

PROGRAMME DE SOUTIEN À L'INNOVATION EN AGROALIMENTAIRE

Rapport final

Projet no. 806110

Optimisation de la lutte biologique contre la pyrale du maïs et les pucerons dans la culture du maïs sucré frais.

Responsable scientifique :

**Josée Boisclair**

(Institut de Recherche et de Développement en Agroenvironnement)

Septembre 2011

## LISTE DES CHERCHEURS IMPLIQUÉS

**Josée Boisclair** : chercheure à l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

**Éric Lucas** : chercheur titulaire à l'Université du Québec à Montréal (UQAM)

**Daniel Cormier** : chercheur à l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

**Silvia Todorova**, présidente d'Anatis Bioprotection, Inc.

L'étudiante au doctorat suivante a participé au projet :

**Elsa Etilé**

Les entreprises suivantes ont également participé au projet :

**Anatis Bioprotection Inc.**, 278, rang Saint-André, Saint-Jacques-le-Mineur (Québec) J0J 1Z0

**Para-Bio**, St-Augustin-de-Desmaures, Québec.

## FICHE DE TRANSFERT

Optimisation de la lutte biologique contre la pyrale du maïs et les pucerons dans la culture de maïs sucré frais.

Elsa Etilé<sup>1</sup>, Josée Boisclair<sup>2</sup>, Éric Lucas<sup>1</sup>, Daniel Cormier<sup>2</sup> et Silvia Todorova<sup>3</sup>

Durée : 05/2007 – 12/2010

### Faits saillants

L'introduction de *Trichogramma ostriniae* plutôt que *T. brassicae* dans les champs de maïs sucré au Québec devrait permettre d'améliorer l'utilisation des parasitoïdes dans cette culture. Cinq lâchers de *T. ostriniae* ont permis de réduire de façon significative et à des niveaux acceptables les dommages de pyrale du maïs durant deux années consécutives. Cependant, lors d'une année de forte infestation de la pyrale du maïs, ces cinq lâchers de *T. ostriniae* se sont avérés insuffisants pour réduire les dommages à des niveaux tolérables. Les essais de combinaison de *T. ostriniae* à des applications de *Bt* se sont avérés peu concluants. En effet, bien qu'un seul lâcher de *T. ostriniae* en début de saison ait permis de maintenir des taux élevés de parasitisme durant toute une saison, des interventions subséquentes avec du *Bt* n'ont pas permis de contrôler les populations de pyrale de façon suffisante dans ces champs. L'absence totale d'infestation de pucerons durant les trois années d'évaluation en champ nous permet de dire que l'utilisation de la lutte biologique dans ces parcelles n'a pas mené à une augmentation des populations de pucerons. Au niveau économique, les résultats de cette étude permettent de dire qu'il est possible de réduire les coûts associés au contrôle biologique des ravageurs du maïs sucré. Cependant, la rentabilité de l'utilisation de cette technique demeure fortement dépendante du niveau d'infestation par la pyrale du maïs.

### Objectif(s) et aperçu de la méthodologie

L'objectif du projet était tout d'abord de comparer le potentiel de certains agents de lutte biologique contre la pyrale du maïs et les pucerons pour ensuite évaluer différentes stratégies d'utilisation de ces agents dans un but de contrôle exclusivement biologique des ravageurs du maïs sucré. Sur le terrain, des lâchers de trichogrammes combinés à des applications de *Bt* nous ont permis de vérifier l'efficacité des différentes stratégies envisagées contre la pyrale du maïs. Des lâchers de prédateurs de pucerons avaient été planifiés dans le but d'intervenir en cas d'infestation de pucerons. Au laboratoire, les comparaisons des différents agents de lutte biologique ainsi que l'évaluation de leur compatibilité ont permis de vérifier la possibilité d'intégration des différents agents à un même programme de contrôle des ravageurs du maïs sucré.

---

<sup>1</sup> Université du Québec à Montréal (UQAM))

<sup>2</sup> Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

<sup>3</sup> Anatis Bioprotection

### **Résultats significatifs pour l'industrie ou la discipline**

**Espèce de trichogramme à utiliser:** Les résultats de terrain et de laboratoire ont montré que dans le cadre d'un programme de lutte biologique contre la pyrale du maïs au Québec, l'espèce *Trichogramma ostriniae* serait à privilégier par rapport à l'espèce *Trichogramma brassicae* utilisée traditionnellement.

**Infestation de pucerons :** Aucune infestation de pucerons n'a été constatée au cours des trois années d'échantillonnage. L'utilisation de la lutte biologique dans les champs expérimentaux n'a donc pas mené à un accroissement des populations de pucerons et les ennemis naturels retrouvés dans les parcelles ont fort probablement contribué à maintenir ces populations de pucerons à de faibles niveaux.

**Compatibilité des agents de lutte biologique pour une utilisation conjointe:** Les études menées au laboratoire n'ont pas révélé d'incompatibilité entre *Bt* et trichogrammes: la présence de *Bt* sur des œufs de pyrale n'a affecté ni le parasitisme des trichogrammes ni la qualité de la progéniture émergeant de ces œufs. Par ailleurs, aucune des deux espèces de trichogramme étudiée n'a parasité les œufs du prédateur de pucerons *Leucopis annulipes*, ce qui ne révèle donc pas d'incompatibilité entre ces deux agents de lutte biologique en conditions contrôlées. Par conséquent, dans le cas où une infestation de pucerons du maïs viendrait s'ajouter à une infestation par la pyrale du maïs, l'utilisation conjointe de parasitoïdes du genre *Trichogramma*, de *Bt* et de prédateurs de pucerons (ex. *Leucopis* spp.) est envisageable.

### **Efficacité de l'utilisation conjointe des différents agents de lutte biologique :**

La stratégie d'intervention *raisonnée* n'a pas donné de contrôle convaincant de l'insecte. Malgré les quatre interventions au *Bt* subséquentes au lâcher de trichogrammes, le taux d'épis endommagés atteignait 60% dans les parcelles ayant reçu ce traitement. L'infestation par la pyrale était cependant particulièrement importante cette année.

**Applications possibles pour l'industrie et/ou suivi à donner :** Deux années sur trois, des lâchers systématiques de *Trichogramma ostriniae* à la dose de 150 000 individus à l'hectare ont permis de réduire les épis endommagés par la pyrale du maïs à moins de 5%. Certains producteurs et fournisseurs de trichogrammes de la région se sont d'ailleurs tournés vers *T. ostriniae* suite aux premiers résultats de cette étude et ils l'offrent maintenant aux producteurs de maïs sucré intéressés par le contrôle biologique de la pyrale du maïs. Cependant, les nombreux dommages retrouvés la troisième année d'essais sur le terrain avec la même stratégie indiquent qu'un suivi régulier de l'évolution des populations de pyrale dans les champs (à l'aide de l'échantillonnage séquentiel, par exemple) demeure fortement recommandé aux producteurs désireux d'adopter les trichogrammes (uniquement ou en combinaison à d'autres produits phytosanitaires) afin de protéger leurs cultures. Pour faire suite à cette étude, il serait intéressant de répéter les différentes combinaisons proposées à différents niveaux d'infestation. Il serait également pertinent de travailler sur la mise en place d'une charte d'intervention permettant aux utilisateurs d'ajuster les doses de trichogrammes à

utiliser au long de la saison et selon le niveau d'infestation par la pyrale du maïs dans leurs champs de maïs sucré. L'efficacité et les bénéfices de la technique pourraient ainsi être augmentés.

**Portée** : Les résultats de ces travaux peuvent servir de base importante pour la recherche dans d'autres cultures où la pyrale et les pucerons sont des ravageurs importants, notamment le maïs sucré de transformation, le poivron, la pomme de terre et le haricot.

Point de contact pour information :

**Responsable** : Josée Boisclair

**Adresse** : Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

3300, rue Sicotte, C. P. 480, Saint-Hyacinthe (Québec)

J2S 7B8, CANADA

Tél. : 450 778-6522, poste 227; Téléc. : 450 778-6539

Courriel : [josee.boisclair@irda.qc.ca](mailto:josee.boisclair@irda.qc.ca)

#### **Remerciements aux partenaires financiers**

Ce projet de recherche a été réalisé grâce à la contribution financière du MAPAQ par le biais du Programme de soutien à l'innovation agroalimentaire (PSIA).

## ACTIVITÉS DE TRANSFERT AUX UTILISATEURS

### **Mars 2011 :**

Elsa Etilé, J. Boisclair, D. Cormier, S. Todorova et É. Lucas. 2011. Lutte biologique contre la pyrale du maïs dans le maïs sucré frais. Réunion annuelle du Groupe de travail dans le maïs sucré. Réseau d'avertissement phytosanitaire - Maïs sucré, Drummondville, 23 mars.

### **Décembre 2010 :**

Elsa Etilé, J. Boisclair, D. Cormier, S. Todorova et É. Lucas. 2010. Maïs sucré : contrôle biologique de la pyrale du maïs. **Les Journées Horticoles, MAPAQ**. Saint-Rémi, 9 décembre. *Communication orale*.

### **Septembre 2009 :**

Elsa Etilé, J. Boisclair, G. Richard et F. Pelletier. 2009. **Journée Portes Ouvertes de l'Institut de Recherche et Développement en Agroenvironnement**, Saint-Hyacinthe, 1<sup>er</sup> septembre. *Présentation du projet et démonstration*.

Elsa Etilé, J. Boisclair, D. Cormier, S. Todorova & É. Lucas. Lutte biologique contre la pyrale du maïs et les pucerons dans le maïs sucré frais. IRDA. 2 pages. *Fiche synthèse*.

### **Avril 2008 :**

Elsa Etilé, J. Boisclair, D. Cormier, S. Todorova et É. Lucas. 2008. Quelques mots sur un projet PSIA en cours : Optimisation de la lutte biologique contre la pyrale du maïs et les pucerons dans la culture du maïs sucré frais. Réunion annuelle du Groupe de travail dans le maïs sucré. Réseau d'avertissement phytosanitaire - Maïs sucré, Trois-Rivières, 29 avril. *Présentation du projet*.

## ACTIVITÉS DE DIFFUSION ET DE TRANSFERT SCIENTIFIQUE

### Mars 2011 :

Etilé, E., J. Boisclair, D. Cormier, S. Todorova et É. Lucas. 2011. Évaluation de deux stratégies de lutte biologique contre la pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis* Hübner) en culture de maïs sucré frais. **4<sup>ième</sup> Conférence internationale sur les méthodes alternatives en protection des cultures**, Lille, France, Association française de protection des plantes, 8-10 mars, p. 166. *Communication par affiche*.

Etilé, E., J. Boisclair, D. Cormier, S. Todorova et É. Lucas. 2011. Évaluation de deux stratégies de lutte biologique contre la pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis* Hübner) en culture de maïs sucré frais. **4<sup>ième</sup> Conférence internationale sur les méthodes alternatives en protection des cultures**, Lille, France, Association française de protection des plantes, 8-10 mars, p. 614-620. *Article*.

### Décembre 2010 :

Elsa Etilé, J. Boisclair, D. Cormier, S. Todorova et É. Lucas. 2010. Evaluation of two biological control strategies against the European corn borer (*Ostrinia nubilalis* Hübner) in fresh market sweet corn. **Annual congress of the Entomological Society of America**, San Diego. Californie. *Communication orale*.

### Novembre 2010 :

Elsa Etilé, J. Boisclair, D. Cormier, S. Todorova et É. Lucas. 2010. Étude de la compatibilité de différents agents de lutte biologique utilisés contre les principaux ravageurs du maïs sucré. **137<sup>ième</sup> Réunion annuelle de la Société d'Entomologie du Québec**, Trois-Rivières, Québec. 11-12 novembre. *Communication orale*.

### Juillet 2010 :

Etilé, E., J. Boisclair J., D. Cormier, S. Todorova et É. Lucas. 2010. Efficacité de *Trichogramma brassicae* et *T. ostrinae* contre la pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis* Hübner) en culture de maïs sucré frais. **VII Conférence internationale Francophone d'Entomologie (CIFE)**, Louvain-la-Neuve, Belgique, 5-10 juillet, p. 144. *Communication par affiche*

Elsa Etilé, J. Boisclair, D. Cormier, S. Todorova et É. Lucas. 2010. Comparaison de deux stratégies de lutte biologique contre la pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis*) en culture de maïs sucré frais. **VIII<sup>ème</sup> Conférence Internationale Francophone d'Entomologie (CIFE)**, Louvain-la-Neuve, Belgique. 5-10 juillet, p. 144. *Communication par affiche*

**Novembre 2009 :**

Elsa Etilé, J. Boisclair, D. Cormier, S. Todorova & É. Lucas. 2009. Évaluation de deux stratégies de lutte biologique contre la pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis*) dans le maïs sucré frais. 136<sup>ième</sup> **Réunion annuelle de la Société d'Entomologie du Québec**, Saint-Jean-sur-Richelieu, Québec. *Communication orale.*

**Novembre 2008 :**

Elsa Etilé, J. Boisclair, D. Cormier, S. Todorova & É. Lucas. 2008. Comparaison de deux stratégies de lutte biologique contre la pyrale du maïs dans le maïs sucré frais. **Réunion annuelle conjointe de la Société d'Entomologie du Québec et de la Société de Protection des Plantes du Québec**, Québec, Qc. *Communication orale.*

**Octobre 2007 :**

Elsa Etilé, J. Boisclair, D. Cormier, et É. Lucas. 2007. Efficacité des parasitoïdes *Trichogramma brassicae* et *T. ostriniae* contre la pyrale du maïs en culture de maïs sucré frais. 134<sup>ième</sup> **Réunion annuelle de la Société d'Entomologie du Québec**, Lac Delage, Québec. *Communication orale.*



# Table des matières

---

<b>1</b>	<b>PROBLÉMATIQUE ET INTÉRÊT DE L'ÉTUDE</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJECTIFS DE L'ÉTUDE</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>DESCRIPTION DES RAVAGEURS ET DES AGENTS DE LUTTE BIOLOGIQUE IMPLIQUÉS DANS LE PROJET</b> .....	<b>3</b>
3.1	RAVAGEURS .....	3
3.1.1	<i>La pyrale du maïs (Ostrinia nubilalis Hübner (Lepidoptera :Crambidae))</i> .....	3
3.1.2	<i>Les pucerons du maïs</i> .....	4
3.2	AGENTS DE LUTTE BIOLOGIQUE .....	4
3.2.1	<i>Les trichogrammes</i> .....	4
3.2.2	<i>Le Bacillus thuringiensis</i> .....	5
3.2.3	<i>Les prédateurs de pucerons</i> .....	6
<b>4</b>	<b>TRAVAUX EFFECTUÉS ET RÉSULTATS OBTENUS</b> .....	<b>8</b>
4.1	ÉVALUATION DES PARASITOÏDES ( <i>TRICHOGRAMMA BRASSICAE</i> ET <i>TRICHOGRAMMA OSTRINIAE</i> ). .....	8
4.1.1	<i>Expérience menée au champ</i> .....	8
4.1.2	<i>Expérience menée au laboratoire</i> .....	13
4.2	ÉVALUATION DES FORMULATIONS DE BIOPESTICIDES À BASE DE <i>Bt</i> ( <i>DIPEL 2XDF</i> ET <i>BIOPROTEC 3P</i> ).....	18
4.2.1	<i>Expérience menée au champ</i> .....	18
4.2.2	<i>Expérience menée au laboratoire</i> .....	23
4.2.3	<i>Conclusion</i> .....	24
4.3	ÉVALUATION DES DEUX ESPÈCES DE PRÉDATEURS DE PUCERONS <i>APHIDOLETES APHIDIMYZA</i> ET <i>LEUCOPIS ANNULIPES</i> POUR LE CONTRÔLE DES POPULATIONS DE PUCERONS RETROUVÉES DANS LE MAÏS SUCRÉ. ....	25
4.3.1	<i>Expériences menées au champ</i> .....	25
4.3.2	<i>Expérience menée au laboratoire</i> .....	33
4.3.3	<i>Conclusion</i> .....	36
4.4	ÉVALUATION DE LA COMPATIBILITÉ ENTRE LES DIFFÉRENTS AGENTS DE LUTTE BIOLOGIQUE .....	37
4.4.1	<i>Compatibilité entre les parasitoïdes et les formulations de Bt : effet du Bt sur le parasitisme par des trichogrammes.</i> .....	37
4.4.2	<i>Compatibilité entre les prédateurs et les deux formulations de Bt</i> .....	39
4.4.3	<i>Compatibilité entre les parasitoïdes et les prédateurs sélectionnés</i> .....	42
4.5	EXPÉRIMENTATION AVEC LES AGENTS DE LUTTE BIOLOGIQUE RETENUS .....	46
4.5.1	<i>Année 2008</i> .....	46

4.5.2	<i>Année 2009</i> .....	55
4.6	ÉVALUATION DES COÛTS RELATIFS AUX DIFFÉRENTES STRATÉGIES .....	64
4.6.1	<i>Conclusion volet économique</i> .....	71
<b>5</b>	<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>72</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>73</b>
<b>7</b>	<b>ANNEXES</b> .....	<b>74</b>
7.1	ANNEXE A : DISPOSITION DES PARCELLES EXPÉRIMENTALES SUR LE SITE DE SAINT-HYACINTHE .....	74
7.2	ANNEXE B : TRICHOCARTE .....	75
7.3	ANNEXE C : PUBLICATION (EN COURS DE PRÉPARATION) AU JOURNAL BIOLOGICAL CONTROL .....	76

# Liste des figures

---

Figure 1. Nombre d'adultes de pyrale du maïs capturés à l'aide de pièges à phéromone de type <i>Heliothis</i> sur le site de Saint-Hyacinthe du 20 mai au 2 septembre 2007.....	12
Figure 2. Nombre (moyenne $\pm$ err.-type) de masses d'œufs naturelles de pyrale du maïs trouvées par traitement en 2007.....	12
Figure 3. Pourcentage d'œufs parasités par la femelle trichogramme chaque jour. ....	15
Figure 4. Proportion d'œufs parasités par <i>T. brassicae</i> et <i>T. ostriniae</i> en fonction des jours. ....	17
Figure 5. Dynamique de ponte (nombre total de masses d'œufs naturelles de pyrale du maïs trouvées) dans les parcelles en 2007. ....	19
Figure 6. Nombre moyen de masses d'œufs naturelles de pyrale du maïs trouvées dans les parcelles attribuées aux différents traitements du 24 juillet au 28 août 2007. ....	20
Figure 7. Résultats des dépistages effectués durant l'été 2007. Nombre moyen de plants présentant des dommages au niveau des feuilles, de la croix, de la tige ou de l'épi et nombre moyen de larves trouvées durant la saison. ....	22
Figure 8. Pourcentage de plants endommagés à la croix, la tige et l'épi au moment de la récolte. ....	22
Figure 9. Pourcentage de plants ne présentant aucun dommage le jour de la récolte. ....	22
Figure 10. Graphique de survie des larves de pyrale du maïs nourries d'un diète traitée au Bioprotec® 3P, au Dipel® 2XDF ou à l'eau distillée (témoin).....	24
Figure 11. Pourcentage de plants infestés (moyenne $\pm$ erreur-type) par les pucerons par parcelle en 2007 (a), 2008 (b) et 2009 (c). ....	27
Figure 12. Abondance relative des différents prédateurs de pucerons retrouvés dans les parcelles de maïs sucré sur l'ensemble des saisons 2008 (a) et 2009 (b).....	30
Figure 13. Densité des populations d'ennemis naturels des pucerons dans le maïs sucré; <b>(a)</b> Nombre (moyenne $\pm$ erreur-type) de coccinelles adultes par parcelle (/ 50 plants) durant l'été 2008; <b>(b)</b> Nombre (moyenne $\pm$ erreur-type) d'autres ennemis naturels ( <i>Orius</i> spp. adultes, larves de chrysopes, larves de syrphes, larves de cécidomyie) par parcelle (/50 plants) durant l'été 2008. ....	31
Figure 14. Densité des populations d'ennemis naturels des pucerons dans le maïs sucré; (a) Nombre (moyenne $\pm$ erreur-type) de coccinelles adultes par parcelle (/ 50 plants) durant l'été 2009; (b) Nombre (moyenne $\pm$ erreur-type) d'autres ennemis naturels ( <i>Orius</i> spp. adultes, larves de chrysopes, larves de syrphes, larves de cécidomyie) par parcelle (/50 plants) durant l'été 2009. ....	32
Figure 15. Nombre (moyenne $\pm$ erreur-type) de pucerons consommés totalement (TOTAL), partiellement (PARTIEL) et somme des deux (TOT.+PART.) par les larves d' <i>Aphidoletes aphidimyza</i> (CCD) et <i>Leucopis annulipes</i> (Leucopis) en 24h.....	35
Figure 16. Nombre (moyenne $\pm$ erreur-type) de pucerons morts et non-consommés par les larves d' <i>Aphidoletes aphidimyza</i> (CCD) et <i>Leucopis annulipes</i> (Leucopis) en 24h.....	35

Figure 17. Nombre (moyenne $\pm$ erreur-type) de pucerons tués (consommés+non-consommés) par les larves d' <i>Aphidoletes aphidimyza</i> (CCD) et <i>Leucopis annulipes</i> (Leucopis) en 24h. ....	36
Figure 18. Proportion (moyenne $\pm$ erreur-type) d'œufs parasités par <i>T. brassicae</i> et <i>T. ostriniae</i> sur des masses d'œufs de pyrale du maïs aspergées de Bioprotec®3P, de Dipel 2XDF et d'eau distillée. ....	39
Figure 19. Taux d'émergence (nombre d'individus émergés/œuf parasité) (moyenne $\pm$ erreur-type) de <i>T. brassicae</i> et <i>T. ostriniae</i> sur des masses d'œufs de pyrale du maïs aspergées de Bioprotec®3P, de Dipel®2XDF et d'eau distillée.....	39
Figure 20. Nombre (moyenne $\pm$ erreur-type) de pucerons consommés par les larves de <i>Leucopis annulipes</i> , nombre de pucerons morts non-consommés par les larves, et nombre total de pucerons morts sur une période de 24h. ....	41
Figure 21. Pourcentage d'œufs d' <i>Ephestia kuehniella</i> et <i>Leucopis annulipes</i> parasités par <i>Trichogramma ostriniae</i> et <i>T. brassicae</i> .....	43
Figure 22. Proportion d'œufs d' <i>Ephestia kuehniella</i> et <i>Leucopis annulipes</i> éclos en présence d'une femelle <i>T. ostriniae</i> , d'une femelle <i>T. brassicae</i> et sans trichogramme. ....	45
Figure 23 : Nombre d'adultes de pyrale du maïs capturés à l'aide de pièges à phéromone de type <i>Heliothis</i> sur le site de Saint-Hyacinthe du 20 mai au 2 septembre 2008. ....	49
Figure 24. Nombre moyen de masses d'œufs naturelles de pyrale du maïs trouvées dans les parcelles en 2008 pour chaque traitement. ....	50
Figure 25. Pourcentage (moyenne $\pm$ err.-type) de masses d'œufs sentinelles d' <i>Ostrinia nubilalis</i> parasitées par les trichogrammes dans chacun des traitements durant l'été 2008. ....	51
Figure 26. Pourcentage de masses d'œufs sentinelles d' <i>Ostrinia nubilalis</i> parasitées (moyenne $\pm$ err.-type) aux dix jours, après des lâchers de trichogrammes. ....	52
Figure 27. Pourcentage de masses d'œufs naturelles d' <i>Ostrinia nubilalis</i> parasitées à chaque dépistage. ....	53
Figure 28. Pourcentage de plants endommagés à la croix, la tige et l'épi au moment de la récolte. ....	54
Figure 29. Nombre d'adultes de pyrale du maïs capturés à l'aide de pièges à phéromone de type <i>Heliothis</i> sur le site de Saint-Hyacinthe du 18 mai au 07 septembre 2009. ....	57
Figure 30. Nombre moyen de masses d'œufs naturelles de pyrale du maïs trouvées dans les parcelles en 2009 pour chaque traitement. ....	58
Figure 31. Pourcentage de masses d'œufs sentinelles parasitées aux dix jours.....	60
Figure 32. Pourcentage de masses d'œufs naturelles d' <i>Ostrinia nubilalis</i> parasitées à chaque dépistage. ....	61
Figure 33. Pourcentage (moyenne $\pm$ err.-type) de plants de maïs sucré endommagés au niveau de la croix, de la tige et de l'épi.....	62

# Liste des tableaux

---

Tableau 1. TL25, TL50 et TL 75 des larves de pyrales traitées au Bioprotec®3P et au Dipel® 2XDF. ....	24
Tableau 2 : Évaluation du coût d'utilisation de plusieurs produits destinés à lutter contre la pyrale du maïs dans les champs de maïs sucré au Québec. ....	67
Tableau 3 : Évaluation du coût de plusieurs stratégies d'utilisation de <i>T. ostriniae</i> seul ou en combinaison avec du BIOPROTEC3P® dans un but de contrôle biologique la pyrale du maïs dans les champs de maïs sucré. ....	68
Tableau 4. Changement de profitabilité (\$/ha) <sup>1</sup> pour les différentes stratégies testées chaque année par rapport aux témoins non-traités.....	69
Tableau 5. Écarts de prix (\$/dz) à atteindre selon la transition de traitements insecticides (coût insecticides) à différentes stratégies de lutte biologique contre la pyrale du maïs, pour 3 catégories de rendement.....	70

## 1 Problématique et intérêt de l'étude

Le maïs sucré est la culture la plus répandue au Canada. Son plus grand ennemi, la pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis* Hübner (Lepidoptera : Crambidae)), est responsable de pertes importantes dans l'ensemble du pays. Malheureusement, les producteurs ne s'appuient quasiment que sur la lutte chimique pour faire face au ravageur. Cette utilisation massive de pesticides de synthèse est responsable non seulement de problèmes environnementaux, mais également de problèmes subséquents de ravages d'autres insectes comme les pucerons. Des alternatives plus écologiques existent déjà mais elles restent plus coûteuses que l'utilisation exclusive d'insecticides chimiques. Le but de cette étude est donc de démontrer qu'il est possible d'optimiser la lutte biologique contre la pyrale du maïs et les pucerons dans le maïs sucré par une utilisation conjointe et adéquate de différents agents naturels de contrôle des populations. Dans cette étude, des essais d'utilisation conjointe de trichogrammes (parasitoïdes de la pyrale du maïs), de *Bacillus thuringiensis* (bactérie entomopathogène) et de prédateurs de pucerons nous permettront de dire si un contrôle entièrement biologique de ces ravageurs du maïs est possible. Une comparaison des coûts des différentes stratégies testées nous permettra par la suite de déterminer si ces solutions sont transmissibles aux producteurs de maïs sucré frais au Québec.

## 2 Objectifs de l'étude

**Objectif 1** : Sélectionner les meilleurs agents de lutte biologique en terme d'efficacité de contrôle parmi un choix de :

- ✓ deux espèces de parasitoïdes de la pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis* Hübner):  
*Trichogramma ostriniae* Pang et Chen et *Trichogramma brassicae* Bedzenko;
- ✓ deux biopesticides à base de *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* : DIPEL<sup>®</sup> 2XDF et Bioprotec<sup>®</sup> 3P, contre la pyrale du maïs;

- ✓ deux espèces prédatrices de pucerons : *Aphidoletes aphidimyza* Rondani et *Leucopis annulipes* Zettertedst contre les pucerons du maïs *Rhopalosiphum maidis* et *Rhopalosiphum padi*.

**Objectif 2** : Évaluer les interactions entre les différents agents biologiques utilisés dans le programme.

**Objectif 3** : Évaluer différentes stratégies de lutte biologique contre la pyrale du maïs et les pucerons dans le maïs sucré frais de mi-saison.

Les stratégies de lutte biologique évaluées se décrivent comme suit:

- ✓ Stratégie biologique dite « systématique » :
  - Introduction de trichogrammes de façon systématique, selon les dates recommandées par le Réseau d'avertissements phytosanitaires (RAP) pour le maïs sucré, soit tous les 10 jours à partir du stade phénologique V6 (4 à 6 feuilles déployées).
  - Introduction de prédateurs de pucerons selon les recommandations du RAP.
  
- ✓ Stratégie biologique dite « raisonnée » :
  - Introduction unique de trichogrammes stade phénologique V8 (8 à 10 feuilles déployées).
  - Application de *Bt* au besoin selon le suivi d'infestation de pyrale avec la technique de l'échantillonnage séquentiel.
  - Introduction de prédateurs de pucerons selon les recommandations du RAP.

**Objectif 4** : Comparer la rentabilité des différentes stratégies biologiques aux stratégies utilisées pour les productions conventionnelles.

### 3 Description des ravageurs et des agents de lutte biologique impliqués dans le projet

#### 3.1 RAVAGEURS

##### 3.1.1 La pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis* Hübner (Lepidoptera :Crambidae))

Espèce européenne introduite dans la région des Grands Lacs au début des années 1900, la pyrale du maïs se rencontre maintenant partout dans l'est et le centre de l'Amérique du Nord.

