



INSTITUT DE RECHERCHE
ET DE DÉVELOPPEMENT
EN AGROENVIRONNEMENT
EN АГРОЭКОЛОГИИ И РАЗВИТИИ
И ДЕ ДЕЛЕГОББЕМЕНТ

RAPPORT FINAL

LUTTE BIOLOGIQUE CONTRE LA TEIGNE DU POIREAU À L'AIDE DE LÂCHERS DE TRICHOGRAMMES DANS LA CULTURE BIOLOGIQUE DU POIREAU AU QUÉBEC

AUDREY LAFRENAYE, CANDIDATE À LA MAÎTRISE

Josée BOISCLAIR, Daniel CORMIER, Luc BELZILE, Denise GODONOU et Éric LUCAS

Rapport présenté au Programme de soutien à l'innovation en agroalimentaire

19 février 2019

Projet IRDA : IA115446

L'IRDA était constitué en mars 1998 par quatre membres fondateurs, soit le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), l'Union des producteurs agricoles (UPA), le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) et le ministère de l'Économie, de l'Innovation et des Exportations (MEIE).

L'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement était une corporation de recherche à but non lucratif qui travaille à chaque année sur une centaine de projets de recherche en collaboration avec de nombreux partenaires du milieu agricole et du domaine de la recherche.

Notre mission

L'IRDA a pour mission de réaliser des activités de recherche, de développement et de transfert en agroenvironnement visant à favoriser l'innovation en agriculture, dans une perspective de développement durable.

Notre vision

En 2016, l'IRDA était reconnu à l'échelle canadienne comme un chef de file en recherche, développement et transfert en agroenvironnement. L'IRDA se démarque par son approche intégrée et par le dynamisme de ses partenariats qui lui permettent d'anticiper les problèmes et de proposer des solutions novatrices répondant aux besoins des agriculteurs et de la société.

Pour en savoir plus

www.irda.qc.ca

PARTENAIRES



Lutte biologique contre la teigne du poireau à l'aide de lâchers de trichogrammes dans une culture de poireau biologique au Québec

Rapport final – Section 8 – Rapport scientifique et/ou technique

Présenté à : Programme Innov'Action agroalimentaire, Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec

LE RAPPORT PEUT ÊTRE CITÉ COMME SUIT :

Lafrenaye, A., J. Boisclair, D. Cormier, L. Belzile, D. Godonou et E. Lucas. 2019. Lutte biologique contre la teigne du poireau à l'aide de lâchers de trichogrammes dans la culture biologique du poireau au Québec. Rapport final. IRDA, UQÀM, MAPAQ. 54 pages.

© Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA)

ÉQUIPE DE RÉALISATION DU PROJET

- Responsable scientifique : Josée Boisclair, agr., M.P.M., IRDA
- Chargée de projet : Laurence Jochems-Tanguay, M. Sc., IRDA

ÉQUIPE DE RÉDACTION DU RAPPORT

- Luc Belzile, agr., M. Sc., IRDA
- Josée Boisclair, agr., M.P.M., IRDA
- Daniel Cormier, Ph. D., IRDA
- Denise Godonou, M. Sc., IRDA
- Audrey Lafrenaye, B. Sc., candidate à la maîtrise, UQÀM
- Éric Lucas, Ph. D., UQÀM

COLLABORATEURS

- Clémence Briand-Racine, productrice maraîchère, représentante de la Coopérative des agricultures de proximité écologiques (CAPÉ)
- Nicolas Chatel-Launay, B. Sc., Pôle d'excellence en lutte intégrée (PÉLI)
- Sophie Guimont, agr., Club Bio-Action
- Mario Leblanc, agr., MAPAQ (Montérégie)
- Eleonora Operti, biologiste
- Mylène St-Onge, Ph. D., Anatis Bioprotection
- Silvia Todorova, Ph. D., Anatis Bioprotection

Les lecteurs qui souhaitent commenter ce rapport peuvent s'adresser à :

Josée Boisclair

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8

Téléphone : 450-653-7368, poste 330

Courriel : josee.boisclair@irda.qc.ca

REMERCIEMENTS

Ces travaux ont été réalisés grâce à une aide financière du Programme Innov'Action agroalimentaire, un programme issu de l'accord du cadre Cultivons l'avenir conclu entre le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation et Agriculture et Agroalimentaire Canada.

Des remerciements s'adressent à l'IRDA qui a fourni une contribution importante dans le cadre de cette étude. Les auteurs remercient également les participants du projet et reconnaissent également l'appui technique fourni par le personnel de recherche de l'IRDA et de l'UQÀM.

RÉSUMÉ

Détectée pour la première fois au Québec en 2001, la teigne du poireau, *Acrolepiopsis assectella* (Lepidoptera: Acrolepiidae), est un ravageur d'origine européenne. La larve de ce lépidoptère s'attaque aux cultures de poireau, d'ail et d'oignon, ainsi qu'à plusieurs autres espèces cultivées et sauvages du genre *Allium* (Asparagales: Alliaceae). Au Québec, les populations de ce ravageur ne cessent d'augmenter et de causer des dommages, particulièrement dans la culture du poireau biologique. Les quelques produits homologués en production biologique contre ce ravageur ont une fréquence d'application très limitée ce qui les rend parfois peu efficaces. Ainsi, de nouvelles méthodes contre ce ravageur doivent être développées, dont la lutte biologique. Les trichogrammes (Hymenoptera: Trichogrammatidae), des hyménoptères parasitoïdes des œufs des lépidoptères, ont le potentiel d'être des agents de lutte biologique efficaces contre la teigne du poireau. En 2003, une équipe de recherche allemande avait démontré qu'une espèce de trichogramme, *Trichogramma brassicae*, pouvait réduire de 56% les populations de teignes du poireau. Cependant, aucune étude n'a été conduite en Amérique du Nord afin de vérifier l'impact de lâchers de *T. brassicae* sur la teigne du poireau au champ. Une étude a démontré que *T. ostriniae* est plus efficace que *T. brassicae* pour lutter contre la pyrale du maïs dans la culture du maïs sucré au Québec, vraisemblablement parce que *T. ostriniae* peut parasiter les œufs du lépidoptère à presque tous les stades du développement embryonnaire. Toutefois, aucune étude n'a été menée sur le potentiel de *T. ostriniae* à parasiter les œufs de la teigne du poireau. Ce projet visait à évaluer, en laboratoire et au champ, la capacité de parasitisme fonctionnel de *T. brassicae* et de *T. ostriniae* sur les œufs de la teigne du poireau. Le premier chapitre visait à évaluer les interactions entre les deux espèces en laboratoire. L'hypothèse de départ selon laquelle l'utilisation successive de *T. ostriniae* et de *T. brassicae* en laboratoire augmenterait le taux de parasitisme des œufs de la teigne du poireau est réfutée. Il y avait un effet antagoniste à utiliser *T. ostriniae* et *T. brassicae* conjointement. *T. ostriniae* parasitait beaucoup plus d'œufs de la teigne du poireau que *T. brassicae*. Le deuxième chapitre portait sur l'évaluation en laboratoire de la capacité de parasitisme des deux espèces exposées aux températures caractéristiques de la saison de croissance du poireau d'été. L'hypothèse selon laquelle *T. ostriniae* parasiterait un plus grand nombre d'œufs que *T. brassicae* aux températures extrêmes est confirmée. Tout comme pour l'expérience des interactions, *T. ostriniae* parasitait beaucoup plus d'œufs de la teigne du poireau que *T. brassicae* pour toute la gamme de températures testées. Le troisième chapitre avait pour objectif d'évaluer la capacité de parasitisme et la rentabilité des lâchers inondatifs des espèces utilisées seules ou conjointement au champ, dans une culture de poireaux biologiques. Tout comme en laboratoire, les lâchers conjoints de *T. brassicae* et *T. ostriniae* n'ont pas été plus efficaces que les lâchers d'une seule espèce. Les résultats montrent que *T. brassicae* se disperse mieux dans une parcelle de poireaux et trouve plus efficacement les œufs sentinelles que *T. ostriniae*. En général, les poireaux des parcelles traitées avec l'espèce *T. brassicae* ont été moins affectés par la teigne du poireau. En conclusion, les résultats de cette étude montrent qu'une espèce qui performe mieux en laboratoire n'est pas nécessairement celle qui performe le mieux au champ. Dans cette étude, la capacité de dispersion dans une culture de poireau et la capacité de recherche des œufs de la teigne du poireau ont été les éléments clés qui ont permis de conclure que *T. brassicae* est une meilleure candidate comme agent de lutte biologique contre la teigne du poireau dans une culture de poireaux biologiques au Québec.

