

Développement d'un système de plante-réservoir contre le puceron de la digitale à basse température

Projet :UQAM-1-13-1652

Rapport final

Programme de Subvention Prime-Vert Volet 4 - Appui au développement et au transfert de connaissances en agroenvironnement

Présenté au MAPAQ

par Marc Fournier, Ymilie Bellefeuille et Éric Lucas

Université du Québec à Montréal

7 mars 2017

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

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 *Aphidius ervi* 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 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; Vockroth et al. 1992). Aucune donnée sur les seuils thermiques de développement n'a été publiée pour cette espèce. Par contre, 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 syrphe 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, et à un prédateur. Les larves présentes sur les plantes réservoirs ou des 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 de 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 contre le puceron de la digitale. Le chamaemyide annelé n'a jamais été évalué comme prédateur dans un système de plante réservoir.

Le but du projet est de développer un système de plante réservoir avec l'un des deux prédateurs indigènes contre le 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'UQAM.

Le projet est divisé en 3 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 en serre UQAM. Nous avons testé l'efficacité de l'eupéode d'Amérique avec la plante réservoir dans la répression du puceron de la digitale en cage dans une serre expérimentale.

Volet 3 : Nous avons testé le système précédent, dans les serres commerciales Sylvain Cléroux qui produisent des Bégonias et autres plantes ornementales.

Volet 1.1 - Capacités de vol de l'eupéode d'Amérique et du chamaemyide annelé à basses températures.

Matériel et Méthode. Les pucerons de la digitale ont été fournis par Dr. Rose Buitenhuis du centre de recherche Vineland Research and Innovation Centre, Vineland Station, ON, 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 7000 LUX et H.R. à 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. Nous avons testé 3 températures soit 18, 15 et 12 °C pour chaque groupe.



Figure 1. Boîte de vol

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 n'était pas ± 1 degré Celsius de la température désirée. La moyenne de la température durant les tests à 18 °C ont été $17,9 \pm 0,5$ °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.

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 où 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 nous présenterons les données groupées.

Résultat. Les pourcentages de vol pour l'eupéode d'Amérique et le chamaemyide annelé selon les trois températures sont représentés au tableau 1. Pour l'eupéode d'Amérique à 18 °C tous les individus s'envolent, à 15 °C la grande majorité s'envole (94 %), le % d'individus qui volent chute à 13% à 12 °C, ($X^2 = 142.1$, $df = 2$, $p = 0.0001$, $n = 161$; Tableau 1, Figure 2). Le pourcentage d'individu qui vole est semblable entre les températures de 18 et 15 °C et ils sont significativement supérieurs au pourcentage de vol du groupe à 12 °C (Figure 2). Pour le chamaemyide annelé à 18 °C quatre-vingt-neuf pourcent des individus s'envolent, à 15 °C seulement 24 % des individus font un vol actif et le % d'individus qui volent baisse à 8% à la température de 12 °C ($X^2 = 88.2$, $df = 2$, $p = 0.0001$, $n = 158$; Tableau 1, Figure 2). Le pourcentage d'individus qui volent diminue significativement avec la diminution de la température. La proportion des syrphes qui

volent est supérieure à la proportion de chamaemyides qui volent pour les températures de 18 et 15 °C (Figure 2).

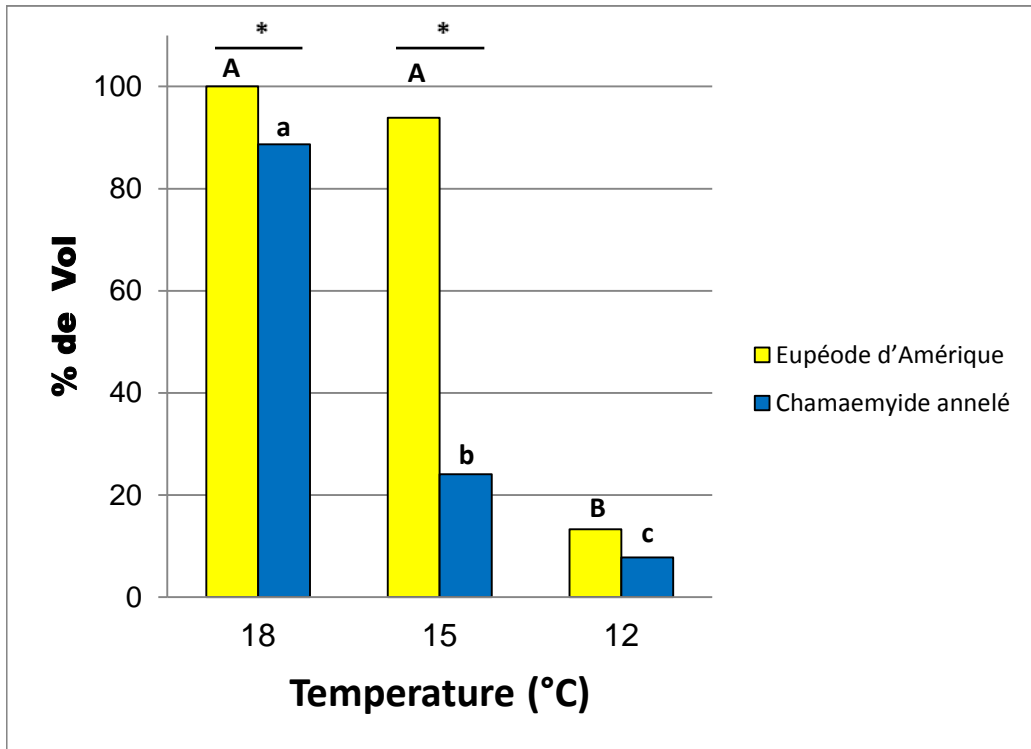


Figure 2. Pourcentage de vol selon 3 différentes températures pour l'eupéode d'Amérique (*Eupeodes americanus*) et le chamaemyide annelé (*Leucopis annulipes*). Les traitements avec une lettre différente sont significativement différents ($p < 0.05$). Les lettres majuscules sont pour l'eupéode d'Amérique et les lettres minuscules sont pour le chamaemyide annelé. Les lignes avec un astérisque montrent une différence significative entre les deux prédateurs par température. 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 en parenthèses sont le nombre d'individus ayant volé sur le nombre total d'individus.

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

Les délais avant l'envol sont inscrits dans le tableau 2. Les délais avant l'envol varient 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 est semblable entre les températures de 18 et 15 °C et ils sont significativement plus courts que les délais de vol à 12 °C (Figure 3). Pour le chamaemyide annelé, les délais avant l'envol varient selon les 3 températures ($F = 17.2$, $df = 2.61$, $P = 0.0001$; Tableau 2, Figure 3). Le délai avant un vol actif est semblable entre les températures de 18 et 15 °C et ils sont significativement plus courts que les délais de vol à 12 °C (Figure 3). Il n'y a pas de différence entre les espèces pour une température donnée.

Tableau 2. Délai en secondes avant un vol actif pour l'eupéode d'Amérique (*Eupeodes americanus*) et le chamaemyide annelé (*Leucopis annulipes*). Les données sont le nombre de secondes écoulées avant le vol pour les mâles, les femelles et les données regroupées pour les deux aphidiphages. Les valeurs sont les moyennes et les erreurs-types puis entre parenthèses le nombre d'individus testés.