La larve de la pyrale du maïs s'attaque à toutes les parties aériennes des plants. Les jeunes larves se nourrissent des feuilles, les criblant ainsi de petits trous. Lorsqu'apparaît la panicule (fleur mâle), elles se nourrissent des épillets en formation. Par la suite, les larves s'introduisent à l'intérieur de la panicule entraînant parfois sa cassure; la fécondation du maïs peut alors en être affectée. Les larves plus âgées creusent ensuite des galeries dans l'ensemble de la tige (qui peut elle aussi casser) et peuvent ainsi diminuer le rendement en affectant les processus physiologiques de la plante (Jean et Boisclair, 2001). Cependant, le principal problème causé par la pyrale reste l'infestation des épis qui deviennent impropres à la vente comme produit frais. Contrairement au maïs de grande culture ou au maïs sucré destiné à la transformation, un épi de maïs sucré frais infesté est un épi perdu (Jean et Boisclair, 2001). Les producteurs considèrent les dommages de pyrale particulièrement problématiques à cause de la difficulté à détecter un épi infesté de l'intérieur et par conséquent de l'augmentation des chances de trouver un produit final contaminé après la récolte (Mason *et al.* 1996).



### 3.1.2 Les pucerons du maïs

Les pucerons sont des homoptères de la famille des Aphididae. Le puceron du maïs *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) (Homoptera : Aphididae) est une espèce polyphage originaire d'Asie, que l'on retrouve maintenant partout dans le monde, des régions tropicales aux régions tempérées (Blackman et Eastop, 2000). Au printemps, des individus ailés migrent par les courants aériens du sud des États-Unis vers le Québec où ils s'y reproduisent. Ils attaquent généralement le maïs vers la mi-juillet, et ce sont donc le maïs de mi-saison et le maïs tardif qui sont plus vulnérables à des dommages de pucerons. Les colonies se développent sur la partie supérieure du feuillage, sur la panicule ou directement sur l'épi. Ce sont des insectes suceurs qui, lorsque les populations sont très importantes, peuvent finir par affaiblir la plante ou entraîner une réduction de la pollinisation. Ces cas d'infestation peuvent survenir lors de saisons particulièrement sèches. Les dégâts causés par les pucerons sont plus fréquemment dus à la sécrétion de miellat. Lors de fortes infestations, le miellat peut recouvrir la panicule et les soies, affectant ainsi la pollinisation et donnant parfois des épis stériles, dépourvus de grains. Le miellat favorise également l'apparition de moisissure noire, la fumagine, qui peut se retrouver sur les épis et les rendre impropres à la commercialisation. Les pucerons peuvent également transmettre le virus de la mosaïque nanifiante du maïs (Jean et Boisclair, 2001).

Au Québec, d'autres espèces de pucerons s'attaquent également au maïs sucré. Il s'agit du puceron bicolore des céréales *Rhopalosiphum padi* (L.) et du puceron des céréales *Sitobion avenae* (Fabricius). *S. avenae* n'est pas problématique dans le maïs sucré. *R. padi*, quant à lui, peut être très abondant, et ses dommages s'apparentent à ceux de *Rhopalosiphum maidis* (Jean et Boisclair, 2001).

## 3.2 AGENTS DE LUTTE BIOLOGIQUE

### 3.2.1 Les trichogrammes

Les trichogrammes sont des micro-hyménoptères (0,5 à 1,5mm) parasitoïdes oophages. Ils font partie de la famille des Trichogrammatidae qui compte plus de 600 espèces

réparties sous 80 genres (Pinto et Stouthamer, 1994). Ils s'attaquent généralement aux Lépidoptères, bien que certaines espèces puissent parasiter des Coléoptères, des Diptères, des Hétéroptères, des Hyménoptères ou des Neuroptères (Pinto et Stouthamer, 1994). La femelle trichogramme pond ses œufs dans ceux de son hôte et les larves se développent en se nourrissant du contenu de l'œuf (Schmidt, 1994). Une fois mature, le trichogramme adulte émerge de l'œuf parasité, et est prêt à s'accoupler afin de recommencer le cycle.

Les trichogrammes font aujourd'hui partie des agents de contrôle biologique les plus utilisés dans le monde (Li, 1994; van Lenteren, 2000). Les 30 dernières années ont vu une augmentation considérable de l'utilisation de ces parasitoïdes dans le maïs, la canne à sucre, le coton, les arbres fruitiers et les légumes dans plus de 30 pays. L'essor de cet usage serait principalement dû à son avantage économique, prouvé dans plusieurs pays comme l'ex-URSS et la Chine (où l'utilisation intensive des trichogrammes a débuté bien avant l'Amérique et l'Europe occidentale) et est survenu suite au volume croissant de recherche et de moyens visant à améliorer les techniques de production et d'utilisation des trichogrammes (Li, 1994; Smith, 1996).

### 3.2.2 Le *Bacillus thuringiensis*

Le *Bt* (*Bacillus thuringiensis*) est un bacille que l'on retrouve dans pratiquement tous les sols, l'eau, l'air et le feuillage (Joung et Côté, 2000). Il a été isolé pour la première fois en 1901 par le bactériologiste S. Ishiwata à partir de vers à soie [*Bombyx mori* (L.)] infectés. Son activité insecticide s'exprime principalement contre les Lépidoptères, Diptères et Coléoptères respectivement (Brar *et al.*, 2006).

Durant la sporulation, le *Bt* produit un corps constitué de protéines cristallisées. Après ingestion, ces protéines exercent leur effet en lysant les cellules épithéliales de l'intestin, paralysant ainsi le tube digestif de l'insecte. Infecté, il cesse de se nourrir et finit en général par mourir de faim ou des conséquences d'une septicémie (Cloutier et Cloutier, 1992; Walon et Wingerd, 2003).

Les premières applications de *Bt* dans l'environnement datent de 1933. C'est le premier micro-organisme entomopathogène à avoir été homologué comme biopesticide dans le monde. Bien qu'il soit sur le marché depuis 1938 (Brar *et al.*, 2006), c'est la mise au point de la méthode de fermentation liquide aérobie en cuve profonde au cours des années 1950, qui a rendu possible la commercialisation du *Bt* à grande échelle. Il a été utilisé massivement en Amérique du Nord contre plus de 40 ravageurs dans des champs, des forêts, des vergers, des vignobles, des parcs et des jardins (Burgess et Daoust, 1986). Les premières formulations commerciales de *Bt* ont été mises à l'essai au champ aux États-Unis en 1958 et en 1961, la sous-espèce *kurstaki* (*Btk*), spécifique aux lépidoptères, a été utilisée comme biopesticide contre plusieurs espèces nuisibles (Joung et Côté, 2000). Aujourd'hui, les préparations à base de *Bacillus thuringiensis* concernent près de 90% du marché des biopesticides, car cette bactérie se multiplie facilement en fermenteurs et est à l'origine de produits formulés stables, très sélectifs et dont les prix sont compétitifs (Silvy et Riba, 1999).

### 3.2.3 Les prédateurs de pucerons

De manière générale, les champs sont naturellement habités de nombreuses espèces d'ennemis naturels des pucerons. Plusieurs espèces de Coccinellidae, que l'on retrouve partout en Amérique du Nord, sont des prédateurs spécialistes des pucerons (Brewer et Elliott, 2004). Le contrôle des pucerons avec des prédateurs généralistes de type coccinelle ou chrysope pose fréquemment des problèmes lors de l'utilisation conjointe de plusieurs agents de lutte, notamment en raison des risques de prédation (par exemple, les coccinelles, qui se nourrissent aussi d'œufs de lépidoptères, pourraient s'attaquer à des œufs déjà parasités par des trichogrammes et diminuer ainsi la population de trichogrammes) (Lucas, 2005). Pour cette étude, notre sélection porte plutôt sur des prédateurs spécialisés envers les pucerons et qui n'interagissent pas de manière négative avec les autres ennemis naturels. Les deux espèces étudiées sont : la cécidomyie, *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera : Cecidomyiidae) et *Leucopis annulipes*

Zetterstedt 1848 (Diptera : Chamaemyiidae). Ce sont deux espèces de diptères déjà utilisés dans des programmes de lutte biologique à travers le monde.

## 4 TRAVAUX EFFECTUÉS ET RÉSULTATS OBTENUS

*Note* : Toutes les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel JMP7® (SAS Institute).

### 4.1 ÉVALUATION DES PARASITOÏDES (*TRICHOGRAMMA BRASSICAE* ET *TRICHOGRAMMA OSTRINIAE*).

Le but de cette première expérience était de déterminer quelle espèce de trichogramme présente le meilleur potentiel pour être utilisé dans un programme de lutte biologique. L'efficacité des deux espèces *Trichogramma brassicae* Bedzenko et *Trichogramma ostriniae* Pang et Chen à réprimer la pyrale du maïs a été comparée en champ et en laboratoire. En champ de maïs sucré, des lâchers de trichogrammes des deux espèces ont été effectués tout au long de la saison afin d'évaluer leur capacité de parasitisme et de contrôle des populations de pyrale du maïs. Au laboratoire, des essais en conditions contrôlées avaient pour but d'évaluer le parasitisme fonctionnel des deux espèces.

#### 4.1.1 Expérience menée au champ

*Cette expérience a fait l'objet d'un article scientifique actuellement en cours de préparation (Annexe C). Les résultats de ces travaux ont de plus été présentés lors de la Réunion annuelle de la Société Entomologique du Québec en 2007.*

##### 4.1.1.1 Site et dispositif

Les essais ont été réalisés en station expérimentale sur le site de l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) dans la ville de Saint-Hyacinthe, Québec. Les parcelles de maïs sucré utilisées étaient de 0,2 hectare (40m x 50m) et distancées de 150m. La variété de maïs sucré *Temptation* a été utilisée car il s'agit d'une variété de maïs abondamment cultivée au Québec.

#### 4.1.1.2 Traitements effectués

Les douze parcelles ont été réparties de façon complètement aléatoire selon les trois traitements suivants, répétés quatre fois:

- ✓ ***Trichogramma ostriniae*** : lâchers effectués tous les 10 jours, pour un total de cinq lâchers durant la saison. Dose unitaire : 150 000 individus/hectare.
- ✓ ***Trichogramma brassicae*** : lâchers effectués tous les 10 jours, pour un total de cinq lâchers durant la saison. Dose unitaire : 150 000 individus/hectare.
- ✓ **Témoin** : aucune intervention phytosanitaire n'a été effectuée contre la pyrale du maïs dans ces parcelles.

*Note : modification apportée au protocole initial*

*Afin de faire une comparaison équitable de l'efficacité des deux espèces de trichogrammes au champ, il a été jugé plus approprié de les comparer à dose égale plutôt qu'aux doses de 400 000 indiv / ha et 200 000 indiv / ha pour *Trichogramma brassicae* et *Trichogramma ostriniae* respectivement, tel qu'il figure dans la demande initiale.*

#### 4.1.1.3 Déroulement des lâchers de trichogrammes.

Les trichogrammes ont été relâchés aux mêmes dates dans les deux traitements, soit les 21 juin, 1er juillet, 11 juillet, 21 juillet et 31 juillet 2007, en suivant les recommandations du Réseau d'avertissement phytosanitaire (RAP) - Maïs sucré. Les introductions de trichogrammes ont été effectuées à l'aide de ***trichocartes*** traditionnellement utilisées au Québec. Les trichocartes sont des cartons glacés (pour protection contre la pluie) à l'intérieur desquels sont collés des œufs stérilisés et préalablement parasités d'un hôte d'élevage : *Ephestia kuehniella*. Elles comportent une anse qui permet de les accrocher facilement aux feuilles de maïs (Annexe B). Les

trichogrammes sont relâchés à partir du point central du champ de maïs. Les lâchers ont été répétés selon la pratique usuelle qui vise à couvrir la période de ponte de la pyrale.

#### 4.1.1.4 Variables mesurées

##### **a) Niveau d'infestation par la pyrale du maïs**

- Captures d'adultes

Du 22 mai au 13 août 2007 des papillons de pyrale du maïs ont été capturés à l'aide de pièges à phéromone de type *Heliothis*.

- Masses d'œufs pondues : dépistages

Les parcelles expérimentales ont été dépistées deux fois par semaine (du stade de croissance V6 (stade végétatif de six feuilles) jusqu'à la récolte). Sur un total de 50 plants (10 stations aléatoires de 5 plants consécutifs) observés dans chaque parcelle à chaque dépistage, la présence et le nombre d'ooplaques (masses d'œufs de la pyrale du maïs) ont été recueillis. Au total, 9000 plants ont été inspectés durant la saison.

##### **b) Efficacité des lâchers tout au long de la saison**

- Taux d'émergence des trichogrammes

L'émergence des trichogrammes a été évaluée sur les trichocartes posées au champ en comptant le nombre d'œufs parasités et désoperculés sur un total de 250 œufs parasités par carte. De plus, à chaque lâcher, trois cartes supplémentaires ont été placées en chambre de croissance en conditions contrôlées. Après dix jours, les taux d'émergence ont été calculés, le sexe des trichogrammes émergés a été déterminé et la qualité des ailes de ces individus a été vérifiée.

- Taux de parasitisme des œufs sentinelles

À chaque lâcher de trichogrammes, douze masses d'**œufs sentinelles** ont été installées dans chacune des parcelles expérimentales. Les œufs sentinelles sont des masses

d'œufs fraîches (<24h) provenant d'un élevage de pyrale du maïs et posées à 5, 10 et 15 mètres du point de lâcher central afin d'évaluer la capacité de dispersion des trichogrammes au sein de la parcelle. Elles étaient retirées du champ après quatre jours et gardées en chambre de croissance dans des contenants individuels pour observation et évaluation de leur parasitisme. Le pourcentage de parasitisme, le pourcentage d'émergence des trichogrammes et le rapport des sexes des trichogrammes ont ensuite été évalués sur ces œufs.

- Évaluation des dommages au moment de la récolte

Au moment de la récolte, les proportions d'épis commercialisables, endommagés par les larves ou non-uniformes ont été évaluées sur 100 épis par parcelle échantillonnés au hasard (20 stations aléatoires de 5 plants consécutifs). Le nombre de plants présentant des dommages de pyrale au niveau de la croix et de la tige a aussi été noté. Si une tige se trouvait être trouée ou cassée, le plant de maïs était inspecté et ouvert afin de trouver la ou les larve(s) responsable(s) du dommage. Le décompte des larves a également été fait.

#### 4.1.1.5 Résultats

##### **a) Population de pyrale du maïs**

- Captures d'adultes

La figure 1 présente les captures de papillons de pyrale du maïs dans les pièges à phéromone de type Heliiothis durant la saison de croissance du maïs en 2007. Les pièges ont été installés le 22 mai pour la pyrale bivoltine, le 6 juin pour la pyrale univoltine et ils ont été enlevés le 13 août. Au total, 540 pyrales bivoltines et 22 pyrales univoltines ont été capturées durant la saison. La population de pyrale univoltine est restée très faible en 2007. Aucun pic de croissance de cette population n'a été décelé.



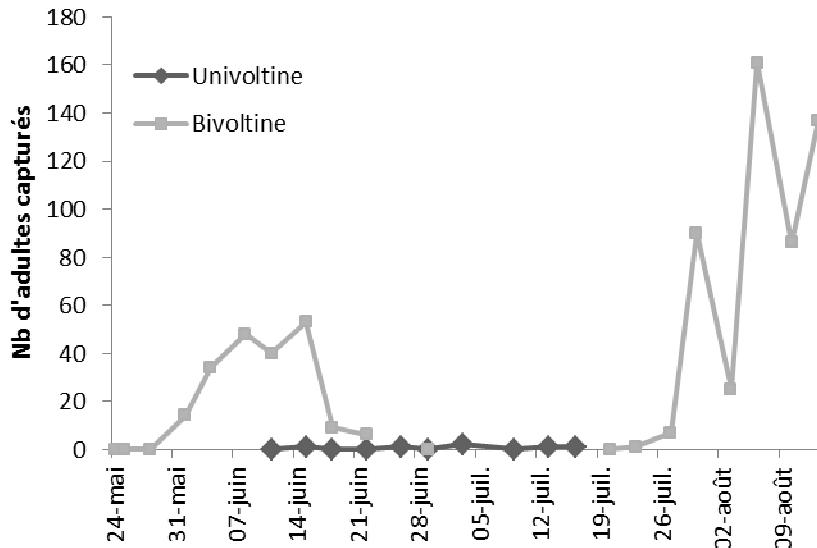


Figure 1. Nombre d'adultes de pyrale du maïs capturés à l'aide de pièges à phéromone de type *Heliothis* sur le site de Saint-Hyacinthe du 20 mai au 2 septembre 2007.

- Pontes de pyrale du maïs dans les parcelles

La figure 2 présente les résultats des dépistages effectués du 19 juin au 7 août 2007. La comparaison du nombre de masses d'œufs trouvées dans les parcelles sur l'ensemble de la saison indique qu'il n'y a pas eu de différence significative entre les trois traitements (Kruskall-Wallis :  $\chi^2 = 0,56$ ;  $p = 0,75$ ).

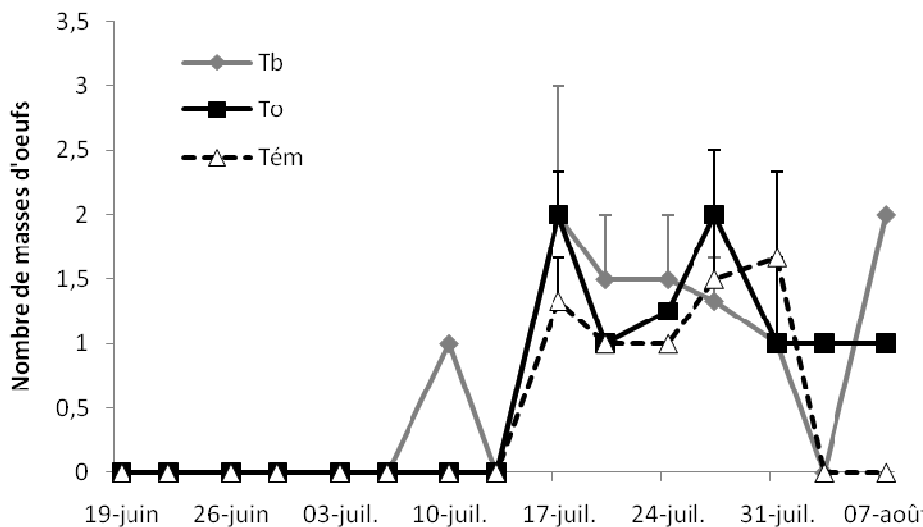


Figure 2.

Nombre (moyenne  $\pm$  err.-type) de masses d'œufs naturelles de pyrale du maïs trouvées par traitement en 2007.

## **b) Qualité des lâchers, taux de parasitisme et dommages à la récolte.**

Les résultats détaillés relatifs à la qualité des lâchers, aux taux de parasitismes obtenus dans les différents traitements et à la quantité de dommages constatés au moment de la récolte se trouvent dans l'Annexe C, article en cours de préparation à soumettre à la revue Biological Control.

Cette première année de travaux sur le terrain a permis de faire ressortir les principaux résultats suivants :

*Trichogramma ostriniae* a été plus efficace que *T. brassicae* pour :

- le taux d'émergence des individus relâchés au champ (64% pour *T. ostriniae* vs 47% pour *T. brassicae*)
- le taux de parasitisme des œufs sentinelles (40% *T. ostriniae* vs 27% pour *T. brassicae*)
- le superparasitisme observé sur les œufs sentinelles parasités (1,2 individus par œuf chez *T. ostriniae* vs 0,9 individus par œuf chez *T. brassicae*)

Aucune différence n'a été relevée entre les deux espèces en ce qui a trait au rapport des sexes des adultes émergents.

Au niveau de l'évaluation des dommages évalués au moment de la récolte :

- 1% des épis ont été endommagés dans les parcelles traitées avec *T. ostriniae* par rapport à 1,5% dans les parcelles traitées avec *T. brassicae* et 4,5% dans les parcelles sans intervention phytosanitaire.

### **4.1.2 Expérience menée au laboratoire**

#### **4.1.2.1 Objectif**

Les deux espèces de trichogrammes n'ont jamais été testées en laboratoire sous les mêmes conditions. Des bio-essais testant conjointement les deux espèces avaient pour but de mesurer différents paramètres biologiques afin de sélectionner l'espèce ayant la plus grande capacité de parasitisme fonctionnel. Les paramètres suivants ont été

évalués : 1) la fécondité des femelles; 2) la longévité des femelles; 3) la mortalité de l'hôte; 4) le pourcentage d'émergence des parasitoïdes; et 5) le ratio des sexes des parasitoïdes émergents.

#### 4.1.2.2 Méthodologie

Une femelle trichogramme accouplée et âgée de moins de 24 heures a été placée dans une éprouvette contenant des œufs frais de l'hôte à parasiter en compagnie de deux mâles. Une solution diluée de miel leur servait de ressource nutritionnelle. Les éprouvettes ont été placées dans une chambre d'élevage (23°C; O16:L8; 60% HR). Toutes les 24 heures, les œufs étaient remplacés par des œufs frais puis transférés dans un incubateur à 23°C pour observation de plusieurs paramètres biologiques.

Des essais ont été réalisés sur œufs de pyrale du maïs et sur œufs de l'hôte factice *Ephestia kuehniella*. Huit (8) répétitions ont été effectuées sur les masses d'œufs de pyrale et vingt (20) sur les œufs d'*Ephestia kuehniella*. Avec les œufs de pyrale, deux masses d'œufs fraîches (< 24h) étaient collées sur une bandelette et remplacées chaque jour. Avec les œufs d'*E. kuehniella*, une moyenne de 150 œufs frais (<24h) étaient collés sur une bandelette et remplacés chaque jour. Dans les deux cas, les témoins étaient des éprouvettes contenant des œufs de pyrale ou d'*E. kuehniella* en absence de trichogramme.

#### 4.1.2.3 Observations effectuées

Les œufs offerts ont été observés quotidiennement afin de noter l'évolution du parasitisme et de l'émergence des adultes de trichogrammes. Le taux d'émergence des trichogrammes a été évalué une fois les individus morts.

#### 4.1.2.4 Résultats

##### **a) Essai sur masses d'œufs de pyrale du maïs**

- Longévité des femelles

Toutes les femelles étaient mortes au bout de cinq jours. Chez *T. ostriniae*, 63% des femelles sont mortes au bout de deux jours, alors que chez *T. brassicae*, 7 des 8 femelles (87,5%) observées sont mortes dès la première journée.

- Fécondité des femelles (parasitisme)

La seule femelle *T. brassicae* ayant fait du parasitisme a vécu 3 jours (fig. 3). Elle n'a cependant parasité aucun œuf durant les deux premiers jours. Ce n'est qu'au troisième jour qu'elle a parasité 7 œufs (26% des œufs offerts). Chez *T. ostriniae*, le pourcentage de parasitisme s'est élevé à 32% le premier jour (n=8), 2% le deuxième jour (n=6), 6% le troisième jour (n=3), 4% le quatrième jour (n=2) et 12% le cinquième jour (n=2). Chez les deux espèces, on constate une augmentation du taux de parasitisme en fin de vie des femelles. Ce comportement a déjà reporté pour les trichogrammes (Reznik et al., 2001). Même si ces résultats ne sont pas statistiquement exploitables, on peut constater que la survie des femelles a été plus importante chez *T. ostriniae*. On note aussi une plus grande acceptabilité des masses d'œufs offertes à *T. ostriniae* par rapport à *T. brassicae*.

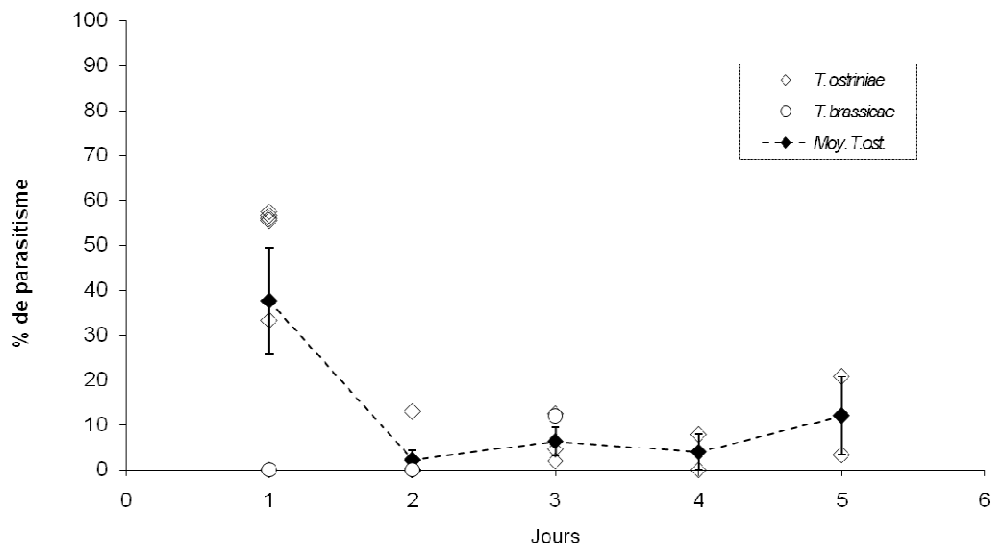


Figure 3. Pourcentage d'œufs parasités par la femelle trichogramme chaque jour. La ligne pointillée représente la moyenne pour *T. ostriniae*.

- Mortalité de l'hôte

Il existe une différence significative dans le taux d'émergence des larves de pyrale du maïs à partir des œufs utilisés dans les essais entre les trois traitements ( $\chi^2 = 11,83$ ; d.l. = 2;  $p = 0,0027$ ; suivi du test HSD de Tukey :  $Q = 2,43$ ,  $p < 0,05$ ; [traitement = moyenne  $\pm$  écart-type (niveau)] [Témoin =  $0,84 \pm 0,07$ (a); *T. brassicae* =  $0,79 \pm 0,09$ (ab); *T. ostriniae* =  $0,56 \pm 0,07$ (b)]. Il y a eu significativement moins de larves de pyrale émergées des masses d'œufs ayant été mises en contact avec *T. ostriniae* que dans les témoins, mais la différence n'était pas significative entre *T. brassicae* et les témoins.

- Pourcentage d'émergence des parasitoïdes et ratio des sexes

Des 7 œufs parasités par la femelle *T. brassicae*, seulement 2 individus (28%) ont émergé, un mâle et une femelle. Chez *T. ostriniae*, le taux moyen d'émergence de trichogrammes est de 88% sur les 12 masses d'œufs ayant été parasitées. En moyenne, 73% des individus émergés étaient des femelles.

### **b) Essai sur œufs d'*Ephestia kuehniella* (hôte d'élevage)**

- Longévité des femelles

Il n'y a pas de différence significative de longévité entre les deux espèces ( $\chi^2 = 0,40$ ; d.l. = 1;  $p = 0,53$ ; moyenne  $\pm$  err.type : *T. brassicae* =  $2,8 \pm 0,51$ ; *T. ostriniae* =  $3,4 \pm 0,66$ ).

- Fécondité des femelles (parasitisme)

Le modèle de régression (ajustement des moindres carrés) de la proportion d'œufs parasités (après transformation angulaire) en fonction des jours indique une différence significative entre *T. brassicae* et *T. ostriniae* (figure 4;  $F_{3,73} = 4,52$ ;  $p < 0,03$ , suivi du test de Student:  $t = 1,99$ ;  $p < 0,05$ ; (moyenne  $\pm$  écart-type : *T. brassicae* =  $0,072 \pm 0,015$ ; *T. ostriniae* =  $0,12 \pm 0,014$ ).

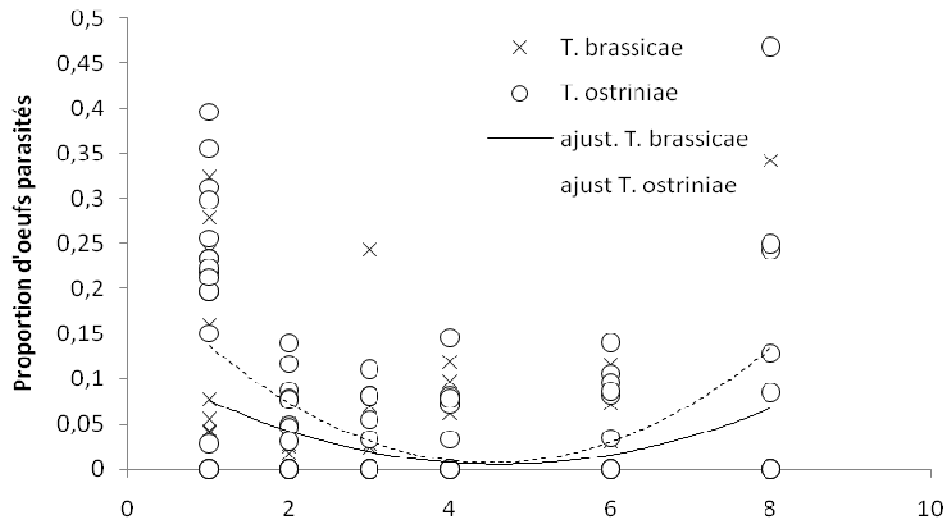


Figure 4. Proportion d'œufs parasités par *T. brassicae* et *T. ostriniae* en fonction des jours.

### c) Conclusion

Les deux essais sur œufs de pyrale et sur œufs de l'hôte factice *Ephestia kuehniella* vont dans le même sens : au niveau du parasitisme, les femelles de l'espèce *T. ostriniae* fournissent de meilleurs résultats que *T. brassicae*.

## 4.2 ÉVALUATION DES FORMULATIONS DE BIOPESTICIDES À BASE DE *Bt* (DIPEL 2XDF ET BIOPROTEC 3P)

L'efficacité de deux formulations de *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* a été évaluée en champ et en laboratoire.