TABLE DES MATIÈRES

1	PROBLÉMATIQUE	6
2	VOLET 1 : ÉVALUATION DE L'INTERACTION ENTRE LES DEUX ESPÈCES DE TRICHOGRAMMES.....	10
2.1	Objectifs et hypothèses.....	10
2.2	Méthodologie.....	10
2.3	Résultats.....	12
3	VOLET 2 : ÉVALUER L'EFFET DES TEMPÉRATURES SUR LA CAPACITÉ DE PARASITISME DES DEUX ESPÈCES DE TRICHOGRAMME	16
3.1	Objectifs et hypothèses.....	16
3.2	Méthodologie.....	16
3.3	Résultats.....	17
4	VOLET 3 : ÉVALUER LE POTENTIEL DE PARASITISME DES DEUX ESPÈCES DE TRICHOGRAMME AU CHAMP...	19
4.1	Objectifs.....	19
4.2	Méthodologie.....	19
4.2.1	Choix du cultivar de poireau.....	19
4.2.2	Dispositif expérimental au champ.....	19
4.2.3	Opérations culturales.....	20
4.2.4	Suivi des populations de teigne du poireau	24
4.2.5	Lâchers de trichogrammes	25
4.2.6	Évaluer le potentiel des espèces de trichogramme au champ.....	26
4.3	Résultats.....	29
4.3.1	Suivi des populations de teigne du poireau	29
4.3.2	Évaluer le potentiel des espèces de trichogramme au champ.....	30
5	VOLET 4 – ANALYSE ÉCONOMIQUE.....	39
5.1	Méthodologie.....	39
5.2	Résultats.....	40
6	CONCLUSION.....	42
6.1	Évaluation du potentiel des espèces de trichogrammes en laboratoire.....	42
6.2	Potentiel des espèces de trichogrammes au champ.....	42
6.3	Analyse économique	46
	RÉFÉRENCES	47
	ANNEXE A : FICHE D'IDENTIFICATION DE LA TEIGNE DU POIREAU (MASON ET BRAUNER, 2014)	51

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1.	DISPERSION DE LA TEIGNE DU POIREAU AU QUÉBEC ENTRE 2002 ET 2006 (LEBLANC, 2007).	6
FIGURE 2.	MINITUNNELS DANS UNE CULTURE D'AIL (ALLEN <i>ET AL.</i> , 2009).....	8
FIGURE 3.	<i>DIADROMUS PULCHELLUS</i> (HYMENOPTERA: ICHNEUMONIDAE) (MASON <i>ET AL.</i> , 2013).....	8
FIGURE 4.	DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL DES TESTS D'INTERACTION EN LABORATOIRE.	10
FIGURE 5.	ŒUFS DE LA TEIGNE DU POIREAU.....	11
FIGURE 6.	FEMELLE (F) ET MÂLE (M) TRICHOGRAMME.....	11
FIGURE 7.	<i>TRICHOGRAMMA OSTRINIAE</i> (TO) ET <i>TRICHOGRAMMA BRASSICAE</i> (TB).....	12
FIGURE 8.	TRICHOGRAMME BRACHYPTÈRE.....	12
FIGURE 9.	POURCENTAGE MOYEN D'ŒUFS DE LA TEIGNE DU POIREAU PARASITÉS EN FONCTION DE LA COMBINAISON D'ESPÈCES DE TRICHOGRAMME AVEC LES ERREURS TYPES.	13
FIGURE 10.	POURCENTAGE MOYEN D'ŒUFS DE LA TEIGNE DU POIREAU PARASITÉS DÉSOOPERULÉS EN FONCTION DE LA COMBINAISON D'ESPÈCES DE TRICHOGRAMME AVEC ERREURS TYPES.....	13
FIGURE 11.	POURCENTAGE MOYEN D'ÉMERGENCE SELON L'ESPÈCE POUR LES COMBINAISONS AVEC LES DEUX ESPÈCES.....	14
FIGURE 12.	RATIO MOYEN DE MÂLES ET DE FEMELLES DES TRICHOGRAMMES ÉMÉRÉS EN FONCTION DE LA COMBINAISON D'ESPÈCES.....	14
FIGURE 13.	POURCENTAGE MOYEN DE BRACHYPTÉRISME EN FONCTION DU TRAITEMENT AVEC LES ERREURS TYPES.....	15
FIGURE 14.	DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL POUR LES TESTS DE TEMPÉRATURES EN LABORATOIRE.	17
FIGURE 15.	POURCENTAGE MOYEN D'ŒUFS DE LA TEIGNE DU POIREAU PARASITÉS EN FONCTION DE L'ESPÈCE ET DE LA TEMPÉRATURE AVEC LES ERREURS TYPES.	18
FIGURE 16.	POSITIONNEMENT DES PARCELLES À L'INSTITUT DE RECHERCHE ET DE DÉVELOPPEMENT EN AGROENVIRONNEMENT.....	20
FIGURE 17.	DIMENSION D'UNE PARCELLE DE POIREAUX AU CHAMP.	20
FIGURE 18.	TRANSPLANTATION DES POIREAUX.	21
FIGURE 19.	FERTILISATION DES PARCELLES DE POIREAUX.	21
FIGURE 20.	IRRIGATION DES PARCELLES DE POIREAUX.....	22
FIGURE 21.	SARCLAGE MÉCANIQUE ET DÉSHÉRBAGE MANUEL.....	23
FIGURE 22.	BUTTAGE DES POIREAUX.....	23
FIGURE 23.	PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE POUR LA RÉCOLTE DES POIREAUX EN 2017.	24
FIGURE 24.	PIÈGE À PHÉROMONE DE TYPE DELTA I ET PLAQUETTE ENGLUÉE.....	24
FIGURE 25.	ORGANES GÉNITAUX DE LA TEIGNE DU POIREAU (S. CHAUSSÉ).....	25
FIGURE 26.	TRICHOCARTE.....	26
FIGURE 27.	DISPOSITIF DES ŒUFS SENTINELLES DANS LES PARCELLES DE POIREAUX AU CHAMP.	27
FIGURE 28.	GABARIT DE RÉFÉRENCE POUR DÉTERMINER LE POURCENTAGE D'ŒUFS SENTINELLES RESTANTS SUR LES LANGUETTES RÉCOLTÉES.....	28
FIGURE 29.	NOUVEAUX DOMMAGES ET VIEUX DOMMAGES SUR LES FEUILLES DE POIREAU.....	28
FIGURE 30.	PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE POUR LES CINQ STATIONS DANS LES PARCELLES DE POIREAUX AU CHAMP.	29
FIGURE 31.	NOMBRE DE TEIGNES DU POIREAU CAPTURÉES DANS LES PIÈGES À PHÉROMONE SEXUELLE EN FONCTION DE LA DATE DU RELEVÉ DE PIÈGE EN 2017 ET 2018. LES 3 PICS DE CAPTURES SONT INDIQUÉS POUR CHACUNE DES ANNÉES.....	30
FIGURE 32.	POURCENTAGE MOYEN D'ŒUFS DÉSOOPERULÉS SUR LES TRICHOCARTES RÉCUPÉRÉES AU CHAMP EN 2017 ET 2018 AVEC ERREURS TYPES... ..	31
FIGURE 33.	POURCENTAGE MOYEN D'ŒUFS PARASITÉS ET DÉSOOPERULÉS SUR LES TRICHOCARTES EN FONCTION DES ESPÈCES DE TRICHOGRAMME UTILISÉES EN 2017 ET 2018 AVEC ERREURS TYPES.....	31
FIGURE 34.	POURCENTAGE MOYEN D'ŒUFS DÉSOOPERULÉS EN FONCTION DU TEMPS EN JOUR EN CHAMBRE DE CROISSANCE EN 2018 AVEC ERREURS TYPES.	32
FIGURE 35.	POURCENTAGE DE LANGUETTES D'ŒUFS SENTINELLES PARASITÉS EN FONCTION DES ESPÈCES DE TRICHOGRAMME UTILISÉES EN 2017 ET 2018 AVEC ERREURS TYPES.	32

FIGURE 36.	POURCENTAGE DE LANGUETTES D'ŒUFS SENTINELLES PARASITÉES PAR LES TRICHOGRAMMES EN FONCTION DE LA DISTANCE AU POINT DE LÂCHER EN 2017 ET 2018.....	33
FIGURE 37.	POURCENTAGE DE POIREAUX AVEC PRÉSENCE DE NYMPHES EN FONCTION DES ESPÈCES DE TRICHOGRAMME UTILISÉES POUR L'ANNÉE 2018.	33
FIGURE 38.	POURCENTAGE DE POIREAUX AVEC PRÉSENCE DE LARVES OU DE NYMPHES EN FONCTION DE L'ANNÉE AVEC ERREURS TYPES.	34
FIGURE 39.	POURCENTAGE DE POIREAUX AVEC PRÉSENCE DE VIEUX DOMMAGES EN FONCTION DES ESPÈCES DE TRICHOGRAMME UTILISÉES EN 2017 ET 2018 AVEC ERREURS TYPES.	34
FIGURE 40.	POURCENTAGE DE POIREAUX AVEC NOUVEAUX DOMMAGES EN FONCTION DE L'ANNÉE AVEC ERREURS TYPES.	35
FIGURE 41.	POURCENTAGE DE POIREAUX AVEC PRÉSENCE DE VIEUX DOMMAGES EN FONCTION DES ESPÈCES DE TRICHOGRAMME UTILISÉES 2017 ET 2018 AVEC ERREURS TYPES.....	35
FIGURE 42.	POURCENTAGE DE POIREAUX AVEC PRÉSENCE DE NOUVEAUX DOMMAGES EN FONCTION DES ESPÈCES DE TRICHOGRAMME UTILISÉES EN 2017 ET 2018.	36
FIGURE 43.	POURCENTAGE DE POIREAUX AVEC PRÉSENCE DE NOUVEAUX DOMMAGES EN FONCTION DE L'ANNÉE AVEC ERREURS TYPES.	36
FIGURE 44.	POURCENTAGE DE POIREAUX AVEC PRÉSENCE DE DOMMAGES SUR LES FEUILLES PAR LA TEIGNE DU POIREAU EN FONCTION DES ESPÈCES DE TRICHOGRAMME UTILISÉES EN 2017 ET 2018 AVEC ERREURS TYPES.	37
FIGURE 45.	POURCENTAGE DE POIREAUX AVEC PRÉSENCE DE DOMMAGE DE LA TEIGNE DU POIREAU DANS LE FÛT EN FONCTION DES ESPÈCES DE TRICHOGRAMME UTILISÉES EN 2017 ET 2018 AVEC ERREURS TYPES.	37
FIGURE 46.	NOMBRE DE FEUILLES PARÉES À LA RÉCOLTE EN FONCTION DES ESPÈCES DE TRICHOGRAMME UTILISÉES EN 2018 AVEC ERREURS TYPES.	38
FIGURE 47.	CHAMP DE MAÏS ET CHAMP DE POIREAUX.....	44
FIGURE 48.	PARCELLE DE POIREAUX TRAITÉE AVEC <i>T. BRASSICAE</i> , MAIS TRÈS ENDOMMAGÉE PAR LA TEIGNE DU POIREAU..	45