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

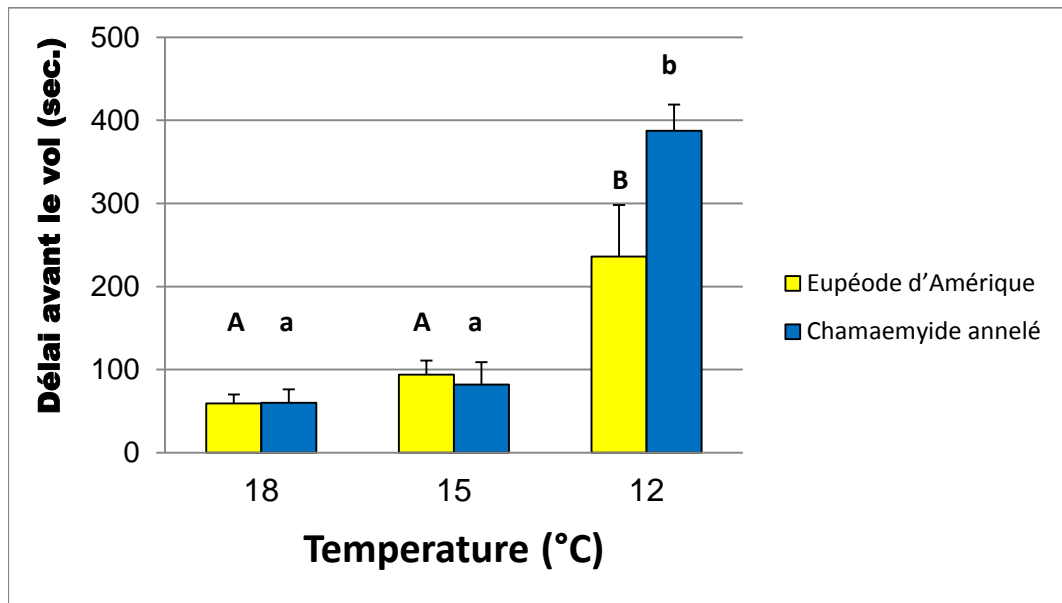


Figure 3. Délai avant le vol actif selon 3 différentes températures pour l'eupéode d'Amérique (*Eupeodes americanus*) et le chamaemyide annelé (*Leucopis annulipes*). Les traitements avec une lettre différente sont significativement différents ($p < 0.05$). Les lettres majuscules sont pour l'eupéode 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% de la population du l'eupéode d'Amérique et celle du chamaemyide annelé vole. Les valeurs

sont présentées avec les intervalles de confiance. La température à laquelle 95% de la population de l'eupéode d'Amérique vole est basse : 15,1 °C. Elle est de 19,5°C pour le chamaemyide annelé. À une température de 13,2 °C, 50% de la population de l'eupéode d'Amérique toujours, tandis que pour le chamaemyide annelé la température à laquelle 50% de la population vole est de 15,9 °C. Les températures pour lesquelles 95%, 90% 75% et 50% de la population de l'eupéode d'Amérique vole sont toujours inférieures à celles du chamaemyide annelé.

Tableau 3. Température de vol de 95%, 90% , 75% et 50% pour la population de l'eupéode d'Amérique (*Eupeodes americanus*) et le chamaemyide annelé (*Leucopis annulipes*). Les valeurs sont la température de vol et les intervalles de confiance à 95%.

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

Conclusion

Les syrphes conservent une bonne capacité de vol à des températures sous 15 °C. Quarante-cinq pourcent des syrphes volent à cette température. Bien sûr les délais d'envol sont plus longs lorsque la température baisse, cette différence est seulement de 30 secondes entre 18 et 15 °C. De plus, 50% des syrphes sont toujours actifs à 13,2 °C. Les chamaemyides annelés sont plus affectés par la baisse de température. Le pourcentage de vol chute à 24 % à 15 °C. Par contre les individus qui volent le font aussi rapidement que les syrphes. La température doit être d'environ 16 °C pour que 50% de la population soit active. Sans aucun doute 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 basses températures.

Matériel et Méthode. Le dispositif expérimental était un cylindre transparent ventilé par 2 fenêtres de 12 cm X 12 cm. Le cylindre mesurait 18 cm de diamètre et de 45 cm de hauteur munit d'un couvercle ventilé (Figure 4). Un plant de poivron était installé dans le cylindre puis nous déposons 30 pucerons de la digitale de stade II sur le plant. Nous déposons sur le plant, 24 heures plus tard, une jeune larve de stade I de l'eupéode d'Amérique ou du chamaemyide annelé. Nous avons également des plants avec 30 pucerons sans prédateur comme témoin à chaque température. Nous avons testé 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 ± 1 °C le test ou que la mortalité dans le témoin dépassait 10%, le réplica était annulé. Pour laisser le plus grand temps possible aux larves de mouche de consommer le plus grand nombre de

pucerons, nous avons utilisé une durée de 75 degré-jour sous le seuil de 3 °C. À cette température, les pucerons passait 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. La consommation était calculée comme suit : la densité initiale (30 pucerons) - le nombre de pucerons vivant. Nous avons calculé également la consommation quotidienne : la consommation totale / la durée du test selon la température. Un réplica était constitué de 7 cylindres par température et de 4 témoins, nous avons répliqué l'expérience 4 fois. Nous attribuions, la température aux chambres de croissance de façon aléatoire.



Figure 4. Cylindre expérimental

Analyses statistiques. Nous avons utilisé un ANOVA à deux critères soit le traitement température et le deuxième les blocs de répétition pour faire l'analyse. 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 entre eux pour la même température pour la consommation totale et journalière. Il n'y avait aucune différence entre les blocs pour les deux espèces testées donc nous présenterons les données groupées.

Résultats. La consommation totale (à 75DJ) des larves de syrphes n'est pas significativement différente entre les 3 températures testées ($F = 0,17$, $df = 2,93$, $p = 0.8437$; Figure 5). La consommation journalière diminue significativement avec la température ($F = 35,6$, $df = 2,93$, $p = 0.0001$; Figure 6). La plus grande consommation journalière est de 4,5 pucerons/jour à 18 °C, suivie de la consommation à 15 °C de 3.6 pucerons/jour et la plus petite à 12 °C de 2.8 puceron/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, la consommation journalière n'est pas significativement différente entre les 3 températures testées. ($F = 1,30$, $df = 2,124$, $p = 0.2749$; Figure 6). Par contre la consommation des syrphes est significativement plus élevée à toutes les températures que celle des chamaemyides (Figure 5 et 6). Elle est de 3 à 4 fois supérieure (Figure 5) et la consommation journalière et de 2 à 3 fois plus grande (Figure 6).

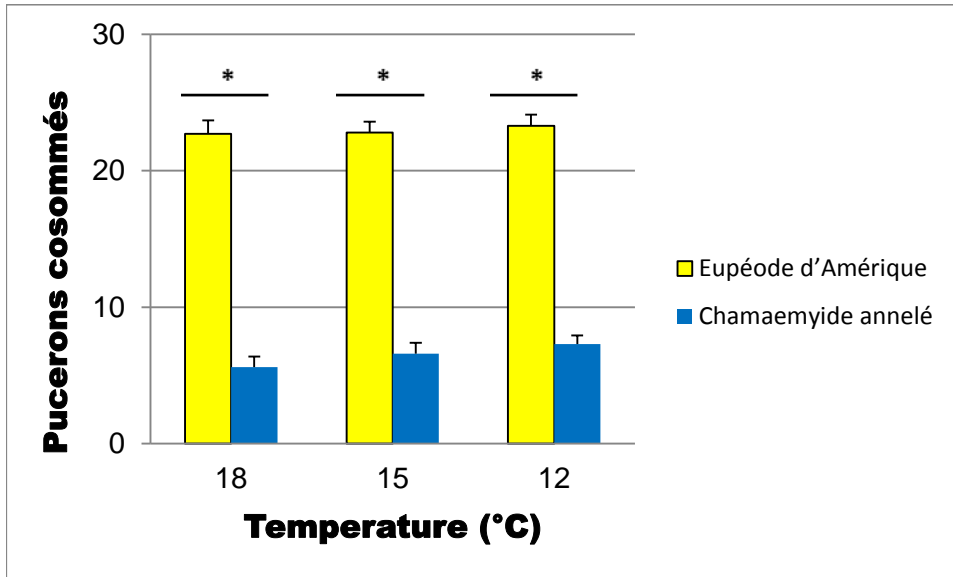


Figure 5. Consommation totale de puceron de la digitale pour 3 températures pour l'eupéode d'Amérique (*Eupeodes americanus*) et le chamaemyide annelé (*Leucopis annulipes*). Les lignes avec un astérisque montrent une différence significative entre les deux prédateurs par température. Les valeurs sont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