### 4.2.1 Expérience menée au champ

#### 4.2.1.1 Site et dispositif

Les essais ont été réalisés en station expérimentale sur le site de l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement dans la ville de Saint-Hyacinthe, Québec. Chaque traitement a été répété quatre fois selon un dispositif en blocs aléatoires complets. Les douze parcelles de maïs sucré utilisées étaient de 12m x 12m et espacées d'entre elles d'environ 7 à 10 mètres. Ces parcelles ont été cultivées selon les pratiques usuelles : fertilisation selon l'analyse de sol, semis avec espacement de 75cm entre les rangs, contrôle des mauvaises herbes à l'aide d'herbicides. La variété de maïs sucré mi-saison *Brocade* a été utilisée. Les pulvérisations des deux formulations de *Bt* ont été effectuées selon les recommandations des étiquettes et ont eu lieu les 26 juillet, 2 et 10 août 2007. Les recommandations quant au moment d'intervention ont été conformes à celles émises par le Réseau d'avertissements phytosanitaires – Réseau Maïs sucré.

#### 4.2.1.2 Traitements effectués

Quatre parcelles étaient attribuées aléatoirement à chacun de ces traitements :

- ✓ témoin, aucune intervention phytosanitaire contre les insectes
- ✓ *B.t.k* formulation DIPEL® 2XDF à la dose moyenne recommandée par le fabricant de 1120g/ha; 3 applications les 26 juillet, 02 et 10 août.
- ✓ *B.t.k* formulation Bioprotec® 3P à la dose moyenne recommandée par le fabricant de 1725g/ha; 3 applications les 26 juillet, 02 et 10 août.

#### 4.2.1.3 Suivi des populations du ravageur dans les parcelles

Des dépistages bihebdomadaires de pyrale étaient effectués dans chaque parcelle afin de connaître leur niveau d'infestation durant la saison de croissance. Sur chaque plant dépisté, les données suivantes ont été recueillies : présence et nombre d'ooplques (les pyrales pondent des ensembles d'œufs formant une plaque sur la face supérieure des feuilles de maïs), de larves de pyrale et de dommages causés par la pyrale (criblures dans le feuillage, panicules cassés, tiges cassées et épis endommagés). La figure 5 présente les résultats de ces dépistages du 24 juillet au 31 août 2007. La figure 6 montre qu'il n'y a pas eu de différence significative dans le nombre de masses d'œufs trouvées dans les parcelles ayant reçu les différents traitements (ANOVA :  $F = 2,76$ ;  $p = 0,1155$ ).

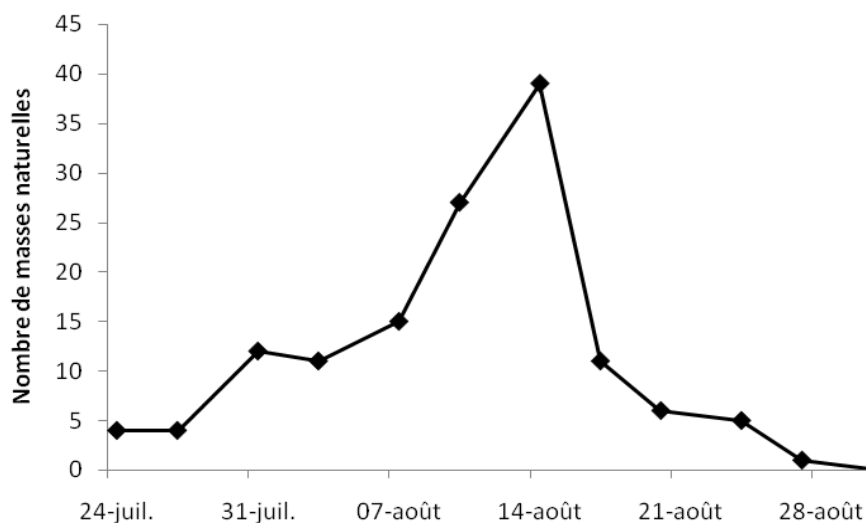


Figure 5. Dynamique de ponte (nombre total de masses d'œufs naturelles de pyrale du maïs trouvées) dans les parcelles en 2007. Le nombre indique la somme des masses trouvées dans l'ensemble des douze parcelles dépistées deux fois par semaine.



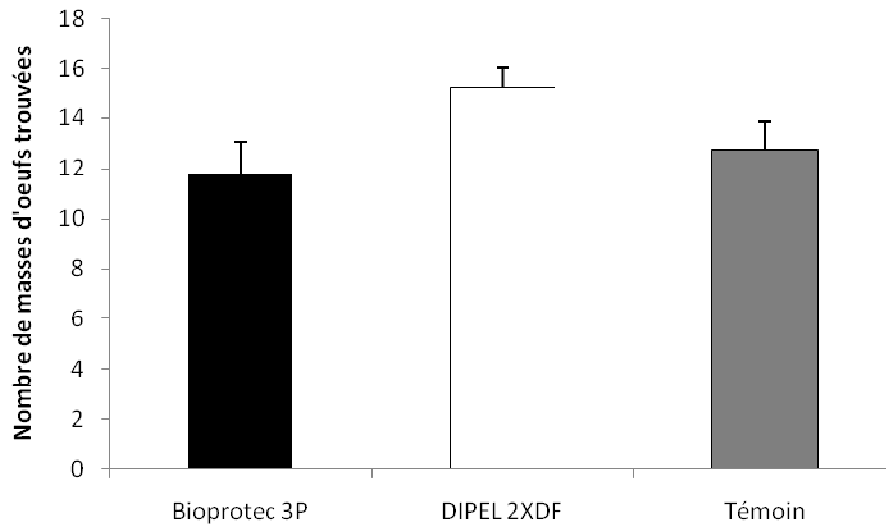


Figure 6. Nombre moyen de masses d'œufs naturelles de pyrale du maïs trouvées dans les parcelles attribuées aux différents traitements du 24 juillet au 28 août 2007. Le nombre indique la moyenne des masses trouvées tout au long de la saison dans les chaque traitement.

#### 4.2.1.4 Évaluation des dommages causés par la pyrale

##### a) Méthodologie

Au moment de la récolte (dont la date a été fixée au 5 septembre par observation des épis), les proportions d'épis endommagés par la pyrale ont été évaluées sur 50 épis par parcelle. Les dommages observés sur les autres parties des plants ont aussi été évalués: croix cassée (tige cassée juste au bas de la panicule), tige trouée, ou tige cassée.

##### b) Résultats

La figure 7 montre les résultats des dépistages effectués tout au long de la saison dans les parcelles. Aucune différence significative n'a été trouvée entre les différents traitements au niveau du nombre de plants endommagés par la pyrale du maïs au niveau des feuilles, de la croix, de la tige, des épis, ni au niveau du nombre de larves trouvées dans les plants. La seule comparaison où la différence s'approche d'un seuil significatif se situe au niveau des dommages à la tige (test de Wilcoxon;  $\chi^2 = 5,88$ ;  $p = 0,0529$ ). Comme l'indique la figure 7, le niveau de dommages trouvés à la tige est plus élevé dans les parcelles témoin que dans les parcelles traitées au *Bt*.

Au moment de la récolte des épis de maïs, leur inspection n'a révélé aucune différence significative entre les trois traitements (figure 8; ANOVA;  $F_{2,11} = 0,57$ ;  $p = 0,58$ ). Ceci indique qu'aucune des deux formulations de *Bt* n'a eu un effet suffisant pour réprimer la pyrale du maïs de façon significative. La situation était la même au niveau des dommages à la croix (ANOVA;  $F_{2,11} = 1,26$ ;  $p = 0,33$ ). Au niveau des tiges, une ANOVA révèle une différence dans le pourcentage de plants présentant des dommages ( $F_{2,11} = 17$ ;  $p = 0,0009$ ). Le pourcentage de tiges endommagées dans les parcelles témoins est significativement supérieur à celui des parcelles traitées. De plus, plus de tiges ont été endommagées dans les parcelles traitées au Bioprotec®3P que dans les parcelles traitées au Dipel®2XDF. La figure 9 qui montre le pourcentage de plants n'ayant présenté aucun dommage au moment de la récolte n'indique aucune différence entre les trois traitements (ANOVA;  $F_{2,11} = 0,037$ ;  $p = 0,96$ ).

Devant le peu de différences existant entre le Bioprotec 3P et le Dipel 2XDF au champ, ce sont les données des expériences de laboratoire ainsi que le coût des produits qui nous ont permis de faire un choix quant à la formulation à intégrer à notre programme de lutte biologique.

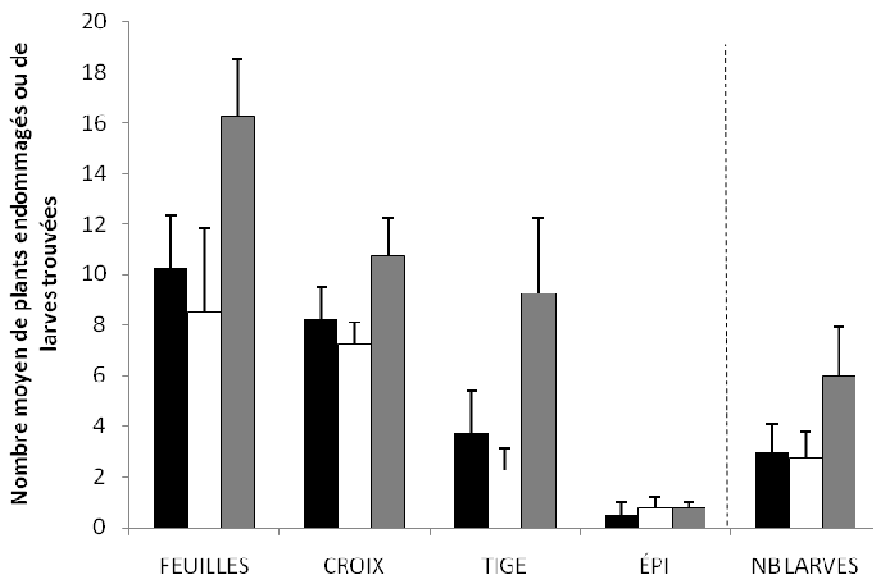


Figure 7. Résultats des dépistages effectués durant l'été 2007. Nombre moyen de plants présentant des dommages au niveau des feuilles, de la croix, de la tige ou de l'épi et nombre moyen de larves trouvées durant la saison. Aucune différence significative n'a été trouvée entre les deux produits commerciaux et le témoin.

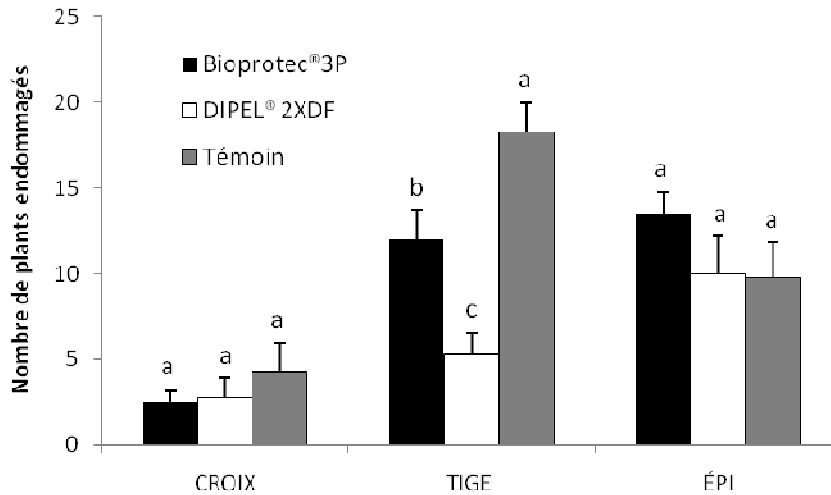


Figure 8. Pourcentage de plants endommagés à la croix, la tige et l'épi au moment de la récolte. Les lettres au dessus des barres indiquent les résultats des tests HSD de Tukey effectués séparément pour chaque groupe (croix, tige ou épi).

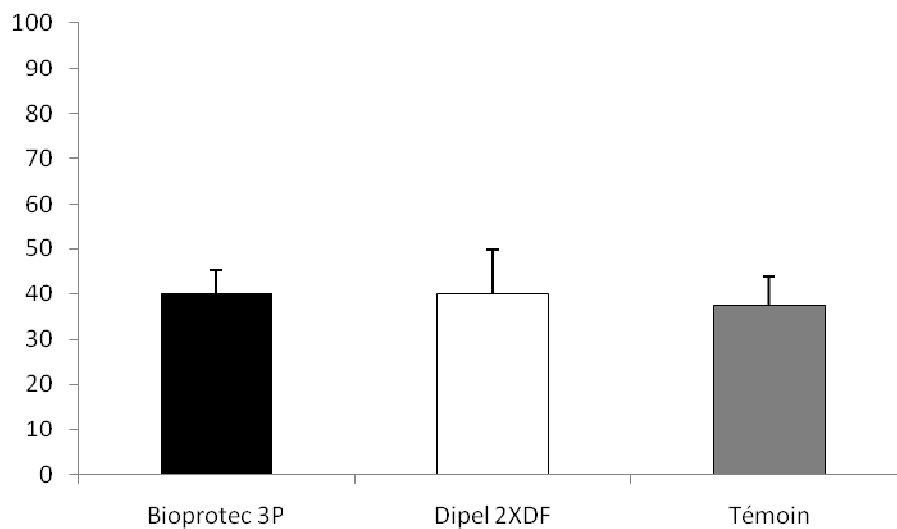


Figure 9. Pourcentage de plants ne présentant aucun dommage le jour de la récolte. Aucune différence significative n'a été trouvée entre les 3 traitements.

## 4.2.2 Expérience menée au laboratoire

### 4.2.2.1 Méthodologie

Quarante-six jeunes larves (L1) de pyrale du maïs ont été placées individuellement dans des fioles aérées, et nourries d'une diète artificielle préalablement trempée dans du Dipel®2XDF ou dans du Bioprotec®3P. Un suivi de ces larves sur un maximum de 12 jours a permis d'évaluer leur temps de survie (le suivi s'est arrêté lorsque les larves nourries de diète traitée au *Bt* étaient toutes mortes)

#### - Traitements

La diète artificielle offerte aux larves a été préalablement traitée de :

- ✓ *B.t.k* formulation DIPEL® 2XDF; dose moyenne recommandée par le fabricant
- ✓ *B.t.k* formulation Bioprotec®3P; dose moyenne recommandée par le fabricant
- ✓ Eau distillée (témoin)

### 4.2.2.2 Résultats

L'analyse de survie (Kaplan-Meier) a permis de montrer qu'il y a une différence significative dans le temps de survie des larves entre les témoins et les deux formulations de *Btk* testées (figure 10;  $\chi^2 = 86,47$ ; d.l. = 2;  $p < 0,0001$ ). Les comparaisons deux-à-deux indiquent qu'il y a une différence significative dans le temps de survie entre les témoins et le traitement Dipel® 2XDF ( $\chi^2 = 75,36$ ; d.l. = 1;  $p < 0,0001$ ) et entre les témoins et le traitement Bioprotec®3P ( $\chi^2 = 80,88$ ; d.l. = 1;  $p < 0,0001$ ). De plus, cette analyse de survie a également permis de montrer qu'il y a une différence significative dans le temps de survie entre les larves traitées au Bioprotec®3P et les larves traitées au Dipel® 2XDF ( $\chi^2 = 4,25$ ; d.l. = 1;  $p = 0,039$ ; traitement = moyenne  $\pm$  écart-type : Dipel® 2XDF =  $5,34 \pm 0,41$ ; Bioprotec®3P =  $4,24 \pm 0,37$ ). Le tableau 1 indique les temps létaux des larves traitées au *Bt*. On constate que le TL50 (nombre de jours après lesquels 50% des

individus sont morts) sur Bioprotec® 3P (4 jours) est inférieur à celui sur Dipel® 2XDF (5 jours).

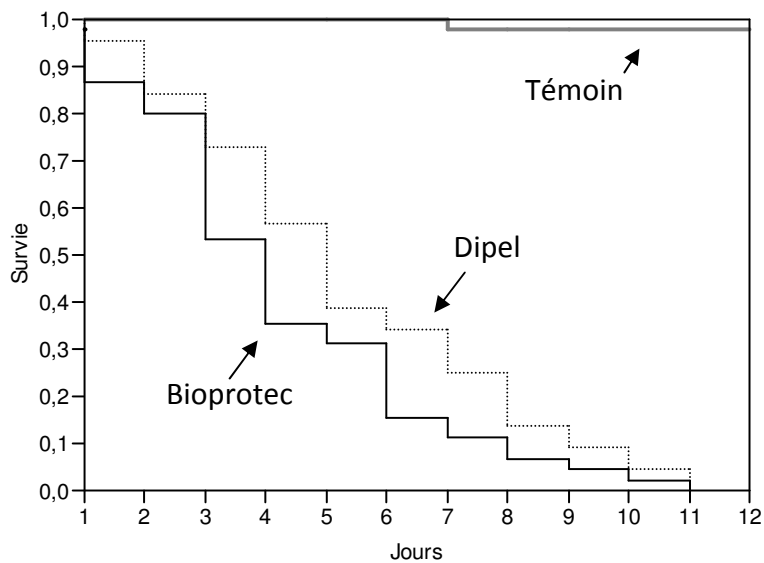


Figure 10. Graphique de survie des larves de pyrale du maïs nourries d'un diète traitée au Bioprotec® 3P, au Dipel® 2XDF ou à l'eau distillée (témoin).

Tableau 1. TL25, TL50 et TL 75 des larves de pyrales traitées au Bioprotec®3P et au Dipel® 2XDF.

Traitement	TL25	TL50	TL75
<b>Bioprotec® 3P</b>	3	4	6
<b>Dipel® 2XDF</b>	3	5	8

#### 4.2.3 Conclusion

Bien que les deux formulations aient sensiblement la même virulence en champ, l'essai en laboratoire nous a permis de choisir le Bioprotec®3P comme biopesticide à intégrer au programme conjoint de lutte biologique à développer.

### 4.3 ÉVALUATION DES DEUX ESPÈCES DE PRÉDATEURS DE PUCERONS *APHIDOLETES APHIDIMYZA* ET *LEUCOPIS ANNULIPES* POUR LE CONTRÔLE DES POPULATIONS DE PUCERONS RETROUVÉES DANS LE MAÏS SUCRÉ.

#### 4.3.1 Expériences menées au champ

##### 4.3.1.1 Méthodologie

###### a) Site et dispositif

Les essais ont été réalisés en station expérimentale sur le site de l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement dans la ville de Saint-Hyacinthe, Québec. Les douze parcelles de maïs sucré utilisées étaient de 40m x 50m. La variété de maïs sucré *Temptation* a été utilisée pour ces essais.

###### b) Prédateurs

Les cécidomyies *Aphidoletes aphidimyza* ont été obtenues commercialement auprès de la compagnie Plant-Prod Québec Ltée. Les chamaemyiidae *Leucopis annulipes* (identifiées par la Dr Gaimari, California Department of Food & Agriculture) ont été élevées au laboratoire de lutte biologique de l'UQAM.

###### c) Dépistages des populations de pucerons

En 2007, des dépistages bi-hebdomadaires de pucerons ont été effectués dans les douze parcelles afin de connaître leur niveau d'infestation durant la saison de croissance. À partir du stade phénologique V6 (4-6 feuilles développées), 50 plants / parcelle (10 stations aléatoires de 5 plants consécutifs par parcelle) ont été échantillonnés au hasard. Sur chaque plant, le nombre d'individus a été évalué selon les trois catégories suivantes : 1-20 pucerons, 20-50 pucerons, 50 pucerons et plus. Les espèces de pucerons trouvées sont le puceron du maïs, *Rhopalosiphum maidis* Fitch et le puceron bicolore des céréales, *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus).

#### **d) Lâchers des prédateurs**

Seuil d'intervention : le Réseau d'avertissements phytosanitaires pour le maïs sucré suggère d'intervenir lorsque 50% des plants sont infestés par 50 pucerons et plus au niveau de la panicule. Une fois ce seuil atteint, les prédateurs *A. aphidimyza* et *L. annulipes* sont relâchés sous forme de pupes à la dose de 2 indiv/m<sup>2</sup>/semaine (= dose recommandée pour *Aphidoletes aphidimyza*) à partir d'un point de lâcher situé au centre de la parcelle.

#### **e) Données recueillies**

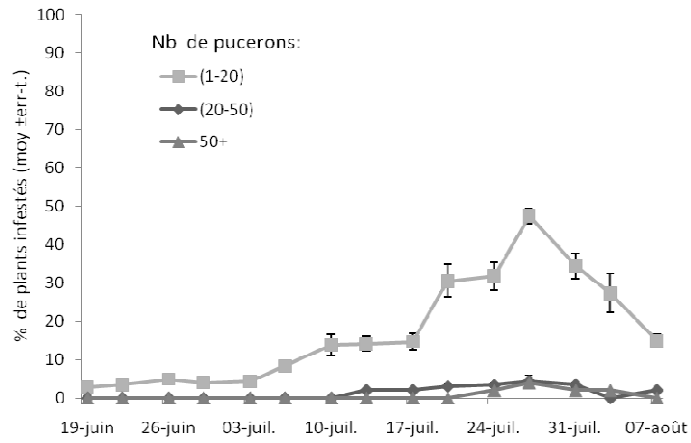
Les colonies marquées sont observées chaque jour pendant 10 jours afin de mesurer : 1) le nombre de pucerons vivants, 2) le nombre d'œufs d'*A. aphidimyza* ou *L. annulipes*, 3) le nombre de larves d'*A. aphidimyza* ou *L. annulipes* ainsi que leur stade de développement et 4) la présence d'autres prédateurs.

#### 4.3.1.2 Résultats

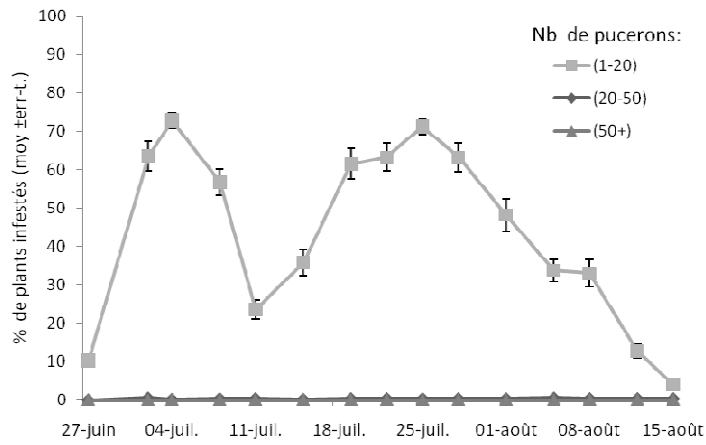
##### **a) Dépistages de pucerons**

Les données des dépistages présentent le nombre total de pucerons trouvés sur les plants, les deux espèces confondues (figure 11). Comme le montre la figure 11a, les populations de pucerons ont été particulièrement faibles durant l'été 2007. Un très faible pourcentage de colonies ont atteint la taille de 20 pucerons et plus.

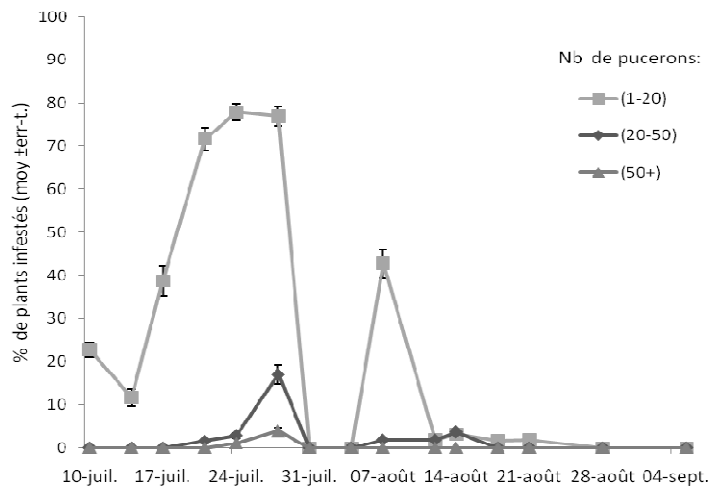
Les dépistages de pucerons ont été répétés en 2008 et 2009 selon la méthodologie décrite pour l'année 2007, afin d'effectuer de nouvelles tentatives de lâchers de prédateurs. Les résultats de ces dépistages sont présentés à la figure 11(b et c). On constate que les populations de pucerons ont également été faibles durant ces deux années.



(a)



(b)



(c)

Figure 11. Pourcentage de plants infestés (moyenne  $\pm$  erreur-type) par les pucerons par parcelle en 2007 (a), 2008 (b) et 2009 (c).



## **b) Lâchers de prédateurs**

Comme le montre la figure 11, les seuils d'interventions recommandés par le Réseau d'avertissement phytosanitaire n'ont jamais été atteints. De plus, les colonies repérées se trouvaient sur les feuilles du bas du plant et jamais au niveau de la panicule.

Malgré ces faibles populations de pucerons, un essai de lâcher des deux prédateurs a néanmoins été effectué en 2007 dans une parcelle selon le protocole suivant :

- Lâcher des prédateurs : 280 pupes de *A. aphidimyza* et *L. annulipes* (équivalent à la dose de 2 indiv/m<sup>2</sup>/semaine recommandée pour *Aphidoletes aphidimyza*) ont été posées au centre de deux parcelles différentes.
- Suivi des colonies de pucerons : dix petites colonies (moins de vingt individus) de pucerons ont été marquées d'un ruban, numérotées et localisées dans chaque parcelle.

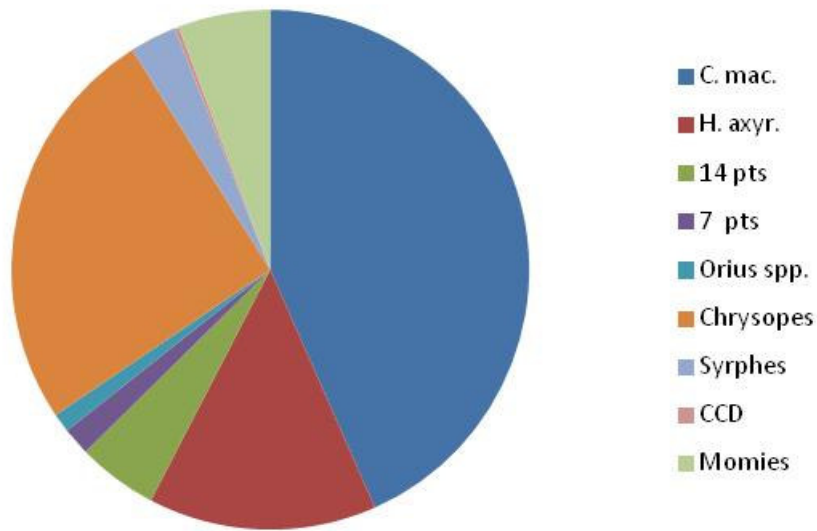
→ Les petites colonies de pucerons marquées pour le suivi étaient toutes disparues dès le premier jour de suivi. Aucune larve ni aucun adulte d'aucune des deux espèces n'a été repéré dans le champ.

## **c) Dépistage des populations naturelles de prédateurs de pucerons**

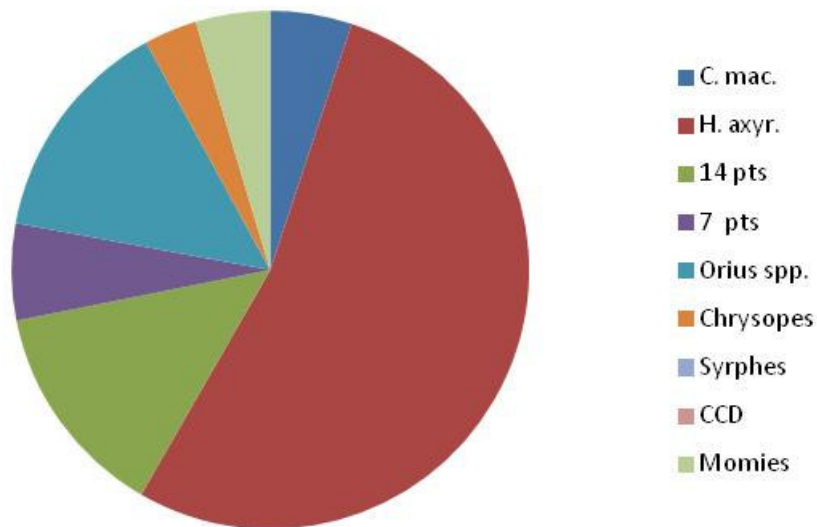
En 2008 et 2009, les populations d'ennemis naturels des pucerons ont été évaluées. Les espèces retrouvées sont : la coccinelle maculée, *Coleomegilla maculata lengi* (Timberlake) (Coleoptera: Coccinellidae); la coccinelle asiatique, *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae); la coccinelle à 7 points, *Coccinella septempunctata* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae); la coccinelle à 14 points, *Propylea quatuordecimpunctata* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae); les chrysopes, *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae), des punaises anthocorides, principalement *Orius insidiosus* (Say) (Hemiptera: Anthocoridae), des larves de Syrphidae (Diptera), des larves de cécidomyie *Aphidoletes aphidimyza* Rondani ainsi que des parasitoïdes (espèces non-identifiées), recensées sous la forme de pucerons parasités (ou momies).

Les abondances relatives des ces différentes espèces sont présentées à la figure 12 pour 2008 (a) et 2009 (b). Les deux espèces les plus abondantes ont été *Coleomegilla maculata* et *Harmonia axyridis*. Alors que *C. maculata* était plus abondante en 2008, c'est *H. axyridis* qui l'était en 2009.