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1. OPÉRATIONS DE DÉSHÉRBAGE DANS LES PARCELLES DE POIREAUX EN 2017 ET EN 2018.	22
TABLEAU 2. COÛTS DE L'UTILISATION DES TRICHOGRAMMES ET BIOPESTICIDES.....	40

LISTE DES ÉQUATIONS

ÉQUATION 1. CALCUL DU TAUX DE MORTALITÉ THÉORIQUE.	12
ÉQUATION 2. CALCUL DES DEGRÉS-JOURS.	25

1 PROBLÉMATIQUE

La teigne du poireau, *Acrolepiopsis assectella* (Zeller) (Lepidoptera: Acrolepiidae), est une espèce originaire d'Europe (Landry, 2007). Au Canada, elle a été détectée pour la première fois en 1993 dans la ville d'Ottawa en Ontario (Landry, 2007). La teigne du poireau est une espèce exotique envahissante, car elle s'installe avec succès en dehors de son aire de répartition naturelle (Mason *et al.*, 2011). Une fois introduite, la population augmente et se disperse rapidement (Mason *et al.*, 2011). Des pièges à phéromone installés à Ottawa ont montré que la population était dix fois plus élevée qu'un site échantillonné dans son aire de répartition d'origine (Mason *et al.*, 2011). Cela s'explique en grande partie par l'absence dans la nouvelle région des ennemis naturels de l'aire d'origine du ravageur (Elton, 1958; Debach et Rosen, 1991; Van Driesche et Bellows, 1996). Depuis son introduction en Amérique du Nord, *A. assectella* s'est dispersée en Ontario (Landry, 2007), au Québec (Landry, 2007), aux États-Unis (Klass, 2009), sur l'Île-du-Prince-Édouard (Mason *et al.*, 2010) et au Nouveau-Brunswick (Canadian Food Inspection Agency, 2018). La **Figure 1** montre bien la dispersion de la teigne du poireau au Québec entre 2002 et 2006. Cette dispersion se poursuit de sorte qu'en 2018, on la retrouve presque partout au Québec (M. Leblanc, comm. pers). En effet, les seules régions où la teigne du poireau n'a pas été détectée actuellement sont la Côte-Nord et le Nord du Québec (M. Leblanc, comm. pers).

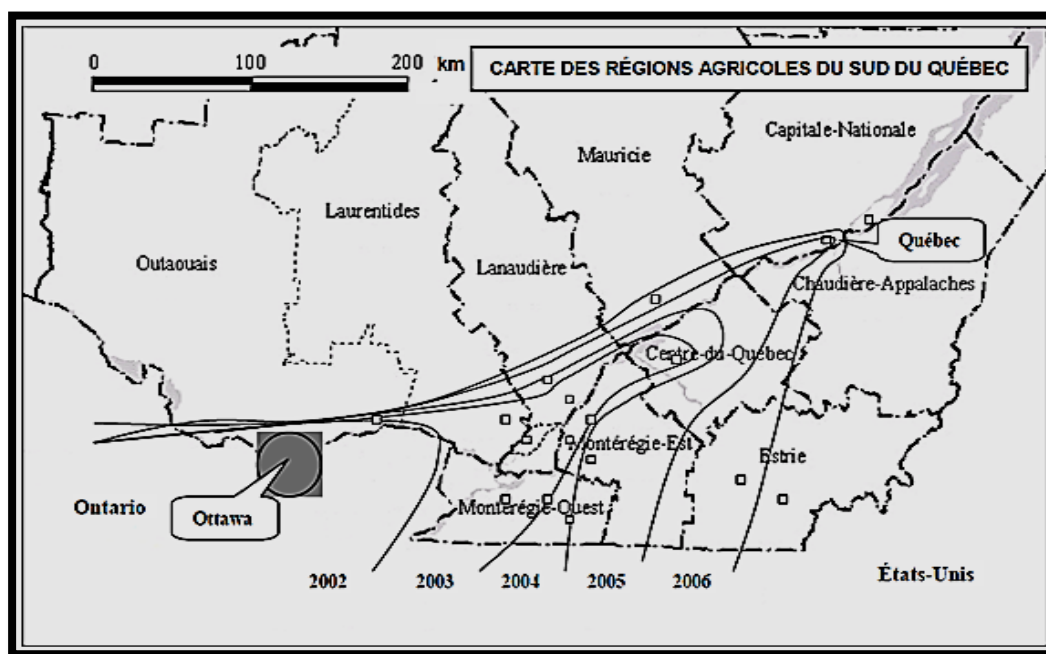


Figure 1. Dispersion de la teigne du poireau au Québec entre 2002 et 2006 (Leblanc, 2007).

Les larves de la teigne du poireau creusent et pénètrent les feuilles, les tiges ou les inflorescences de la plante hôte (Mason *et al.*, 2010). En s'alimentant, elles diminuent la croissance de la plante qui peut s'affaiblir ou dépérir (Mason *et al.*, 2010). La larve de la teigne du poireau est un ravageur des espèces du genre *Allium* (Asparagales: Alliaceae), ce qui inclut les cultures de poireau (*Allium porrum*), d'ail (*Allium sativum*) et d'oignon (*Allium cepa*) (Mason *et al.*, 2010). Depuis son introduction en Ontario, *A. assectella* cause des pertes économiques considérables dans ces cultures (Mason *et al.*, 2011). Au Québec, les pertes économiques causées par *A. assectella*

sont indéniables dans la culture du poireau (Laroche *et al.*, 2016). La majorité des grands producteurs de poireaux et les jardiniers de potagers urbains doivent combattre ce ravageur (M. Leblanc, comm. pers). Le rendement est diminué par une croissance ralentie des plants et le retrait des feuilles endommagées par les producteurs (Laroche *et al.*, 2016). Les cultures biologiques sont les plus affectées (Mason *et al.*, 2011), car les méthodes de lutte disponibles sont plus restreintes et l'application demande beaucoup plus de rigueur pour être efficace (M. Leblanc, comm. pers). Sans application d'insecticides chimiques, la population de la teigne du poireau peut augmenter drastiquement (Mason *et al.*, 2011). Les producteurs biologiques risquent de perdre leur culture entière, comme cela s'était produit dans les cultures d'oignons dans l'est de l'Ontario en 2009 (Mason *et al.*, 2011).

Actuellement, les agriculteurs du Québec utilisent en majorité des insecticides de synthèse contre la teigne du poireau (Laroche *et al.*, 2017). Les insecticides disponibles pour les producteurs conventionnels sont à base de chlorantraniliprole (groupe chimique 28), lambda-cyhalothrine (groupe chimique 3), de spinétorame ou de spinosad (groupe chimique 5) (SAGÉ pesticides, 2018). Malheureusement, ces produits comportent des risques modérés ou même élevés pour la santé humaine, les organismes aquatiques et les abeilles (SAGÉ pesticides, 2018). De plus, les producteurs doivent éviter d'appliquer successivement des insecticides d'un même groupe chimique afin de prévenir de développement de résistance (SAGÉ pesticides, 2018). Actuellement, les insecticides sont appliqués jusqu'à cinq fois par année dans les champs pour assurer une lutte adéquate (Laroche *et al.*, 2017).

Les seuls insecticides homologués pour la production biologique sont à base de *Bacillus thuringiensis* (var. *aizawai*, Xentari WG et var. *kurstaki*, Bioprotec CAF) ou de spinosad (Entrust™ 80W) (SAGÉ pesticides, 2018). Des essais ont montré que l'utilisation du spinosad permet une plus grande réduction des larves de la teigne du poireau et des dommages que *B. thuringiensis* (Mason *et al.*, 2014). Cependant, le spinosad comporte un risque élevé pour les abeilles (SAGÉ pesticides, 2018) et ne peut être appliqué que trois fois par saison (Mason *et al.*, 2010). De plus, son utilisation répétée pourrait favoriser le développement de résistance au groupe chimique auquel il appartient (SAGÉ pesticides, 2018). La toxine produite par la bactérie *B. thuringiensis* est plus écologique, car elle est moins néfaste pour les insectes utiles (SAGÉ pesticides, 2018). Cependant, cette toxine doit être ingérée par la larve pour être efficace (Mason *et al.*, 2010). Or, une fois émergées, les larves commencent rapidement à creuser et à se cacher dans les feuilles (Mason *et al.*, 2010). Ainsi, le traitement avec *B. thuringiensis* doit être synchronisé avec le moment spécifique où les jeunes larves sont exposées en grand nombre (Mason *et al.*, 2010), soit moins de 24 heures après leur émergence (Mason *et al.*, 2010). Les moments d'applications étant très restreints, le traitement avec *B. thuringiensis* n'assure généralement pas une lutte adéquate contre la teigne du poireau en production biologique.

En Ontario, certaines pratiques culturales permettent de diminuer les populations de teigne du poireau : rotation des cultures; report des semis; retrait des feuilles infestées; récolte hâtive; éloignement des cultures sensibles des régions infestées, destruction ou enfouissement des débris de cultures après la récolte (Allen *et al.*, 2009). De plus, des études allemandes et ontariennes montrent que les dommages causés par la teigne du poireau peuvent être réduits significativement avec des minitunnels (**Figure 2**) (Allen *et al.*, 2009).



Figure 2. Minitunnels dans une culture d'ail (Allen *et al.*, 2009).