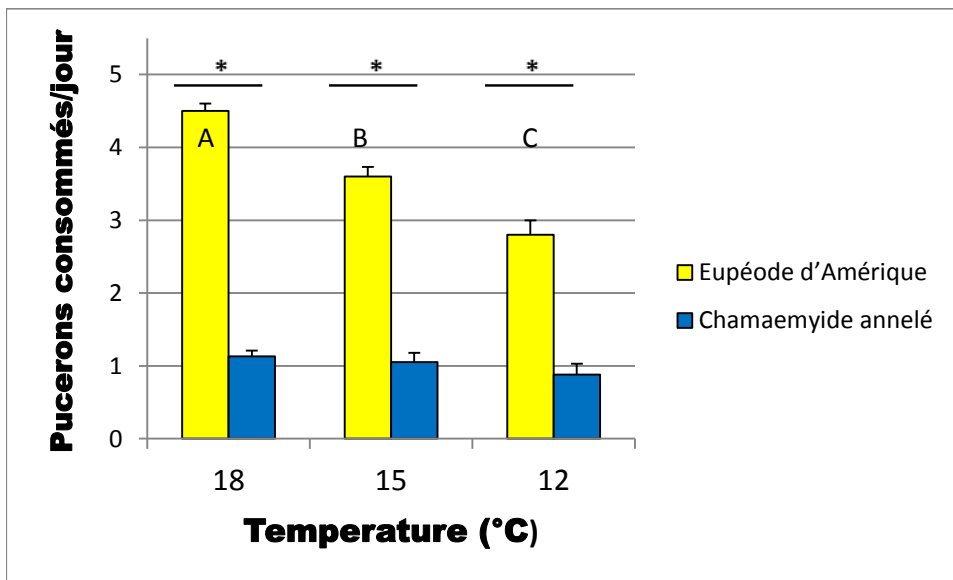


Figure 6. Consommation journalière de puceron de la digitale par une larve de l'eupéode d'Amérique (*Eupeodes americanus*) et de chamaemyide annelé (*Leucopis annulipes*). Les valeurs sont les moyennes et les erreurs-types. Les traitements avec une lettre différente sont significativement différents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

Conclusion. Les larves de l'eupéode d'Amérique consomment toujours plus de pucerons de la digitale que les larves de chamaemyide annelé. De plus, lorsque le puceron de la digitale se reproduit sur des pensées (*Viola × wittrockiana*, var. Majestic Giant), une femelle produit 1,58 larve par jour à 20 °C, ce nombre est de 1,11 à 15 °C et 0,90 larves par jour à 10 °C (Jandricic, 2013). De plus, la période testée correspond au 1^{er} et 2^e stade larvaire du syrphe. Plus de 80% de la consommation est faite au 3^e stade larvaire (Schneider 1969). Les larves de syrphe ont une bonne capacité de répression du puceron de la digitale à toutes les températures testées.

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

Matériel et Méthode. Un dispositif similaire à celui de l'expérience 2 a été utilisé pour ce volet. Un mâle et une femelle de l'eupéode d'Amérique de moins de 24 h étaient introduits dans le cylindre avec une fausse fleur qui était constituée d'un tampon démaquillant imbibé à saturation d'un mélange eau/miel (3:1 v/v), sur lequel on plaçait du pollen d'abeille. Nous ajoutons du sucre sur le couvercle et les cylindres étaient vaporisés 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 inspectons le plant pour trouver des œufs. Et nous comptons les œufs présents. À la température de 12 °C, nous avons refait un test de 14 jours pour s'assurer que le temps de maturation des œufs n'est 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 onces contenant un mélange de levure de bière et de sucre (1:1 v/v)

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 où 95%, 90%, 75% et 50% de la population se reproduit.

Résultats. La proportion de femelles qui ont déposé des œufs sur le plant en 7 jours est 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 est plus basse que les températures de 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 est semblable. La proportion de femelles de l'eupéode d'Amérique ayant pondu est de 2.3 à 4.8 fois supérieur à la proportion de femelles du chamaemyide annelé (Figure 7).

Si on conserve les femelles de syrphe et chamaemyide annelé qui n'ont pas pondu la première période de 7 jours à 12 °C pour une période de 7 jours supplémentaires, 94% des femelles de l'eupéode d'Amérique pondent comparativement à 21.2% de chamaemyide annelé (Figure 8). La proportion de femelle 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). Là encore la proportion de femelles de syrphe qui pond est 4,4 fois plus grande que la proportion de chamaemyide annelé qui pond en 14 jours ($X^2 = 41.8$, $df = 1$, $p = 0.0001$, $n = 67$; Figure 8).

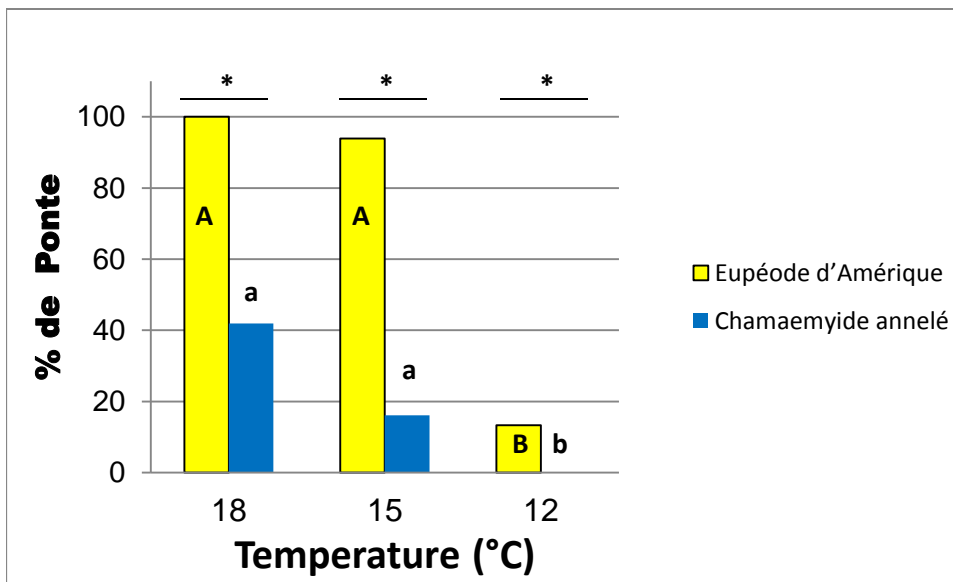


Figure 7. Pourcentage de femelles de l'eupéode d'Amérique (*Eupeodes americanus*) et de chamaemyide annelé (*Leucopis annulipes*) ayant pondu des œufs pour une durée de 7 jours. Les traitements avec une lettre différente sont significativement différents ($p < 0.05$). Les lettres majuscules sont pour 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.

