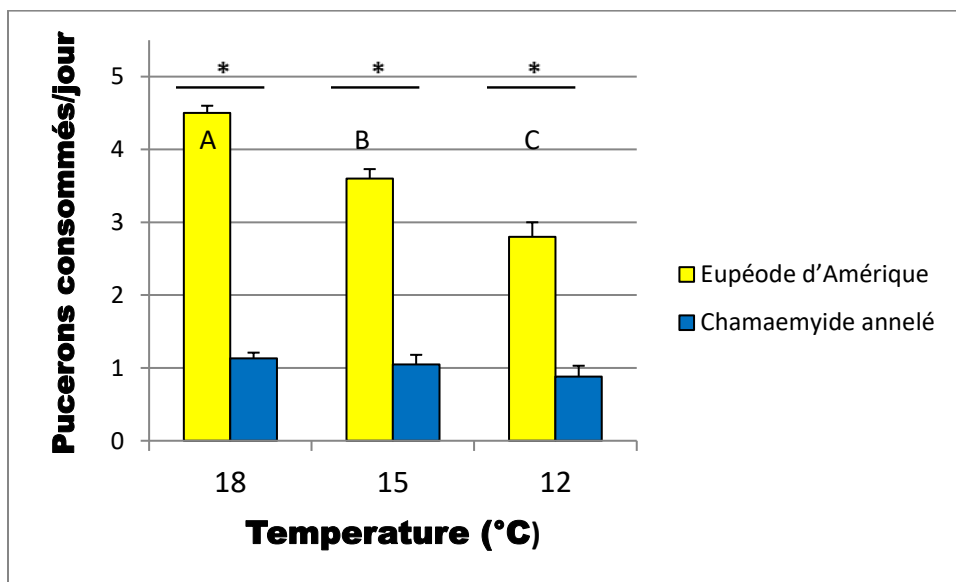


Figure 6. Consommation journalière de pucerons de la digitale par une larve de l'eupéode d'Amérique (*Eupeodes americanus*) et de chamaemyide annelé (*Leucopis annulipes*). Les valeurs sont les moyennes avec leur erreur-type. Les traitements avec une lettre différente sont significativement différents ( $p < 0.05$ ). Les lignes avec un astérisque montrent une différence significative entre les deux prédateurs par température.

Les larves de syrphe ont une bonne capacité de répression du puceron de la digitale à toutes les températures testées. Les larves de l'eupéode d'Amérique consomment toujours plus de pucerons que les larves du chamaemyide annelé. De plus, la période testée dans le projet correspond aux 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> stades larvaires du syrphe, alors que plus de 80 % de la consommation est faite au 3<sup>e</sup> stade larvaire (Schneider 1969).

### **Volet 1.3 – Ponte de l'eupéode d'Amérique et du chamaemyide annelé à basses températures.**

La proportion de femelles qui ont déposé des œufs sur le plant en 7 jours était significativement influencée par la température pour l'eupéode d'Amérique ( $X^2 = 44.4$ ,  $df = 2$ ,  $p = 0.0001$ ,  $n = 93$ ; figure 7) et pour le chamaemyide annelé ( $X^2 = 23.8$ ,  $df = 2$ ,  $p = 0.0001$ ,  $n = 109$ ; figure 7). Pour l'eupéode d'Amérique, la proportion de femelles ayant pondu à 12 °C était plus basse qu'à 15 et 18 °C. Pour le chamaemyide annelé, aucune femelle n'a pondu à 12 °C en 7 jours. La proportion de femelles ayant pondu à des températures de 15 et 18 °C a été semblable. La proportion de femelles de l'eupéode d'Amérique ayant pondu était de 2,3 à 4,8 fois plus supérieure à la proportion de femelles du chamaemyide annelé (Figure 7).

À 12 °C, si on prolonge la période de ponte de 7 jours supplémentaires (total de 14 jours), 94 % des femelles de l'eupéode d'Amérique pondent, comparativement à 21.2 % de chamaemyide annelé (Figure 8). La proportion de femelles ayant pondu est plus élevée à 14 jours comparativement à 7 jours pour l'eupéode d'Amérique ( $X^2 = 43.9$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0.0001$ ,  $n = 66$ ; Figure 8) et pour le chamaemyide annelé ( $X^2 = 13.4$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0.0003$ ,  $n = 80$ ; Figure 8). En 14 jours, la proportion de femelles de syrphe ayant pondu a été 4,4 fois plus grande que la proportion de chamaemyide annelé ayant pondu ( $X^2 = 41.8$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0.0001$ ,  $n = 67$ ; Figure 8).

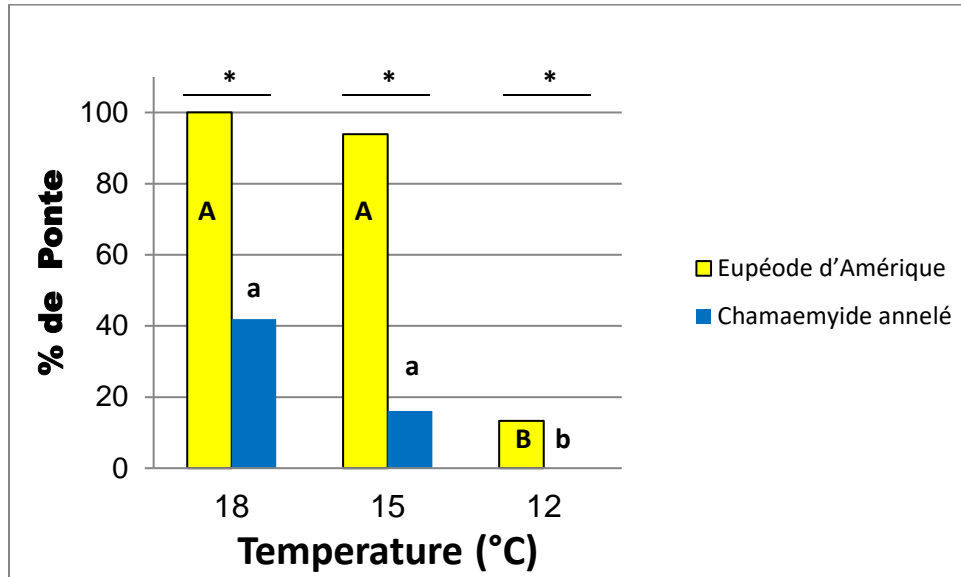


Figure 7. Pourcentage de femelles de l'eupéode d'Amérique (*Eupeodes americanus*) et de chamaemyide annelé (*Leucopis annulipes*) ayant pondu des œufs pour une durée de 7 jours. Les traitements avec une lettre différente sont significativement différents ( $p < 0.05$ ). Les lettres majuscules sont pour l'eupéode d'Amérique et les lettres minuscules sont pour le chamaemyide annelé. Les lignes avec un astérisque montrent une différence significative entre les deux prédateurs par température.