Les résultats des dépistages bi-hebdomadaires des ennemis naturels sont présentés aux figures 13 et 14. Les figures 13a et 14a montrent que les populations de coccinelles ont augmenté vers la fin du mois de juillet en 2008 et 2009, ce qui correspond au moment de la saison où les populations de pucerons ont fortement diminué. Pour ce qui est des autres prédateurs, leurs populations sont restées faibles durant les deux saisons.



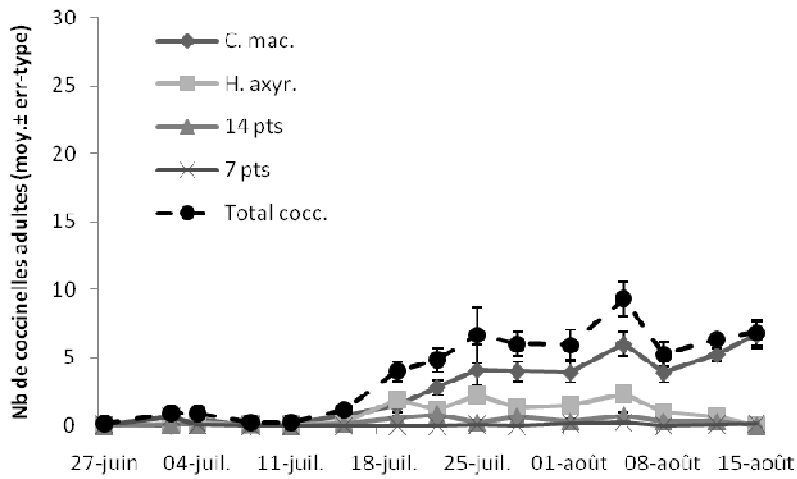
(a)



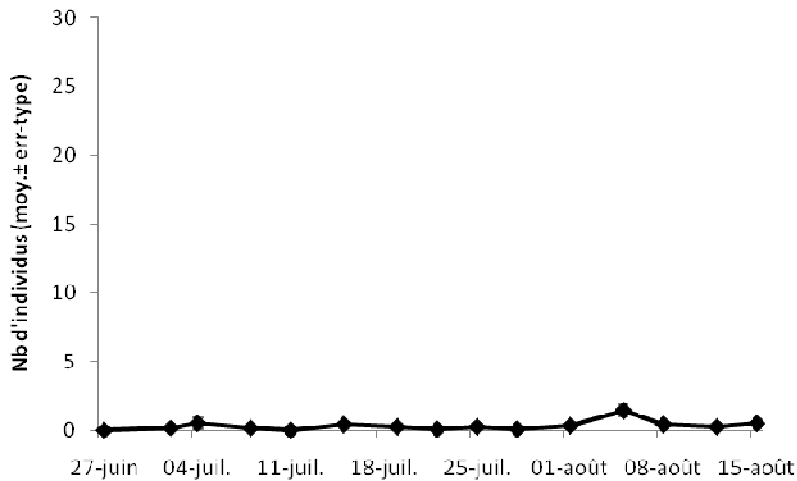
(b)

Figure 12. Abondance relative des différents prédateurs de pucerons retrouvés dans les parcelles de maïs sucré sur l'ensemble des saisons 2008 (a) et 2009 (b).

C. mac. = *Coleomegilla maculata*; H. axyr. = *Harmonia axyridis*; 14 pts = *Propylea quatuordecimpunctata*; 7 pts = *Coccinella septempunctata*; CCD = *Aphidoletes aphidimyza*.



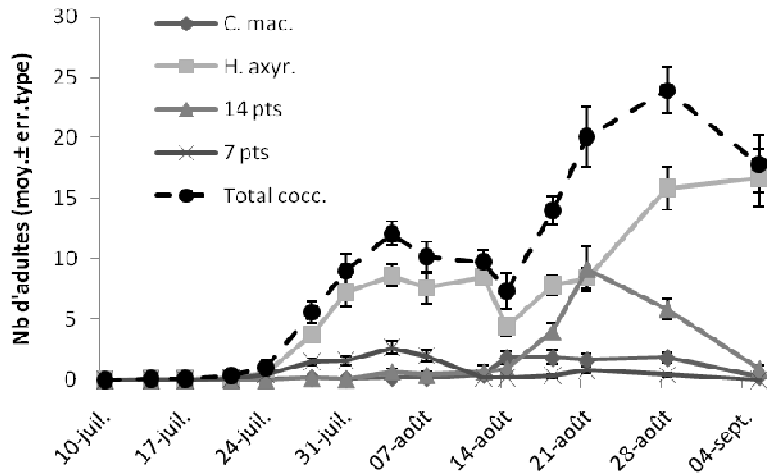
(a)



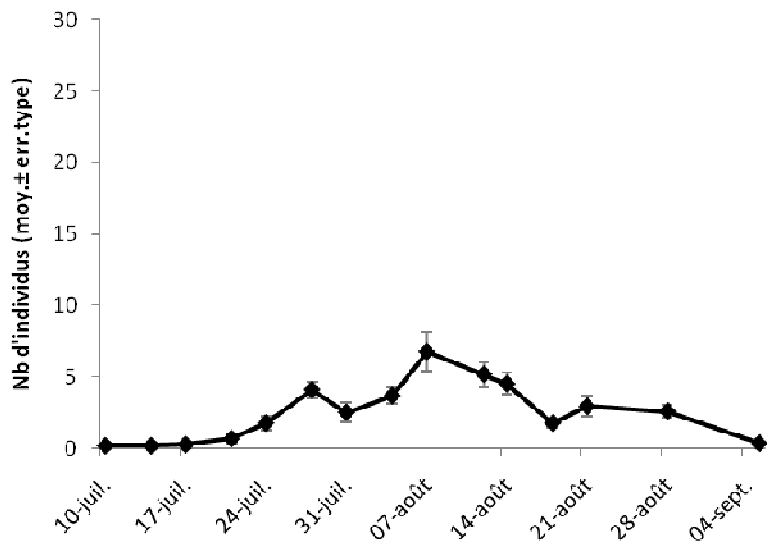
(b)

Figure 13. Densité des populations d'ennemis naturels des pucerons dans le maïs sucré; **(a)** Nombre (moyenne  $\pm$  erreur-type) de coccinelles adultes par parcelle (/ 50 plants) durant l'été 2008; **(b)** Nombre (moyenne  $\pm$  erreur-type) d'autres ennemis naturels (*Orius* spp. adultes, larves de chrysopes, larves de syrphes, larves de cécidomyie) par parcelle (/50 plants) durant l'été 2008.

*C. mac.* = *Coleomegilla maculata*; *H. axyr.* = *Harmonia axyridis*; 14 pts = *Propylea quatuordecimpunctata*; 7 pts = *Coccinella septempunctata*.



(a)



(b)

Figure 14. Densité des populations d'ennemis naturels des pucerons dans le maïs sucré; (a) Nombre (moyenne  $\pm$  erreur-type) de coccinelles adultes par parcelle (/ 50 plants) durant l'été 2009; (b) Nombre (moyenne  $\pm$  erreur-type) d'autres ennemis naturels (*Orius* spp. adultes, larves de chrysopes, larves de syrpe, larves de cécidomyie) par parcelle (/50 plants) durant l'été 2009.

C. mac. = *Coleomegilla maculata*; H. axyr. = *Harmonia axyridis*; 14 pts = *Propylea quatuordecimpunctata*; 7 pts = *Coccinella septempunctata*.

#### 4.3.1.3 Conclusion

Les populations de pucerons retrouvées dans les parcelles de maïs sucré utilisées dans cette étude n'ont jamais atteint de niveau présentant une menace pour la récolte. L'efficacité d'*Aphidoletes aphidimyza* et de *Leucopis annulipes* à contrôler les pucerons n'a donc pas pu être comparée en champ. La présence de divers ennemis naturels dans les champs peut être un facteur ayant contribué à maintenir les populations de pucerons à de faibles niveaux durant ces trois années, tel qu'il a déjà été constaté dans plusieurs autres études (revue par Brewer et Elliot, 2004). La diminution du nombre de pucerons dans les champs suite à la croissance des populations de coccinelles indique que ces ennemis naturels pourraient être les principaux prédateurs de pucerons dans ces champs.

#### 4.3.2 **Expérience menée au laboratoire**

##### 4.3.2.1 Méthodologie

**Note : un changement a été apporté au protocole initial**

*Protocole initial :*

Les cécidomyies (*Aphidoletes aphidimyza*) et les chamaemyiidae (*Leucopis annulipes*) sont actuellement élevées au laboratoire du Dr. Éric Lucas à l'UQAM. Les tests de laboratoire porteront sur le contrôle de colonies de pucerons du maïs par les stades larvaires des agents. Pour chacune des deux espèces séparément, une femelle et deux mâles seront introduits dans un microcosme cylindrique de laboratoire contenant deux plants vivants de maïs de petite taille sur lesquels seront installés des colonies de pucerons. Une solution diluée de miel servira de ressource nutritionnelle additionnelle pour les femelles de prédateurs. Un suivi du nombre d'œufs pondus par les deux prédateurs ainsi qu'un suivi des populations de pucerons sera réalisé pendant deux semaines.

*Protocole révisé :*

Cette expérience a été ramenée à une forme plus simple qui consiste à comparer la voracité des deux prédateurs afin d'évaluer leurs potentiels en tant qu'agents de lutte

biologique. Les jeunes plants de maïs de petite taille étant très adaptés à la défense contre les herbivores tels que les pucerons, il a été jugé préférable de réaliser les tests sur un autre système. Les essais ont donc été réalisés en boîte de Pétri sur feuilles de pomme de terre maintenue en turgescence dans un gel d'agar. Une larve (n=20) de chacune des espèces (env. 2-3mm) a été placée au centre d'une colonie de 20 pucerons mise en place la veille. La voracité des larves a été évaluée sur 24 heures. Après 24 heures, le nombre de pucerons morts a été noté. De plus, une distinction a été faite entre les pucerons entièrement consommés (fluides totalement extraits de l'exosquelette), les pucerons partiellement consommés et les pucerons morts mais pour lesquels il n'y a pas évidence de consommation par la larve.

#### 4.3.2.2 Résultats

Comme l'indique la figure 15, le nombre total de pucerons consommés en 24h ne diffère pas entre les deux espèces ( $t_{1,37} = -0,51$ ;  $p = 0,61$ ; traitement = moyenne  $\pm$  erreur-type : CCD=5,58  $\pm$  1,02; *Leucopis* = 4,95  $\pm$  0,71). On constate cependant que le nombre de pucerons consommés partiellement est significativement plus grand chez la cécidomyie ( $t_{1,37} = -2,38$ ;  $p = 0,0228$ ; traitement = moyenne  $\pm$  erreur-type : CCD=1,32  $\pm$  0,32; *Leucopis* = 0,47  $\pm$  0,16). Par ailleurs, la figure 16 indique que les cécidomyies ont paralysé (ou tué sans consommer) plus de pucerons que les larves de *L. annulipes* ( $t_{1,37} = -2,50$ ;  $p = 0,019$ ; traitement = moyenne  $\pm$  erreur-type : CCD = 1,42  $\pm$  0,40; *Leucopis* = 0,32  $\pm$  0,19). Le nombre total de pucerons tués (consommés + non-consommés) ne diffère cependant pas entre les deux groupes (figure 17;  $t_{1,37} = -1,29$ ;  $p = 0,21$ ; traitement = moyenne  $\pm$  erreur-type : CCD = 7,00  $\pm$  1,15; *Leucopis* = 5,26  $\pm$  0,71).

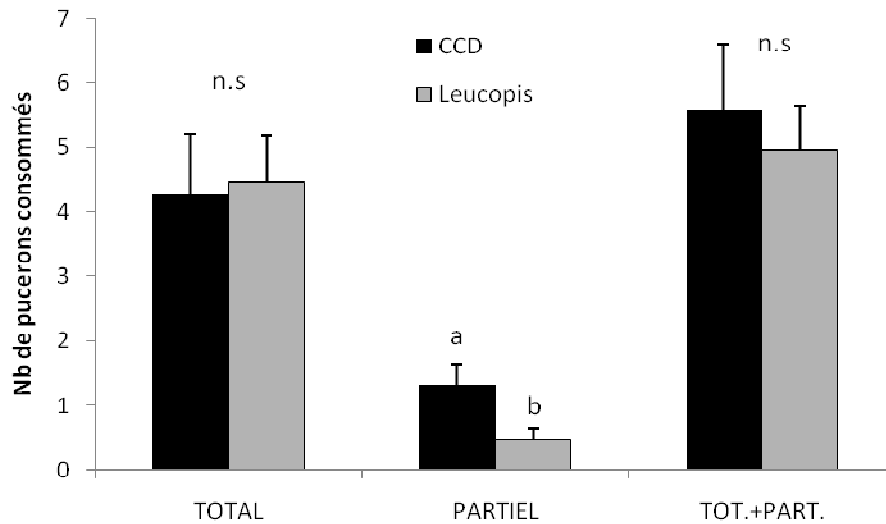


Figure 15. Nombre (moyenne  $\pm$  erreur-type) de pucerons consommés totalement (TOTAL), partiellement (PARTIEL) et somme des deux (TOT.+PART.) par les larves d'*Aphidoletes aphidimyza* (CCD) et *Leucopis annulipes* (Leucopis) en 24h. Des lettres différentes au dessus des barres indiquent une différence significative entre les deux groupes. n.s. indique qu'il n'y pas de différence significative entre les deux groupes.

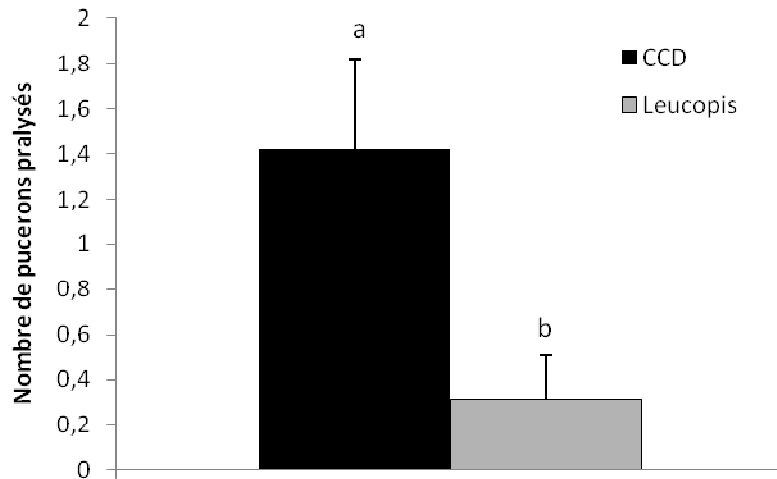


Figure 16. Nombre (moyenne  $\pm$  erreur-type) de pucerons morts et non-consommés par les larves d'*Aphidoletes aphidimyza* (CCD) et *Leucopis annulipes* (Leucopis) en 24h. Des lettres différentes au dessus des barres indiquent une différence significative entre les deux groupes. n.s. indique qu'il n'y pas de différence significative entre les deux groupes.



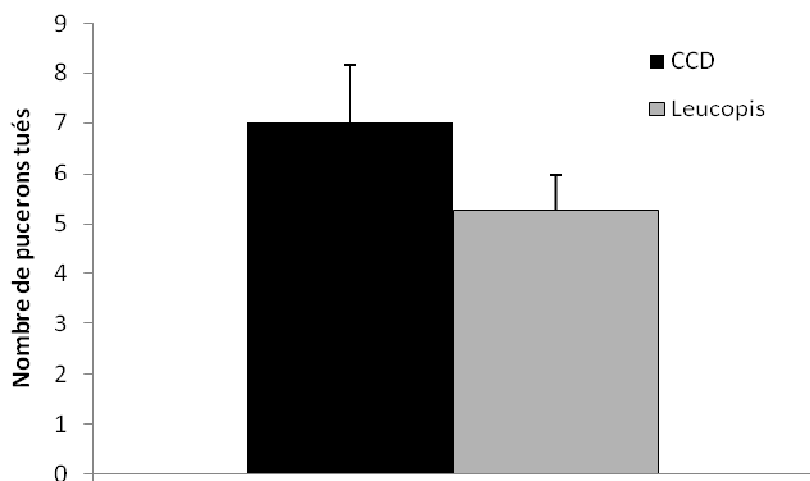


Figure 17. Nombre (moyenne  $\pm$  erreur-type) de pucerons tués (consommés+non-consommés) par les larves d'*Aphidoletes aphidimyza* (CCD) et *Leucopis annulipes* (Leucopis) en 24h.

#### 4.3.3 Conclusion

Ces résultats montrent que les deux espèces de prédateurs tuent une quantité équivalente de pucerons sur une période de 24h en conditions de laboratoire. De plus, les deux espèces tuent plus de pucerons qu'elles n'en consomment mais la cécidomyie le fait d'avantage. Ce comportement, appelé « gaspillage » est déjà documenté chez *Aphidoletes aphidimyza*, mais aucune mention n'en avait été faite précédemment pour *Leucopis annulipes*. Ces résultats ne permettent cependant pas de conclure à la meilleure efficacité de l'un de ces deux agents potentiels de contrôle biologique des populations de pucerons dans le maïs sucré.

#### 4.4 ÉVALUATION DE LA COMPATIBILITÉ ENTRE LES DIFFÉRENTS AGENTS DE LUTTE BIOLOGIQUE

Les agents de lutte biologique évalués lors de l'étape précédente ont fait l'objet d'études de compatibilité en laboratoire. Cette étape est importante afin de s'assurer de l'absence d'interactions négatives entre les agents destinés à être utilisés conjointement.

##### 4.4.1 **Compatibilité entre les parasitoïdes et les formulations de *Bt* : effet du *Bt* sur le parasitisme par des trichogrammes.**

Afin de vérifier s'il y a interaction entre *Bt* et trichogrammes, des œufs de pyrale ont été badigeonnés de solutions de Bioprotec®3P et de Dipel®2XDF. L'efficacité de parasitisme des trichogrammes sur ces œufs ainsi que la qualité de la progéniture sur ces œufs ont été évalués.

###### 4.4.1.1 Méthodologie

En éprouvette, une femelle trichogramme (*Trichogramma brassicae* ou *T. ostriniae*) accouplée et âgée de moins de 24h heures a été mise en présence d'une ooplaque de pyrale du maïs traitée au *Bt* (Bioprotec®3P ou Dipel®2XDF) ou à l'eau distillée (2µL de chaque solution appliqué à l'aide d'une pipette). Huit répétitions ont été effectuées en conditions contrôlées à 23°C ; 70% H.R.; 16L:8N. Les taux de parasitisme puis d'émergence des trichogrammes ainsi que le ratio des sexes des trichogrammes émergents ont été évalués. Par ailleurs, afin de vérifier l'effet de l'application de *Bt* en présence de trichogrammes sur les œufs non-parasités, le pourcentage d'éclosion des œufs de pyrale non-parasités a également été évalués.

###### 4.4.1.2 Résultats

Comme l'indique la figure 18, le taux de parasitisme est moins important chez *T. brassicae* en présence de *Bt*. La différence n'est cependant pas statistiquement

significative ( $\chi^2 = 4,38$ ; d.l. = 2;  $p = 0,11$ ; traitement = moyenne  $\pm$  erreur-type : Dipel<sup>®</sup> 2XDF =  $0,03 \pm 0,03$ ; Bioprotec<sup>®</sup> 3P =  $0,008 \pm 0,008$ ). Chez *T. ostriniae* la proportion d'œufs parasités ne diffère pas entre les traitements ( $\chi^2 = 1,60$ ; d.l. = 2;  $p = 0,45$ ; traitement = moyenne  $\pm$  erreur-type : Dipel<sup>®</sup> 2XDF =  $0,36 \pm 0,07$ ; Bioprotec<sup>®</sup> 3P =  $0,23 \pm 0,06$ ).

En ce qui concerne les taux d'émergence des trichogrammes à partir des œufs parasités, aucune différence significative n'a été trouvée entre les masses d'œufs traitées et les témoins, pour aucune des deux espèces (figure 19): *T. brassicae*;  $\chi^2 = 3,57$ ; d.l. = 2;  $p = 0,17$ ; traitement = moyenne  $\pm$  erreur-type : Dipel<sup>®</sup> 2XDF =  $0,33 \pm 0,00$ ; Bioprotec<sup>®</sup> 3P =  $2 \pm 0,00$ ; témoin =  $1,26 \pm 0,19$ ); *T. ostriniae*;  $\chi^2 = 2,46$ ; d.l. = 2;  $p = 0,29$ ; traitement = moyenne  $\pm$  erreur-type : Dipel<sup>®</sup> 2XDF =  $1,48 \pm 0,11$ ; Bioprotec<sup>®</sup> 3P =  $1,21 \pm 0,37$ ; témoin =  $1,09 \pm 0,13$ ). Le ratio des sexes de trichogrammes émergents n'a pas été influencé par les traitements ni chez *T. brassicae* ( $\chi^2 = 1,8$ ; d.l. = 2;  $p = 0,18$ ), ni chez *T. ostriniae* ( $\chi^2 = 1,18$ ; d.l. = 2;  $p = 0,55$ ). De même, le pourcentage d'éclosion des œufs non-parasités n'a été influencé par les traitements ni chez *T. brassicae* ( $\chi^2 = 2,26$ ; d.l. = 2;  $p = 0,32$ ), ni chez *T. ostriniae* ( $\chi^2 = 4,54$ ; d.l. = 2;  $p = 0,10$ ).

L'ensemble de ces résultats ne permet pas de conclure à une incompatibilité entre les formulations de *Bt* étudiées et les deux espèces de trichogrammes *T. ostriniae* et *T. brassicae*.

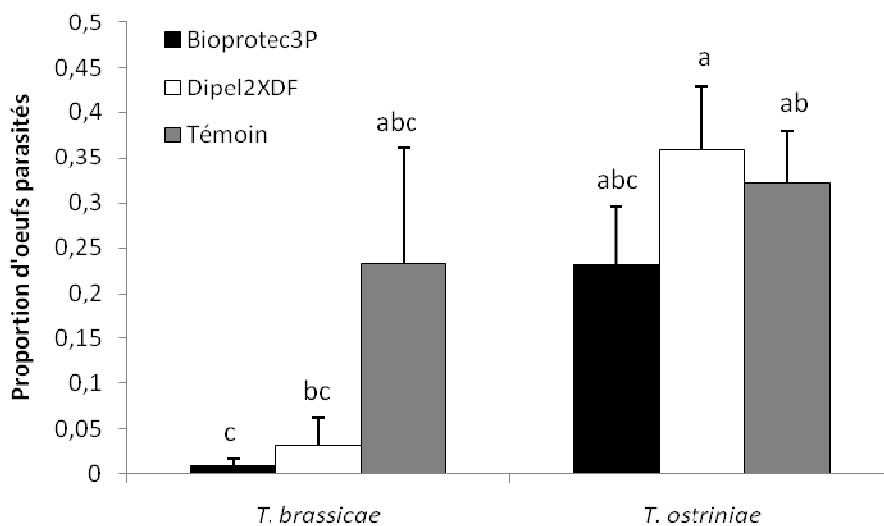


Figure 18. Proportion (moyenne  $\pm$  erreur-type) d'œufs parasités par *T. brassicae* et *T. ostriniae* sur des masses d'œufs de pyrale du maïs aspergées de Bioprotec®3P, de Dipel 2XDF et d'eau distillée. Des lettres différentes au dessus des barres indiquent une différence significative entre les deux groupes suite au test HSD de Tukey.

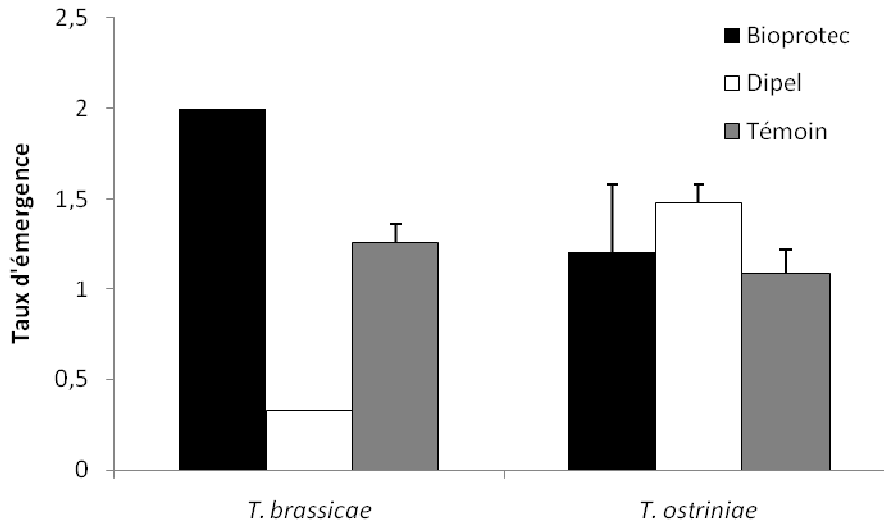


Figure 19. Taux d'émergence (nombre d'individus émergés/œuf parasité) (moyenne  $\pm$  erreur-type) de *T. brassicae* et *T. ostriniae* sur des masses d'œufs de pyrale du maïs aspergées de Bioprotec®3P, de Dipel®2XDF et d'eau distillée.

#### 4.4.2 Compatibilité entre les prédateurs et les deux formulations de *Bt* (Bioprotec 3P® et Dipel 2XDF®).

La toxicité des deux formulations de *Bt* a été évaluée pour *Leucopis annulipes* par contamination d'ingestion à la concentration recommandée sur l'étiquette du produit. Bien que la variété *kurstaki* du *Bt* soit spécifique aux lépidoptères, il est possible que d'autres composés présents dans les formulations aient un effet sur la consommation de pucerons par des larves de diptères tel que *L. annulipes*.

#### 4.4.2.1 Méthodologie

Les chamaemyiidae *Leucopis annulipes* ont été élevés au laboratoire de lutte biologique de l'UQAM. Les expériences ont été menées en boîte de Pétri. Une larve (n = 20; taille standard : 3mm) de *L. annulipes* a été placée dans une colonie de vingt pucerons de l'espèce *Myzus persicae* (de taille comparable à *Rhopalosiphum pisum* et *Rhopalosiphum maidis*) sur une feuille de pomme de terre maintenue en turgescence dans un gel d'agar. Les colonies de pucerons ont été traités par une pulvérisation de :

- ✓ Une solution de Bioprotec 3P<sup>®</sup> à la dose moyenne recommandée par le fabricant (1725g/ha)
- ✓ Une solution de Dipel 2XDF<sup>®</sup> à la dose moyenne recommandée par le fabricant (1120g/ha)
- ✓ De l'eau distillée (témoin)

#### 4.4.2.2 Variables mesurées

Après 24 heures, le nombre de pucerons morts et l'état de la larve ont été notés. De plus une distinction a été faite entre les pucerons consommés (fluides totalement ou partiellement extraits de l'exosquelette) et les pucerons morts mais pour lesquels il n'y a pas évidence de consommation par la larve (paralysés ou mort non liée au prédateur). Après cette période de 24h heures, les larves ont ensuite été maintenues sur les mêmes colonies jusqu'à pupaison, moment où elles ont été pesées.

#### 4.4.2.3 Résultats

Bien que le nombre de pucerons morts consommés (figure 20;  $\chi^2 = 3,17$ ; d.f. = 2; p = 0,21 (traitement = moyenne  $\pm$  erreur-type; Bioprotec =  $3,67 \pm 0,61$ ; Dipel =  $6,36 \pm 1,21$ ; Témoin =  $5,22 \pm 0,69$ )) et non-consommés (figure 20;  $\chi^2 = 3,62$ ; d.f. = 2; p = 0,16; Bioprotec =  $0,73 \pm 0,32$ ; Dipel =  $1,57 \pm 0,63$ ; Témoin =  $0,33 \pm 0,20$ ) ne soit pas différent entre les trois groupes, le nombre total de pucerons morts est significativement différent entre les groupes (figure 20;  $F_{2,46} = 3,62$ , p = 0,035; test de Tukey : traitement = moyenne  $\pm$  erreur-type(niveau); Bioprotec =  $0,73 \pm 0,32(b)$ ; Dipel =  $1,57 \pm 0,63(a)$ ; Témoin =  $0,33 \pm 0,20(ab)$ )). Il y a significativement moins de pucerons morts dans les boîtes de Pétri

ayant reçu du Bioprotec par rapport à ceux ayant reçu du Dipel. La différence semble venir principalement du nombre de pucerons consommés qui est près de deux fois supérieure avec le Dipel (6,36 puc/24h) par rapport au Bioprotec (3,67 puc/24h). Cependant, aucun des deux traitements ne diffère du témoin ce qui ne permet pas de conclure à un effet positif (dans le cas du Dipel) ou négatif (dans le cas du Bioprotec) de l'une des deux formulations sur le contrôle des populations de pucerons par des larves de *L. annulipes*.

En ce qui concerne le poids des pupes, aucune différence n'a été décelée entre les trois groupes ( $\chi^2 = 1,21$ ; d.f. = 2;  $p = 0,54$ ; Bioprotec =  $0,45\text{mg} \pm 0,35$ ; Dipel =  $0,60\text{mg} \pm 0,25$ ; Témoin =  $0,75\text{mg} \pm 0,064$ ).

Nous ne pouvons donc pas conclure à l'incompatibilité entre les formulations de *Btk* évaluées dans ce projet et les larves prédatrices de *L. annulipes*.