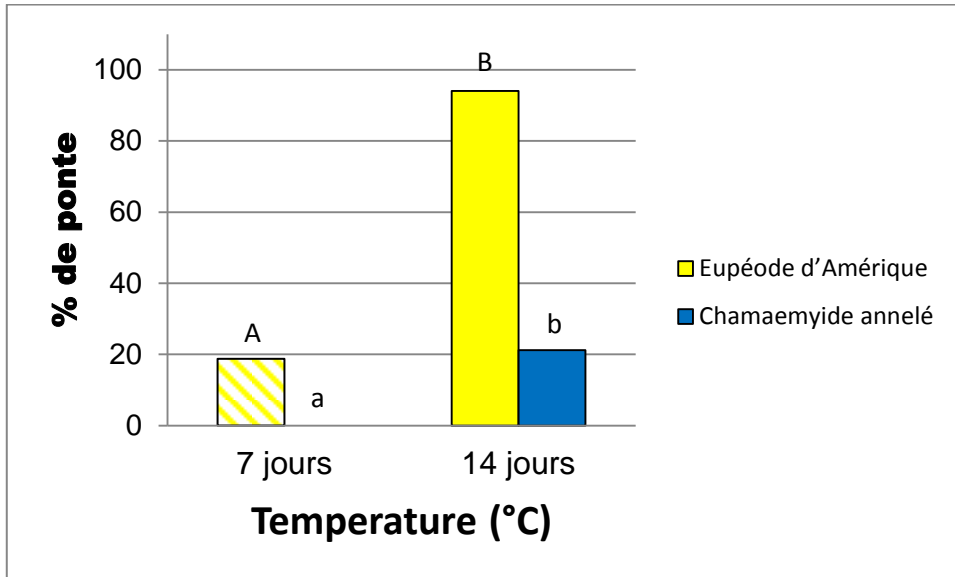


Figure 8. Pourcentage de femelles de l'eupéode d'Amérique (*Eupeodes americanus*) et de chamaemyide annelé (*Leucopis annulipes*) ayant pondu des œufs pour une durée de 7 jours et 14 jours à 12 °C. Les traitements avec une lettre différente sont significativement différents ($p < 0.05$). Les lettres 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.

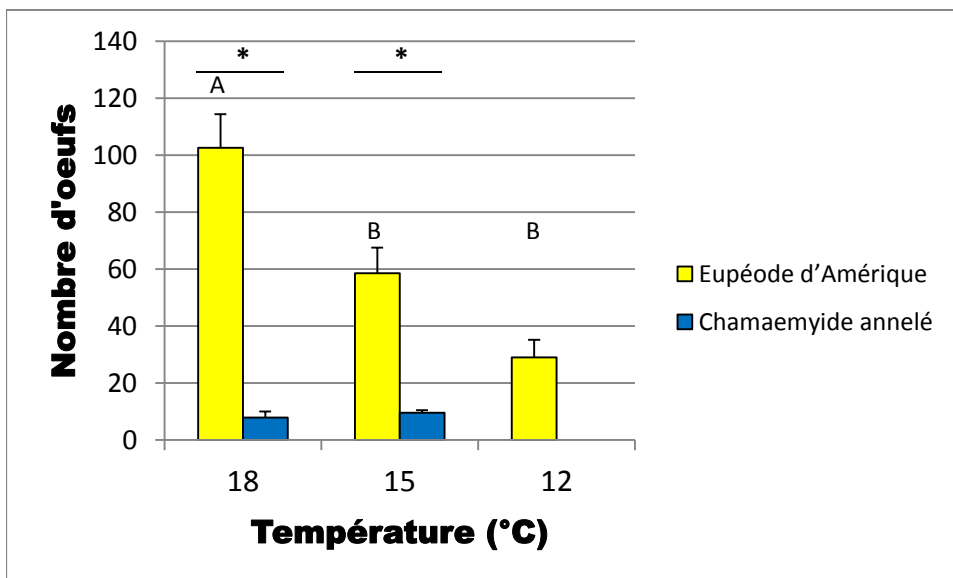


Figure 9. Nombre d'œufs pondus par des femelles de l'eupéode d'Amérique (*Eupeodes americanus*) et de chamaemyide annelé (*Leucopis annulipes*) pour une durée de 7 jours. Les traitements avec une lettre différente sont significativement différents ($p < 0.05$). Les lettres majuscules sont pour l'eupéode 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.

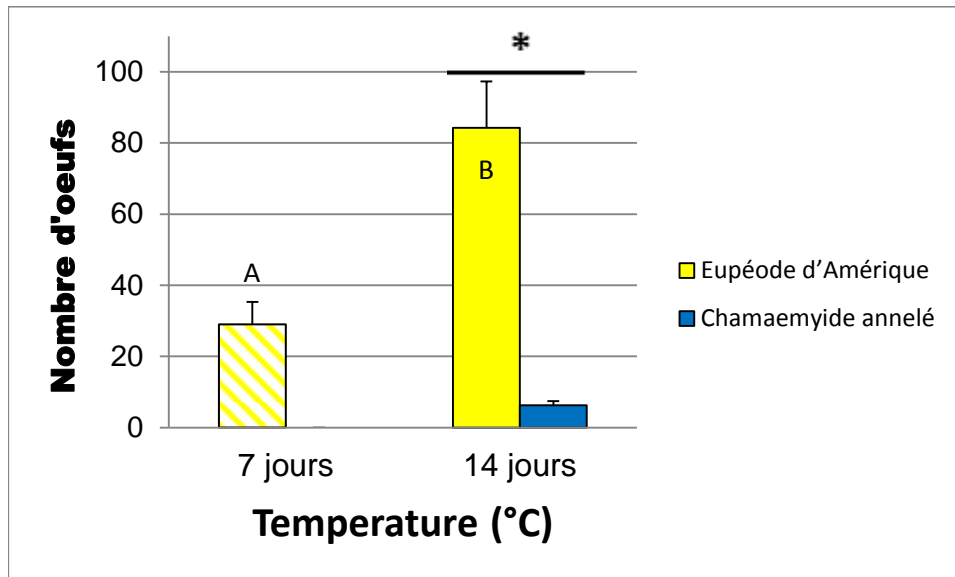


Figure 10. Nombre d'œufs pondus par des femelles de l'eupéode d'Amérique (*Eupeodes americanus*) et de chamaemyide annelé (*Leucopis annulipes*) pour une durée de 7 jours et 14 jours à 12 °C. Les traitements avec une lettre différente sont significativement différents ($p < 0.05$). Les lettres majuscules 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 le 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 varie significativement selon la température ($F = 7.3$, $df = 2,56$, $p = 0.0015$; Figure 9). Le nombre d'œufs pondus est plus élevé à la température de 18 °C, tandis que les femelles pondent un nombre d'œufs qui n'est pas significativement différent pour des températures de 15 et 12 °C (Figure 8.) Les chamaemyides annelés ne pondent pas d'œufs à 12 °C. Tandis que le nombre d'œufs pondus par les chamaemyides annelés à 18 et 15 °C n'est pas significativement différent entre eux ($F = 0.25$, $df = 1,15$, $p = 0.6243$, Figure 9).

Si on laisse les femelles de syrphes et chamaemyide annelé qui n'ont pas pondu la première période de 7 jours à 12 °C pour une période de 7 jours supplémentaires, le nombre d'œufs pondus passe de 29 œufs en moyenne en 7 jours à plus de 84 œufs en

moyenne à 14 jours. Le nombre d'œufs pondus est significativement plus élevé à 14 jours comparativement à 7 jours pour l'eupéode d'Amérique ($F = 14.7$, $df = 1,37$, $p = 0.0005$; Figure 10). Pour le chamaemyide annelé, aucun œuf n'était pondu en 7 jours, tandis que plus de 6 œufs étaient pondus en moyenne en 14 jours. Là encore, 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 indique les températures pour lesquelles 95%, 90% 75% et 50% de la population de l'eupéode d'Amérique et de chamaemyide annelé pond. Les valeurs sont présentées avec les intervalles de confiance. La température à laquelle 95% de la population de l'eupéode d'Amérique pond est à une température de 17,1 °C. Elle est de 23,5°C pour le chamaemyide annelé, ce qui est nettement plus élevée. À une température de 13,7 °C, 50% de la population de l'eupéode d'Amérique va pondre, tandis que pour le chamaemyide annelé la température à laquelle 50% de la population va pondre est de 18,6 °C. Les températures pour lesquelles 95%, 90% 75% et 50% de la population de l'eupéode d'Amérique pond sont toujours inférieures à celles du chamaemyide annelé. Finalement, nous avons observé que la grande majorité des syrphes vole durant le test de ponte à 12 °C. Donc, il est fort possible qu'après une période d'acclimatation plus longue ou après avoir eu accès à du pollen et à de l'eau sucrée que les individus puissent voler à des températures plus froides. Si nous avons fait les tests avec des individus plus vieux ou acclimatés plus longtemps, il est fort possible que la température de vol ait été plus basse.