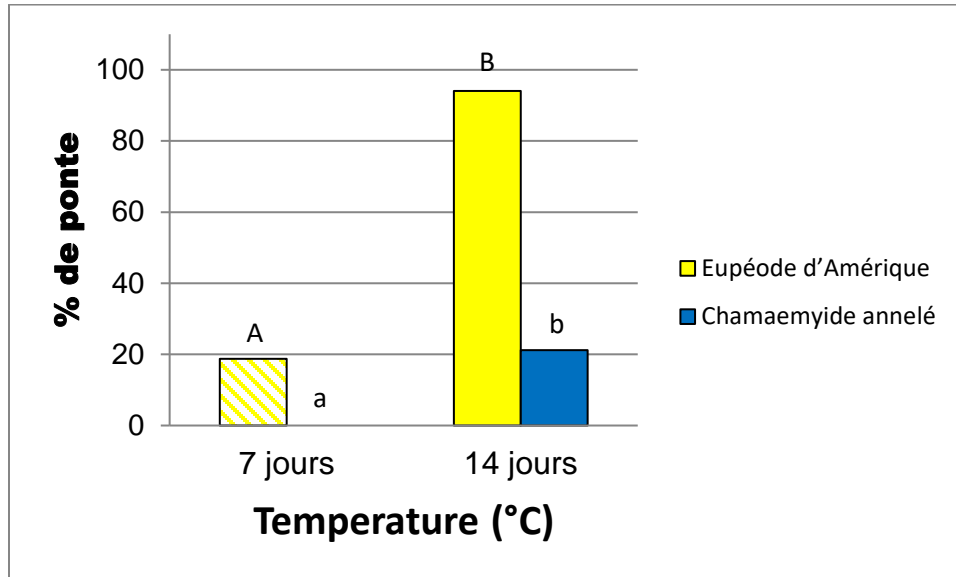


Figure 8. Pourcentage de femelles de l'eupéode d'Amérique (*Eupeodes americanus*) et de chamaemyide annelé (*Leucopis annulipes*) ayant pondu des œufs pour une durée de 7 jours et 14 jours à 12 °C. Les traitements avec une lettre différente sont significativement différents ( $p < 0.05$ ). Les lettres majuscules sont pour l'eupéode d'Amérique et les lettres minuscules sont pour le chamaemyide annelé. Les lignes avec un astérisque montrent une différence significative entre les deux prédateurs par température.

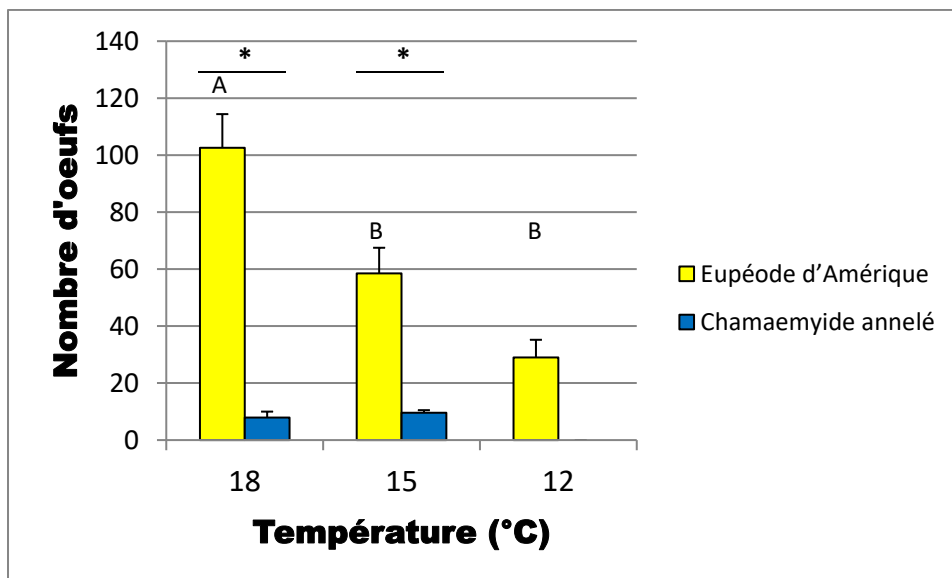


Figure 9. Nombre d'œufs pondus par des femelles de l'eupéode d'Amérique (*Eupeodes americanus*) et de chamaemyide annelé (*Leucopis annulipes*) pour une durée de 7 jours. Les traitements avec une lettre différente sont significativement différents ( $p < 0.05$ ). Les lettres majuscules sont pour l'eupéode d'Amérique et les lettres minuscules sont pour le chamaemyide annelé. Les lignes avec un astérisque montrent une différence significative entre les deux prédateurs par température.



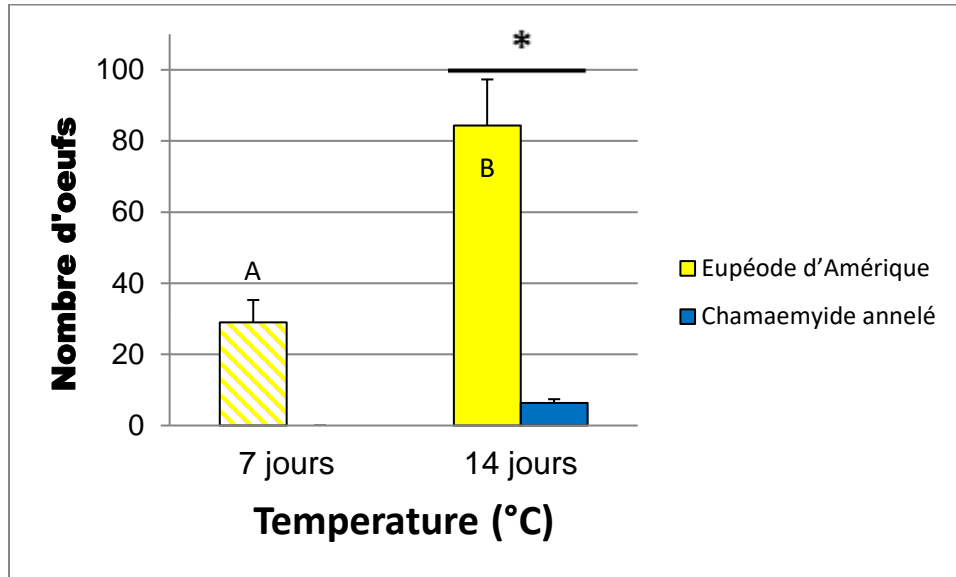


Figure 10. Nombre d'œufs pondus par des femelles de l'eupéode d'Amérique (*Eupeodes americanus*) et de chamaemyide annelé (*Leucopis annulipes*) pour une durée de 7 jours et 14 jours à 12 °C. Les traitements avec une lettre différente sont significativement différents ( $p < 0.05$ ). Les lettres majuscules sont pour l'eupéode d'Amérique et les lettres minuscules sont pour le chamaemyide annelé. Les lignes avec un astérisque montrent une différence significative entre les deux prédateurs par température.

Tableau 4. Température de ponte de 95 %, 90 %, 75 % et 50 % pour la population de l'eupéode d'Amérique (*Eupeodes americanus*) et du chamaemyide annelé (*Leucopis annulipes*). Les valeurs sont les températures de ponte et les intervalles de confiance à 95 %.