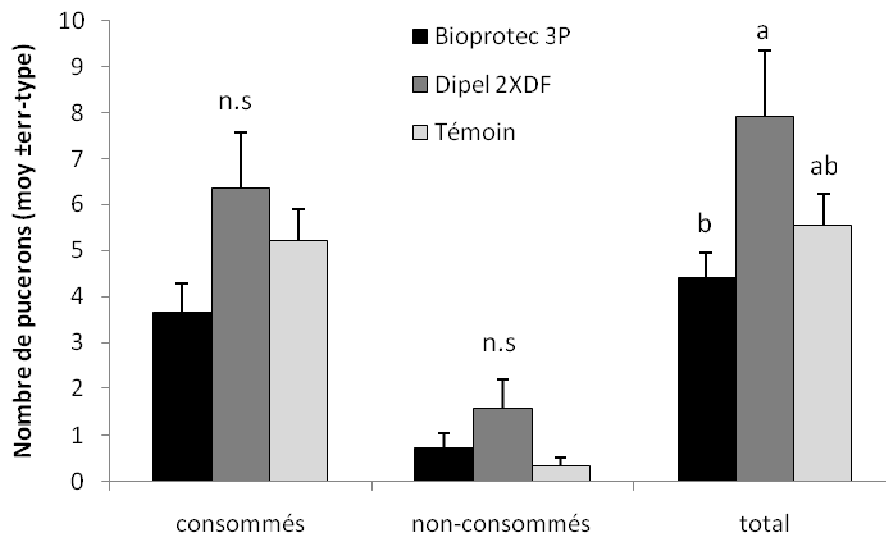


Figure 20. Nombre (moyenne  $\pm$  erreur-type) de pucerons consommés par les larves de *Leucopis annulipes*, nombre de pucerons morts non-consommés par les larves, et nombre total de pucerons morts sur une période de 24h. Des lettres différentes au dessus des barres indiquent une différence significative entre les deux groupes. n.s. indique qu'il n'y pas de différence significative entre les deux groupes.

#### 4.4.3 Compatibilité entre les parasitoïdes et les prédateurs sélectionnés

*Note : Ce volet ne faisait pas partie de la proposition initiale mais il a été jugé pertinent de l'inclure afin de vérifier toutes les interactions pouvant exister entre les différents agents biologiques dont l'utilisation est envisageable dans ce programme de lutte biologique.*

- *Cette étude a fait l'objet d'une communication orale dans le cadre de la 137<sup>ème</sup> Réunion annuelle de la Société d'Entomologie du Québec, Trois-Rivières.*

Bien que du parasitisme d'œufs de diptères par des trichogrammes ait déjà été mentionné dans la littérature (Juliano, 1982; Pak, 1986), aucune mention de parasitisme des œufs de *chamaemyiidae* par ces parasitoïdes n'a été retrouvée. Cette éventualité a donc été vérifiée au laboratoire. Les questions posées étaient les suivantes :

1. Les trichogrammes parasitent-ils les œufs des prédateurs *Leucopis annulipes* ?
2. La présence de trichogrammes a-t-elle un effet sur l'éclosion des œufs de *Leucopis annulipes* ?

##### 4.4.3.1 Méthodologie

Un trichogramme femelle (*Trichogramma brassicae* ou *T. ostriniae*), accouplée et âgée de moins de 24 heures a été placée dans une éprouvette contenant une dizaine d'œufs de *L. annulipes* ou de l'hôte factice *Ephestia kuehniella* (stérilisés) en présence d'un mâle de la même espèce (<24h). Une solution diluée de miel a servi de ressource nutritionnelle pour les trichogrammes. Seize répétitions ont été réalisées simultanément pour chaque espèce de trichogrammes. Les éprouvettes ont été placées dans une chambre d'élevage (23°C ; 70% H.R.; 16L:8N) puis observées chaque jour pendant cinq jours afin de vérifier l'état des œufs (parasitisme, éclosion). Seize éprouvettes contenant 10 œufs de *L. annulipes* et *E. kuehniella* en absence de

trichogramme ont servi de témoins négatifs afin de vérifier le taux d'éclosion naturel des œufs de chaque espèce.

Les traitements effectués se résument de la façon suivante :

- ✓ Traitement : 1 trichogramme femelle + œufs de *L. annulipes*.
- ✓ Témoin positif : 1 trichogramme femelle + œufs d'*E. kuehniella*.
- ✓ Témoin négatif : œufs de *L. annulipes* seuls.

#### 4.4.3.2 Résultats

**Question 1.** Les trichogrammes parasitent-ils les œufs des prédateurs *L. annulipes* ?

Aucune des espèces de trichogramme n'a parasité les œufs du diptère de façon apparente. Aucun œuf noirci de *L. annulipes* n'a été trouvé et aucun trichogramme n'a émergé de ces œufs. Bien qu'une dissection des œufs ou observation comportementale n'ait été effectuée afin de voir si les trichogrammes ont tenté de pondre dans les œufs du diptère, nous pouvons au moins affirmer qu'aucune larve de trichogramme ne s'est développée jusqu'à pupaison dans un œuf de *L. annulipes* (figure 21).

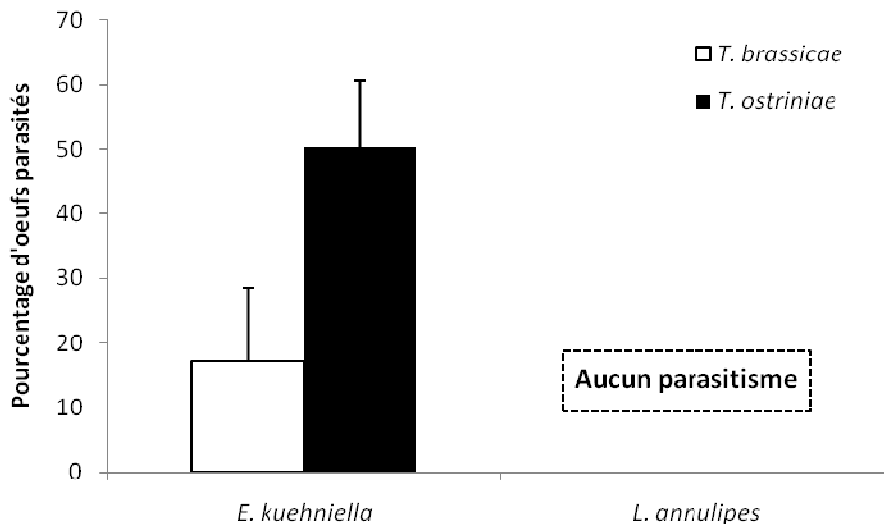


Figure 21. Pourcentage d'œufs d'*Ephestia kuehniella* et *Leucopis annulipes* parasités par *Trichogramma ostriniae* et *T. brassicae*.



**Question 2.** La présence de trichogrammes a-t-elle un effet sur l'éclosion des œufs de *Leucopis annulipes* ?

La figure 22 montre que la présence de trichogrammes affecte le taux d'éclosion des œufs chez *E. kuehniella* ( $F_{2,23} = 30,03$ ,  $p < 0,0001$ ; test de Tukey : traitement = moyenne  $\pm$  erreur-type(niveau); *T. brassicae* =  $0,21 \pm 0,06(b)$ ; *T. ostrinae* =  $0,26 \pm 0,09(b)$ ; Témoin =  $0,87 \pm 0,04 (a)$ ) et chez *L. annulipes* ( $F_{2,23} = 0,59$ ,  $p = 0,0$ ; test de Tukey : traitement = moyenne  $\pm$  erreur-type(niveau); *T. brassicae* =  $0,59 \pm 0,09(AB)$ ; *T. ostrinae* =  $0,43 \pm 0,06(B)$ ; Témoin =  $0,81 \pm 0,06(A)$ ). Chez *L. annulipes*, seul la présence de *T. ostrinae* a réduit l'éclosion de façon significative. Ceci indique que même si les trichogrammes ne semblent pas pouvoir parasiter les œufs de *L. annulipes* de façon viable, il est possible qu'ils affectent ces œufs autrement. Par exemple, il est connu que les trichogrammes effectuent des piqûres sur des œufs de leurs hôtes afin de s'alimenter de leur contenu. Ces piqûres de nutrition peuvent affecter le développement des larves ou les tuer (Heimpel et Collier, 1996). Des observations du comportement des trichogrammes sur des œufs de *L. annulipes* pourrait permettre de savoir avec plus de précision quelle est l'origine de cette baisse du taux d'éclosion des œufs. Il est tout de même important de rappeler que les trichogrammes étaient confinés dans des tubes à essai avec les œufs offerts, ce qui ne leur offre pas de choix d'hôte de nutrition. Le fait que leur présence ait affecté l'éclosion des prédateurs en laboratoire n'est pas suffisant pour conclure à une incompatibilité en champ, où les choix d'hôtes et de sources nutritionnelles sont divers.

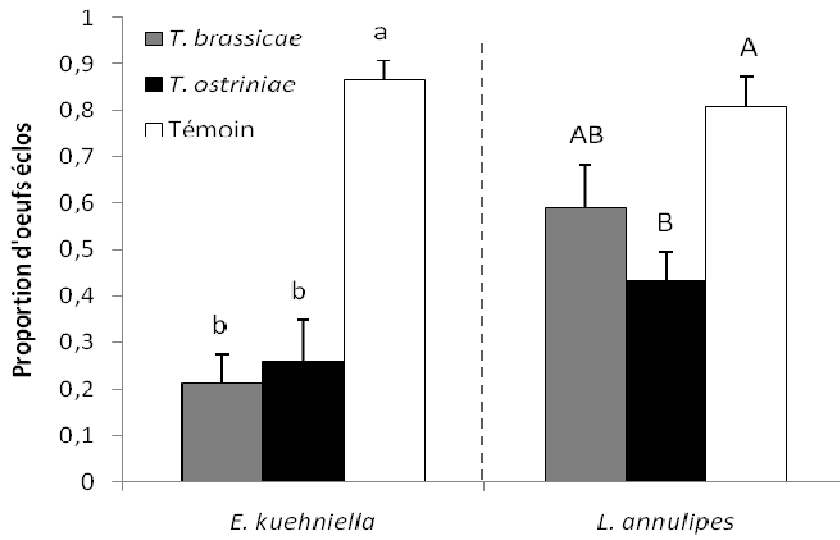


Figure 22. Proportion d'œufs d'*Ephestia kuehniella* et *Leucopis annulipes* éclos en présence d'une femelle *T. ostriniae*, d'une femelle *T. brassicae* et sans trichogramme. Des lettres différentes au dessus des barres indiquent une différence significative entre les groupes. Des codes de niveaux différents ont été utilisés car les analyses ont été faites séparément pour *E. kuehniella* et *L. annulipes*.

## 4.5 EXPÉRIMENTATION AVEC LES AGENTS DE LUTTE BIOLOGIQUE RETENUS

Suite à la première étape d'évaluation, le parasitoïde *Trichogramma ostriniae* et la formulation de *Btk* Bioprotec®3P ont été retenus afin d'être intégrés au programme de lutte biologique. En ce qui concerne les prédateurs, aucune sélection n'a pu être faite avec les résultats de cette étude. La seconde étape de cette étude consistait à expérimenter différentes stratégies d'intervention impliquant ces candidats sélectionnés. Les stratégies testées sont établies dans le but de réduire les coûts d'utilisation sans compromettre l'efficacité de contrôle.

### 4.5.1 Année 2008

#### 4.5.1.1 Site et dispositif expérimental

Les essais ont été réalisés en station expérimentale sur le site de l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement dans la ville de Saint-Hyacinthe, Québec. Chaque parcelle de maïs sucré utilisée était de 0,2 hectare (40m x 50m) et distancée de 150 mètres d'une autre parcelle. La variété de maïs sucré *Sensor* a été utilisée pour cette année d'expérimentation.

#### 4.5.1.2 Traitements

En 2008, l'objectif était de comparer deux stratégies d'intervention contre la pyrale du maïs et les pucerons selon les traitements suivants :

- ✓ **Traitement 1:** Stratégie biologique dite **systematique** qui combine :

Une série de lâchers inondatifs de *Trichogramma ostriniae* selon les dates recommandées par le Réseau d'avertissements phytosanitaires (RAP). Dose unitaire = 150 000 indiv./ha aux 10 jours (voir section 4.1.1.3 pour les détails du déroulement des lâchers). Au total, cinq lâchers ont été effectués pour cette saison, soit les 27 juin, 8 juillet, 18 juillet, 28 juillet et 8 août.

Des lâchers du prédateur de pucerons *Aphidoletes aphidimyza* selon l'atteinte du seuil de pucerons, tel que recommandé par le RAP. Le très faible nombre de pucerons dans les parcelles n'a pas permis de relâcher les prédateurs (voir section 4.3.1.).

✓ **Traitement 2:** Stratégie biologique dite *raisonnée* qui combine :

Un lâcher inoculatif de *Trichogramma ostriniae* au stade V8 (8-10 feuilles déployées) effectué le 8 juillet à la dose de 150 000 indiv./ha., suivi d'applications de Bioprotec3P® si nécessaire. La décision d'appliquer du *Bt* et le nombre de traitements est basée sur les suivis d'infestations effectués dans les parcelles de façon bihebdomadaire, basée sur un seuil d'infestation de 5%. *Nota : Aucune intervention au Bt n'a eu lieu cette saison, le seuil d'intervention n'ayant pas été atteint.*

Des lâchers du prédateur de pucerons *Aphidoletes aphidimyza* selon l'atteinte du seuil de pucerons, tel que recommandé par le RAP. *Nota : le très faible nombre de pucerons dans les parcelles n'a pas permis de relâcher les prédateurs (voir section 4.3.1.).*

✓ **Témoin**

Aucune intervention phytosanitaire (trichogramme, insecticide) n'a été effectuée contre les insectes dans ces parcelles.

*Note : L'intervention au Bt n'ayant pas été nécessaire dans la stratégie dite raisonnée (seuil d'intervention non atteint), nous avons donc pu comparer l'efficacité d'un lâcher unique de trichogrammes à l'efficacité de cinq lâchers de trichogrammes. Les trois traitements seront donc nommées « 5 lâchers », « 1 lâcher », et « témoin » tout au long du texte.*

#### 4.5.1.3 Variables mesurées

Niveau d'infestation par la pyrale du maïs :

- captures d'adultes (tel que décrit à la section 4.1.1.4).

- suivi des pontes de pyrale (tel que décrit à la section 4.1.1.4).

Niveaux de parasitisme dans les différents traitements :

- parasitisme des œufs sentinelles (tel que décrit à la section 4.1.1.4).
- parasitisme des masses d'œufs naturelles de pyrale (tel que décrit à la section 4.1.1.4).

Efficacité des différentes stratégies :

- évaluation des dommages au moment de la récolte (section 4.1.1.4) qui a eu lieu le 22 août 2008.

#### 4.5.1.4 Résultats

##### **a) Population de pyrale du maïs**

- Captures d'adultes.

La figure 23 présente les captures de papillons de pyrale du maïs dans les pièges à phéromone de type *Heliothis* durant la saison 2008. Les pièges ont été installés les 20 mai pour la pyrale bivoltine, le 9 juin pour la pyrale univoltine et ils ont été enlevés le 2 septembre. Au total, 1226 pyrales bivoltines et 6 pyrales univoltines ont été capturées durant la saison. La race univoltine de la pyrale du maïs est restée à un très faible niveau durant cette saison. La première génération de la race bivoltine s'est étendue du 2 au 23 juin, alors que la deuxième génération, beaucoup plus importante, s'est étendue du 21 juillet au 2 septembre 2008.

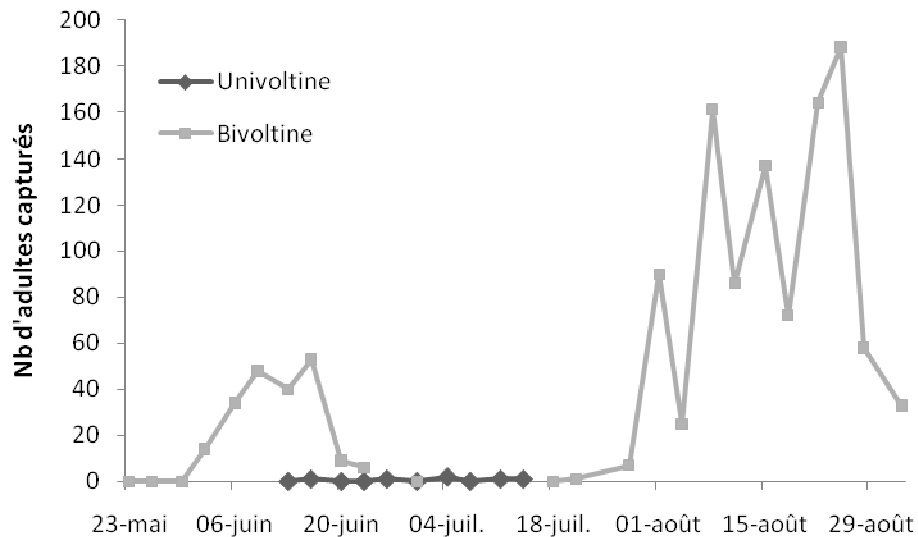


Figure 23 : Nombre d'adultes de pyrale du maïs capturés à l'aide de pièges à phéromone de type *Heliothis* sur le site de Saint-Hyacinthe du 20 mai au 2 septembre 2008.

- Suivi des pontes de pyrale du maïs dans les parcelles.

La figure 24 présente les résultats de ces dépistages bihebdomadaires effectués du 8 juillet au 15 août 2008. On constate que l'infestation naturelle par la pyrale du maïs a été homogène entre les différents traitements. Il n'y a pas de différence significative dans le nombre de masses naturelles trouvées entre les trois traitements (test de Kruskal-Wallis :  $\chi^2 = 4,67$ ; d.f. = 2;  $p = 0,097$ ). Au total, 386 masses d'œufs ont été trouvées dans l'ensemble des parcelles sur toute la saison.

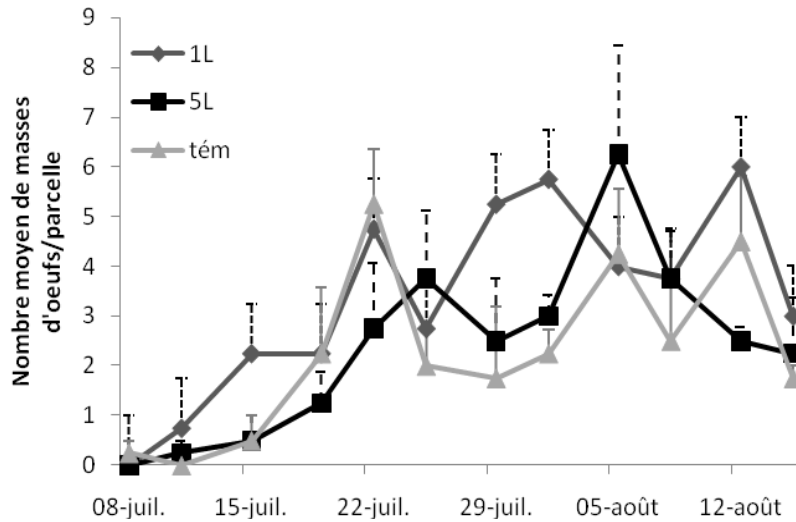


Figure 24. Nombre moyen de masses d'œufs naturelles de pyrale du maïs trouvées dans les parcelles en 2008 pour chaque traitement.

### b) Taux de parasitisme

#### - Masses d'œufs sentinelles

Sur l'ensemble de la saison, les pourcentages de masses d'œufs sentinelles parasitées sont significativement supérieurs dans les parcelles ayant reçu cinq lâchers (régie systématique) par rapport aux parcelles n'ayant reçu qu'un seul lâcher (régie raisonnée) et aux témoins. De plus, ce pourcentage de parasitisme est supérieur dans le traitement *1 lâcher* par rapport aux témoins (fig. 25; Kruskal-Wallis  $\chi^2 = 30,36$ ; d.l. = 2;  $p < 0,0001$ , suivi du test HSD de Tukey :  $Q = 2,41$ ,  $p < 0,05$ ; [traitement = moyenne  $\pm$  écart-type(niveau)] [Témoin =  $1,16 \pm 0,46(a)$ ; *1 lâcher* =  $7,84(b) \pm 1,84$ ; *5 lâchers* =  $16,21 \pm 2,21(c)$ )).

Pour ce qui est du pourcentage d'œufs parasités par masse d'œufs parasitée, indicatif de l'efficacité d'exploitation d'une masse d'œufs par les femelles trichogrammes, il n'était pas différent entre les différents traitements (ANOVA :  $F_{2,36} = 1,32$ ;  $p < 0,28$ ).

Le pourcentage global d'œufs parasités (en contraste au nombre de masses d'œufs parasités précédemment présenté) suit le même patron : *5 lâchers* > *1 lâcher* > témoin (ANOVA :  $F_{2,59} = 10,53$ ;  $p < 0,0001$ , suivi du test HSD de Tukey :  $Q = 2,41$ ,  $p < 0,05$ ;

[traitement = moyenne  $\pm$  écart-type (niveau)] [Témoin =  $0,77 \pm 0,35$ (a); 1 lâcher =  $4,31 \pm 1,23$ (ab); 5 lâchers =  $7,59 \pm 1,30$ (b)].

Le détail des taux de parasitisme observés aux dix jours indique que la différence entre les parcelles à 1 lâcher et les parcelles à 5 lâchers n'est jamais significative (fig. 26; **27 juin** : aucun parasitisme n'a été trouvé dans le traitement 1 lâcher ni dans les témoins; **08 juillet** : ANOVA;  $F_{2,11} = 8,85$ ;  $p = 0,0075$ , suivi du test HSD de Tukey :  $Q = 2,79$ ,  $p < 0,05$ ; [traitement = moyenne  $\pm$  écart-type] [Témoin =  $1,14 \pm 1,14$ ; 1 lâcher =  $12,27 \pm 3,33$ ; 5 lâchers =  $15,03 \pm 2,44$ ]; **18 juillet** : Kruskal-Wallis;  $\chi^2 = 6,07$ ; d.f. = 2;  $p = 0,048$ , suivi du test HSD de Tukey :  $Q = 2,79$ ,  $p < 0,05$ ; [Témoin =  $1,14 \pm 1,14$ ; 1 lâcher =  $8,71 \pm 3,69$ ; 5 lâchers =  $18,98 \pm 6,50$ ]; **28 juillet** : ANOVA;  $F_{2,11} = 2,80$ ;  $p = 0,11$ ; Témoin =  $2,33 \pm 1,24$ ; 1 lâcher =  $4,88 \pm 3,23$ ; 5 lâchers =  $12,71 \pm 4,38$ ; **08 août** : ANOVA;  $F_{2,11} = 6,72$ ;  $p = 0,0016$ , suivi du test HSD de Tukey :  $Q = 2,79$ ,  $p < 0,05$ ; [Témoin =  $1,19 \pm 1,19$ ; 1 lâcher =  $13,33 \pm 5,65$ ; 5 lâchers =  $23,42 \pm 4,68$  ]). C'est donc la sommation sur l'ensemble de la saison qui cause cette différence globale précédemment décrite.

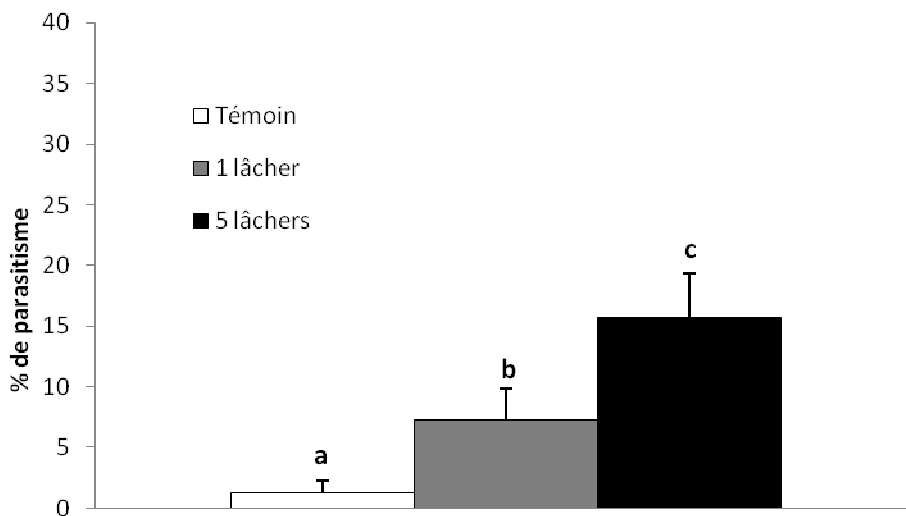


Figure 25. Pourcentage (moyenne  $\pm$  err.-type) de masses d'œufs sentinelles d'*Ostrinia nubilalis* parasitées par les trichogrammes dans chacun des traitements durant l'été 2008.



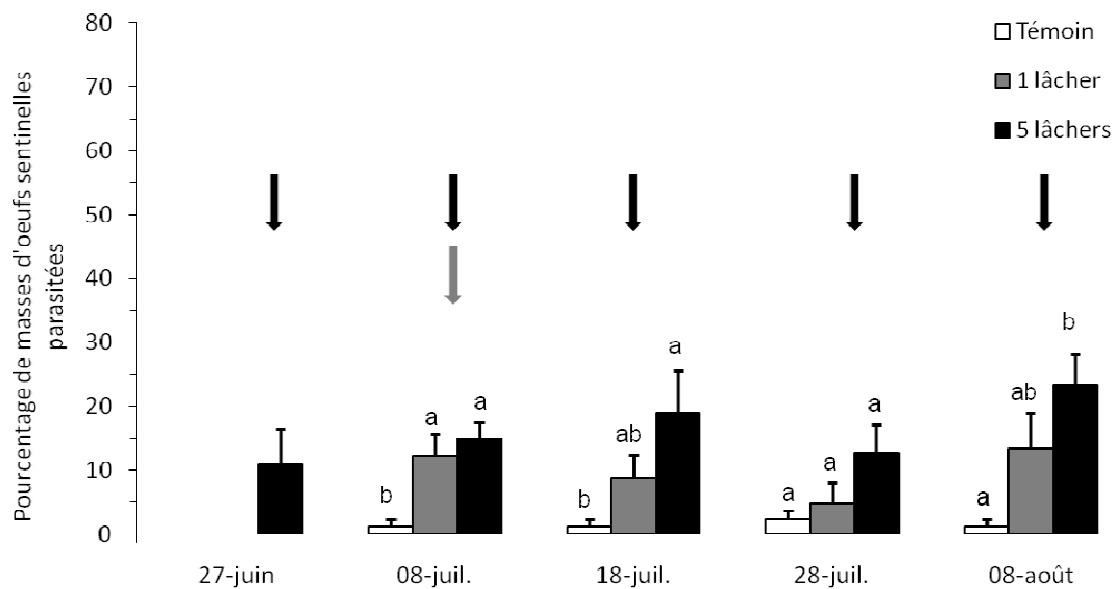


Figure 26. Pourcentage de masses d'œufs sentinelles d'*Ostrinia nubilalis* parasitées (moyenne  $\pm$  err.-type) aux dix jours, après des lâchers de trichogrammes. Les flèches indiquent les dates de lâcher dans les deux traitements.

#### - Masses d'œufs naturelles

Le pourcentage de masses d'œufs naturelles parasitées est constamment croissant dans les parcelles ayant reçu un seul lâcher de trichogrammes et sur l'ensemble de la saison le pourcentage de masses d'œufs naturelles parasitées n'est pas significativement différent entre les parcelles ayant reçu un lâcher ou cinq lâchers de trichogrammes (fig. 27; ANOVA;  $F_{2,11} = 24,64$ ;  $p = 0,0002$ , suivi du test HSD de Tukey [traitement = moyenne  $\pm$  écart-type(niveau)]:  $Q = 2,79$ ,  $p < 0,05$ ; [Témoin =  $37,10 \pm 7,55$ (b); 1 lâcher =  $71,73 \pm 3,41$ (a); 5 lâchers =  $80,56 \pm 1,47$ (a)]. Ceci indique que le lâcher unique effectué le 8 juillet a permis de maintenir un taux de parasitisme comparable au parasitisme retrouvé dans les parcelles 5 lâchers, comme il est observable à la figure 27.

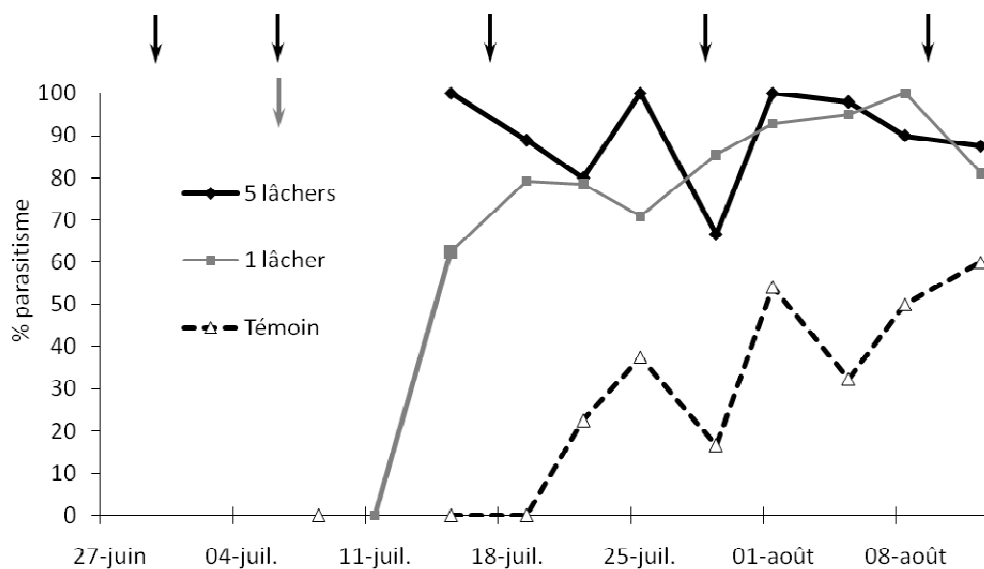


Figure 27. Pourcentage de masses d'œufs naturelles d'*Ostrinia nubilalis* parasitées à chaque dépistage.