Conclusion du volet 1

Les adultes de l'eupéode d'Amérique ont une bonne capacité de vol au froid. Le seuil où 50 % de la population vole est de 13,3 °C. Et ce seuil pourrait être plus bas si les individus sont plus âgés et/ou ont un temps d'adaptation plus long. La capacité de vol de l'eupéode d'Amérique est supérieure à la capacité de vol du chamaemyide annelé. La consommation totale de l'eupéode d'Amérique est de 3 à 4 fois supérieure à la consommation du chamaemyide annelé à toutes les températures testées. Les larves de l'eupéode d'Amérique ont une très bonne voracité au froid avec une consommation journalière supérieure à 300% du taux de fécondité du puceron de la digitale. La consommation du stade 3 représente 80% de la consommation larvaire. Donc l'eupéode d'Amérique a un fort potentiel de répression. Finalement, aux différentes températures, une plus grande proportion de femelles de l'eupéode d'Amérique pond que de femelles du chamaemyide annelé. De plus, elles pondent plus d'œufs que le chamaemyide annelé. Pour l'eupéode d'Amérique le délai de maturation des ovaires est supérieur à 7 jours à 12 °C; À cette température, seuls 18% peuvent pondre des œufs en 7 jours, mais plus de 94% pondent en 14 jours.

Comme l'eupéode d'Amérique s'est avéré le plus performant dans les 3 critères que nous avons évalué, nous l'avons sélectionné pour les volets 2 et 3.

Volet 2 – Expérience en serre expérimentale.

Matériel et Méthode. Nous avons utilisé un système de plante réservoir 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. Dans une serre, maintenue à 18°C, à l'Université du Québec à Montréal, il y avait 8 ou 12 cages de 3' X 3' X 2' en bois recouvertes de mousseline avec deux portes d'accès pour échantillonner les plants et un fond en carton quadrillé pour 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 et chaque rangée était espacée de 20 cm puis 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-ailé. Après 24 heures, une plante réservoir contenant environ 500 pucerons bicolores des céréales a été introduite en bordure des plants de poivrons dans la cage ainsi que 2 jeunes syrphes adultes (1 mâle et 1 femelle). 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 2 plants de poivrons par rangée par cage, soit 8 plants par cage. Le nombre de pucerons a été compté sur deux feuilles choisies aléatoirement par plant 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 à toutes les semaines avec de l'engrais (20-20-20). La plante réservoir était renouvelée à chaque semaine. Les vieilles plantes réservoir pour les traitements avec les prédateurs étaient gardées à proximité des nouvelles plantes réservoir 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 4 cages traitement a eu lieu entre le 8 janvier au 19 février 2016 et le deuxième bloc de 6 cages témoins et 6 cages traitements du 1 mars au 12 avril 2016.

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

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^e semaine) que pour le bloc 1 (8,3 pucerons \pm 0,8) . La température était 1 °C plus élevé dans le bloc 2 que dans le bloc 1 et probablement les

plantes de poivron ont eu une meilleure croissance due à l'augmentation de l'éclairage naturel dans les serres. Dû à une interaction triple entre le traitement*date*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. Et finalement, nous avons utilisé des corrélations de Spearman pour vérifier l'association entre le nombre de syrphes produits par le système de plante réservoir et la densité de pucerons à la 6^e semaine.

Résultats. La Figure 11 montre le nombre moyen de pucerons présents dans les cages témoins et avec le système de plante réservoir pour les blocs 1 et 2. L'interaction traitement*semaine*bloc ($p < 0.001$) est significative. La Figure 12 nous montre les pentes de régression des populations de pucerons pour le traitement et le témoin pour le bloc 1 et 2. La pente d'un bloc 1*témoin est positive et significative ($p = 0.003$) ce qui signifie que les populations de pucerons du témoin croissent avec le temps dans les cages sans syrphes et plante réservoir. À l'opposé, la pente du Bloc 1* traitement (avec syrphes) n'est pas significative ($p = 0.58$) donc la population de pucerons n'augmente pas significativement avec le temps. On observe essentiellement le même scénario dans le bloc 2. La pente du bloc 2*témoin est positive et significative ($p < 0.001$) ce qui signifie que les populations de pucerons croissent avec le temps dans les cages sans syrphes. De la même façon, la pente du Bloc 2*traitement n'est pas significative ($p = 0.2292$) donc la population de pucerons n'augmente pas significativement avec le temps. Les deux pentes traitement du bloc 1 et 2 ne sont pas significativement différentes entre elles ($p = 1.000$) ce qui indique un contrôle des pucerons relativement similaire par les syrphes dans les deux répétitions de l'expérience.

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

| Bloc 1 | Cage | Mâles | Femelles | Adultes Total |
|--------|------|-------|----------|---------------|
| | 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 |

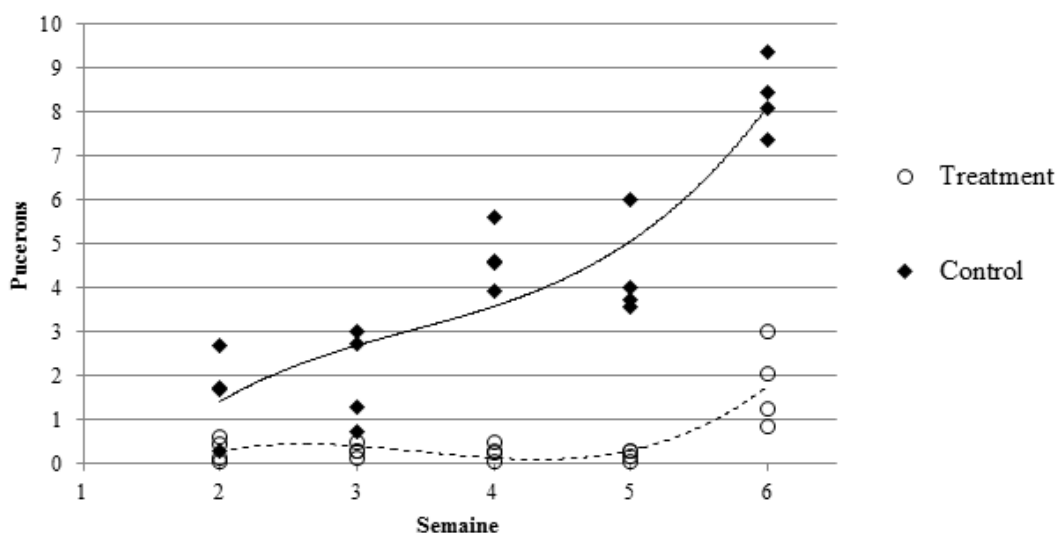
Avec un seul couple de syrphes, un pot d'orge de 3.5 pouce peut produire près de 50 syrphes. La moyenne des 2 blocs est de 26,4 syrphes par cage (Tableau 5). Le sexe ratio

n'est pas 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, la variation peut être très grande avec des minimums de 9 syrphes pour le premier bloc et de 6 syrphes pour le bloc 2. La qualité de la femelle pourrait influencer la qualité des syrphes produits. Il existe une corrélation négative 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^e semaine pour le bloc 2 (Figure 13 B, $r_s = -0.89$, $P = 0.019$) mais pas pour le bloc 1 (figure 13 A. $r_s = -0.80$, $P = 0.20$).