Les méthodes de lutte biologique contre la teigne du poireau étant actuellement dispendieuses, parfois peu efficaces et demandant beaucoup de rigueur, il était nécessaire de développer des nouveaux agents. Une alternative intéressante est l'utilisation de trichogrammes, des parasitoïdes oophages des lépidoptères (Knutson, 1998). Les espèces de trichogrammes se distinguent entre autres par leur préférence pour l'œuf hôte et l'habitat, leur capacité à chercher l'hôte et à tolérer les conditions météorologiques (Rabb et Bradley, 1968 ; Thorpe, 1985 ; Romeis *et al.*, 1998 ; Romeis *et al.*, 2005). Dans un contexte de lutte biologique, les espèces locales échantillonnées dans l'habitat de la culture devraient être les premières à être évaluées (Knutson, 1998). En Ontario, les ennemis naturels indigènes sont généralistes et n'ont pas d'impact sur les populations de teignes du poireau bien qu'elles soient présentes depuis 15 ans (Mason *et al.*, 2010). De plus, plusieurs études ont été menées en Ontario sur *Diadromus pulchellus* (Hymenoptera: Ichneumonidae), un parasitoïde exotique des nymphes de la teigne du poireau (**Figure 3**) (Mason *et al.*, 2013). Originaire d'Europe, cet ennemi naturel exotique était un bon candidat pour la lutte biologique de ce ravageur (Jenner *et al.*, 2010). En effet, il a été démontré que cette espèce survit à l'hiver et parasite avec succès et presque exclusivement les nymphes de la teigne du poireau en Ontario (Mason *et al.*, 2013). Au Canada, le lâcher de ce parasitoïde a été autorisé (Mason *et al.*, 2010). Entre 2010 et 2012, plus de 10 000 individus ont été relâchés dans la région d'Ottawa (Mason *et al.*, 2014). Le taux de parasitisme des nymphes de la teigne du poireau peut atteindre 50 % (Mason *et al.*, 2014). Puisque l'élevage de masse de cette espèce est complexe, on compte actuellement sur sa reproduction et sa dispersion naturelle, soit par lutte biologique classique.

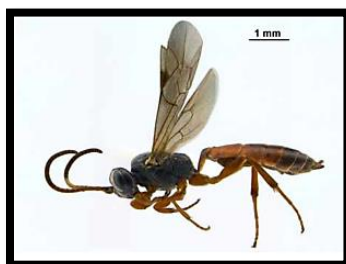


Figure 3. *Diadromus pulchellus* (Hymenoptera: Ichneumonidae) (Mason *et al.*, 2013).

Une compagnie québécoise, Anatis Bioprotection, commercialise actuellement deux espèces de trichogrammes : *Trichogramma brassicae* pour lutter contre la teigne du poireau et *Trichogramma ostriniae* pour lutter contre *Ostrinia nubilalis*, la pyrale du maïs (Lepidoptera: Crambidae) (Anatis Bioprotection, 2019).

Une étude allemande montre que *T. brassicae* peut causer une mortalité de 56 % de la population de teigne du poireau dans la culture biologique du poireau (Lorenz *et al.*, 2003). Dans cette étude, *T. brassicae* était plus efficace que *T. cacaeciae* (52 %) et *T. dendrolimi* (46,7 %) (Lorenz *et al.*, 2003). Cependant, aucune étude concluante n'a été conduite en Amérique du Nord afin de vérifier l'impact de lâchers de *T. brassicae* sur la teigne du poireau au champ.

En 2018, environ 28 % de la superficie des champs de maïs sucré étaient protégés par *T. ostriniae* et *T. brassicae* au Québec (A. Charbonneau, comm. pers.). Une étude québécoise a démontré que l'espèce *T. ostriniae* était plus efficace que *T. brassicae* pour lutter contre la pyrale du maïs dans la culture du maïs sucré frais (Etilé *et al.*, 2011), possiblement parce que *T. ostriniae* peut parasiter les œufs de pyrale du maïs à presque tous les stades du développement embryonnaire (Hoffmann *et al.*, 1995). *T. ostriniae* comporte d'autres avantages par rapport à *T. brassicae*. Elle perd moins rapidement sa valeur adaptative en élevage de masse (Hoffmann *et al.*, 2001) et elle peut être entreposée à basses températures pendant une plus longue période de temps (Pitcher *et al.*, 2002). Malgré les nombreux avantages à utiliser *T. ostriniae* par rapport à *T. brassicae*, aucune étude n'a été menée sur le potentiel de cette espèce à parasiter les œufs de la teigne du poireau.

2 VOLET 1 : ÉVALUATION DE L'INTERACTION ENTRE LES DEUX ESPÈCES DE TRICHOGRAMMES

2.1 Objectifs et hypothèses

Le premier chapitre portait sur l'étude des interactions en laboratoire entre les deux espèces de trichogrammes à l'étude, *T. ostriniae* et *T. brassicae*, lorsqu'elles étaient exposées à des œufs de la teigne du poireau. Ce chapitre permettait de :

- **Question 1** : L'utilisation successive des deux espèces permet-elle d'augmenter l'efficacité des trichogrammes?
- **Objectif 1** : Déterminer s'il existe un effet additif, antagoniste ou synergique sur le taux de parasitisme des œufs de la teigne du poireau lorsque *T. ostriniae* et *T. brassicae* sont utilisées successivement.
- **Objectif 2** : Comparer le taux de parasitisme des deux espèces sur les œufs de la teigne du poireau et la qualité de leurs descendants.
- **Hypothèse 1** : L'utilisation successive de deux espèces de trichogrammes augmentera le niveau de lutte du ravageur (effet synergique).

2.2 Méthodologie

En laboratoire, **1)** une première femelle trichogramme accouplée et âgée de moins de 24 heures était exposée à 30 œufs de la teigne du poireau frais (≤ 12 h) repartis uniformément dans une boîte de Petri de 5 cm de diamètre (**Figure 4**). Au bout de quatre heures, la première femelle était retirée et **2)** une deuxième femelle était introduite et exposée aux mêmes œufs pendant quatre heures. Les traitements étaient les suivants : (1) *T. ostriniae* seul, (2) *T. brassicae* seul, (3) *T. ostriniae* suivi de *T. brassicae*, (4) *T. brassicae* suivi de *T. ostriniae*. Pour le traitement témoin, les œufs n'étaient pas exposés aux trichogrammes. Chacun des traitements était répété 16 fois.

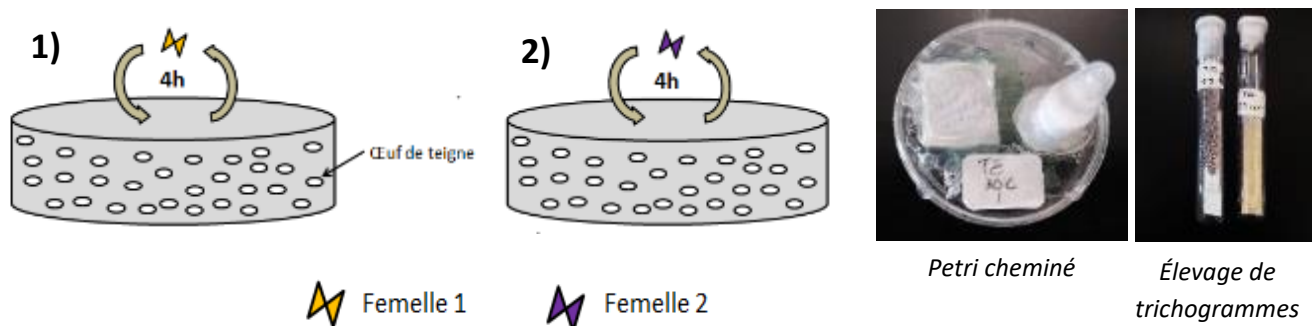


Figure 4. Dispositif expérimental des tests d'interaction en laboratoire.

Les œufs étaient ensuite placés en chambre de croissance (photopériode de 18L:6O, température de $24 \pm 0,1^\circ\text{C}$, humidité relative de $70 \pm 1\%$) et observés quotidiennement jusqu'à l'émergence de la totalité des parasitoïdes. Parmi les 30 œufs exposés aux femelles trichogrammes, le nombre d'œufs parasités non désoperculés (noircis),

le nombre d'œufs parasités désoperculés (noircis et ouverts) et le nombre d'œufs non parasités (pâles) étaient comptabilisés (**Figure 5**).



Figure 5. Œufs de la teigne du poireau.

Le nombre de parasitoïdes émergés, le rapport des sexes, le nombre d'individus brachyptères, l'espèce de trichogrammes émergente et les cas de multiparasitisme étaient notés.

Les femelles et les mâles trichogrammes se distinguent par leurs antennes (Bigler, 1994). Les mâles ont des antennes aux poils longs alors que les femelles ont des antennes aux poils courts (Bigler, 1994). De plus, les antennes des femelles sont en forme de massue à l'extrémité distale (**Figure 6**) (Bigler, 1994).

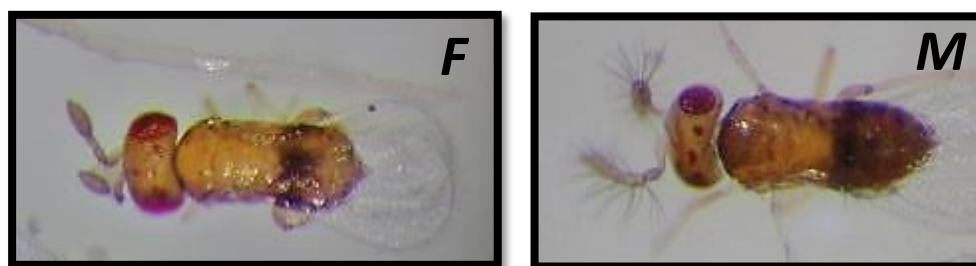


Figure 6. Femelle (F) et mâle (M) trichogramme.

T. ostrinae est rougeâtre et clair au niveau du thorax alors que *T. brassicae* est grise et sombre (**Figure 7**) (M. St-Onge, comm. pers.). L'espèce de trichogramme peut être identifiée de manière plus précise à l'aide d'analyses moléculaires au laboratoire d'expertise et de diagnostic en phytoprotection du MAPAQ.



Figure 7. *Trichogramma ostriniae* (TO) et *Trichogramma brassicae* (TB).