### c) Dommages à la récolte

L'évaluation des dommages constatés au moment de la récolte montre que l'intervention avec cinq lâchers a été globalement plus efficace en matière de contrôle du ravageur que la stratégie *1 lâcher*. En effet, le nombre de plants ne présentant aucun dommage était significativement supérieur dans les parcelles ayant reçu cinq lâchers par rapport aux parcelles n'ayant reçu qu'un seul lâcher, ces deux traitements étant tous deux supérieurs au témoin (ANOVA :  $F_{2,11} = 25,36$ ;  $p = 0,0002$ , suivi du test HSD de Tukey :  $Q = 2,79$  [traitement = moyenne  $\pm$  écart-type(niveau)] [Témoin =  $28 \pm 7,74$ (a); *1 lâcher* =  $61,5 \pm 6,09$  (b); *5 lâchers* =  $85,5 \pm 1,32$  (c)]).

Par ailleurs, en ce qui concerne les plants endommagés, le patron est semblable pour les dommages dénombrés au niveau de la croix, de la tige et des épis de maïs. Au niveau de la croix, il y a eu plus de dommage dans les témoins que dans le traitement *5 lâchers*, mais aucune différence entre *1 lâcher* et *5 lâchers* (fig. 28; ANOVA :  $F_{2,11} = 6,64$ ;  $p = 0,017$ , suivi du test HSD de Tukey :  $Q = 2,79$  [traitement = moyenne  $\pm$  écart-

type(niveau)] [Témoin =  $34 \pm 9,65(a)$ ; 1 lâcher =  $9,5 \pm 4,63(ab)$ ; 5 lâchers =  $3,75 \pm 1,38(b)$ ). Au niveau de la tige, il y a eu plus de plants endommagés dans les témoins mais aucune différence entre les deux traitements ayant reçu des trichogrammes (fig. 28; test de Kruskal-Wallis :  $\chi^2 = 9,85$ ; d.f. = 2;  $p = 0,0073$ , suivi du test HSD de Tukey :  $Q = 2,79$ ,  $p < 0,05$ ; [Témoin =  $48,75 \pm 10,81(a)$ ; 1 lâcher =  $20,25 \pm 1,89(b)$ ; 5 lâchers =  $5,25 \pm 0,85(b)$ ). Au niveau des épis, il y a eu plus de dommages dans les témoins que dans le traitement 5 lâchers, mais aucune différence entre 1 lâcher et 5 lâchers ni entre les parcelles 1 lâcher et les parcelles témoins (fig. 28; ANOVA :  $F_{2,11} = 5,45$ ;  $p = 0,0028$ , suivi du test HSD de Tukey :  $Q = 2,79$  [traitement = moyenne  $\pm$  écart-type(niveau)] [Témoin =  $25 \pm 7,04(a)$ ; 1 lâcher =  $16,5 \pm 3,62(ab)$ ; 5 lâchers =  $3,75 \pm 0,63(b)$ ). La stratégie systématique a d'ailleurs permis de réduire les dommages de pyrale dans les épis à moins de 5%, ce qui représente le seuil de tolérance maximum pour plusieurs producteurs.

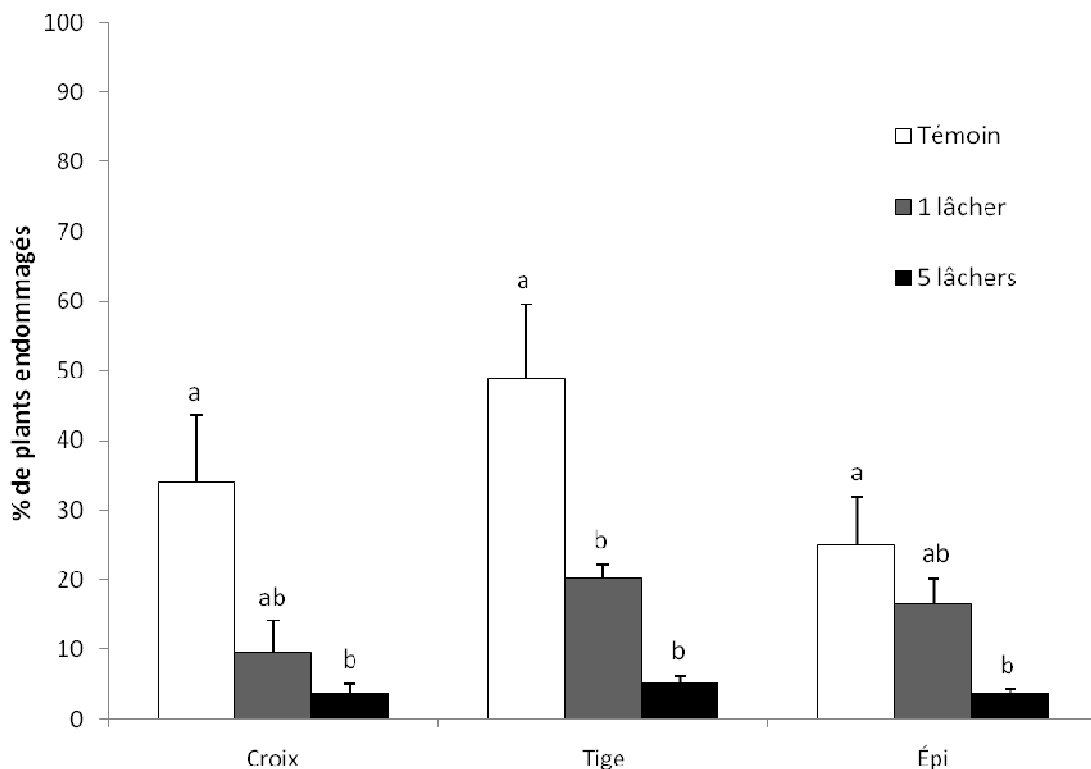


Figure 28. Pourcentage de plants endommagés à la croix, la tige et l'épi au moment de la récolte. Les lettres au dessus des barres indiquent les résultats des tests HSD de Tukey effectués séparément pour chaque groupe (croix, tige ou épi).

#### 4.5.1.5 Conclusion

Ces résultats indiquent que contrairement aux cinq lâchers inondatifs, un lâcher unique de trichogrammes n'a pas été suffisant pour réduire les dommages aux épis causés par la pyrale sous le seuil de 5%. Bien qu'un niveau élevé de parasitisme ait été maintenu dans le traitement *1 lâcher* et que le seuil d'intervention au *Bt* n'ait jamais été atteint dans ces parcelles, une application de *Bt* subséquente au lâcher aurait possiblement permis de réduire les dommages causés par les larves ayant échappé aux parasitoïdes. Les résultats de cette combinaison sont présentés à la section 4.5.2.

### 4.5.2 **Année 2009**

#### 4.5.2.1 Site et dispositif expérimental

Les essais ont été réalisés en station expérimentale sur le site de l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement dans la ville de Saint-Hyacinthe, Québec. Chaque parcelle de maïs sucré utilisée était de 0,2 hectare (40m x 50m) et distancée de 150 mètres d'une autre parcelle. Le semis a été réalisé le 16 juin 2009 (variété *Sensor*).

#### 4.5.2.2 Traitements

- ✓ **Traitement 1:** Stratégie biologique dite **systematique** qui combine :
  - i. Une série de lâchers inondatifs de *Trichogramma ostrinae* selon les dates recommandées par le Réseau d'avertissements phytosanitaires (RAP). Dose unitaire = 150 000 indiv./ha aux 10 jours (voir section 4.1.1.3 pour les détails du déroulement des lâchers). Au total, cinq lâchers ont été effectués pour cette saison les 14 juillet, 24 juillet, 3 août, 13 août et 24 août 2009.
  - ii. Des lâchers du prédateur de pucerons *Aphidoletes aphidimyza* selon l'atteinte du seuil de pucerons, tel que recommandé par le RAP. *Nota : Le très faible nombre*

*de pucerons dans les parcelles n'a pas permis de relâcher les prédateurs (voir section 4.3.1.).*

- ✓ **Traitement 2:** Stratégie biologique dite *raisonnée* qui combine :
  - i. Un lâcher inoculatif de *Trichogramma ostriniae* au stade V8 (8-10 feuilles déployées) effectué le 24 juillet à la dose de 150 000 indiv./ha. suivi d'applications de Bioprotec3P® si nécessaire. La décision d'appliquer du *Bt* et le nombre de traitements est basée sur les suivis d'infestations effectués dans les parcelles de façon bihebdomadaire **avec la méthode de l'échantillonnage séquentiel** (RAP, 2005). Au total, 4 pulvérisations de *Bt* ont été effectuées pour cette saison les 4 août, 12 août, 19 août, 26 août 2009.
  - ii. Des lâchers du prédateur *de pucerons Aphidoletes aphidimyza* selon l'atteinte du seuil de pucerons, tel que recommandé par le RAP. *Nota : Le très faible nombre de pucerons dans les parcelles n'a pas permis de relâcher les prédateurs (voir section 4.3.1.).*
- ✓ **Témoin :** Aucune intervention phytosanitaire (trichogramme, insecticide) n'a été effectuée contre les insectes dans ces parcelles.

#### 4.5.2.3 Variables mesurées

##### **a) Niveau d'infestation par la pyrale du maïs :**

- Captures d'adultes (tel que décrit à la section 4.1.1.4).
- Suivi des pontes de pyrale (tel que décrit à la section 4.1.1.4).

##### **b) Niveaux de parasitisme dans les différents traitements :**

- Parasitisme des œufs sentinelles (tel que décrit à la section 4.1.1.4).
- Parasitisme des masses d'œufs naturelles de pyrale (tel que décrit à la section 4.1.1.4).

### c) Efficacité des différentes stratégies :

- Évaluation des dommages au moment de la récolte (section 4.1.1.4) qui a eu lieu le 12 septembre 2009.

#### 4.5.2.4 Résultats

##### a) Population de pyrale du maïs

- Captures d'adultes

La figure 29 présente les captures de papillons de pyrale du maïs dans les pièges à phéromone de type *Heliothis* durant la saison 2009. Les pièges ont été installés les 18 mai pour la pyrale bivoltine, le 1er juin pour la pyrale univoltine et ils ont été enlevés le 7 septembre. Au total, 517 pyrales bivoltines et 44 pyrales univoltines ont été capturés durant la saison. Les pyrales univoltines ont été capturées du 29 juin au 17 août, mais la population est restée faible. La première génération de la race bivoltine s'est étendue du 8 au 22 juin, alors que la deuxième génération, beaucoup plus importante, s'est étendue du 31 juillet au 28 août 2009.

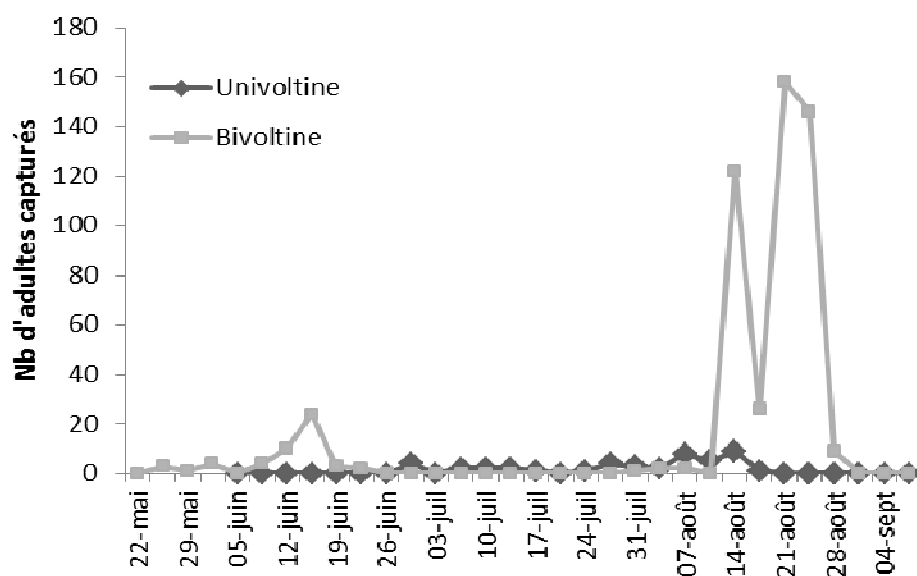


Figure 29. Nombre d'adultes de pyrale du maïs capturés à l'aide de pièges à phéromone de type *Heliothis* sur le site de Saint-Hyacinthe du 18 mai au 07 septembre 2009.

- Suivi des pontes de pyrale du maïs dans les parcelles.

La figure 30 présente les résultats de ces dépistages bihebdomadaires effectués du 10 juillet au 5 septembre 2009. L'infestation naturelle par la pyrale du maïs a été homogène entre les différents traitements. Il n'y a pas de différence significative dans le nombre de masses naturelles trouvées entre les trois traitements (test de Kruskal-Wallis :  $\chi^2 = 1,27$ ; d.l. = 2;  $p = 0,52$ ). Au total, 520 masses d'œufs ont été trouvées dans l'ensemble des parcelles sur toute la saison, soit 136 masses d'œufs de plus qu'en 2008.

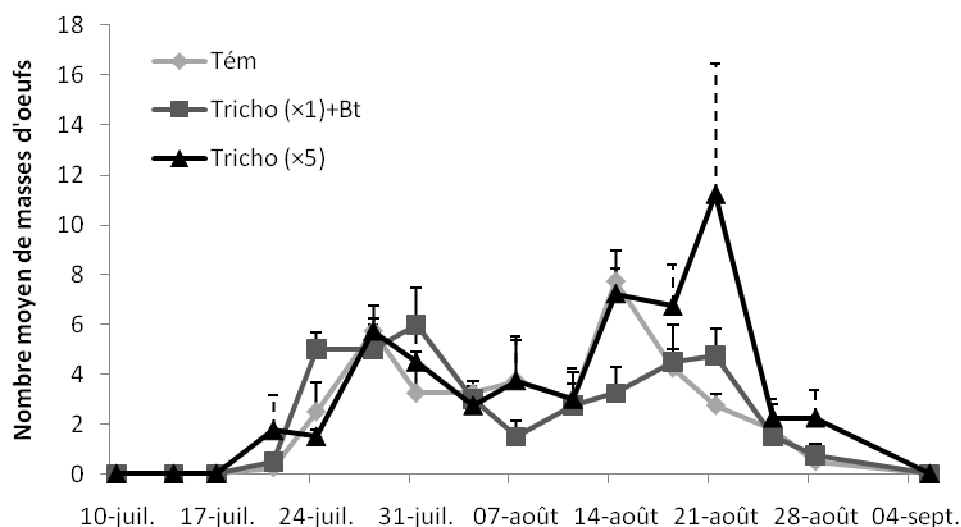


Figure 30. Nombre moyen de masses d'œufs naturelles de pyrale du maïs trouvées dans les parcelles en 2009 pour chaque traitement.

### b) Taux de parasitisme

- Masses d'œufs sentinelles

Sur l'ensemble de la saison le pourcentage de masses d'œufs naturelles parasitées est significativement plus élevé dans le traitement *Tricho x5* par rapport au traitement *Tricho x1 + Bt x4* et au témoin. Il n'y a pas de différence significative entre le traitement *Tricho*

$\times 1 + Bt \times 4$  et le témoin (Kruskall-Wallis  $\chi^2 = 10,57$ ; ddl = 2;  $p < 0,0001$ , suivi du test HSD de Tukey [traitement = moyenne  $\pm$  erreur-type(niveau)]: Q = 2,41,  $p < 0,05$ ; [Témoin =  $0,73 \pm 0,40$ (b); *Tricho*  $\times 1 + Bt \times 4 = 3,79 \pm 0,96$ (b); *Tricho*  $\times 5 = 12,46 \pm 2,52$  (a)]. Le pourcentage d'œufs parasités par masse parasitée n'est pas significativement différent entre les trois traitements (Kruskall-Wallis  $\chi^2 = 3,20$ ; ddl = 2;  $p < 0,20$ ; (Témoin =  $48,51 \pm 12,64$ ; *Tricho*  $\times 1 + Bt \times 4 = 29,81 \pm 7,29$ ; *Tricho*  $\times 5 = 39,89 \pm 3,92$ ) et par conséquent, le pourcentage global d'œufs parasités suit le même patron que le pourcentage de masses d'œufs parasitées (Kruskall-Wallis  $\chi^2 = 21,57$ ; ddl = 2;  $p < 0,0001$ , suivi du test HSD de Tukey [traitement = moyenne  $\pm$  erreur-type(niveau)]: Q = 2,41,  $p < 0,05$ ; [Témoin =  $0,45 \pm 0,34$ (b); *Tricho*  $\times 1 + Bt \times 4 = 1,29 \pm 0,50$ (b); *Tricho*  $\times 5 = 5,51 \pm 1,24$  (a)]. Il est intéressant de noter que les pourcentages d'œufs sentinelles parasités sont restés plus bas que les pourcentages d'œufs naturels parasités (voir section 3.2). Cela a également été le cas en 2008.

La figure 31 indique que le 13 août, le taux de parasitisme a été significativement supérieur dans les parcelles *Tricho*  $\times 5$  par rapport aux deux autres traitements. Bien qu'il ait été supérieur à toutes les autres dates, la différence n'est pas statistiquement significative (**14 juillet**: ANOVA;  $F_{2,11} = 0,84$ ;  $p = 0,46$ ; [Témoin =  $1,09 \pm 1,09$ ; *Tricho*  $\times 1 + Bt \times 4 = 3,26 \pm 3,26$ ; *Tricho*  $\times 5 = 6,03 \pm 3,18$ ]; **24 juillet** : *Tricho*  $\times 1 + Bt \times 4$  : ANOVA;  $F_{2,11} = 3,41$ ;  $p = 0,08$ ; [Témoin =  $0 \pm 0$ ; *Tricho*  $\times 1 + Bt \times 4 = 1,90 \pm 1,90$ ; *Tricho*  $\times 5 = 3,54 \pm 1,20$ ]; **03 août** : ANOVA;  $F_{2,11} = 4,25$ ;  $p = 0,05$ ; [Témoin =  $0 \pm 0$ ; *Tricho*  $\times 1 + Bt \times 4 = 4,54 \pm 1,54$ ; *Tricho*  $\times 5 = 14,11 \pm 5,85$ ]; **13 août** : ANOVA;  $F_{2,11} = 16,99$ ;  $p = 0,0009$  suivi du test HSD de Tukey : Q = 2,79,  $p < 0,05$ ; Témoin =  $2,57 \pm 1,48$ ; *Tricho*  $\times 1 + Bt \times 4 = 5,85 \pm 3,01$ ; *Tricho*  $\times 5 = 24,87 \pm 3,79$ ; **24 août** : ANOVA;  $F_{2,11} = 3,03$ ;  $p = 0,098$ ; [Témoin =  $0 \pm 0$ ; *Tricho*  $\times 1 + Bt \times 4 = 4,11 \pm 1,38$ ; *Tricho*  $\times 5 = 13,75 \pm 6,88$ ]).



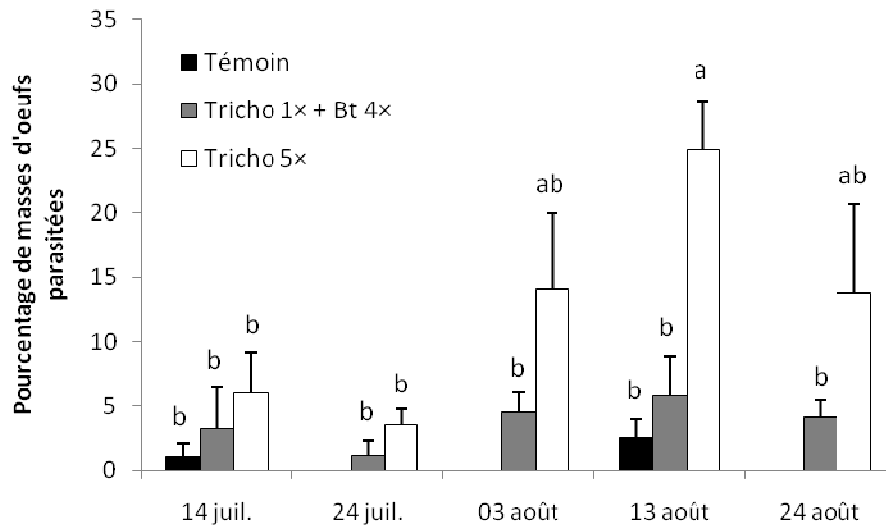


Figure 31. Pourcentage de masses d’œufs sentinelles parasitées aux dix jours. Nota: Des lettres différentes au dessus des barres indiquent des différentes significatives entre les différentes combinaisons de traitements  $\times$  date (test HSD de Tukey ( $p < 0,05$ )).

- Masses d’œufs naturelles

Sur les masses d’œufs naturelles, on retrouve la même tendance que sur les masses d’œufs sentinelles. Sur l’ensemble de la saison, le pourcentage de masses d’œufs naturelles parasitées est significativement plus élevé dans le traitement *Tricho*5 par rapport au traitement *Tricho*  $\times$ 1 + *Bt*  $\times$ 4 et au témoin. Il n’y a pas de différence significative entre le traitement *Tricho*  $\times$ 1 + *Bt*  $\times$ 4 et le témoin (fig. 32; ANOVA;  $F_{2,11} = 10,57$ ;  $p = 0,0044$ , suivi du test HSD de Tukey [traitement = moyenne  $\pm$  erreur-type(niveau)]: Q = 2,79,  $p < 0,05$ ; [Témoin = 9,06  $\pm$  3,60(b); *Tricho*  $\times$ 1 + *Bt*  $\times$ 4=21,47  $\pm$  4,73(b); *Tricho*  $\times$ 5= 48,4  $\pm$  9,82 (a)].

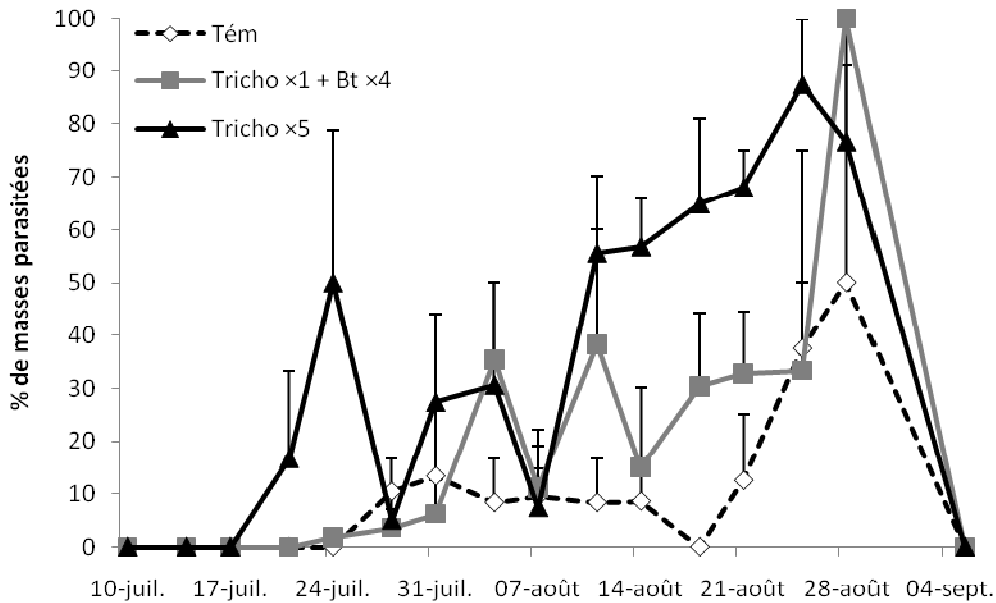


Figure 32. Pourcentage de masses d'œufs naturelles d'*Ostrinia nubilalis* parasitées à chaque dépistage.

### c) Dommages à la récolte

#### - Décompte des larves à la récolte

Les deux stratégies ont réduit le nombre moyen de larves par plant trouvées au moment de la récolte mais seule la stratégie *Tricho x5* a permis de réduire ce nombre de façon significative, passant ainsi de 3,5 à 1,5 larves par plant, soit une réduction de 60%. Il n'y a cependant pas de différence significative dans le nombre moyen de larves par plant entre les deux stratégies (ANOVA :  $F_{2,11} = 11,28$ ;  $p = 0,0035$ , suivi du test HSD de Tukey :  $Q = 2,79$  [traitement = moyenne  $\pm$  erreur-type] [Témoin =  $3,44 \pm 0,67(a)$ ; *Tricho x1 + Bt x4* =  $2,08 \pm 0,32 (a)$ ; *Tricho x5* =  $1,49 \pm 0,49 (a)$ ]).

#### - Dommages à la récolte

La figure 33 présente le pourcentage moyen de dommages évalués au moment de la récolte à la croix (panicule), à la tige et à l'épi. Il y a une différence significative dans le pourcentage de dommages retrouvés au niveau de la croix (ANOVA :  $F_{2,11} = 11,72$ ;  $p = 0,0031$ , suivi du test HSD de Tukey :  $Q = 2,79$  [traitement = moyenne  $\pm$  erreur-type]

[Témoin =  $55,25 \pm 9,46(a)$ ; *Tricho*  $\times 1$  + *Bt*  $\times 4$  =  $49,25 \pm 8,84$  (a); *Tricho*  $\times 5$  =  $39 \pm 16,59$  (b)]. Les plants situés dans les parcelles *Tricho*  $\times 5$  ont présenté moins de dommages au niveau de la croix que ceux du traitement *Tricho*  $\times 1$  + *Bt*  $\times 4$  et ceux du témoin. Au niveau de la tige, il y a eu significativement plus de dommages dans les parcelles témoins que dans les parcelles traitées (ANOVA :  $F_{2,11} = 5,87$ ;  $p = 0,023$ , suivi du test HSD de Tukey :  $Q = 2,79$  [Témoin =  $87 \pm 7,1(a)$ ; *Tricho*  $\times 1$  + *Bt*  $\times 4$  =  $61 \pm 18,2$  (b); *Tricho*  $\times 5$  =  $63,25 \pm 25,7$  (b)]). Au niveau de l'épi, il n'y a eu aucune différence significative entre les différents traitements (ANOVA :  $F_{2,11} = 1,77$ ;  $p = 0,22$ , suivi du test HSD de Tukey :  $Q = 2,79$  [Témoin =  $73,25 \pm 13,45(a)$ ; *Tricho*  $\times 1$  + *Bt*  $\times 4$  =  $60,75 \pm 33,18$  (a); *Tricho*  $\times 5$  =  $52 \pm 15,08$  (a)]).

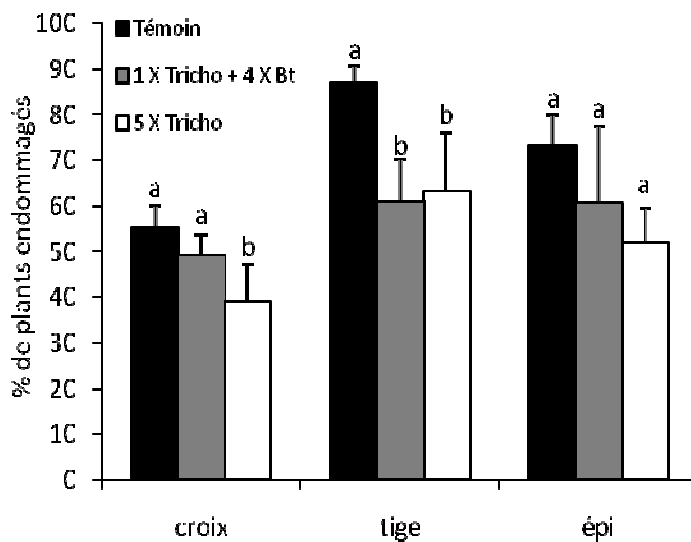


Figure 33. Pourcentage (moyenne  $\pm$  err.-type) de plants de maïs sucré endommagés au niveau de la croix, de la tige et de l'épi. Nota: Des lettres différentes au dessus des barres indiquent des différences significatives entre les trois traitements pour chaque groupe (croix, tige et épi traités séparément) (test HSD de Tukey ( $p < 0,05$ )).

#### 4.5.2.5 Conclusion

Les stratégies biologiques testées en 2008 ont été ajustées et réévaluées en 2009. En 2009, l'infestation naturelle du ravageur, la pyrale du maïs, était particulièrement

importante dans les parcelles (voir section 2.1.2). Ceci nous a permis de vérifier l'efficacité des deux stratégies proposées selon des niveaux d'infestation élevés. En 2007 et 2008, le niveau de dommages dans nos parcelles témoins atteignait 10% et 50% respectivement. En 2009, les parcelles témoins comportaient en moyenne 80% de plants endommagés, ce qui correspond à une très forte pression du ravageur.