Conclusion du 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 sont toujours basses et n'augmentent pas dans le temps, tandis que les populations de puceron de la digitale dans les cages témoins augmentent rapidement de semaine en semaine. Il est clair que la présence de syrphes dans les cages réprime durablement les densités du puceron de la digitale sur de petites surfaces en cages en serre sous éclairage artificiel. De plus, les syrphes pondent sur la plante réservoir et un couple de syrphes avec une petite plante réservoir (surface d'un pot de 3.5 pouces) peut produire près de 50 syrphes. La corrélation entre le nombre de syrphes et la densité nous indique qu'une femelle en bonne santé pond longtemps et beaucoup d'œufs et réprime plus efficacement les pucerons de la digitale qu'une femelle de moins bonne qualité. Le fait que la corrélation entre le nombre de pucerons à la fin de la 6^e semaine et le nombre de syrphes produit dans le bloc 1 n'est pas significatif est probablement dû au fait que le nombre de répétition est très petit ($n = 4$). Le puceron bicolore des céréales est un bon hôte pour l'eupéode d'Amérique. Cette expérience démontre pour la première fois qu'il est possible d'utiliser une plante réservoir avec des syrphes pour contrôler efficacement un puceron. Les tests en serre commerciale nous donnerons une meilleure idée du potentiel d'efficacité de ce système de plante réservoir.

A)



B)

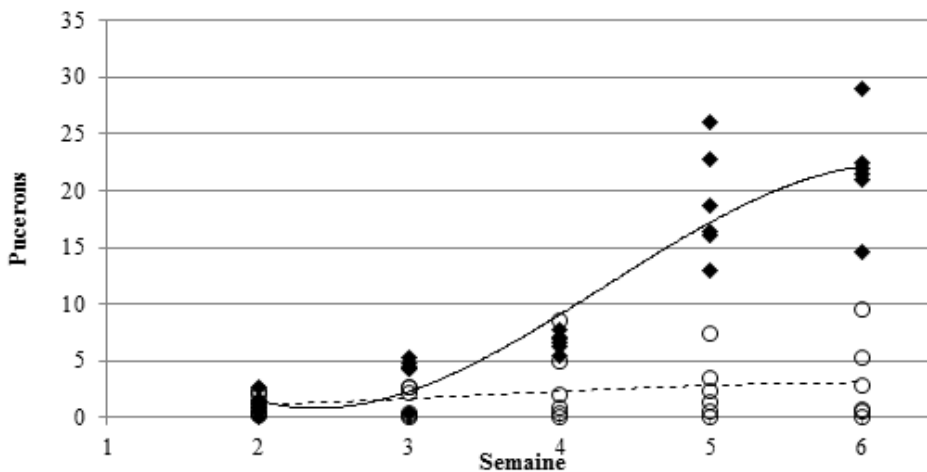


Figure 11. Nombre de pucerons de la digitale (*Aulacorthum solani*) par feuille dans les cages avec plante réservoir et prédateur et le témoin avec plante réservoir mais sans prédateur pour la 2^e la 6^e semaine d'échantillonnage. Le graphique A représente le bloc 1 du 8 janvier au 19 février et le graphique B représente le bloc 2 du 1 mars au 12 avril. Les ronds pleins noirs représentent le nombre moyen de pucerons dans les cages témoins et les ronds ouverts représentent le nombre moyen de pucerons par cage dans les cages avec un couple de syrphes et une plante réservoir. Chaque point représente une cage.

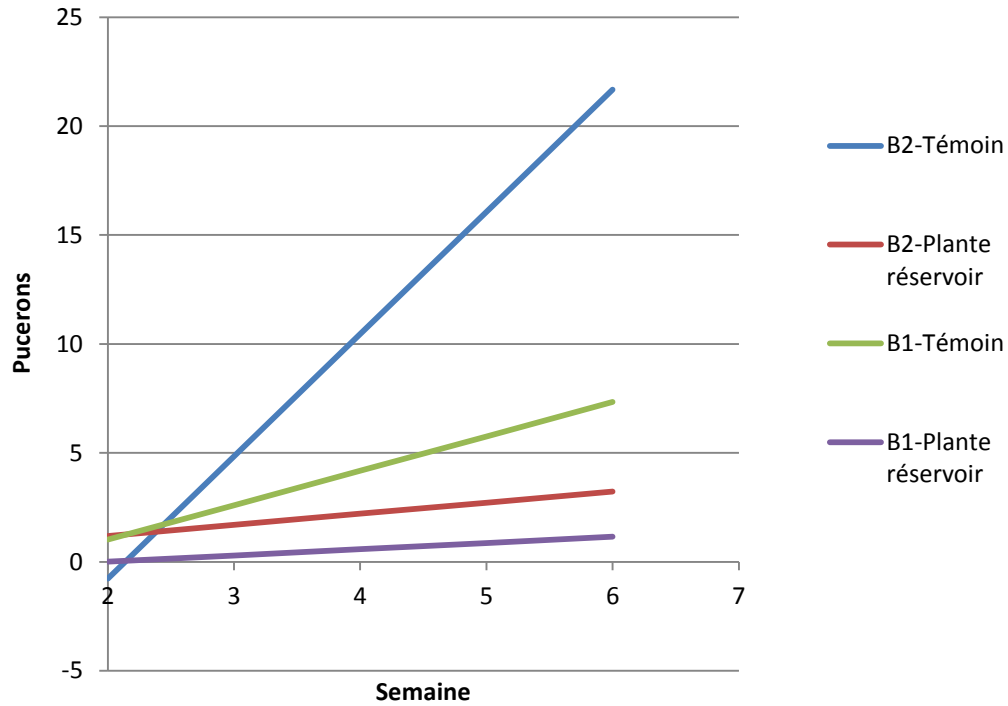


Figure 12. Pentas de régression pour les 2 blocs par traitements. La ligne verte représente les cages témoins du bloc 1, la ligne violette représente les cages avec syrphes et les plantes réservoirs du bloc 1, la ligne bleue représente les cages témoins du bloc 2 et la ligne rouge représente les cages avec les syrphes et les plantes réservoirs du bloc 2. Les régressions correspondant aux pentes rouge et violettes sont non significatives.