Les individus brachyptères ont des ailes atrophiées (**Figure 8**). Puisque les trichogrammes utilisent entre autres leurs ailes pour se déplacer, la capacité de parasitisme d'un trichogramme brachyptère est diminuée.



Figure 8. Trichogramme brachyptère.

2.3 Résultats

Il y avait une différence significative quant au nombre d'œufs de teigne du poireau parasités entre les combinaisons d'espèces de trichogramme testées (Kruskal-Wallis, $\chi^2=39,693$, $df=4$, $P<0,00001$) (**Figure 9**). Il y a eu plus d'œufs parasités dans les combinaisons avec 2 espèces différentes que le témoin (Test de U, $P_{(Bonferroni)}<0,001$) et la combinaison avec seulement *T. brassicae* (Test de U, $P_{(Bonferroni)}<0,05$). Il y avait plus d'œufs parasités dans la combinaison avec seulement *T. ostriniae* que le témoin (Test de U, $P_{(Bonferroni)}<0,00001$) et la combinaison avec seulement *T. brassicae* (Test de U, $P_{(Bonferroni)}<0,0001$). Ces résultats montrent clairement que l'espèce *T. ostriniae* parasitait beaucoup plus d'œufs de la teigne du poireau ($65,9 \pm 7,0$ %) comparativement à *T. brassicae* ($9,7 \pm 3,7$ %) dans les conditions de ce laboratoire. À l'aide des équations de Benz (1971), on peut déterminer le type d'interaction entre les deux espèces. On calcule d'abord un taux de mortalité théorique au moyen de cette formule :

Équation 1. Calcul du taux de mortalité théorique.

$$M_{1+2} = M_1 + M_2 (1 - M_1/100)$$

Étant donné que $M_{1+2} < M_1 + M_2$, nous pouvons conclure que l'effet est antagoniste entre *T. ostriniae* et *T. brassicae*.

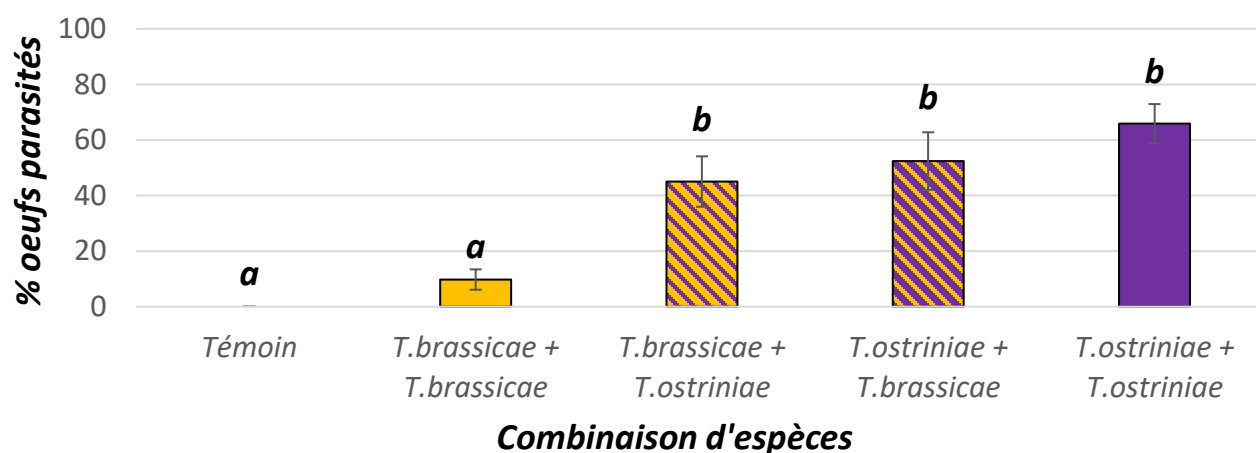


Figure 9. Pourcentage moyen d'œufs de la teigne du poireau parasités en fonction de la combinaison d'espèces de trichogramme avec les erreurs types.

Il n'y avait aucune différence quant au pourcentage d'œufs de teigne du poireau parasités désoperculés entre les combinaisons d'espèces de trichogramme testées (Kruskal-Wallis, $\chi^2=3,641$, $df=3$, $P=3029$) (Figure 10). Le pourcentage moyen des œufs parasités désoperculés était élevé pour toutes les combinaisons d'espèces, soit $90,0 \pm 6,8$ % pour *T. brassicae* seul, $89,1 \pm 4,1$ % pour *T. brassicae* suivi de *T. ostriniae*, $91,1 \pm 2,5$ % pour *T. ostriniae* suivi de *T. brassicae* et $84,4 \pm 3,5$ % pour *T. ostriniae* seul. Les trichogrammes de qualité ont un taux d'émergence élevé (Smith, 1996).

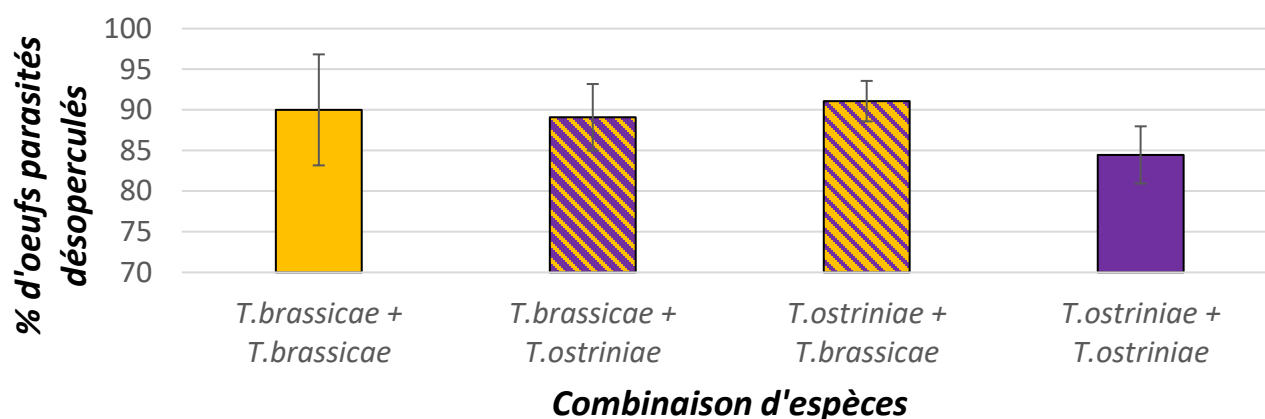


Figure 10. Pourcentage moyen d'œufs de la teigne du poireau parasités désoperculés en fonction de la combinaison d'espèces de trichogramme avec erreurs types.

Au niveau des combinaisons avec deux espèces différentes, il y a eu plus d'individus de l'espèce *T. ostriniae* qui ont émergés des œufs parasités que de l'espèce *T. brassicae* (*T. brassicae* suivi de *T. ostriniae* : Test de U, $W=129$, $P<0,001$; *T. ostriniae* suivi de *T. brassicae* : Test de U, $W=130$, $P<0,001$) (Figure 11). Il n'y avait pas de différence

quant à la proportion de *T. ostriniae* émergé en fonction des combinaisons d'espèces de trichogramme testées (Kruskal-Wallis, $\chi^2=0,72773$, $df=1$, $P=0,3936$). Ces résultats montrent encore une fois que l'espèce *T. ostriniae* parasitait beaucoup plus d'œufs de la teigne du poireau ($82,3 \pm 3,3$ %) que *T. brassicae* ($17,7 \pm 3,3$ %) lorsque les deux espèces étaient utilisées successivement.

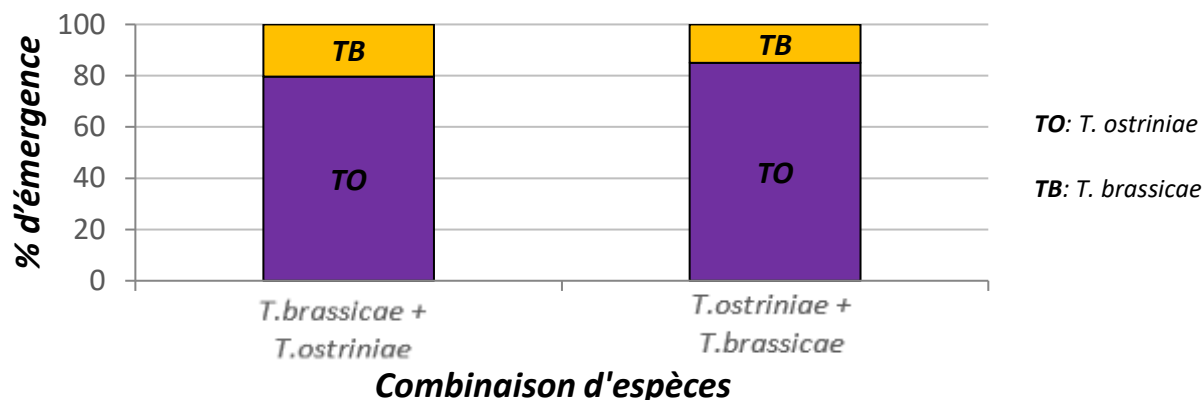


Figure 11. Pourcentage moyen d'émergence selon l'espèce pour les combinaisons avec les deux espèces.

Il n'y a pas eu de différences quant au rapport de femelles parmi les parasitoïdes émergés entre les combinaisons d'espèces de trichogramme testées (Kruskal-Wallis, $\chi^2= 7,61$, $df=3$, $P=0,055$) (Figure 12). Le rapport des sexes était en faveur des femelles pour *T. ostriniae* seul ($0,73 \pm 0,09$, Test de U, $W=223$, $P<0,001$), pour *T. brassicae* suivi de *T. ostriniae* ($0,82 \pm 0,04$, Test de U, $W=132$, $P<0,001$) et pour *T. ostriniae* suivi de *T. brassicae* ($0,62 \pm 0,05$, Test de U, $W=101$, $P<0,05$). Le rapport des sexes était équilibré pour *T. brassicae* seul ($0,51 \pm 0,04$, Test de U, $W=19,5$, $P=0,8705$). Les trichogrammes de qualité ont un rapport des sexes biaisé en faveur des femelles (Smith, 1996).