La stratégie d'intervention *systématique* (cinq lâchers de trichogrammes) a permis de réduire de façon significative les dommages survenus à la croix et à la tige, mais pas les dommages survenus à l'épi. Dans le cas de maïs sucré destiné à la consommation du produit frais, les dommages à l'épi sont particulièrement problématiques car un épi infesté n'est pas commercialisable, contrairement aux épis de maïs sucré destinés au marché de la transformation, desquels on peut ôter les parties endommagées. Cette stratégie, qui s'était avérée très efficace en 2007 et 2008, a donc montré ses limites sous une forte pression du ravageur. Ceci suggère que dans un but d'optimiser l'efficacité et les coûts d'un programme de lutte biologique, il est nécessaire d'envisager une approche flexible, qui permettrait d'ajuster les doses et fréquences d'introduction des trichogrammes en fonction du niveau d'infestation du ravageur-cible.

La stratégie d'intervention *raisonnée* n'a pas non plus donné de contrôle convaincant de l'insecte. Contrairement à l'année 2008 où le taux de parasitisme dans le traitement *1 lâcher* n'était globalement pas significativement différent du taux de parasitisme du traitement *5 lâchers* (masses d'œufs naturelles et sentinelles), en 2009 les taux de parasitisme ont été significativement inférieures dans les parcelles n'ayant reçu qu'un seul lâcher. Malgré les quatre interventions au *Bt* subséquentes au lâcher de trichogrammes, le taux d'épis endommagés atteignait 60% dans ces parcelles.

#### 4.6 ÉVALUATION DES COÛTS RELATIFS AUX DIFFÉRENTES STRATÉGIES

Les coûts des différentes stratégies testées ont été évalués et comparés aux coûts des stratégies conventionnelles faisant principalement appel aux insecticides de synthèse. Cette évaluation des coûts contribue à établir dans quelle mesure les stratégies développées au cours de ce projet seront transmissibles aux producteurs de maïs sucré frais du Québec désireux de se tourner vers des méthodes de lutte qui soient plus respectueuses de l'environnement.

Le tableau 2 présente une évaluation du coût d'utilisation de plusieurs produits destinés à lutter contre la pyrale du maïs dans les champs de maïs sucré au Québec. Les trois premiers traitements présentés dans le tableau constituent les trois stratégies qui ont été évaluées dans cette étude. L'utilisation de *Trichogramma ostriniae* à la dose de 150 000 indiv/ha permettrait de réduire de plus de la moitié le coût d'introduction des trichogrammes dans les champs de maïs sucré au Québec où la dose actuellement recommandée est de 400 000 indiv/ha. De plus, il est intéressant de constater que la stratégie consistant en cinq introductions de *T. ostriniae* (dose : 150 000 indiv/ha) s'avère moins coûteuse que la majorité des produits insecticides. En considérant le fait que deux années sur trois cette stratégie s'est avérée très efficace, on peut conclure en un fort potentiel de cette stratégie pour la lutte biologique contre la pyrale dans le maïs sucré au Québec. En revanche, on constate que la stratégie intégrant une introduction de *T. ostriniae* à quatre applications de *Bt* est parmi les plus coûteuses. Les résultats de cette étude ayant aussi démontré que cette stratégie a été peu efficace à réduire les dommages causés par la pyrale (section 4.5.2.), nous pouvons conclure qu'elle ne constitue pas une stratégie optimale dans ce contexte.

L'objectif principal du projet était d'étudier l'optimisation de la lutte biologique dans le maïs sucré. Pour ce faire, nous avons comparé la stratégie habituelle d'introduction de *T. brassicae* à plusieurs combinaisons d'utilisation de *T. ostriniae* seul ou avec du *Bt*,

mais d'autres combinaisons pourraient s'avérer intéressantes économiquement. Le tableau 3 présente une évaluation du coût de plusieurs stratégies d'utilisation de *T. ostriniae* seul ou en combinaison avec du BIOPROTEC® 3P. Il est intéressant de noter que toutes les stratégies présentées dans ce tableau sont moins coûteuses que la stratégie habituelle avec *T. brassicae* (450\$/ha; tableau 2). Ces différentes options pourraient être adoptées en fonction des niveaux d'infestation par la pyrale du maïs dans les champs. Par exemple, la stratégie consistant en cinq introductions de *T. ostriniae* à une dose de 300 000 indiv./ha pourrait peut-être permettre de contrer des niveaux d'infestation tels que ceux retrouvés en 2009.

Le tableau 4 présente les calculs de changement de profitabilité (\$/ha) associés à différentes stratégies de contrôle de la pyrale du maïs par rapport à des témoins sans intervention phytosanitaire en fonction de trois prix de vente des épis de maïs (ces prix de ventes correspondent à une fourchette allant du prix moyen de vente au gros (2\$-la douzaine) jusqu'au prix maximum de vente au kiosque (6\$-la douzaine) (CRAAQ, 2007)). En 2007, le tableau indique des écarts de coût négatifs, -46\$/ha et -12\$/ha, pour les stratégies *T. brassicae* (x5@150K) et *T. ostriniae* (x5@150K) respectivement. Ceci indique qu'en 2007, il n'aurait pas été profitable de vendre la douzaine à 2\$ suite à des traitements avec les deux stratégies mentionnées. Avec ces deux mêmes stratégies, l'écart de profitabilité est cependant positif avec des prix de vente de 4\$ et 6\$ en 2007. En 2008 et 2009, tous les écarts de profitabilités sont positifs, ce qui indique qu'il a toujours été avantageux d'utiliser la lutte biologique ces deux années. La combinaison la plus profitable a été obtenue en 2008 avec l'utilisation de la stratégie *T. ostriniae* (x5@150K) et un prix de vente de 6\$ la douzaine qui ont mené à un profit de 4068\$/ha de plus qu'en absence de traitement.

Le tableau 5 présente une matrice des écarts de prix à atteindre afin de rentabiliser la transition de traitements insecticides (selon 3 budgets proposés) aux traitements biologiques proposés dans le tableau. Les traitements insecticides sont présentés sous

forme de budgets plutôt que par coût des produits individuels parce qu'il est suggéré aux producteurs d'intervenir avec des séquences de produits insecticides de différentes familles au cours d'une saison afin d'éviter, entre autres, des problèmes de développement de résistance chez l'insecte. Le tableau 5 se base sur l'hypothèse d'égalité de rendement entre traitements chimiques et traitements biologiques pour chaque comparaison. L'écart de prix à atteindre est le montant supplémentaire qu'il faudrait ajouter à chaque douzaine d'épis de maïs sucré afin de rentabiliser la transition de stratégie conventionnelle à des stratégies biologiques. Par exemple (entouré en vert dans le tableau), un producteur qui aurait un budget habituel de 250\$ par saison et qui passerait à la stratégie de contrôle *T. ostriniae*(x1@150K) + BIOPROTEC3P® (x4), devrait augmenter son prix de vente de 0,03\$ par douzaine afin de rentabiliser cette transition du contrôle chimique au biologique. Les valeurs négatives indiquent donc qu'un producteur n'aurait pas à augmenter ses prix afin de justifier une transition du chimique au biologique. Il est important de souligner que ces calculs se basent sur l'hypothèse que les rendements sont les mêmes à chaque transition.

Le tableau 5 montre donc que comparé à un budget insecticide 350\$, toutes les stratégies proposées dans cette étude afin d'optimiser la lutte biologique dans le maïs sucré sont économiquement avantageuses. En revanche, la stratégie traditionnelle d'introduction de trichogrammes à la dose de 400 000 individus/ha (*T. brassicae* (x5@400K)) requiert une augmentation moyenne de 0,04\$/dz.

Ces résultats montrent que l'adoption de la lutte biologique dans le maïs sucré est une pratique économiquement viable d'autant plus si l'on considère la plus-value du marché associée à un maïs exempt de pesticides de synthèse. Cette plus-value pourrait justifier l'écart de prix à aller chercher afin d'obtenir une rentabilité comparable à celle obtenue par l'utilisation de produits de synthèse, mais comme nous venons de le démontrer avec le tableau 5, à plusieurs niveaux de rendement, l'utilisation de la lutte biologique peut-être économiquement avantageuse.

Tableau 2 : Évaluation du coût d'utilisation de plusieurs produits destinés à lutter contre la pyrale du maïs dans les champs de maïs sucré au Québec.

Traitement (nom de l'espèce de parasitoïde ou nom commercial du produit + famille d'insecticide)	IRE	IRS	Coût <sup>2</sup> par introduction ou application (\$/ ha)	Coût saisonnier <sup>3</sup> moyen (\$/ ha)
<b><i>T. brassicae</i> (×5)<sup>1</sup></b> Dose : 400 000/ha	NA	NA	90	450
<b><i>T. ostriniae</i> (×5)</b> Dose : 150 000/ha	NA	NA	36	180
<b><i>T. ostriniae</i> (×1) + BIOPROTEC3P<sup>®</sup> (×4)</b>	1	ND	NA	332,24
<b>BIOPROTEC 3P<sup>®</sup></b>	1	ND	72,46	289,84
<b>MATADOR 120 EC</b> (pyrethroïde synth.)	81	94	26,70	106,8
<b>LANNATE Toss-n-go</b> (carbamate)	333	173	89,87	369,48
<b>RIPCORD 400EC</b> (pyréthroïde synth.)	210	135	34,32	137,28
<b>SUCCESS 480SP</b> (spinosyne)	110	4	69,28	277,12
<b>ORTHENE 75SP</b> (organophosphoré)	39	145	64,89	259,56
<b>CORAGEN</b>	90	4	84,23	336,92
<b>SEVIN XLR PLUS</b> (carbaryl)	121	378	79,98	319,92

Dose : indique la dose recommandée commercialement pour l'utilisation des ces espèces de parasitoïdes en champ de maïs sucré au Québec (pour *Trichogramma brassicae*) et dans l'État de New York (pour *Trichogramma ostriniae*).

IRE : indice de risque pour l'environnement; IRS : indice de risque pour la santé; NA : non applicable; ND : non disponible.

\*Les indices de risque pour l'environnement (IRE) et pour la santé (IRS) sont issus de l'Indicateur de risque des pesticides du Québec (IRPeQ). Ils fournissent un éclairage additionnel pour le choix des pesticides. Plus le chiffre est élevé, plus le risque est grand pour l'environnement et la santé. A titre indicatif, selon la liste des insecticides et fongicides homologués dans la culture du maïs sucré (RAP, 2010), l'IRE minimal est de 12 et l'IRE maximal est de 576. L'IRS minimal est de 2 et l'IRS maximal est de 684. Ces valeurs excluent les bio-pesticides.



<sup>1</sup>(×5) = Nombre d'introductions ou applications.

<sup>2</sup>Les coûts incluent le prix moyen de vente du produit (RAP, 2011) + 4\$ (main d'œuvre) par introduction de trichogrammes ou +11,05\$/ha (main d'œuvre et machinerie) par application d'insecticides (CRAAQ, 2010)

<sup>3</sup>Le coût saisonnier est basé sur le nombre d'applications minimales de produits insecticides de synthèse estimé (4) qui seraient requises pour couvrir la période de ponte de la pyrale du maïs. Ce nombre peut varier selon la durée et le niveau d'infestation de chaque génération de la pyrale du maïs. Le prix indiqué est le prix pour la dose moyenne recommandée.

Tableau 3 : Évaluation du coût de plusieurs stratégies d'utilisation de *T. ostriniae* seul ou en combinaison avec du BIOPROTEC3P<sup>®</sup> dans un but de contrôle biologique la pyrale du maïs dans les champs de maïs sucré.

Stratégie utilisée	Coût saisonnier (\$/ha)
<i>T. ostriniae</i> (×5@150K) <sup>1</sup>	180
<i>T. ostriniae</i> (×5@300K)	339
<i>T. ostriniae</i> (×1@150K) + BIOPROTEC3P <sup>®</sup> (×4)	332,24
<i>T. ostriniae</i> (×1@150K) + BIOPROTEC3P <sup>®</sup> (×1)	114,86
<i>T. ostriniae</i> (×1@150K) + BIOPROTEC3P <sup>®</sup> (×2)	187,32
<i>T. ostriniae</i> (×2@150K) + BIOPROTEC3P <sup>®</sup> (×1)	157,20
<i>T. ostriniae</i> (×2@150K) + BIOPROTEC3P <sup>®</sup> (×2)	229,80
<i>T. ostriniae</i> (×3@150K) + BIOPROTEC3P <sup>®</sup> (×1)	199,66

<sup>1</sup>(×5) = nombre d'introductions ou applications; @150K = dose d'introduction  
ex) ×5@150K = 5 introductions à la dose de 150 000 indiv./ha

Tableau 4. Changement de profitabilité (\$/ha)<sup>1</sup> pour les différentes stratégies testées chaque année par rapport aux témoins non-traités.

Année		2007			2008			2009		
Prix de vente <sup>2</sup> (\$/dz)		2\$	4\$	6\$	2\$	4\$	6\$	2\$	4\$	6\$
Aucun traitement versus	<i>T. brassicae</i> (x5@400K) <sup>3</sup>	(46,00)	88	222	-	-	-	-	-	-
	<i>T. ostriniae</i> (x5@150K)	(12,00)	156	324	1236	2652	4068	1220	2620	4020
	<i>T. ostriniae</i> (x1@150K)	-	-	-	530	1096	1662	-	-	-
	<i>T. ostriniae</i> (x1@150K) + Bt (x4)	-	-	-	-	-	-	468	1268	2068

<sup>1</sup>Les montants indiqués considèrent les rendements réels obtenus chaque année pour chaque stratégie

<sup>2</sup>Les prix de ventes correspondent à une fourchette allant du prix moyen de vente au gros (2\$) jusqu'au prix maximum de vente au kiosque (6\$) (CRAAQ, 2007).

<sup>3</sup>(x5) = nombre d'introductions ou applications; @150K = dose d'introduction; ex) x5@150K = 5 introductions à la dose de 150 000 indiv./ha.

\* Les chiffres entre parenthèses indiquent des valeurs négatives, soit une perte de profitabilité lors d'utilisation de la stratégie.

Tableau 5. Écarts de prix (\$/dz) à atteindre selon la transition de traitements insecticides (coût insecticides) à différentes stratégies de lutte biologique contre la pyrale du maïs, pour 3 catégories de rendement.

Transition de	vers	Rendements <sup>2</sup> (dz/ha)			
Insecticides <sup>1</sup>	Stratégie biologique	1700	2500	3100	moyenne
<b>150\$</b>	<i>T. brassicae</i> (x5@400K)	0,18	0,12	0,10	<b>0,13</b>
	<i>T. ostriniae</i> (x5@150K)	0,02	0,01	0,01	<b>0,01</b>
	<i>T. ostriniae</i> (x5@300K)	0,11	0,08	0,06	<b>0,08</b>
	<i>T. ostriniae</i> (x1@150K) + BIOPROTEC3P <sup>®</sup> (x4)	0,11	0,07	0,06	<b>0,08</b>
	<i>T. ostriniae</i> (x1@150K) + BIOPROTEC3P <sup>®</sup> (x1)	(0,02)	(0,01)	(0,01)	<b>(0,02)</b>
	<i>T. ostriniae</i> (x1@150K) + BIOPROTEC3P <sup>®</sup> (x2)	0,02	0,01	0,01	<b>0,02</b>
	<i>T. ostriniae</i> (x2@150K) + BIOPROTEC3P <sup>®</sup> (x1)	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
	<i>T. ostriniae</i> (x2@150K) + BIOPROTEC3P <sup>®</sup> (x2)	0,05	0,03	0,03	<b>0,03</b>
	<i>T. ostriniae</i> (x3@150K) + BIOPROTEC3P <sup>®</sup> (x1)	0,03	0,02	0,02	<b>0,02</b>
<b>250\$</b>	<i>T. brassicae</i> (x5@400K)	0,12	0,08	0,06	<b>0,09</b>
	<i>T. ostriniae</i> (x5@150K)	(0,04)	(0,03)	(0,02)	<b>(0,03)</b>
	<i>T. ostriniae</i> (x5@300K)	0,05	0,04	0,03	<b>0,04</b>
	<i>T. ostriniae</i> (x1@150K) + BIOPROTEC3P <sup>®</sup> (x4)	0,05	0,03	0,03	<b>0,04</b>
	<i>T. ostriniae</i> (x1@150K) + BIOPROTEC3P <sup>®</sup> (x1)	(0,08)	(0,05)	(0,04)	<b>(0,06)</b>
	<i>T. ostriniae</i> (x1@150K) + BIOPROTEC3P <sup>®</sup> (x2)	(0,04)	(0,03)	(0,02)	<b>(0,03)</b>
	<i>T. ostriniae</i> (x2@150K) + BIOPROTEC3P <sup>®</sup> (x1)	(0,05)	(0,04)	(0,03)	<b>(0,04)</b>
	<i>T. ostriniae</i> (x2@150K) + BIOPROTEC3P <sup>®</sup> (x2)	(0,01)	(0,01)	(0,01)	<b>(0,01)</b>
	<i>T. ostriniae</i> (x3@150K) + BIOPROTEC3P <sup>®</sup> (x1)	(0,03)	(0,02)	(0,02)	<b>(0,02)</b>
<b>350\$</b>	<i>T. brassicae</i> (x5@400K)	0,06	0,04	0,03	<b>0,04</b>
	<i>T. ostriniae</i> (x5@150K)	(0,10)	(0,07)	(0,05)	<b>(0,07)</b>
	<i>T. ostriniae</i> (x5@300K)	(0,01)	(0,00)	(0,00)	<b>(0,00)</b>
	<i>T. ostriniae</i> (x1@150K) + BIOPROTEC3P <sup>®</sup> (x4)	(0,01)	(0,01)	(0,01)	<b>(0,01)</b>
	<i>T. ostriniae</i> (x1@150K) + BIOPROTEC3P <sup>®</sup> (x1)	(0,14)	(0,09)	(0,08)	<b>(0,10)</b>
	<i>T. ostriniae</i> (x1@150K) + BIOPROTEC3P <sup>®</sup> (x2)	(0,10)	(0,07)	(0,05)	<b>(0,07)</b>
	<i>T. ostriniae</i> (x2@150K) + BIOPROTEC3P <sup>®</sup> (x1)	(0,11)	(0,08)	(0,06)	<b>(0,08)</b>
	<i>T. ostriniae</i> (x2@150K) + BIOPROTEC3P <sup>®</sup> (x2)	(0,07)	(0,05)	(0,04)	<b>(0,05)</b>
	<i>T. ostriniae</i> (x3@150K) + BIOPROTEC3P <sup>®</sup> (x1)	(0,09)	(0,06)	(0,05)	<b>(0,07)</b>

<sup>1</sup>Coût saisonnier des insecticides de synthèse : donne des approximations du coût que peuvent avoir différentes séquences d'insecticides au champ durant la saison (ex. 2 applications de Matador 120EC, suivies de 2 applications de Lannate Toss-n-go coûtent environ 233\$).

<sup>2</sup>Les trois catégories de rendements correspondent à des rendements faibles (1700dz), moyen (2500dz) et forts (3100dz) (selon CRAAQ, 2007- AGDEX 253/821a).

<sup>3</sup>Les chiffres entre parenthèses indiquent des valeurs négatives, soit des écarts de prix à atteindre négatifs.

#### 4.6.1 Conclusion volet économique

L'ensemble de ces résultats indique que les producteurs de maïs sucré du Québec désireux de s'orienter vers un contrôle plus sain de la pyrale du maïs peuvent s'appuyer sur la lutte biologique et tirer profit de cette pratique. De plus, suite aux trois années d'expérimentation menées dans cette étude, nous suggérons que la vente au détail serait l'option la plus avantageuse pour la vente de maïs qui serait produit en utilisant la lutte biologique.

## 5 Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) pour son support financier par le biais du Programme de soutien à l'innovation agroalimentaire (PSIA) sans lequel ce projet n'aurait pas pu être réalisé.

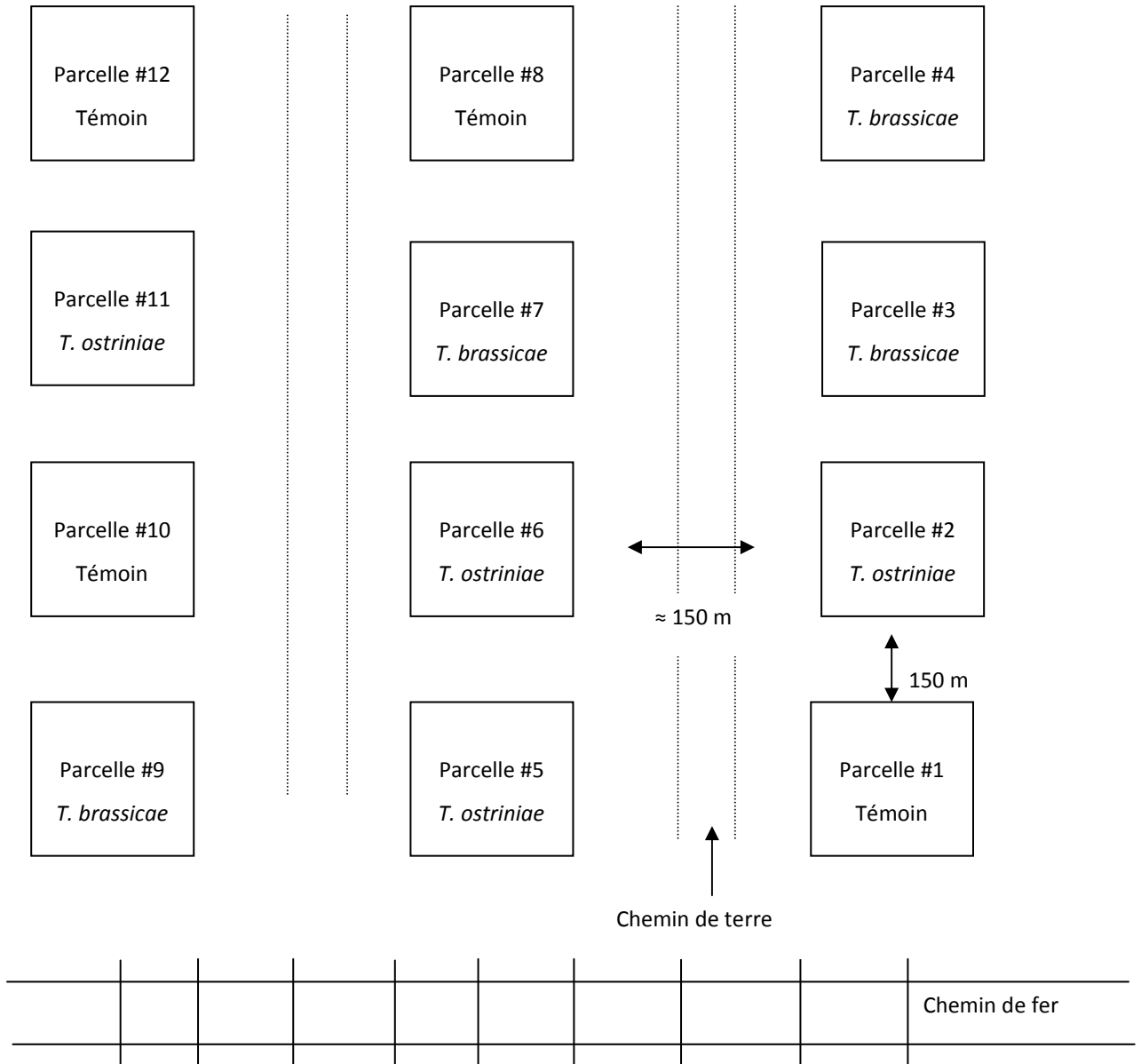
Nous voulons également remercier les personnes suivantes pour leur aide technique et logistique: Jean Brodeur, Geneviève Richard, Francine Pelletier, tout le personnel ouvrier de l'IRDA à Saint-Hyacinthe, tous les étudiants du laboratoire d'entomologie de l'IRDA ayant contribué au projet ainsi que tous les bénévoles ayant participé aux récoltes en 2007, 2008 et 2009. Finalement, nous désirons souligner la contribution de Monsieur Luc Belzile, agroéconomiste à l'IRDA pour son support dans le volet économique de cette étude.

## 6 Bibliographie

- Blackman R.L., Eastop V.F., 2000. Aphids on the World's Crops: an Identification and Information Guide, 2nd ed. John Wiley, Chichester.
- Brewer M.J. et N.C. Elliot, 2004. Biological control of cereal aphids in North America and mediating effects of host plant and habitat manipulations. *Annu. Rev. Entomol.* 49: 219–242.
- Brar S.K., Verma M., Tyagi R.D., Valéro J.R., 2006. Recent advances in downstream processing and formulations of *Bacillus thuringiensis* based biopesticides. *Process Biochemistry* 41(2) : 323-342.
- Burges H.D., Daoust R.A., 1986. Current status of the use of bacteria as biocontrol agents. In: Fundamental and applied aspects of invertebrate pathology (Edited by R.A. Samson, J.M. Vlcek and D. Peters). Society of Invertebrate Pathology, Wageningen. pp. 514-517.
- Cloutier C., Cloutier C., 1992. « Les solutions biologiques de lutte pour la répression des insectes et acariens ravageurs des cultures » Dans La lutte biologique, sous la direction de C. Vincent et D. Coderre. Gaëtan Morin éditeur, Boucherville, p. 19-72.
- CRAAQ, 2007. « Maïs sucré – Budget – Terre minérale », AGDEX 253/821a.
- CRAAQ, 2010. « Machinerie – Coûts d'utilisation et forfaits à taux suggérés », AGDEX 740/825.
- Heimpel G.E., Collier T.R. 1996. The evolution of host-feeding behaviour in insect parasitoids. *Biol. Rev.* 71:373–400
- Jean C., Boisclair J., 2001. Ravageurs et maladies du maïs sucré: Manuel de l'observateur. Institut de Recherche et de Développement en Agroenvironnement (IRDA), Sainte-Foy, QC, 95pp.
- Joung K.-B., Côté J.C., 2000. Une analyse des incidences environnementales de l'insecticide microbien *Bacillus thuringiensis*. Bulletin technique no. 29. Centre de Recherche et de Développement en Horticulture (CRDH), St-Jean-sur-Richelieu, QC.
- Juliano, S. A., 1982. Influence of host age on host acceptability and suitability for a species of *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) attacking aquatic Diptera. *Can. Entomol.* 114, 713-720.

## 7 ANNEXES

### 7.1 ANNEXE A : DISPOSITION DES PARCELLES EXPÉRIMENTALES SUR LE SITE DE SAINT-HYACINTHE







### 7.3 ANNEXE C : PUBLICATION (EN COURS DE PRÉPARATION) AU JOURNAL BIOLOGICAL CONTROL.

Relative efficacy of *Trichogramma ostriniae* Pang et Chen and *T. brassicae* Bedzenko as biocontrol agents of the European corn borer (*Ostrinia nubilalis* Hübner) in fresh market sweet corn

Elsa Etilé<sup>1</sup>, Josée Boisclair<sup>2</sup>, Daniel Cormier<sup>2</sup>, Silvia Todorova<sup>3</sup> and Éric Lucas<sup>1</sup>

(1) Département des Sciences Biologiques, Université du Québec à Montréal, C.P. 8888 Succ. Centre-ville, Montréal (Québec) H3C 3P8, CANADA Tel : +1-514-987-3000 ext : 4799#, Fax : +1-514-987-4647; [elsa.etile@gmail.com](mailto:elsa.etile@gmail.com)

(2) Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, 3300, rue Sicotte, C.P. 480, Saint-Hyacinthe (Québec) J2S 7B8, CANADA

(3) Anatis Bioprotection Inc., 278, rang St-André, St-Jacques-le-Mineur (Québec) J0J 1Z0, CANADA

**Keywords:** *Ostrinia nubilalis*, biological control, *Trichogramma ostriniae* Pang et Chen, *Trichogramma brassicae* Bedzenko, sweet corn, egg parasitoid.

## 1 INTRODUCTION

Corn is the most cultivated cereal crop in North America. In Québec (Canada), sweet corn is cultivated on more than 35% of the territory, making it the first crop in terms of surface area cultivated. The European corn borer (ECB), *Ostrinia nubilalis* Hübner (ordre; famille), the most damaging insect pest of sweet corn is a major problem in North America and in Europe (Huang *et al.* 1997). In the United States, losses due to ECB damages and control costs can reach 1 billion dollars annually (Zangerl *et al.* 2001). Larvae of the insect dig holes and galleries into leaves and stalks of corn plants, but damages inflicted to the ears are the most problematic for sweet corn. Ear damage tolerance levels vary, depending on the processing or fresh market outlet. The latter has the most strict tolerance limits and producers of corn sold as corn-on-the-cob target very little (< 5% damaged ears) or no damage at all (Mason *et al.* 2006; Iowa State University, 2009). In South Quebec, two races of *O. nubilalis* coexist. The first one (Z) goes through one generation per year while the second one (E) goes through two generations. The generations of these races usually overlap during the season, and ECB larvae can consequently be active in fields from mid-june to mid-october each year. Control of ECBs is particularly challenging because the larvae enter the plant and hide 2-3 days after hatching, thus giving a very narrow intervention “window”.