	Eupéode d'Amérique	Chamaemyide annelé
95%	17,1 °C [16,0 - 19,3]	23,5 °C [21,0 - 30,8]
90%	16,2 °C [15,4 - 18,0]	22,2 °C [20,2 - 28,3]
75%	15,0 °C [14,2 - 16,0]	20,4 °C [18,9 - 24,5]
50%	13,7 °C [12,9 - 14,4]	18,6 °C [17,5 - 20,9]

La moyenne d'œufs pondus par les femelles de l'eupéode d'Amérique a varié significativement en fonction de la température ( $F = 7.3$ ,  $df = 2,56$ ,  $p = 0.0015$ ; Figure 9). Le nombre d'œufs pondus a été plus élevé à 18 °C, mais aucune différence significative n'a été observée entre 15 et 12 °C (Figure 8.) Aucun œuf n'a été pondus par les chamaemyides annelés à 12 °C. Cependant, le nombre d'œufs pondus par les chamaemyides annelés à 18 et 15 °C n'a pas été significativement différent ( $F = 0.25$ ,  $df = 1,15$ ,  $p = 0.6243$ , Figure 9).

À 12 °C, si on permet la ponte pour une période de 7 jours supplémentaires (soit 14 jours), le nombre d'œufs de syrphes pondus passe alors de 29 œufs en moyenne en 7 jours à plus de 84 œufs en moyenne à 14 jours ( $F = 14.7$ ,  $df = 1,37$ ,  $p = 0.0005$ ; Figure 10). Pour le chamaemyide annelé, aucun œuf n'était pondus en 7 jours, tandis que plus de 6 œufs étaient pondus en moyenne en 14 jours. Le nombre d'œufs pondus en

14 jours par les femelles de l'eupéode d'Amérique est 13,4 fois plus grand que le nombre d'œufs pondus par les femelles du chamaemyide annelé ( $F = 7.8$ ,  $df = 1,37$ ,  $p = 0.0084$ ; Figure 10).

Le tableau 4 présente les températures pour lesquelles 95 %, 90 %, 75 % et 50 % des populations de l'eupéode d'Amérique et du chamaemyide annelé ont pondu. Les valeurs sont présentées avec les intervalles de confiance. La température à laquelle 95 % de la population de l'eupéode d'Amérique ont pondu est de 17,1 °C. Elle est de 23,5 °C pour le chamaemyide annelé, ce qui est nettement plus élevé. Une température de 13,7 °C a été nécessaire pour la ponte de 50 % de la population de l'eupéode d'Amérique. Pour le chamaemyide annelé, la température a dû être de 18,6 °C pour la ponte de 50 % de la population. Les températures pour lesquelles 95 %, 90 %, 75 % et 50 % de la population de l'eupéode d'Amérique a pondu ont toujours été inférieures à celles du chamaemyide annelé. Finalement, nous avons observé que la grande majorité des syrphes volait durant le test de ponte à 12 °C. Donc, il est fort possible, qu'avec une période d'acclimatation plus longue, ou encore avec un accès à du pollen et à de l'eau sucrée, la température seuil de vol ait été plus basse.

### **En résumé - volet 1**

Les adultes de l'eupéode d'Amérique ont démontré une bonne capacité de vol dans des conditions plus froides. Le seuil de température où 50 % de la population ont effectué un vol était de 13,3 °C. Ce seuil pourrait possiblement être plus bas si les individus étaient plus âgés et/ou disposaient d'une période d'adaptation plus longue. La capacité de vol de l'eupéode d'Amérique a été supérieure à la capacité de vol du chamaemyide annelé. La consommation totale de l'eupéode d'Amérique a été de 3 à 4 fois supérieure à la consommation du chamaemyide annelé, et ce, à toutes les températures testées. Les larves de l'eupéode d'Amérique ont montré une très bonne voracité dans des conditions froides et ont présenté une consommation journalière supérieure à 300 % au taux de fécondité du puceron de la digitale. La consommation effectuée au troisième stade larvaire représente 80 % de la consommation totale effectuée par les larves. On peut donc conclure que l'eupéode d'Amérique a un fort potentiel de répression. Finalement, aux différentes températures, il est possible d'observer qu'une plus grande proportion de femelles a pondu pour l'eupéode d'Amérique comparativement au chamaemyide annelé. De plus, les femelles syrphes ont pondu un nombre d'œufs plus élevé que celles du chamaemyide annelé. À 12 °C, le délai de maturation des ovaires a été supérieur à 7 jours chez l'eupéode d'Amérique. À cette température, seuls 18 % des individus ont pu pondre des œufs en 7 jours, mais plus de 94 % ont pondu en 14 jours. Comme l'eupéode d'Amérique s'est avéré le plus performant pour les 3 critères évalués dans le cadre du volet 1, celui-ci a été sélectionné pour les essais des volets 2 et 3.

### **Volet 2 – Expérience en serre expérimentale**

La Figure 11 montre le nombre moyen de pucerons présents dans les cages témoins et dans les cages avec le système syrphes-plante réservoir pour les blocs 1 (janvier-février) et 2 (mars-avril). L'interaction traitement\*semaine\*bloc ( $p < 0.001$ ) était significative. La Figure 12 expose les pentes de régression des populations de pucerons pour le traitement et le témoin des blocs 1 et 2. La pente d'un bloc B1-témoin est positive et significative ( $p = 0.003$ ), ce qui signifie que les populations de pucerons croissent avec le temps dans les cages sans syrphes et plante réservoir. À l'opposé, la pente du Bloc 1-

traitement (avec syrphes + plante réservoir) n'est pas significative ( $p = 0.58$ ), ce qui indique que la population de pucerons n'augmente pas significativement avec le temps. Le même scénario est essentiellement observé dans le bloc 2 pour le traitement B2-syrphes + plante réservoir ( $p = 0.2292$ ). Toutefois, la pente du bloc 2-témoin (sans syrphes et avec plante réservoir) est positive et significative ( $p < 0.001$ ). Ceci signifie que les populations de pucerons ont augmenté avec le temps dans les cages Témoin, soit sans syrphes et avec plante réservoir. Au contraire, pour le traitement (avec syrphes et avec plantes réservoir), la population de pucerons n'augmente pas significativement avec le temps. Les pentes des blocs 1 et 2 pour le traitement ne sont pas significativement différentes entre elles ( $p = 1.000$ ). Ceci indique qu'un contrôle des pucerons relativement similaire a été effectué par les syrphes dans les deux répétitions de l'expérience.

Tableau 5. Nombre de mâles, de femelles et nombre total de syrphes adultes produits par cage par les systèmes de plantes réservoirs pour les blocs 1 et 2.