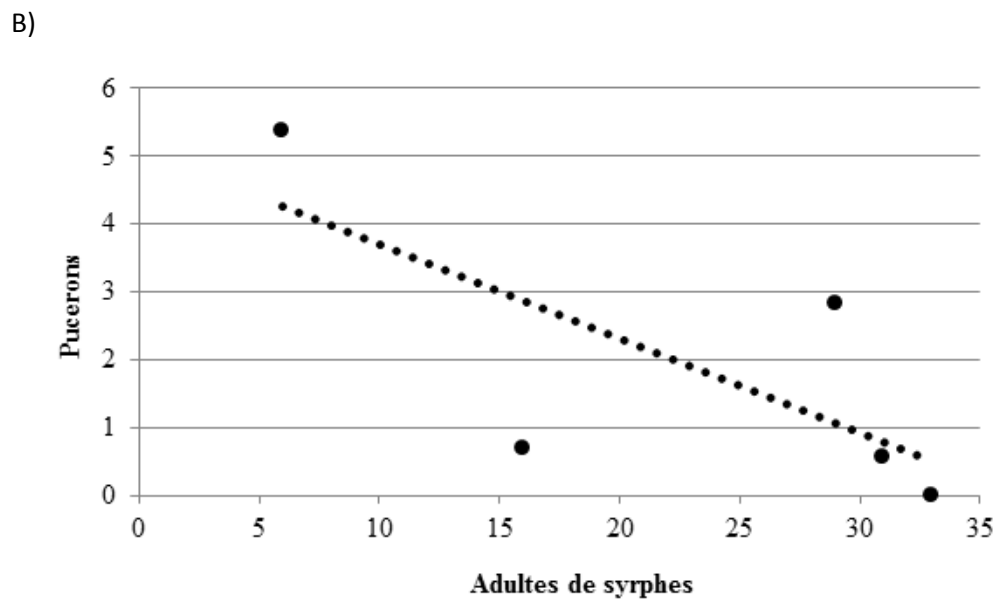
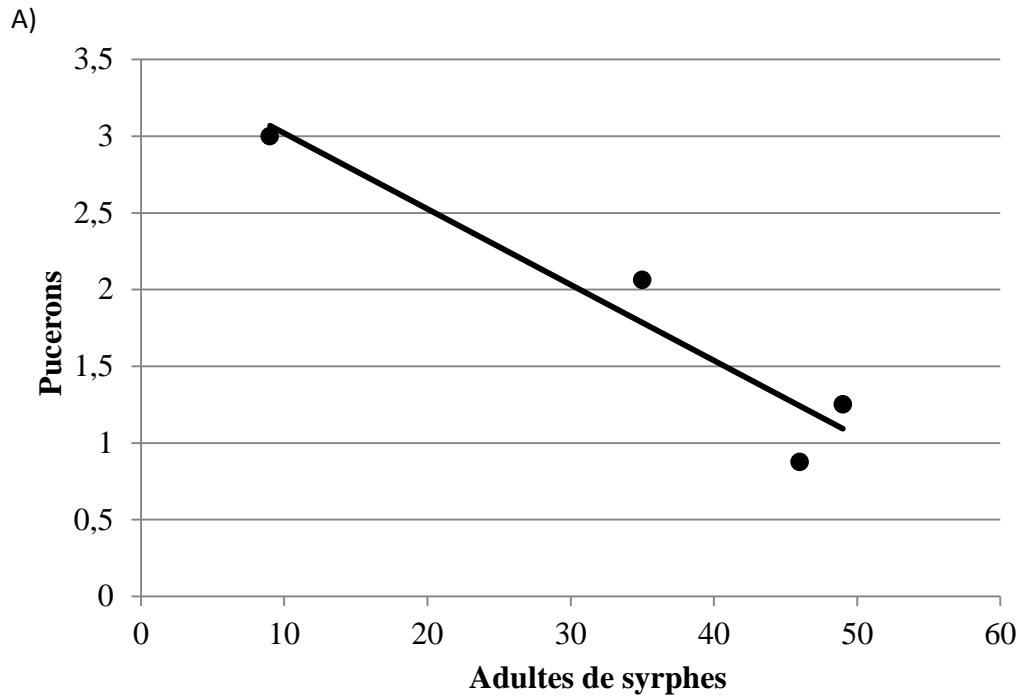


Figure 13 Corrélation de Spearman entre le nombre de pucerons à la fin de la 6^e semaine et le nombre d'adultes de syrphes produits par le système de plante réservoir, A) est la corrélation pour le bloc 1 et B) et la corrélation pour le bloc 2.

Volet 3 – Expérience en cage en serre commerciale.

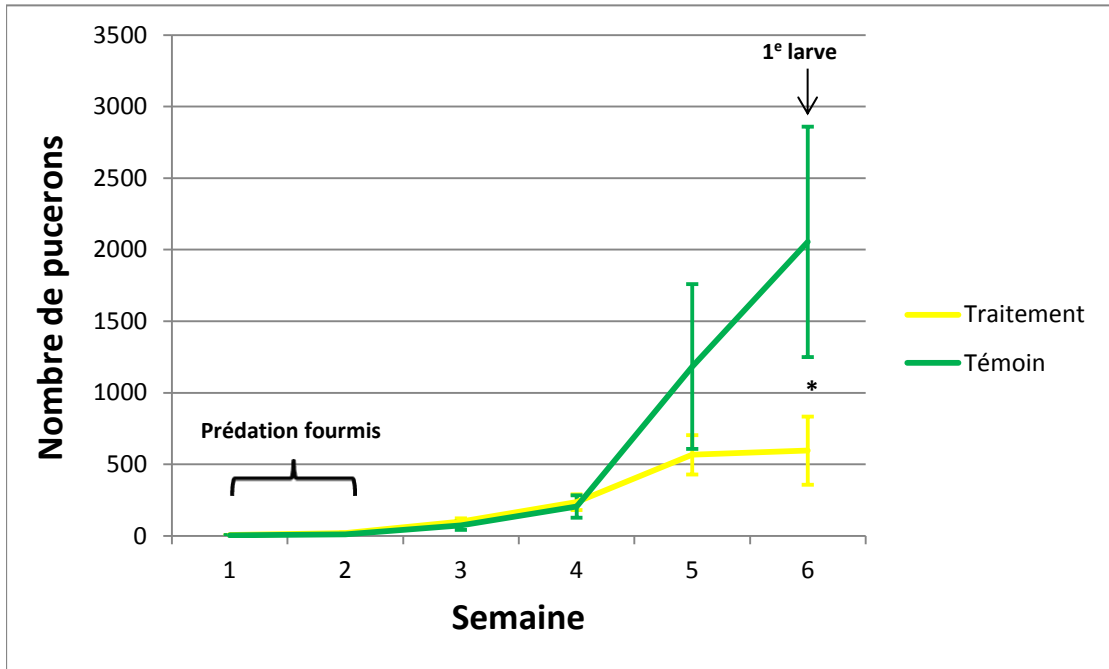
Matériel et Méthode. Nous avons utilisé deux serres de Bégonia (27 m X 200 m) chez les Serres Cléroux situé à Mirabel dans le Nord de la région de Montréal. Nous avons tenté de recruter d'autres producteurs mais la plupart produisent des graminées ornementales dans leurs serres et la présence de plante d'orge avec le puceron bicolore des céréales était un obstacle majeur pour eux. Nous avons fait des prétests, ni le puceron de la digitale ou le puceron bicolore des céréales ne se reproduisent sur les différentes variétés de *Begonia semperflorens*. L'expérience s'est déroulée à la température de production dans deux serres. Nous avons utilisé la moitié de la serre pour permettre 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 4 plantes réservoirs inoculées avec 10 larves de stade 1 de moins de 24 heures disposées dans le centre de la serre avec des fleurs artificielles tel que décrit dans le volet 2. Chaque semaine, 4 nouvelles plantes réservoirs étaient introduites dans la serre à côté des anciennes. Chaque semaine, 10 syrphes adultes (5 ♂ et 5 ♀) étaient relâchés dans la serre. Dans chaque serre, nous avons disposé 10 cages de 10" x 10" X 24 ", 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 avait 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 plantes de poivrons ainsi que les œufs et les larves de syrphes présentes. Nous comptions 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 jusqu'au 12 mai. L'expérience de la deuxième serre a duré du 13 avril jusqu'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 plantes d'orge de rentrer en contact avec les bégonias et la base des pots a été également enduite avec du 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 adultes de syrphes ayant émergé 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 selon si la cage était 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. La température moyenne durant l'expérience dans la serre 1 a été de 18.01°C et de 18.9°C durant l'expérience dans la serre 2. Les lâchers des syrphes adultes ont été inefficaces puisque nous n'avons pas retrouvé des œufs dans la serre 1 avant la 5^e semaine (3 semaines + 2 semaines de prédation de fourmis) et avant la 3^e semaine pour la serre 1. 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 quitter la serre. La période entre le 1^{er} 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*. Donc aucune contamination de syrphes extérieures 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. Le 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. Et finalement, il y a une interaction significative entre le traitement et le temps ($F = 2.75$, $df = 5,40$, $p = 0.0316$). À la fin de la semaine 6, les pucerons explosent dans les cages sans prédateur pour atteindre une moyenne de 2055 pucerons tandis qu'en moyenne il reste 592 pucerons sur les plantes de poivrons dans les cages où les syrphes ont accès aux pucerons (Figure 14 A). Pour la serre 2, les traitements ont un effet significatif sur les densités de pucerons ($F = 16.79$, $df = 1,8$, $p = 0.0307$). Le temps a un effet significatif ($F = 16.79$, $df = 5,35$, $p = 0.0001$). Plus les semaines passent, plus il y a de pucerons dans les cages. Et finalement, il y a une interaction significative entre le traitement et le temps ($F = 9.96$, $df = 5,35$, $p = 0.00001$). À la semaine 5 les populations de pucerons croissent plus lentement que dans les cages témoins et à la semaine 6, pour les cages où les syrphes ont accès, la population de pucerons a complètement disparue sur 3 des 5 cages et il reste en moyenne 11 pucerons par plant comparativement à plus de 1400 pucerons dans les cages témoins (Figure 14 B).