In the region of Quebec, fresh market sweet corn producers can resort to up to 6 insecticide applications (mainly synthetic pyrethrinoids, carbamates and organophosphate (RAP, 2007)) against ECB infestations. Natural enemies include lady beetles (mainly *Coleomegilla maculata* autorité (ordre; famille) and *Harmonia axyridis* idem, some Heteroptera (*Orius* spp.), predaceous mites that feed on the eggs and young larvae, and also other insects or birds that can attack bigger *O. nubilalis* larvae. Populations are also subject to pathogenetical infestations (Musser and Shelton, 2003; Mason and Zheng, 2006). Various biological methods of managing ECBs have been experimented such as applications of entomopathogenic micro-organisms like *Beauveria bassiana* or *Bacillus thuringiensis* (Mason *et al.*, 1996). However, among all the biocontrol techniques tested, releasing the egg parasitoid *Trichogramma* spp. has offered the best results for ECB management (Hassan, 1981; Qian *et al.*, 1984; Wang *et al.*, 1984; Mason *et al.* 1996, Hoffman, 19xx). Several *Trichogramma* species can potentially control ECB populations in Québec. *Trichogramma brassicae* Bezdenko (Hymenoptera: *Trichogrammatidae*), a species imported from Europe, has been commercially available for 12 years in the region. Some fresh market sweet corn producers use trichograms exclusively while others use them in an IPM context, to reduce the need for insecticide applications in their crops. However, a large proportion of producers refrain to use *Trichogramma brassicae* against ECB, mainly because the cost of wasps releases remains higher than synthetic insecticides applications (i.e. 86\$/ha for a trichogram release versus 20-69\$/ha for an insecticide application). A reduction of costs associated to *Trichogramma brassicae* use has been attempted, but it was not conclusive (Fournier, 2002). Among the other species potentially effective for the control of *O. nubilalis*, *Trichogramma ostriniae* Pang & Chen has given encouraging results this last decade. In the late 90s, it was introduced in the USA from China where it

was effective against *Ostrinia furnacalis* *autorité* (ordre; famille), the Asian corn borer (Wang *et al.*, 1984; Chiu & Chen, 1986; Zhang, 1988; Hirai, 1994). Studies have proven this parasitoid to be highly effective at controlling *O. nubilalis* in sweet corn at different levels: search and dispersion efficiency (Wright *et al.*, 2001); parasitism efficiency (Mason *et al.*, 1996; Seaman *et al.*, 1997; Hoffmann *et al.*, 1992); *O. nubilalis* mortality (Kuhar *et al.*, 2002) and damage reduction (Wright *et al.*, 2002). Furthermore, this species also appeared to be more efficient than *Trichogramma nubilale* (Ertle and Davis, xxxx) another potentially good candidate for *O. nubilalis* control in sweet corn at finding ECB egg masses. More favourable traits have been shown for *T. ostrinae*: its capacity to successfully parasitize *O. nubilalis* eggs throughout most of their embryonic development (Hoffman *et al.*, 1995), its ease to be reared commercially (Hoffman *et al.*, 2001), its good resistance to cold storage (Pitcher *et al.*, 2002) and also the fact that it does not lose fitness after several generations of rearing on factitious hosts such as *Ephestia kuehniella* (Zeller) or *Sitotroga cerealella* (Olivier).

The first step of the development of an efficient pest management program using *Trichogramma* is the selection of the best available species for a given crop in a specific area (Smith, 1996). Both *Trichogramma brassicae* and *Trichogramma ostrinae* are now available commercially for the control of *Ostrinia nubilalis*. While *T. ostrinae* suppliers (in the New York state, USA) recommend 3-4 releases at a dose of 75,000 wasps per hectare and per generation?, local *T. brassicae* suppliers recommend 4-5 releases at a dose of 400,000 wasps per hectare. The purpose of this study was to compare the efficacy of *Trichogramma brassicae* and *T. ostrinae* field releases for the control of *Ostrinia nubilalis* in fresh market sweet corn in southern Quebec. Our hypothesis was that *T. ostrinae* would be a better candidate than *T. brassicae* for the control of European corn borer in this region.

## 2 MATERIAL AND METHODS

### 2.1 Insect material.

Pupae of the ECB were shipped from French Agricultural Research, Inc., Lamberton, Minnesota, USA. On arrival, an equal number of male and female pupae were placed into inflated plastic bags, and maintained at 23°C, 70% RH and a photoperiod of 16L:8D. Plastic bags allow easy manipulation of the moths and facilitated collection of egg masses. Adults usually started to emerge after 3 to 5 days and egg masses were collected every day by cutting a piece of plastic bag around each egg mass. They were stored into a 6°C, 60% RH refrigerator for a maximum of 5 days before being used as sentinel eggs. Fresh and stored sentinel eggs were randomly mixed before they were distributed in the fields.

*Trichogramma brassicae* wasps were obtained from Para-Bio Inc., (St-Augustin-de-Desmaures, Québec, Canada). They were shipped as pupae inside "ready-to-use" trichocards containing around 8 000 parasitized *Ephestia kuehniella* eggs. *Trichogramma ostrinae* wasps were obtained from IPM Laboratories, Inc. (Locke, New York, USA). They were shipped as free parasitized *E. kuehniella* eggs, and were glued on trichocards in our laboratory with this kind of glue so that each card contains around 8000 parasitized eggs.

## 2.2 Field experiments

The field releases were conducted at the Research and Development Institute for the Agri-Environment (IRDA) research farm, Saint-Hyacinthe (72,56°W;45,39°N), Quebec, Canada, during the summer of 2007. Twelve plots (40 X 50 m each) were distributed over a 27 ha area and separated by 150 m in order to limit *Trichogramma* dispersion between plots. All the plots were planted to the variety Temptation (70 days to harvest) on May 22<sup>nd</sup>. The distance between rows of plants was 0.75m and plants were about 0.3m apart along the rows. All twelve plots were equally surrounded by an oat border planted on May 11. The experiment was conducted according to a completely randomized design with three treatments, replicated four times. The first treatment consisted of *T. ostriniae* release at a rate of 150 000parasitoids/ha, the second.....*T. brassicae* at 150 000/ha were released in four plots and the last four plot, our control plots, did not receive any ECB control treatment. Five releases were made, as suggested by the local phytosanitary monitoring network (RAP: <http://www.agrireseau.qc.ca/rap/default.aspx> ), according to *O. nubilalis* activity monitoring. Releases were made on June 21<sup>st</sup> and July 1<sup>st</sup>, 11<sup>th</sup>, 21<sup>st</sup>, and 31<sup>st</sup>. All eggs were glued on trichocards in our laboratory in order that each card contains half of the individuals ready to emerge (<24h to emergence) and half with delayed emergence (4 days to emergence). Trichograms would be present in constant amount during the whole 10 days period between releases. Trichocards containing parasitized *E. kuehniella* eggs were positioned in the centres of plots, so that there is only one central *Trichogramma* release point.

Sentinel egg masses consisted of a ECB egg mass laid in the laboratory on a piece of plastic bag. Egg masses contained 20 eggs in average. Twelve of them were placed in each plot on plants situated at 5, 10 and 15 m of the central release point. Each egg mass was attached to a leaf located at the middle portion of the corn plant. Two cohorts of sentinel egg masses were installed in the field. The first one, the day after trichocards were installed, and the second one, four days later. These two sentinel eggs cohorts allowed us to evaluate parasitism by the two trichogram cohorts previously described.

Four days after field deposition?, all sentinel egg masses were retrieved from the field, placed into plastic cups (diameter 85 mm, height 120 mm) (SOLO, ville, pays) and placed in an environmental chamber maintained at 27°C, 60% RH and a photoperiod of 16L:8D. Between three to four days later, egg masses were checked for number off eggs parasitized. The number of eggs masses that were lost due to predation or other causes (wind, rain) were recorded for each plot (24,8% on average; 357 out of 1440 sentinel egg masses in total). All the parasitized egg masses were kept in the environmental chamber until the wasps emerged, the wasp identities were confirmed, sex determined and wings checked for brachypterism. It turned out only one egg mass was parasitized by *T. minutum*.

Field emergence was evaluated by retrieving all trichocards 10 days following placement in the fields and estimating percentage *Trichogramma* emergence. The number of emerged and un-emerged adults was counted out of approximately 250 parasitized *E. kuehniella* eggs on each card. In addition, three trichocards (control cards) were put in

an environmental chamber on the day of each release. After 10 days, they were observed for evaluation of percentage emergence (same method), sex-ratio and percentage of individuals showing brachypterism (both out of 250 individuals observed).

### 2.3 Statistical analysis

The percentage emergence and offspring quality of *Trichogramma ostriniae* and *T. brassicae* from field release and environmental chamber trichocards were compared with t-tests on the global proportion of emergence following angular transformation, sex-ratio and proportion of individuals presenting brachypterism following angular transformation. To determine whether there were differences in overall levels of egg mass parasitism between treatments (TRICHO) and the five releases (REL), the data were analyzed using the logistic regression model. The logistic regression was used since the dependent variable was the fact that an egg mass was parasitized or not parasitized of a mass (yes = 1, no = 0). The significance of a variable was determined by using the Likelihood Ratio Test. The dependent variable used was the number of eggs parasitized over the number of eggs in an egg mass. Percentage emergence from sentinel eggs as well as sex-ratio and brachypterism in adults were all compared between the two species by Wilcoxon's tests. Mean number of damaged tassels, stalks and ears per plot as well as mean number of larvae per plant were compared between treatments by ANOVAs followed by HSD Tukey tests. All tests were performed using JMP7® statistical software (SAS Institute).

## 3 RESULTS

### On-farm releases

Percentage emergence from trichocards used for the fields releases ranged from 42,9% to 55,9% for *Trichogramma brassicae* and from 55,2% to 73,6% for *T. ostriniae*. On control trichocards (kept in environmental chambers), it varied from 20,4% to 59,4% for *T. brassicae* and from 61,1% to 76,9% for *T. ostriniae*. Percentage emergence from field release trichocards was significantly higher for *Trichogramma ostriniae* than the other treatments at all releases (Table 1) (all t-tests;  $p < 0.05$ ). On the control cards, *T. ostriniae* emergence was significantly higher at the 1<sup>st</sup> ( $t = 3,98$ ;  $p = 0,0164$ ), 4<sup>th</sup> ( $t=4,76$ ;  $p = 0,0253$ ) and 5<sup>th</sup> ( $t = 6,10$ ;  $p = 0,0037$ ) releases. Globally, more females emerged from *T. ostriniae* trichocards compared to *T. brassicae* (Table 1), but this difference was only significant at the 4<sup>th</sup> release ( $t = 4,68$ ;  $p = 0,0145$ ). The proportion of individuals presenting brachypterism was similar between species (all t-tests;  $p < 0.05$ ) (Table 1).

### Host location

Both the species released (TRICHO) and date of release (REL) had a significant effect on the overall proportion of egg masses parasitized (TRICHO:  $\chi^2 = 66,58$ ; d.f.= 2;  $p < 0,0001$ ; REL:  $\chi^2 = 132,94$ ; d.f.= 4;  $p < 0,0001$ ). There was also a significant interaction between the two factors (TRICHO\*REL:  $\chi^2 = 22,81$ ; d.f.= 8;  $p = 0,0036$ ). Proportions of egg masses parasitized are therefore presented pooled over the whole season (fig 2.a) and separately for each release (fig 2.b). Comparison among different treatments indicated

that more sentinel egg masses were parasitized in the plots that received trichograms compared to control plots (fig. 2.a). Furthermore, significantly more egg masses were parasitized in plots receiving *T. ostriniae* (40,6%) compared to *T. brassicae* (27,2%) (fig. 2.a).

The pattern of parasitism observed over the season is similar for both species (fig. 2.b). The percentage of parasitism increases and then decreases with the growing season. The peak in parasitism is reached at the 3<sup>rd</sup> release (july 11<sup>th</sup>) for *T. brassicae* and at the 4<sup>th</sup> release (july 21<sup>st</sup>) for *T. ostriniae*. Fig 2.b. also indicates that most of the difference in parasitism between the two species appeared after the 4<sup>th</sup> release were *T. ostriniae* parasitized 72,2% of the sentinel egg masses retrieved from the field while *T. brassicae* parasitized 27,8% of egg masses. Only this difference was found to be statistically significant (HSD Tukey: Q = 3,58; p < 0,05).

#### Parasitism efficiency

Once an egg mass is found by a female *Trichogramma*, the proportion of eggs parasitized in a mass is significantly higher for *T. ostriniae*. In average, *T. ostriniae* females parasitized 60,3% of an egg mass while *T. brassicae* females parasitized 48,9% of an egg mass (t-test; t = 2,07; p = 0,0461). However, the proportion of egg masses entirely parasitized was not different between the two species (% of egg masses entirely parasitized: *T. ostriniae*: 7,22% ; *T. brassicae*: 8,61% ;  $\chi^2 = 0,16$ ; d.f.= 1, p = 0,69, n = 248). The proportion of eggs parasitized during the season, presented on fig.3, follows the same pattern as the proportion of egg masses parasitized during the season, presented on fig. 2.b. The proportion of eggs parasitized increases along the season until reaching a peak after the 3<sup>rd</sup> release and then decreases.

*T. ostriniae* parasitized more eggs than *T. brassicae* at releases 2 to 5 (fig. 3: 1<sup>st</sup> to 31<sup>st</sup> of july), but this difference was significant at release 4 (ANOVA:  $F_{2,114} = 8,14$ ; p = 0,0005) only.

Offspring quality (quality of the trichograms emerging from the parasitized sentinel eggs).

The mean number of trichograms emerging per parasitized sentinel egg was significantly higher for *T. ostriniae* (1,29 ± 0,05; mean ± S.E.M.) compared to *T. brassicae* (0,96 ± 0,06) (Test of Wilcoxon:  $\chi^2 = 14,35$ ; d.f.= 1, p = 0,0002, n = 245).

The mean sex-ratio was female biased for both species (mean ± S.E.M.; *T. ostriniae*: 0,66 ± 0,018 ; *T. brassicae*: 0,64 ± 0,029). However, no significant difference was found between the two species (Test of Wilcoxon:  $\chi^2 = 0,094$ ; d.f.= 1, p = 0,75, n = 233).

The mean proportion of individuals presenting brachypterism was low in both species (mean ± S.E.M.; *T. ostriniae*: 0,0135 ± 0,0032 ; *T. brassicae*: 0,0131 ± 0,0065) and not significantly different between species (Test of Wilcoxon:  $\chi^2 = 1,94$ ; d.f.= 1, p = 0,16, n = 230).

#### Damage at harvest

Fig. 4 presents the percentage of plants presenting damages caused by *Ostrinia nubilalis* at the tassel, stalk and ear. The amount of damage inflicted to corn tassels was very low

and not different between the three treatments (mean  $\pm$  S.E.M.; *T. ostriniae*: 1,00  $\pm$  0,58 ; *T. brassicae*: 0,00  $\pm$  0,87; control: 1,5  $\pm$  0,00 ; ANOVA:  $F_{2,11} = 1,62$ ,  $p = 0,25$ ). There were significantly less damaged stalks in plots treated with *Trichogramma* compared to control plots but there were no significant differences between *T. brassicae* and *T. ostriniae* (t-tests:  $t = 2,26$  [treatment : mean  $\pm$  S.E.M.(statistical level); control: 8,5  $\pm$  1,65 (a); *T. ostriniae*: 3,5  $\pm$  1,55 (b) ; *T. brassicae*: 4,0  $\pm$  1,53 (b)]. Although lower in plots receiving *Trichogramma*, the amount of damage inflicted to corn ears was not significantly different between the three treatments (ANOVA:  $F_{2,11} = 1,05$ ;  $p = 0,39$  followed by HSD Tukey test:  $Q = 2,79$  [treatment: mean  $\pm$  S.E.M. (statistical level); control: 3,5  $\pm$  2,02(a); *T. ostriniae*: 1,0  $\pm$  0,71(a); *T. brassicae*: 1,5  $\pm$  0,65(a)].

The proportion of plants without any damage caused by *Ostrinia nubilalis* was higher in plots treated with *Trichogramma* but there was no difference between the two species (ANOVA:  $F_{2,11} = 3,75$ ;  $p = 0,06$  followed by HSD Tukey test:  $Q = 2,79$  [treatment: mean  $\pm$  S.E.M. (statistical level); control: 89,75  $\pm$  2,02 (a); *T. ostriniae*: 95,5  $\pm$  1,85(a); *T. brassicae*: 95,75  $\pm$  1,31 (a)].

Finally, pairwise comparisons of the mean number of larvae per plant between treatments indicated that there were significantly less larvae in plots treated with *T. ostriniae* than in control plots but there was no significant differences between plots treated with *T. brassicae* and control plots. The difference between *T. ostriniae* and *T. brassicae* was, however, not significant (t-tests:  $t = 2,26$  [treatment : mean  $\pm$  S.E.M. (statistical level); control: 0,17  $\pm$  0,06 (a); *T. ostriniae*: 0,035  $\pm$  0,02 (b) ; *T. brassicae*: 0,06  $\pm$  0,013 (ab)].

#### 4 DISCUSSION

The quality of the releases was generally higher for *Trichogramma ostriniae*: higher percentage emergence, stronger female-biased sex ratio and less brachypterism. This emphasizes the fact that an efficient control with *Trichogramma* starts with an optimization of the quality of the wasps during the rearing process.

Studies have nonetheless shown that *Trichogramma ostriniae* has good qualities for mass rearing which may have contributed to the differences shown in this study.

The presence of parasitism in control plots reveals contamination between plots. This indicates that the wasps can travel more than the 150 m distance left between two plots. Although the identity of the *Trichogramma* found in these control plots was not systematically checked, personal observations indicate that most of them were *T. ostriniae*. Although previous studies have shown that *Trichogramma* dispersal was quite limited (Andow and Prokrym, 1991; McDougall and Mills, 1997; Yu *et al.*, 1984), more recent ones have evaluated that *T. ostriniae* is able to disperse up to 180 m in 6 days (Wright *et al.* 2001).

The pattern of parasitism observed over the season was similar for both species. The general increase followed by a decrease of the level of parasitism observed along the season for all three treatments is typical of *Trichogramma* activity in corn fields (Wang *et al.* 1997; Wang *et Ferro*, 1998; Hoffman *et al.* 2002). This temporal evolution in the

level of parasitism is primarily due to changing weather conditions and plant architecture within the season (Wang et al 1997).

The analysis of the percentage of egg masses parasitized revealed that the ability of each species to discover *O. nubilalis* egg masses differed. *Trichogramma ostriniae* was better than *T. brassicae* in finding egg masses (fig. 2a.). Fig 2.b. shows that most of this global difference between the two species is attributable to the third and fourth releases, where most of the difference between the two species occurred. The higher percentage emergence of *T. ostriniae* is probably responsible for this difference but the quality of the emerging wasps is also potentially contributing, as shown by a stronger female-biased sex ratio for *T. ostriniae*. Furthermore, although the difference between the two species were never found to be significant, the generally higher proportion of individuals presenting brachypterism in *T. brassicae* may also have contributed to the difference observed between the two species.

In a biological control perspective, it is important, in addition to the proportion of parasitized egg masses, to look at the actual proportion of eggs parasitized, since a parasitized egg mass does not necessarily mean that the whole mass has been parasitized. The results show that *T. ostriniae* is more efficient than *T. brassicae* at exploiting an *Ostrinia nubilalis* egg mass.

Neither sex-ratio, nor percentage of brachypterism were different between the two *Trichogramma* species. However, the fact that significantly more individuals emerged from eggs parasitized by *Trichogramma ostriniae* is a good indication of the higher quality of this species as a biological control agent of *O. nubilalis*. Indeed, although establishment of the wasps in the field is not the purpose of inundative releases, it may still contribute to higher parasitism rates.

Natural infestation by *O. nubilalis* was exceptionally low for this region of Québec in 2007. Consequently, the amount of damaged corn ears in control plots was lower than the 5% tolerated by fresh market sweet corn producers. *Trichogramma ostriniae* and *T. brassicae* only differed in the amount of larvae per plant, which was significantly lower than the control plots for *T. ostriniae* but not for *T. brassicae*.

## 5 CONCLUSION

The results of this study show that *T. ostriniae* shows a better potential than *T. brassicae* for inundative releases to control the European corn borer in terms of host location, parasitism efficiency and offspring size. However, because of the low *O. nubilalis* pressure this year, its higher efficiency in terms of reduction of damage was not clearly demonstrated by this study. If a reduction in the number of individuals released can be achieved using this species, European corn borer management could benefit from the use of *T. ostriniae* instead of *T. brassicae* in this region.



## 5 TABLES AND FIGURES

Table 1. Percentage emergence and offspring quality of *Trichogramma ostrinae* and *Trichogramma brassicae* from field and control cards.

Release date	% emergence [ $\pm$ SE]				Offspring quality			
	Field cards		Control cards		$\text{♀} / \text{♂} + \text{♀}$		% brachypterism [ $\pm$ SE]	
	<i>T. ost.</i>	<i>T. bras.</i>	<i>T. ost.</i>	<i>T. bras.</i>	<i>T. ost.</i>	<i>T. bras.</i>	<i>T. ost.</i>	<i>T. bras.</i>
June 21st	65,7[ $\pm$ 9,18]	51,3 [ $\pm$ 6,73] *	64,6 [ $\pm$ 8,34]	44,9 [ $\pm$ 2,15]*	0,67	n.d	17[ $\pm$ 26,16]	7[ $\pm$ 1,60]
July 1st	55,2[ $\pm$ 11,24]	42,9 [ $\pm$ 8,37]*	66,4 [ $\pm$ 11,85]	20,4 [ $\pm$ 27,32]	0,69	0,32	6[ $\pm$ 1,30]	54[ $\pm$ 51,6]
July 11th	66,9[ $\pm$ 6,41]	42,5 [ $\pm$ 7,67]*	61,1 [ $\pm$ 3,52]	59,4[ $\pm$ 2,61]	0,68	0,53	5[ $\pm$ 1,26]	12[ $\pm$ 3,10]
July 21st	73,6[ $\pm$ 5,47]	55,9 [ $\pm$ 4,91]*	69,1 [ $\pm$ 1,84]	54,6 [ $\pm$ 4,95]*	0,60	0,49*	35[ $\pm$ 56,06]	66[ $\pm$ 40,29]
July 31st	n.d	n.d	76,9 [ $\pm$ 5,72]	48,9 [ $\pm$ 5,50]*	0,69	0,46*	4[ $\pm$ 1,39]	19[ $\pm$ 10,13]

\* indicates a significant difference between the two groups ( $p < 0,05$ ) compared by t-tests on the global proportion of emergence evaluated on field and control cards following angular transformation, sex-ratio and proportion of individuals presenting brachypterism following angular transformation.

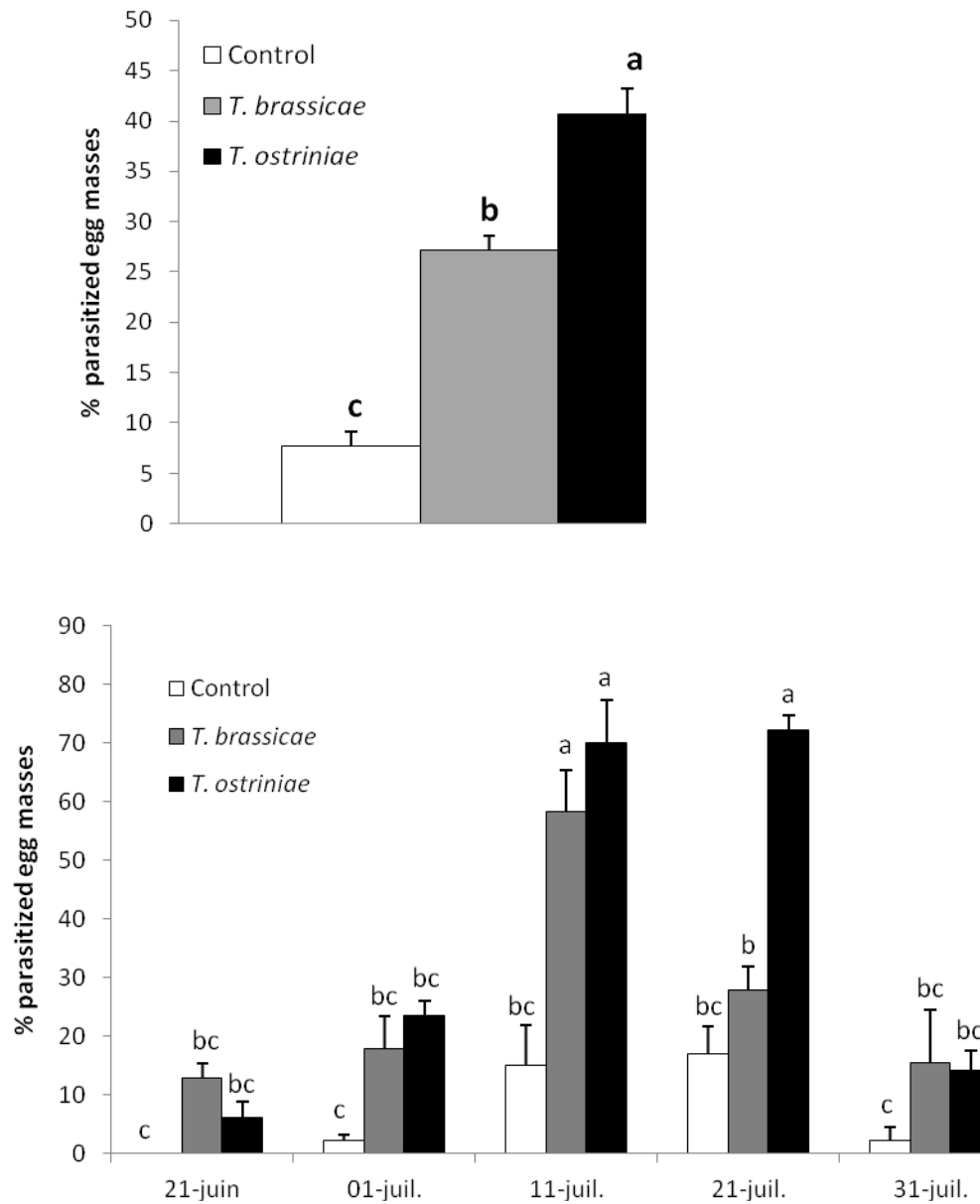


Fig.2. Percentage (mean  $\pm$  S.E.M.) of sentinel *Ostrinia nubilalis* egg masses parasitized by *T. ostriniae* and *T. brassicae* for (a) the whole season and (b) the different release dates. Nota: Different letters above the bars indicate significant differences between groups based on a HSD Tukey test ( $p < 0,05$ ) performed on the percentage of eggs masses parasitized.

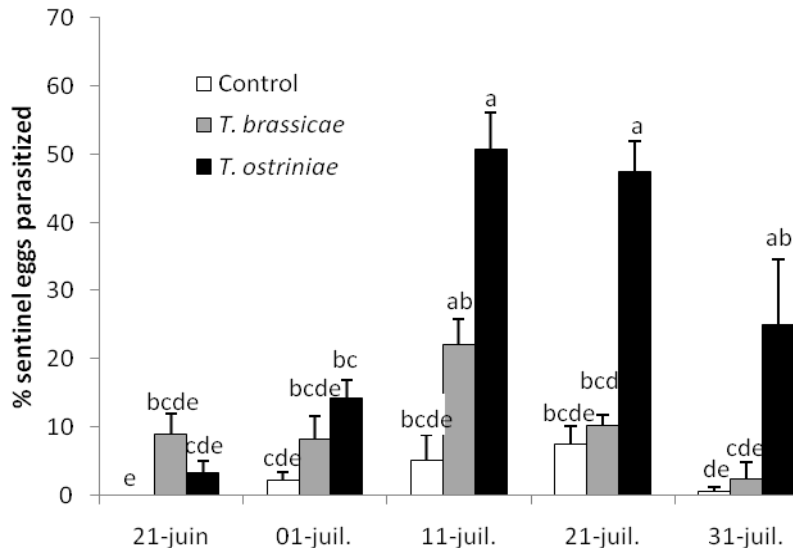


Fig 3. Percentage (mean  $\pm$  S.E.M.) of sentinel *Ostrinia nubilalis* eggs parasitized by *T. ostrinae* and *T. brassicae* after each release. Nota: Different letters above the bars indicate significant differences between groups based on a HSD Tukey test ( $p < 0,05$ ) performed on the proportion of eggs parasitized following angular transformation.

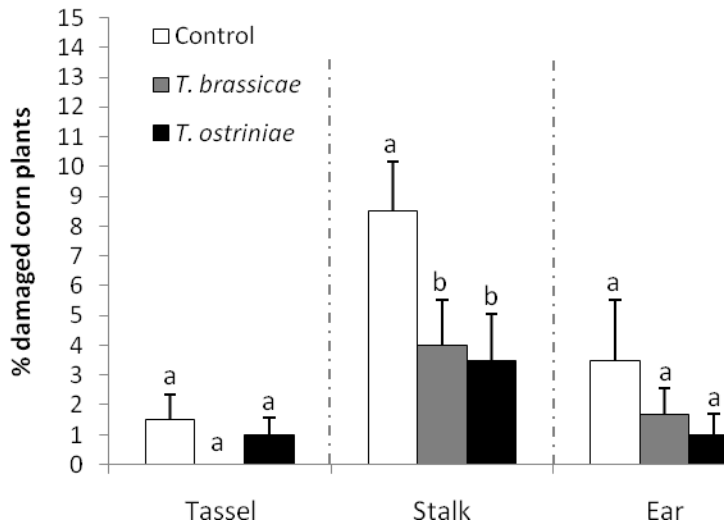


Fig.4. Percentage (mean  $\pm$  S.E.M.) of sweet corn plants damaged at the tassel, stalk or ear. Nota: Different letters above the bars indicate significant differences between groups based on a HSD Tukey test ( $p < 0,05$ ).

## ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by grants from the Programme de Soutien à l'Innovation Agroalimentaire of the Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Agroalimentaire du Québec. We thank the Research and Development Institute for the Agri-Environment (IRDA) for technical assistance and technical facilities.