Bloc	Cage	Mâles	Femelles	Adultes Total
Bloc 1	1	27	19	46
	2	5	4	9
	3	21	28	49
	4	14	21	35
Bloc 2	1	12	17	29
	2	15	18	33
	3	6	4	10
	4	2	4	6
	5	17	14	31
	6	7	9	16

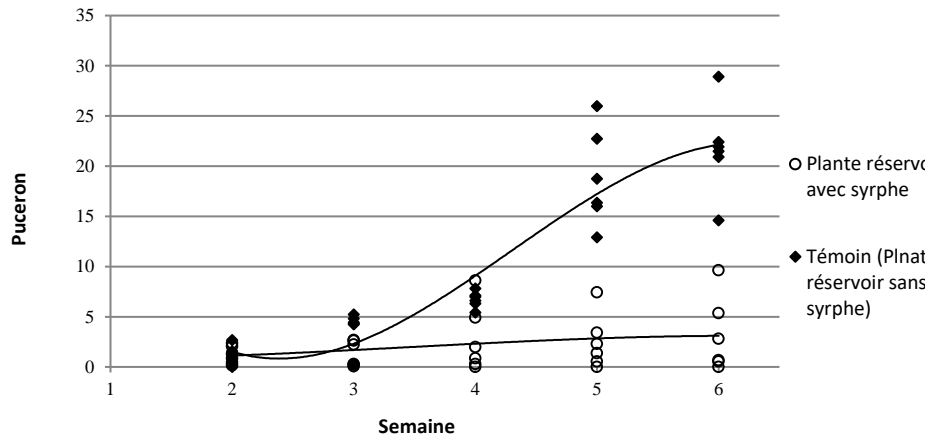
Avec un pot d'orge de 3,5 pouces, un seul couple de syrphes peut produire près de 50 syrphes. La moyenne des 2 blocs est de 26,4 syrphes par cage (Tableau 5). Le ratio des sexes n'est pas significativement différent de 1 ♂ pour 1 ♀ (Bloc 1,  $\chi^2 = 0.18$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0.67$ ; bloc 2,  $\chi^2 = 0.39$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0.53$ ). Par contre, une grande variation du nombre total d'individus par cage a été observée. En effet, des minimums de 9 et 6 syrphes et des maximums de 49 et de 33 syrphes ont été observés pour les blocs 1 et 2 respectivement. La qualité de la femelle sera fonction de sa longévité et sa fécondité. Une femelle longévive pondra un plus grand nombre d'œufs sur une plus longue période. Ceci influence donc la quantité totale des syrphes produits. Il existe une corrélation négative et significative entre le nombre de syrphes produits par le système de plante réservoir et le nombre de pucerons présents à la fin de la 6<sup>e</sup> semaine pour le bloc 2 (Figure 13 B,  $r_s = -0,89$ ,  $P = 0.019$ ), mais pas pour le bloc 1 (Figure 13 A.  $r_s = -0,80$ ,  $P = 0.20$ ).

### En résumé – volet 2

Malgré les différences importantes entre les deux blocs de l'expérience, les densités du puceron de la digitale dans les cages avec syrphes ont toujours été basses et n'ont pas augmenté dans le temps. À l'inverse, les populations de pucerons de la digitale dans les cages témoins (sans syrphes) ont augmenté rapidement au fil du temps. La présence de syrphes dans les cages a permis de réprimer de façon durable les populations du

puceron de la digitale sur de petites surfaces en serre sous éclairage artificiel. De plus, nous avons démontré que les syrphes étaient en mesure de pondre sur la plante réservoir. La corrélation entre le nombre de syrphes et la densité de pucerons nous indique qu'une femelle en bonne santé pond longtemps et beaucoup d'œufs et réprime plus efficacement les pucerons de la digitale. Le fait que la corrélation entre le nombre de pucerons à la fin de la 6<sup>e</sup> semaine et le nombre de syrphes produits dans le bloc 1 n'est pas significatif est probablement dû au fait que le nombre de répétitions est très petit ( $n = 4$ ). Autre point, notre étude confirme que le puceron bicolore des céréales (présent sur la plante réservoir) est un bon hôte pour l'eupéode d'Amérique. Cette expérience démontre pour la première fois que l'utilisation d'une plante réservoir avec des syrphes peut permettre un contrôle efficace du puceron.

A)



B)

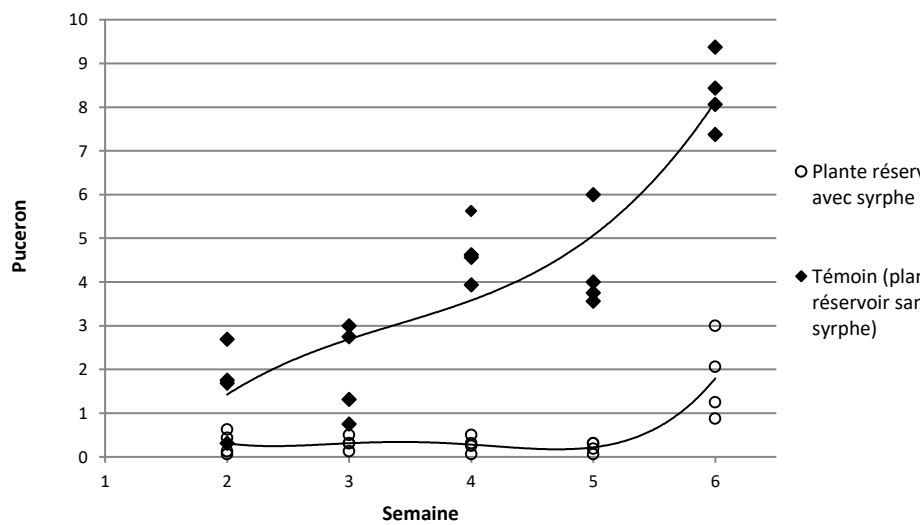


Figure 11. Nombre de pucerons de la digitale (*Aulacorthum solani*) par feuille dans les cages avec plante réservoir et syrphes et dans le témoin avec plante réservoir sans syrphes, durant une période de 6 semaines. Le graphique A présente le bloc 1 (janvier-février) et le graphique B représente le bloc 2 (mars-avril). Un losange noir représente le nombre moyen de pucerons dans une cage témoin (sans syrphes) et un rond blanc représente le nombre moyen de pucerons par cage dans les cages avec syrphes et plante réservoir.