A)



B)

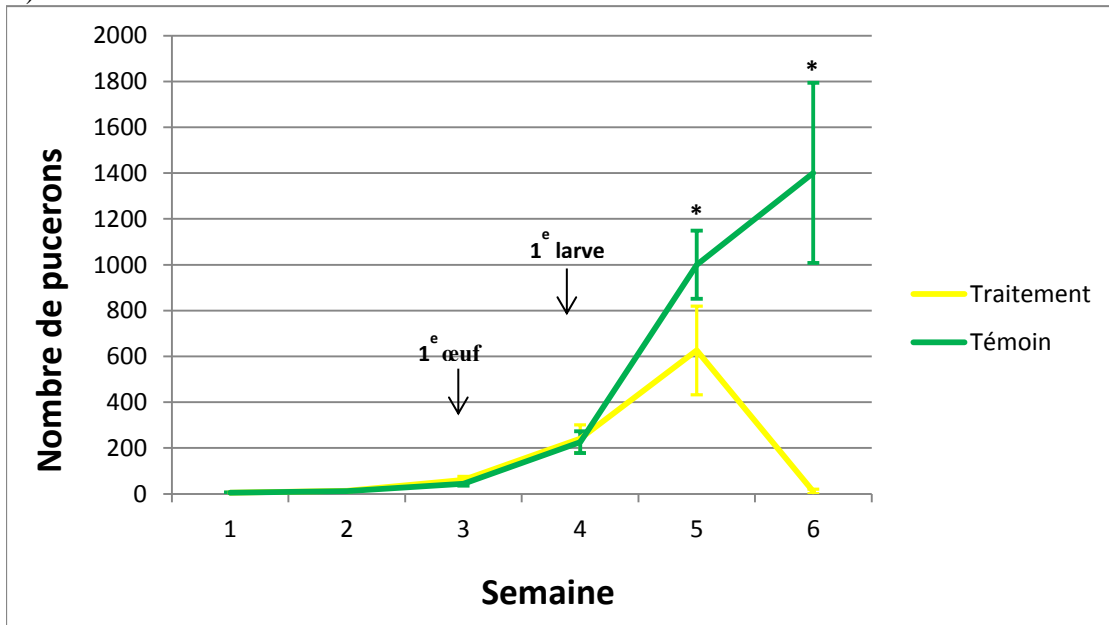


Figure 14. Nombre de pucerons de la digitale (*Aulacorthum solani*) par feuille dans les cages ouverte (prédation possible) et le témoin dans des cages fermé (sans prédation) pour la 1^e à la 6^e semaine d'échantillonnage en serre commerciale. Le graphique A représente les résultats dans la serre 1 et la graphique B représente les résultats dans la serre 2. La ligne verte représente la densité moyenne de pucerons dans les cages fermées (témoin) 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, femelles et le nombre total de syrphes adultes produits par les systèmes de plantes réservoirs récupérés dans la serre 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 par les plantes réservoirs récupérées sont inscrits au Tableau 6. Les œufs de syrphe ont été trouvés dans les plantes réservoir à la 5^e semaine pour la serre 1 et de la 3^e à la 6^e semaine pour la serre 2. Les 12 plantes réservoirs ont produits 73 syrphes pour la serre 1 et 45 syrphes pour la serre 2. Le sexe ratio n'est pas différent de 1 ♂ pour 1 ♀ (serre 1, $\chi^2 = 0.014$, $df = 1$, $p = 0.9068$; Serre 2, $\chi^2 = 0.020$, $df = 1$, $p = 0.6547$).

Conclusion du 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 la première semaine après le premier lâcher ce qui n'est pas le cas. Les œufs ont été retrouvés seulement à la 3^e semaine dans la serre 2 donc ce sont les adultes de syrphes issus des plantes réservoirs qui ont commencé à pondre. Donc, les lâchers de syrphes adultes sont non efficaces en serre commerciale.

Dans la serre 1, il n'y a pas de différence dans le nombre de pucerons présents dans les cages ouvertes ou fermées ce qui suggère que les syrphes n'ont pas eu d'effet. Par contre, il y a une interaction significative entre les traitements*semaine. Avec une série de contrastes nous avons démontré que cette interaction est le résultat de la 6^e semaine. Les populations de pucerons sont plus basses dans les cages ouvertes que dans les cages fermées. Les syrphes commencent à faire diminuer les populations de pucerons. Les deux semaines de délai dues à la prédation de fourmis plus les 3 semaines pour l'émergence des adultes des plantes réservoirs laisse seulement une semaine aux larves de syrphes pour réduire les populations de pucerons. L'essai dans la deuxième serre est plus représentatif d'une situation normale. Les syrphes ont presque complètement anéanti les populations de pucerons. Nous avons retrouvé des œufs sur les plantes réservoirs de la semaine 3 à 6 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 pour la première fois de démontrer que le système de plante réservoir avec l'eupéode d'Amérique sur puceron bicolore des céréales sur plants d'orge est un excellent système pour maintenir des populations de syrphes en serre commerciale et réprime des populations de pucerons.

Application possible dans l'industrie

Nous avons démontré que le système de plante réservoir proposé peut contrôler efficacement le puceron de la digitale en serre. En 2 semaines, 60% des plantes n'ont plus de pucerons et les autres ont moins de 10 pucerons par plante. C'est la première fois qu'un système de plante réservoir est développé avec des syrphes contre les pucerons en serre. Les fourmis peuvent complètement perturber le système si elles ne sont pas exclues. Elles peuvent tuer les jeunes larves de syrphe dans les plantes réservoirs. Par contre, il reste du développement à faire pour que ce système soit directement utilisable chez les producteurs ornementaux. Le puceron bicolore des céréales peut s'attaquer aux graminées ornementales et aucun producteur ne le veut dans ses serres. La première étape serait d'identifier un autre puceron pour la plante réservoir qui conviendrait en horticulture ornementale et de démontrer son efficacité en condition de production. Ce système pourrait être utilisé tel quel pour le contrôle des pucerons des légumes de serre. Par exemple, le système de plante réservoir pourrait réprimer efficacement le puceron du melon sur le concombre et pourrait remplacer l'utilisation de traitements d'insecticides en raison du fait que les populations de ce puceron peuvent exploser rapidement. Les producteurs de tomate en serre pourraient l'utiliser contre le puceron de la pomme de terre ou le puceron vert du pêcher.

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 de 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" à Niagara Falls, ON, Canada, 4-8 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'IQDHO. Le puceron bicolore des céréales n'est pas adapté à la réalité de la majorité des producteurs en serre. Il nous a été très difficile de recruter des producteurs en raison de la présence de graminées ornementales dans leurs serres qui sont sensibles aux pucerons bicolore des céréales utilisé dans le système de plante réservoir. Le projet n'est pas directement transférable pour eux mais pourrait être utilisé tel quel pour les producteurs

de légumes en serre; spécialement contre le puceron du melon dans les serres de concombre.

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 (QC, CANADA)
H3C 3P8
lucas.eric@uqam.ca
(514) 987-3000 # 3367

Marc Fournier
Laboratoire de Lutte Biologique
Département des Sciences Biologiques
Université du Québec à Montréal
CP 8888, succursale Centre-Ville
Montréal (QC, CANADA)
H3C 3P8
fournier.marc@uqam.ca
(514) 987-3000 # 4799

Remerciements aux partenaires financiers

Nous aimerions remercier Les serres Cléroux pour avoir héberger 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.