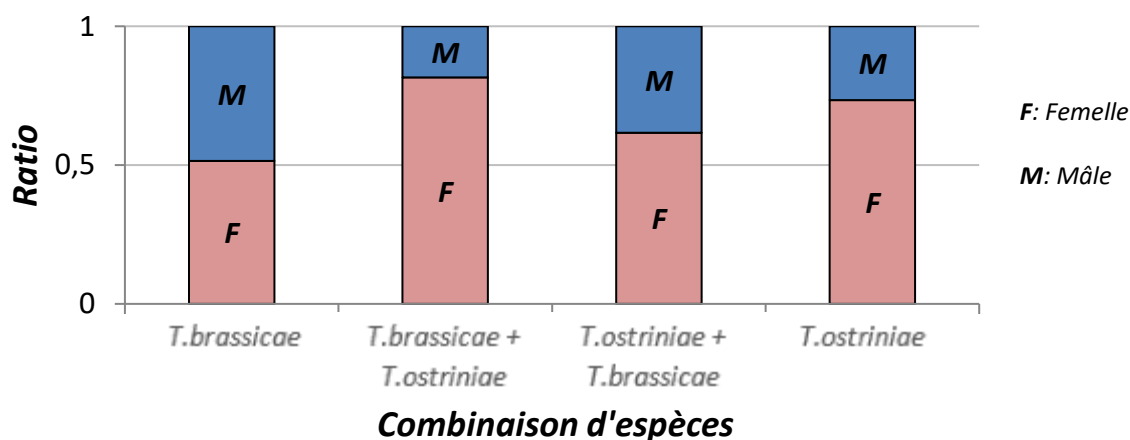


Figure 12. Ratio moyen de mâles et de femelles des trichogrammes émergés en fonction de la combinaison d'espèces.

Il n'y a pas eu de différence quant au pourcentage de brachyptérisme en fonction de la combinaison d'espèces de trichogramme testée (Kruskal-Wallis, $\chi^2=2,57$, $df=3$, $P=0,4626$) (figure 13). Le pourcentage moyen de parasitoïdes brachyptères était faible pour tous les traitements, soit $0,7 \pm 0,7$ % pour *T. ostriniae* suivi de *T. brassicae*, $2,3 \pm$

1,2 % pour *T. brassicae* suivi de *T. ostriniae*, $2,6 \pm 1,0$ % pour *T. ostriniae* seul et $5,5 \pm 5,5$ % pour *T. brassicae* seul. Puisque les trichogrammes utilisent entre autres leurs ailes pour se déplacer, il est important que le taux de brachyptérisme soit faible, sans quoi cela peut affecter leur capacité de dispersion.

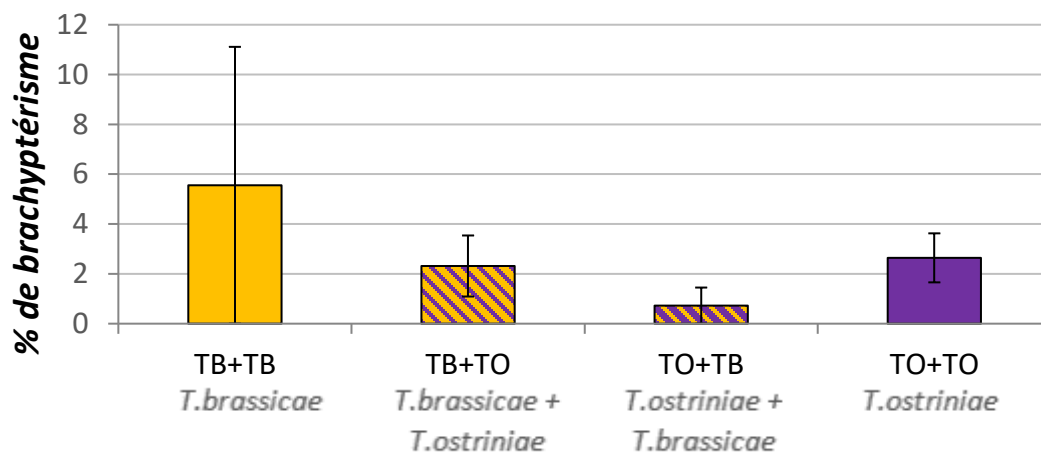


Figure 13. Pourcentage moyen de brachyptérisme en fonction du traitement avec les erreurs types.

Il n'y a eu qu'un seul cas de multiparasitisme sur 960 œufs exposés aux deux espèces de trichogrammes (0,1 %). En effet, *T. ostriniae* a pondu dans un œuf déjà parasité par *T. brassicae*. Ces résultats montrent qu'en général, les deux espèces semblent reconnaître et éviter les œufs parasités par l'autre espèce. Les deux espèces ont émergées, ce qui signifie qu'il y avait suffisamment de ressources nutritives dans l'œuf de la teigne du poireau pour supporter le développement des deux trichogrammes.

3 VOLET 2 : ÉVALUER L'EFFET DES TEMPÉRATURES SUR LA CAPACITÉ DE PARASITISME DES DEUX ESPÈCES DE TRICHOGRAMME

3.1 Objectifs et hypothèses

Le deuxième chapitre portait sur l'effet des températures typiques de la saison de croissance des poireaux au Québec sur la capacité de parasitisme des deux espèces étudiées.

- **Question 2** : Comment la température affecte-t-elle l'efficacité de parasitisme des trichogrammes?
- **Objectif 3** : Comparer le taux de parasitisme des œufs de la teigne du poireau et la qualité des descendants de *T. ostriniae* et *T. brassicae* aux températures typiques de la saison de croissance des poireaux au Québec (15, 20, 25 et 30°C).
- **Hypothèse 2** : Aux températures extrêmes (15 et 30°C), *T. ostriniae* parasite un plus grand nombre d'œufs que *T. brassicae*.

3.2 Méthodologie

En laboratoire, une femelle trichogramme accouplée et âgée de moins de 24 heures a été exposée à 20 œufs de la teigne du poireau frais (≤ 12 h) répartis uniformément sur un morceau de feuille de poireau dans une boîte de Petri à cheminée. Le Petri était ensuite placé pendant 24 heures dans une chambre de croissance à une température (15, 20, 25 ou $30 \pm 1^\circ\text{C}$, 18L:6D, 70 ± 10 %). Ces températures sont représentatives de celles observées durant le jour pendant la saison de croissance du poireau d'été au Québec. Pour chaque espèce de trichogramme (*T. brassicae* ou *T. ostriniae*) et chaque température évaluée, 15 répétitions ont été réalisées. Pour le traitement témoin, les œufs n'étaient pas exposés aux trichogrammes, ce qui permettait d'évaluer la mortalité naturelle des œufs (**Figure 14**).

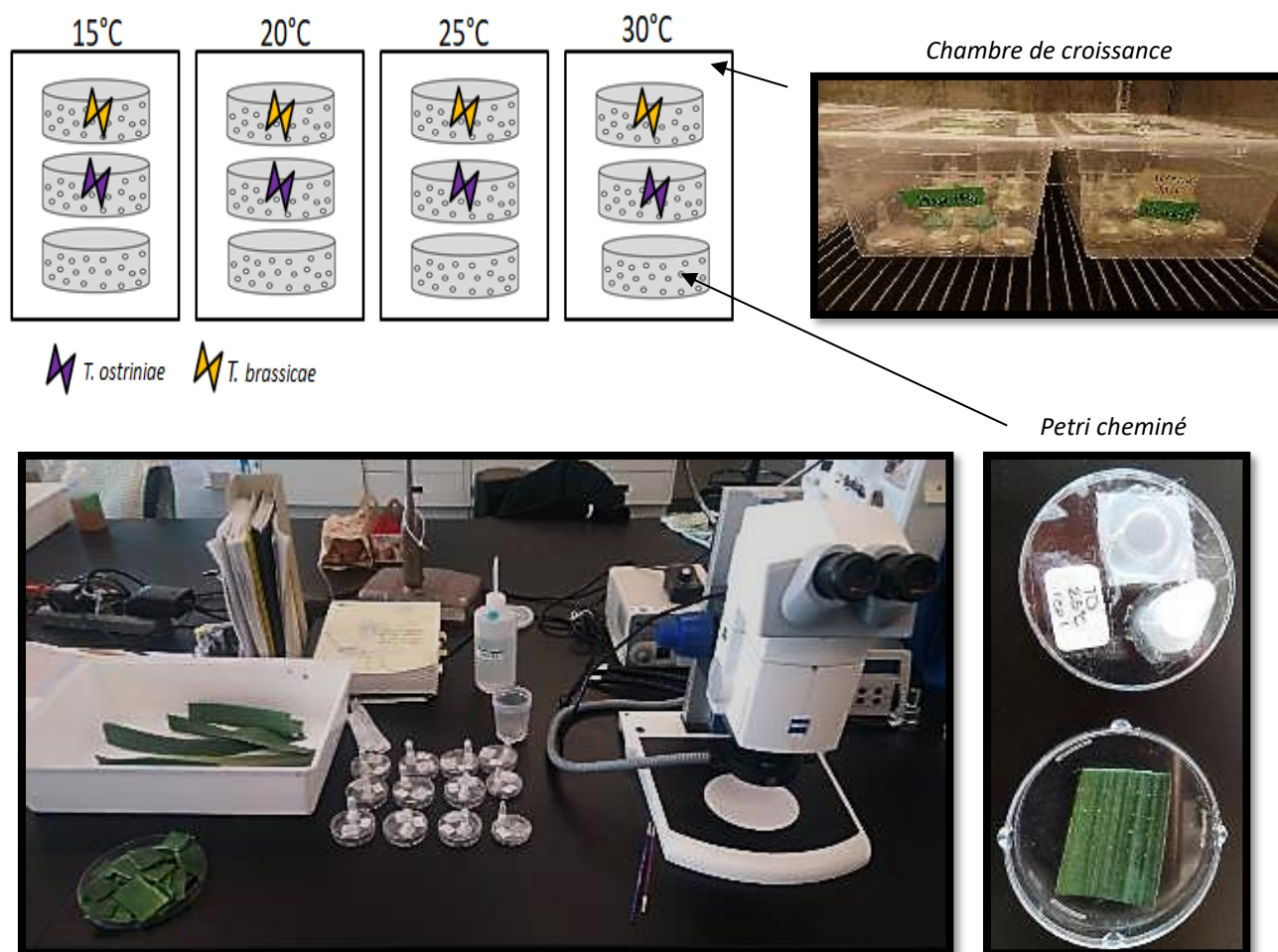


Figure 14. Dispositif expérimental pour les tests de températures en laboratoire.