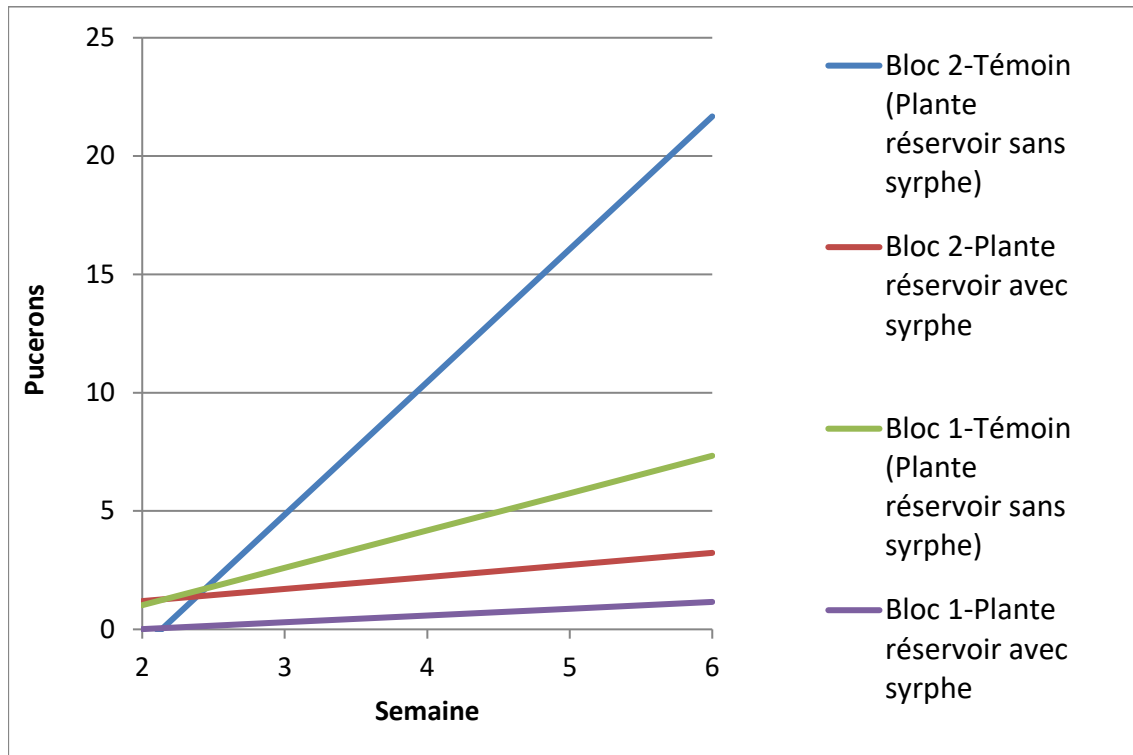


Figure 12. Pentas de régression pour les 2 blocs par traitements (bloc 1 : janvier-février et bloc 2 : mars-avril). Les régressions correspondant aux pentes rouge et violette (cages avec systèmes plante réservoir-syrpe) sont non significatives ( $p > 0,05$ ). Les régressions correspondant aux pentes bleue et verte (cages témoin sans syrpe) sont significatives ( $p < 0,05$ ).

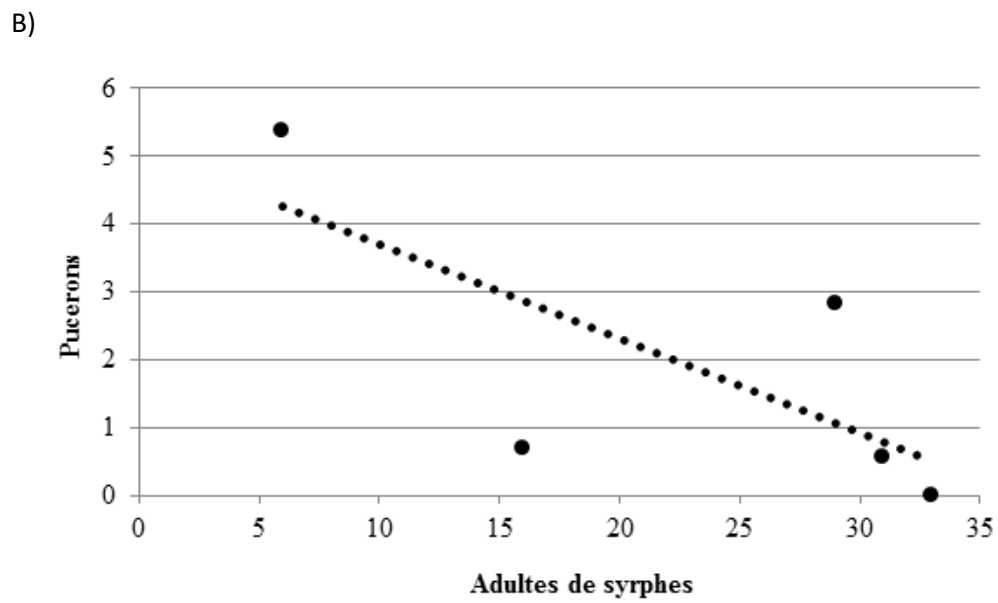
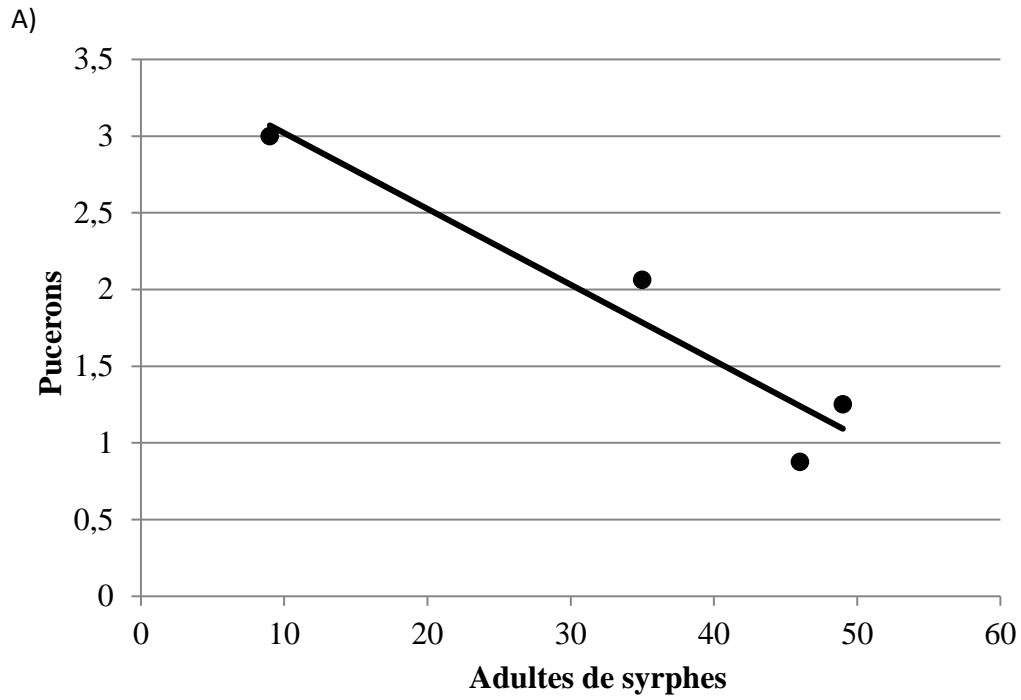


Figure 13. Corrélation de Spearman entre le nombre de pucerons à la fin de la 6<sup>e</sup> semaine et le nombre d'adultes de syrphes produits par le système de plantes réservoirs, A) est la corrélation pour le bloc 1 et B) et la corrélation pour le bloc 2.

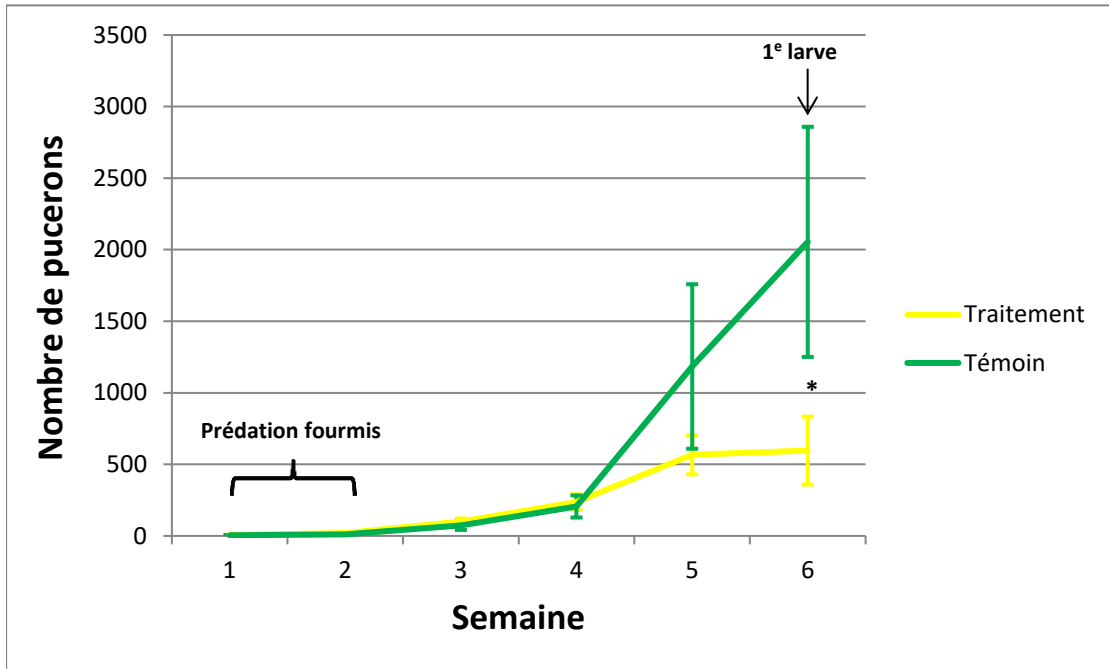
### **Volet 3 – Expérience en cage en serre commerciale.**

La température moyenne durant l'expérience dans la serre 1 a été de 18,01 °C et de 18,9 °C dans la serre 2. Les lâchers des syrphes adultes ont été inefficaces puisqu'aucun œuf n'a été retrouvé dans la serre 1 avant la 5<sup>e</sup> semaine (3 semaines + 2 semaines de prédation de fourmis) et avant la 3<sup>e</sup> semaine pour la serre 2. Malgré le fait que nous avons déposé les syrphes adultes sur les fleurs artificielles, la grande majorité s'envolaient directement au sommet de la serre et tentaient de la quitter. La période entre le 1<sup>er</sup> stade larvaire et l'émergence des adultes est d'environ trois semaines. Les œufs retrouvés après 5 semaines (3 semaines + 2 semaines de prédation des fourmis) dans la serre 1, et après 3 semaines dans la serre 2 étaient le fruit des adultes issus des plantes réservoirs. Les adultes produits par les plantes réservoirs étaient tous des *Eupeodes americanus*. De ce fait, aucune contamination de syrphes provenant de l'extérieure n'a été observée.

La Figure 14 montre l'évolution des populations de pucerons dans la serre 1 et dans la serre 2. Les traitements ne sont pas significativement différents ( $F = 1.70$ ,  $df = 1,8$ ,  $p = 0.2284$ ) pour la serre 1. La période de temps a un effet significatif ( $F = 9.06$ ,  $df = 5,40$ ,  $p = 0.0001$ ). Plus les semaines passent, plus il y a de pucerons dans les cages. Finalement, nous avons observé une interaction significative entre le traitement et le temps ( $F = 2.75$ ,  $df = 5,40$ ,  $p = 0.0316$ ). À la fin de la sixième semaine, le nombre de pucerons a drastiquement augmenté dans les cages Témoin (sans prédateur) pour atteindre un nombre moyen de 2 055 pucerons. Dans les cages Traitement (prédation possible par les syrphes), il y avait en moyenne 592 pucerons sur les plants de poivrons (Figure 14 A). Pour la serre 2, les traitements ont eu un effet significatif sur les densités de pucerons ( $F = 16.79$ ,  $df = 1,8$ ,  $p = 0.0307$ ). Le temps a également eu un effet significatif ( $F = 16.79$ ,  $df = 5,35$ ,  $p = 0.0001$ ). Plus les semaines ont passé, plus il y a de pucerons dans les cages. Finalement, une interaction significative entre le traitement et le temps a été observée ( $F = 9.96$ ,  $df = 5,35$ ,  $p = 0.00001$ ). À la semaine 5, les populations de pucerons des cages accessibles aux syrphes croissent plus lentement celles des cages témoins. À la semaine 6, dans 3 des 5 cages auxquelles les syrphes ont accès, les populations de pucerons ont complètement disparu, et il reste en moyenne 11 pucerons par plant dans les deux autres, comparativement à plus de 1 400 pucerons dans les cages témoins (Figure 14 B).



A)



B)

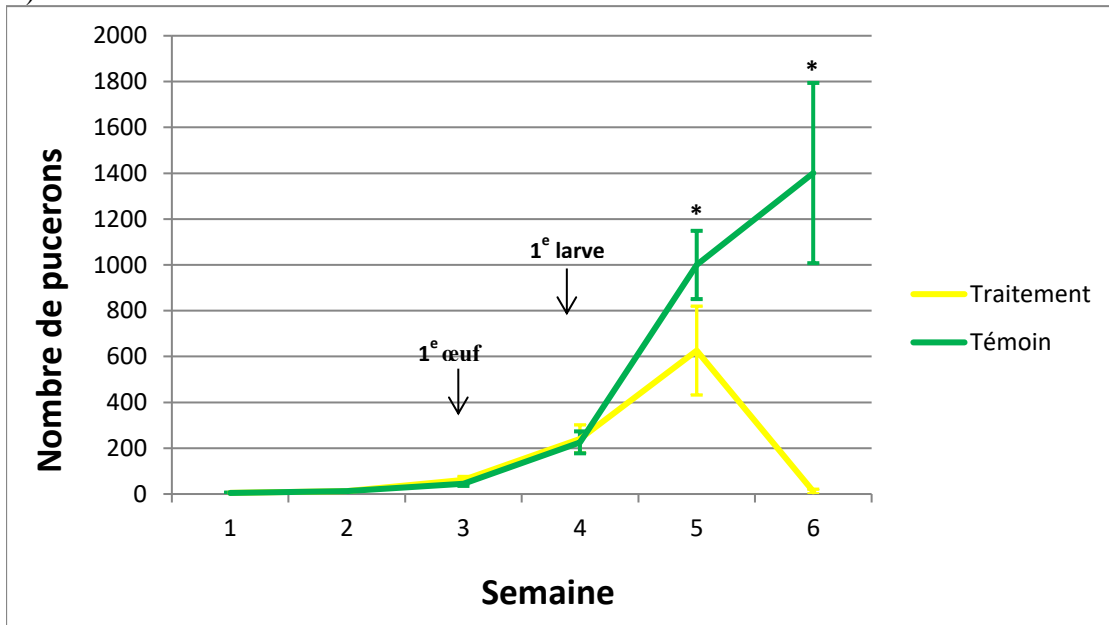


Figure 14. Nombre de pucerons de la digitale (*Aulacorthum solani*) par feuille dans les cages ouvertes (traitement - prédation possible) et dans les cages fermées (témoïn sans prédation) pour une période de 6 semaines d'échantillonnage en serre commerciale. Le graphique A présente les résultats dans la serre 1 et le graphique B représente les résultats dans la serre 2. La ligne verte représente la densité moyenne de pucerons dans les cages fermées (témoïn) et la ligne jaune représente la moyenne de pucerons par cage dans les cages ouvertes. Les traitements avec un "\*" sont significativement différents ( $p < 0.05$ ). Les valeurs sont les moyennes et les erreurs types.