Les femelles trichogrammes ont été placés individuellement dans les boîtes des Petri. Une solution diluée de sucrose (20 %) leur a servi de ressource nutritionnelle. Après 24 heures d'exposition des trichogrammes aux œufs, les Petri ont été placés en chambre de croissance (18L:6D, $24 \pm 1^\circ\text{C}$, $70 \pm 10\%$) pendant 15 jours pour permettre l'émergence des parasitoïdes. Parmi les 20 œufs exposés aux femelles trichogrammes, le nombre d'œufs parasités non désoperculés, le nombre d'œufs non parasités et le nombre d'œufs parasités désoperculés ont été comptabilisés. Les trichogrammes émergés ont été gardés au congélateur pour ensuite être évalués pour le rapport des sexes et le nombre d'individus brachyptères.

3.3 Résultats

Les résultats indiquent que plus d'œufs ont été parasités par *T. ostriniae* ($52,2 \pm 10,1\%$) que par *T. brassicae* ($8,5 \pm 3,6\%$) pour toute la gamme de températures testées (Régression linéaire, $\text{coef}=4,4020$, $P<0,001$) (Figure 15). Ces résultats sont semblables à ceux obtenus lors de l'expérience sur les interactions en laboratoire. Pour *T. ostriniae*, il y avait significativement plus de parasitisme à 20°C ($62,1 \pm 9,5\%$, Régression linéaire, $\text{coef}= 0,843$, $P<0,01$) et à 25°C ($56,4 \pm 10,9\%$, Régression linéaire, $\text{coef}= 0,718$, $P<0,05$) qu'à 15°C ($40,7 \pm 10,3\%$). Pour *T.*

brassicae, il y avait significativement plus de parasitisme à 30°C (20,3 ± 6,7 %) qu'à 15°C (1,8 ± 1,2 %, Régression linéaire, $coef=3,112$, $P<0,001$) et qu'à 20°C (3,1 ± 2,1 %, Régression linéaire, $coef= 2,408$, $P<0,001$). La température de parasitisme optimale de *T. ostriniae* a été d'environ 20°C alors que celle de *T. brassicae* a été d'environ 30°C.

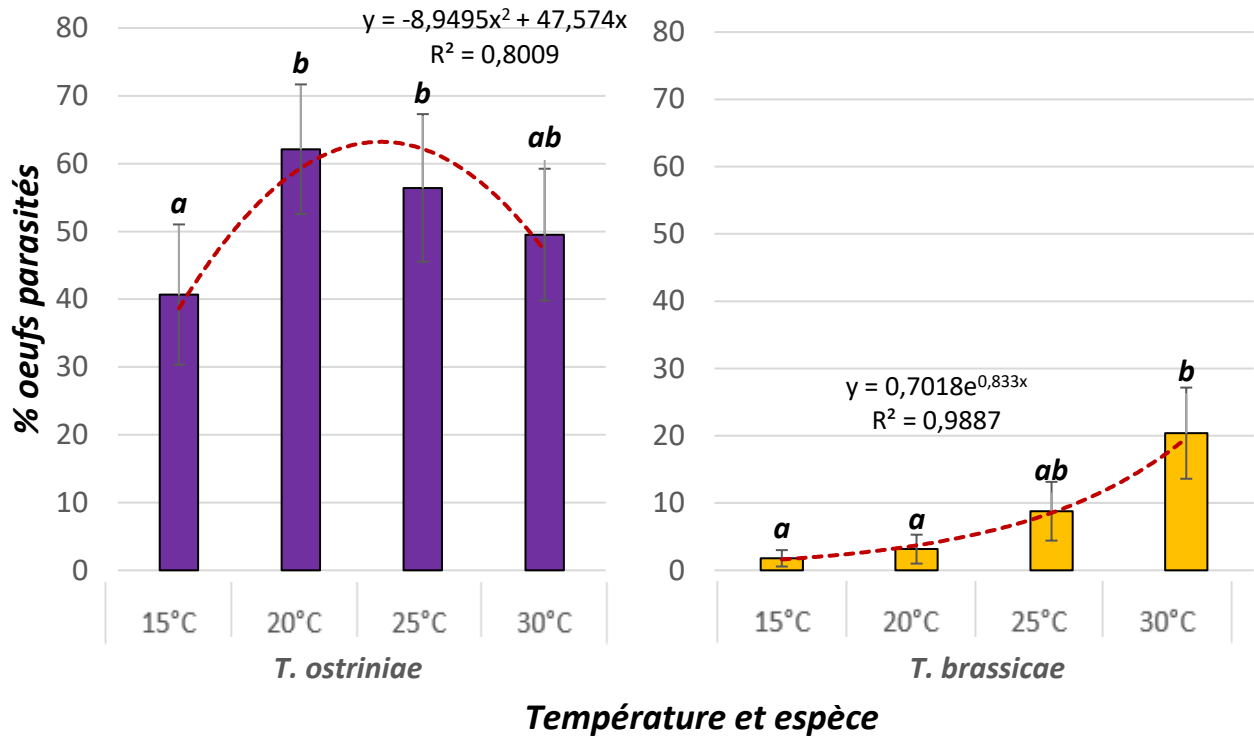


Figure 15. Pourcentage moyen d'œufs de la teigne du poireau parasités en fonction de l'espèce et de la température avec les erreurs types.

Le pourcentage total de parasitoïdes émergés brachyptères a été plutôt élevé pour *T. ostriniae* (18,3 ± 2,4 %) et pour *T. brassicae* (20,8 ± 9,2 %) comparativement à l'expérience en laboratoire sur les interactions. Un haut taux de moisissures et d'humidité dans les boîtes de Petri pourrait en être la cause. Le rapport des sexes a été en faveur des femelles pour *T. ostriniae* (0,74 ± 0,02, Test de U, $W=1396$, $P<0,00001$) et pour *T. brassicae* (0,65 ± 0,0, Test de U, $W=159,5$, $P<0,05$).

4 VOLET 3 : ÉVALUER LE POTENTIEL DE PARASITISME DES DEUX ESPÈCES DE TRICHOGRAMME AU CHAMP

4.1 Objectifs

Le troisième chapitre portait sur l'évaluation de la capacité de parasitisme des deux espèces au champ.

- **Question 3** : Des lâchers inondatifs de trichogrammes permettent-ils de lutter contre la teigne du poireau dans une culture de poireaux biologiques?
- **Objectif 4** : Déterminer la capacité de parasitisme des deux espèces lâchées individuellement ou conjointement dans une culture de poireaux biologiques et évaluer le type d'interaction entre les espèces.
- **Objectif 5** : Évaluer la rentabilité économique et l'efficacité de la méthode par des lâchers de trichogrammes dans cette culture.
- **Hypothèse 3** : Au champ, les lâchers conjoints des deux espèces de trichogrammes permettent une lutte plus efficace contre la teigne du poireau, car l'interaction est synergique.

4.2 Méthodologie

4.2.1 Choix du cultivar de poireau

Le cultivar « Lancelot » a été utilisé pour cette expérimentation au champ. Cette variété de poireau d'été est utilisée en agriculture biologique au Québec. Le temps de maturité est de 90 jours, ce qui permet une transplantation tôt en saison. Ainsi, les plants étaient exposés aux trois pics de capture de la teigne du poireau que l'on observe habituellement au Québec.

4.2.2 Dispositif expérimental au champ

Les traitements des parcelles de poireau biologique étaient les suivants :

1. Témoin: aucun lâcher de trichogrammes effectué
2. *T. ostriniae* (taux de 400 000 parasitoïdes/ha)
3. *T. brassicae* (taux de 400 000 parasitoïdes/ha)
4. Mélange de *T. brassicae* et de *T. ostriniae* (taux de 200 000 parasitoïdes/espèce/ha)

Le dispositif expérimental était constitué de 4 blocs complets aléatoires. Chaque bloc comprenait 4 parcelles dont le traitement était déterminé avec un processus de randomisation à chaque année. Ainsi, il y a eu quatre répétitions par traitement et donc 16 parcelles au total.