Tableau 6. Nombre de mâles, de femelles et nombre total de syrphes adultes produits dans les systèmes de plantes réservoirs dans les serres 1 et 2 à la fin du test.

Serre	Mâles	Femelles	Adultes totaux
1	37	36	73
2	21	24	45

Le nombre de syrphes produits dans les systèmes de plantes réservoirs sont indiqués au Tableau 6. Des œufs de syrphe ont été retrouvés dans les plantes réservoir et sur les plants de poivrons accessibles à la 5<sup>e</sup> semaine pour la serre 1 et de la 3<sup>e</sup> à la 6<sup>e</sup> semaine pour la serre 2. 73 syrphes pour la serre 1 et 45 syrphes pour la serre 2 sont issus des plantes réservoirs durant les 3 dernières semaines. Le ratio des sexes n'est pas différent de 1 ♂ pour 1 ♀ (serre 1,  $\chi^2 = 0.014$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0.9068$ ; Serre 2,  $\chi^2 = 0.020$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0.6547$ ).

### En résumé - Volet 3

Les fourmis sont connues pour perturber le contrôle biologique des pucerons (Frazer et Van Den Bosch 1973; Stechmann et al. 1996; Kaplan et Eubanks 2002; Renault et al. 2005; Powell et Silverman 2010; Nagy et al. 2015). Les syrphes ne font pas exception (Amari-Jami et al. 2016). Dans le contexte des serres, il est évident que les fourmis présentes peuvent complètement anéantir l'efficacité des plantes réservoirs en éliminant les larves de syrphes sur les plantes d'orges. Donc, il est primordial de maintenir les plantes réservoirs à l'abri des fourmis.

Si les lâchers de syrphes adultes avaient été efficaces, nous aurions retrouvé des œufs dès la première semaine suivant le premier lâcher, ce qui n'a pas été le cas. Les œufs ont été retrouvés seulement à la 3<sup>e</sup> semaine dans la serre 2. Nous pouvons donc conclure que ce sont les adultes de syrphes issus des plantes réservoirs qui ont commencé à pondre. Il semblerait donc que les lâchers de syrphes adultes ne soient pas efficaces en serre commerciale.

Dans la serre 1, il n'y a pas eu de différence entre le nombre de pucerons présents dans les cages ouvertes et fermées, ce qui suggère que les syrphes n'ont pas eu d'effet. Par contre, il y a une interaction significative entre le traitement et le temps (les semaines). Lorsqu'on poursuit l'analyse par une série de contrastes, on observe une différence significative entre les témoins et les traitements à la 6<sup>e</sup> semaine. Les populations de pucerons ont été alors plus basses dans les cages ouvertes que dans les cages fermées. Les syrphes commençaient à faire diminuer les populations de pucerons à la semaine 5 (non significatif). Les deux semaines de délai dues à la prédation de fourmis et les 3 semaines pour l'émergence des adultes provenant des plantes réservoirs ont laissé seulement une semaine aux larves de syrphes pour réduire les populations de pucerons. Dans la serre 2, l'essai est plus représentatif d'une situation normale, car aucune prédation par les fourmis n'a été observée. Les syrphes ont presque complètement anéanti les populations de pucerons. Nous avons retrouvé des œufs sur les plantes réservoirs de la 3<sup>ème</sup> à la 6<sup>ème</sup> semaine pour la serre 2 et durant la semaine 6 pour la serre 1. Seuls les syrphes produits par les plantes réservoirs ont pu pondre sur les plantes d'orge. Donc, il est primordial d'introduire des plantes réservoirs avec des

larves de tous âges incluant des larves âgées pour accélérer la colonisation des plants à protéger.

Cette recherche a permis de démontrer pour la première fois qu'un système de plantes réservoirs incluant l'eupéode d'Amérique et le puceron bicolore des céréales élevé sur des plants d'orge est un excellent système pour maintenir des populations de syrphes en serre commerciale. La présence des syrphes permet à son tour de réprimer les populations de pucerons.

### **Application possible dans l'industrie**

Il a été possible de démontrer que le système de plantes réservoirs proposé peut contrôler efficacement le puceron de la digitale en serre. En deux semaines, 60 % des plants ne portaient plus aucun puceron et les 40 % restant en portaient moins de 10. C'est la première fois qu'un système de plantes réservoirs est développé avec des syrphes pour lutter contre les pucerons en serre. Cependant, les fourmis peuvent complètement perturber le système si elles ne sont pas exclues. Elles peuvent détruire les jeunes larves de syrphe dans les plantes réservoirs.

Le système plante-réservoir-syrphe peut déjà être transféré tel quel pour le contrôle des pucerons en serre de légumes de serre. Par exemple, le système de plantes réservoirs pourrait réprimer efficacement le puceron du melon dans les productions de concombres, ce qui favoriserait la réduction de l'utilisation de traitements insecticides. Les producteurs de tomates en serre pourraient également l'utiliser contre le puceron de la pomme de terre ou le puceron vert du pêcher.

Des expérimentations supplémentaires devraient néanmoins être réalisées pour que ce système devienne directement utilisable chez les producteurs de plantes ornementales. 1- Le puceron bicolore des céréales peut s'attaquer aux graminées ornementales et n'est donc pas une solution acceptable pour la majorité des producteurs. La première étape serait d'identifier une autre espèce de puceron capable de se développer sur une plante réservoir mais qui n'est pas susceptible d'attaquer les plantes commerciales en horticulture ornementale. 2- Il faudrait par la suite démontrer son efficacité en condition de production. 3- La mise sur pied d'un élevage de masse du syrphe serait un atout. Ceci devrait être réalisé idéalement par une compagnie commerciale. Des élevages commerciaux de syrphes existent en Espagne (compagnie Bionostrum).

### **Diffusion des résultats**

Ymilie Bellefeuille a présenté les résultats des tests en laboratoire dans le cadre de la réunion conjointe de la Société d'Entomologie du Québec (SEQ) et de la Société d'Entomologie du Canada en 2015 à Montréal. Elle a aussi présenté les résultats des essais en serre à la réunion conjointe de la SEQ et de la Société de Protection des Plantes du Québec en 2016 à Nicolet. Durant ce congrès, elle a obtenu le prix de la SEQ pour la meilleure présentation étudiante. Une affiche a été présentée au congrès international Aphidophaga 13 à Freising en Allemagne en septembre 2016. Marc Fournier a présenté les résultats de ce projet à la rencontre du groupe d'experts (RAP) en serre le jeudi 18 février 2016 et le 14 février 2017. Les résultats du projet seront présentés au congrès de l'IOBC Working Group "Integrated Control in Protected Crops, Temperate Climate" qui aura lieu à Niagara Falls, du 4 au 8 juin 2017. Nous

déposerons le rapport final de recherche sur le site Web Agri-Réseau après l'acceptation du document par le Ministère.

Nous n'avons pas fait d'activité de transfert directement aux producteurs avec l'Institut québécois du développement de l'horticulture ornementale (IQDHO). Le puceron bicolore des céréales n'est pas adapté à la réalité de la majorité des producteurs en serre. Il a été très difficile de recruter des producteurs en raison de la présence de graminées ornementales dans leurs serres qui sont sensibles aux pucerons bicolores des céréales utilisés dans le système de plantes réservoirs. Le projet n'est pas directement transférable pour eux, mais il pourrait être utilisé tel quel chez les producteurs de légumes en serre; spécialement contre le puceron du melon dans les serres de concombres.

Nous avons communiqué avec M. Sébastien Jacob de Biobest Canada qui nous a mis en contact avec les preneurs de décisions et avec le bureau chef en Belgique pour connaître leur intérêt à la commercialisation de l'eupéode d'Amérique pour le marché nord-américain. L'accueil a été cordial et nous évaluons les possibilités de collaborer/financer une étude sur la production de masse.

Nous avons également envoyé les rapports d'étape 1 et 2 au Dr. Rose Buitenhuis de la station de recherche de Vinland. Elle travaille également sur la lutte biologique contre le puceron de la digitale en Ontario. Nous lui ferons suivre le rapport final un fois accepté par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ).

Deux articles sont présentement en rédaction. Soit

- Bellefeuille Y., Fournier M., Lucas E. 2017. Evaluation of two new Biological Control Agents against the Foxglove Aphid at Low Temperatures. (en préparation)
- Bellefeuille Y., Fournier M., Lucas E. 2017. Biological Control of the Foxglove Aphid using a Banker Plant System in Experimental and Commercial Greenhouses (en préparation).
- Le mémoire d'Ymilie Bellefeuille sera disponible fin 2017.

### **Personnes ressources**

#### **Éric Lucas**

*Laboratoire de Lutte Biologique*  
Département des Sciences Biologiques  
Université du Québec à Montréal  
CP 8888, succursale Centre-Ville  
Montréal (Québec, Canada)  
H3C 3P8  
Courriel : [lucas.eric@uqam.ca](mailto:lucas.eric@uqam.ca)  
Téléphone : 514 987-3000, poste 3367

#### **Marc Fournier**

*Laboratoire de Lutte Biologique*  
Département des Sciences Biologiques  
Université du Québec à Montréal  
CP 8888, succursale Centre-Ville  
Montréal (Québec, Canada)  
H3C 3P8  
Courriel : [fournier.marc@uqam.ca](mailto:fournier.marc@uqam.ca)  
Téléphone : 514 987-3000, poste 4799

### **Remerciements aux partenaires financiers**

Nous aimerions remercier Les serres Cléroux pour avoir hébergé les expériences dans leurs serres. Et finalement, ce projet a été réalisé dans le cadre du volet 4 du

programme Prime-Vert – Appui au développement et au transfert de connaissances en agroenvironnement avec une aide financière du ministère de l’Agriculture, des Pêcheries et de l’Alimentation par l’entremise de la Stratégie phytosanitaire québécoise en agriculture 2011-2021.

## Références

- Amiri-Jami A., Sadeghi-Namaghi H., Gilbert F. 2017. Performance of a predatory hoverfly feeding on *Myzus persicae* (Hem. Aphididae) reared on two brassicaceous plants varies with ant attendance. *Biological Control*. 105 : 49–55.
- Frazer B.D. 1972. A simple and efficient method of rearing aphidophagous hoverflies (Diptera : Syrphidae). *Journal of the Entomological Society of British Columbia*. 69 : 23-24.
- Frazer B.D., Van Den Bosch R. 1973. Biological Control of the Walnut Aphid in California: The Interrelationship of the Aphid and its Parasite. *Environmental Entomology*. 2 : 561-568.
- Fréchette B., Larouche F., Lucas É. 2008. *Leucopis annulipes* larvae (Diptera : Chamaemyiidae) use a furtive predation strategy within aphid colonies. *European Journal of Entomology*. 105 : 399-403.
- Hart A.J., Bale J.S., Fenlon J.S. 1997. Developmental threshold, day-degree requirements and voltinism of the aphid predator *Episyrphus balteatus* (Diptera: Syrphidae). *Annals of Applied Biology*. 130 : 427-437.
- Honěk A., Kocourek F. 1988. Thermal requirements for development of aphidophagous Coccinellidae (Coleoptera), Chrysopidae, Hemerebiidae (Neuroptera), and Syrphidae (Diptera): Some general trends. *Oecologia*. 76 : 455-460.
- Huang N., Enkegaard A., Osborne L.S., Ramakers P.M.J., Messelink G.J., Pijnakker J., Murphy G. 2011. The Banker Plant Method in Biological Control. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 30 : 259-278.
- Jandricic S.E., Wraight S.P., Bennett K.C., Sanders J.P. 2010. Developmental times and life table statistics of *Aulacorthum solani* (Hemiptera: Aphididae) at six constant temperatures, with recommendations on the application of temperature-dependent development models. *Environmental Ecology*. 39 : 1631-1642.
- Jandricic S.E. 2013. Investigations of the biology of the pest aphid *Aulacorthum solani* (Kaltenbach) (Hemiptera: Aphididae) and of biological control agents for control of multi-species aphid outbreaks in greenhouse floriculture crops (Dissertation de Doctorat) Cornell University, p. 1-260.
- Powell B.E., Silverman J. 2010. Impact of *Linepithema humile* and *Tapinoma sessile* (Hymenoptera: Formicidae) on three natural enemies of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae). *Biological Control*. 54 : 285–291.
- Renault C.K., Buffa L.M., Delfino M.A. 2005. An aphid–ant interaction: effects on different trophic levels. *Ecological Research*. 20 : 71–74.
- Kaplan I., Eubanks M.D. 2002. Disruption of Cotton Aphid (Homoptera: Aphididae)—Natural Enemy Dynamics by Red Imported Fire Ants (Hymenoptera: Formicidae). *Environmental Entomology*. 31 : 1175-1183.

Schneider F. 1969. Bionomics and physiology of aphidophagous Syrphidae. Annual Review of Entomology. 14 : 103–124.

Stechmann D.H., Völkl W., Starý P. 1996. Ant-attendance as a critical factor in the biological control of the banana aphid *Pentalonia nigronervosa* Coq. (Hom. Aphididae) in Oceania. Journal Applied Entomology. 120 : 119–123.

Vockeroth J.R. 1992. The flower flies of the subfamily Syrphinae of Canada, Alaska and Greenland: Diptera, Syrphidae. Centre for Land and Biological Resources Research, Agriculture Canada, Ottawa, Ontario, Canada.