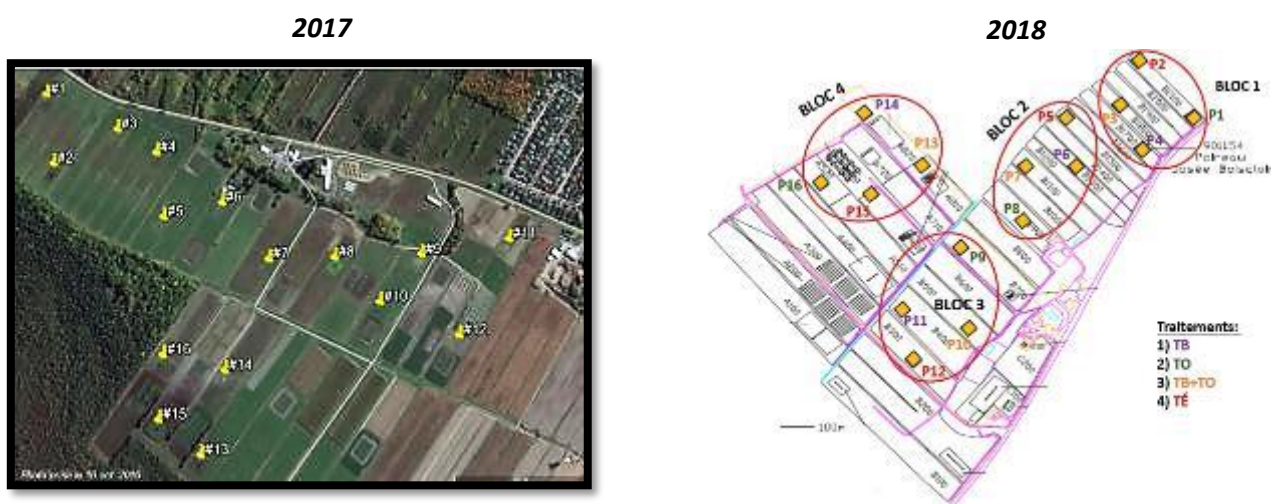


Figure 16. Positionnement des parcelles à l'Institut de Recherche et de Développement en Agroenvironnement.

Afin de minimiser la migration des trichogrammes entre les parcelles, ces dernières étaient espacées entre elles d'un minimum de 150 m et entourées d'un semis de seigle d'automne. La dimension d'une parcelle était de 9,12 m par 10 m. Il y avait 12 rangs par parcelle, totalisant environ 800 plants. Les poireaux étaient espacés entre eux de 15 cm sur le rang et les rangs étaient espacés entre eux de 76 cm (**Figure 17**).

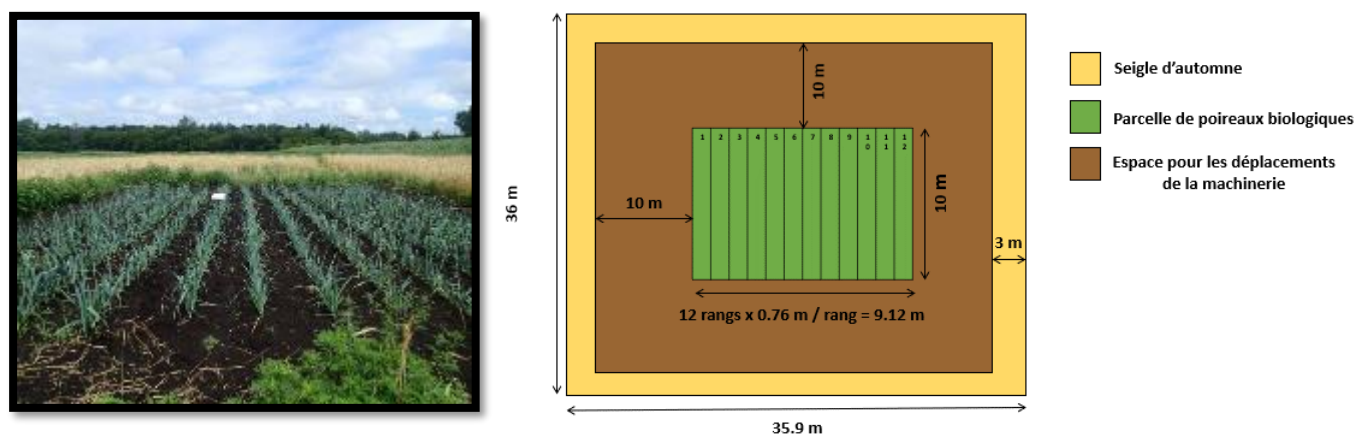


Figure 17. Dimension d'une parcelle de poireaux au champ.

4.2.3 Opérations culturales

Semis et transplantation

Un total de 20 160 semences non traitées et sans O.G.M. du cultivar « Lancelot » a été envoyés à une compagnie externe, Les serres Lefort, pour produire des transplants de poireaux biologiques en 70 plateaux de 288 multi-cellules. Les semis ont été effectués le 13 mars en 2017 et en 2018. Un surplus de transplants a été prévu afin de

pallier la mortalité précoce des transplants au champ. Les plantules ont besoin de 65 jours de croissance avant d'être transplantés. Ainsi, la transplantation s'est effectuée le 24 mai en 2017 et le 17-18 mai en 2018 (Figure 18).



Figure 18. Transplantation des poireaux.

Fertilisation

Le sol de chaque parcelle a été analysé au printemps 2016. Les résultats des analyses ont permis d'ajuster l'application des engrais. Les engrais biologiques (Acti-Sol, fumier de poulet) ont été épandus à la volée (**Figure 19**) au moment de la transplantation des poireaux et lors du premier buttage des poireaux (2017 : 10-11 juillet, 2018 : 27 juin).



Figure 19. Fertilisation des parcelles de poireaux.

Irrigation

À la suite de la transplantation, les parcelles étaient irriguées par aspersion (**Figure 20**) pour favoriser l'enracinement à la transplantation. En 2018, une irrigation supplémentaire a été nécessaire le 1^{er} juin et les 11-12-13 juillet, car en raison des canicules.



Figure 20. Irrigation des parcelles de poireaux.

Suivi des transplants

Les jeunes transplants morts ou affaiblis ont été remplacés manuellement par des nouveaux transplants. Les transplants de plus d'une semaine n'étaient pas remplacés puisque l'écart entre le développement des anciens et des nouveaux transplants aurait été trop grand. À partir d'une semaine après la transplantation, les plants manquants ont été comptabilisés dans toutes les parcelles.

Désherbage

La croissance des mauvaises herbes a été suivie au champ et des opérations de désherbage (**Tableau 1, Figure 21**) ont été effectuées lorsque nécessaire.

Tableau 1. Opérations de désherbage dans les parcelles de poireaux en 2017 et en 2018.

Opérations culturales	2017	2018
Désherbage manuel	<ol style="list-style-type: none"> 1. 9 juin 2. 26 juin 3. 7 juillet 4. 19 juillet 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 30 mai 2. 1 juin 3. 8 juin
Sarclage mécanique	<ol style="list-style-type: none"> 1. 3 juin 2. 22 juin 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 9 mai 2. 31 mai 3. 13 juin 4. 5 juillet 5. 14 septembre



Figure 21. Sarclage mécanique et désherbage manuel.

Buttage

Le buttage des poireaux (**Figure 22**) était effectué lorsque les fûts commençaient à devenir visibles. En 2017, il y a eu trois buttages (10-11 juillet, 31 juillet et 21 août). En 2018, il y a eu cinq buttages afin d'améliorer la qualité des fûts (27 juin, 9 juillet, 31 juillet, 13 août et 7 septembre).




Figure 22. Buttage des poireaux.

Récolte

Dans chacune des 16 parcelles, 10 stations ont été échantillonnées selon un plan d'échantillonnage systématique à pas alterné (**Figure 23**). Dans chacune des stations, cinq poireaux consécutifs ont été récoltés manuellement. Ainsi, un total de 50 poireaux a été récolté par parcelle. L'échantillonnage systématique assure la représentativité de l'échantillon avec une répartition uniforme et est simple à planifier et à exécuter. Le pas alterné permet d'éviter

un motif trop régulier. Les feuilles des plants ont été coupées à une hauteur de 20 pouces, comme les producteurs de poireaux au Québec ont l'habitude de faire. La récolte s'est effectuée entre le 16 et le 19 octobre en 2017 et entre les 25 et 26 septembre en 2018.

Récolter les 5 poireaux consécutifs en direction opposé à la pancarte



Pancarte parcelle	Rangs												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Nombre de mètres	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	2	X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	X
	3	X	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	X
	4	X	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	X
	5	X	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	X
	6	X	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	X
	7	X	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	X
	8	X	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	X
	9	X	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	X
	10	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Figure 23. Plan d'échantillonnage pour la récolte des poireaux en 2017.

N (échantillon) = 8 mètres x 10 rangs = 80. Les rangs 1 et 12 ainsi que le premier mètre et le dernier mètre ont été exclus pour éviter l'effet de bordure. n (nombre de stations à échantillonner) = 10. p (nombre de pas) = $N/n = 8$ (alterné : 7-8-9). Nombre aléatoire entre 1 et 80 = 52.

4.2.4 Suivi des populations de teigne du poireau

Des pièges à phéromone de type Delta I (**Figure 24**) ont été utilisés afin d'évaluer l'évolution des populations de teigne du poireau dans les parcelles témoins. Il y avait un piège par parcelle témoin, ce qui totalisait quatre pièges. Les mâles attirés par la phéromone sexuelle se collent sur les plaquettes engluées. Les plaquettes engluées étaient changées une fois par semaine et les capsules à phéromone étaient changées aux quatre semaines comme recommandé par le Réseau d'avertissements phytosanitaires « Oignon, ail et poireau ».



Figure 24. Piège à phéromone de type Delta I et plaquette engluée.

Les pièges ont été placés à la hauteur de la cime des poireaux, au centre de la parcelle. Les plaquettes engluées étaient enveloppées dans du film transparent et conservées au congélateur jusqu'à ce que le nombre d'individus soit compté. *A. assectella* a été identifié à l'aide d'une fiche d'identification (**Annexe A**) ou alors par observation des organes génitaux au binoculaire (**Figure 25**) (Landry, 2007). Les spécimens étaient envoyés au Laboratoire d'expertise et de diagnostic en phytoprotection (LEDP) du MAPAQ si ce n'était pas possible de le faire sur place. Les périodes de vol de la teigne du poireau ont été suivies du 9 mai au 25 septembre en 2017 et du 15 mai au 16 septembre en 2018.



Figure 25. Organes génitaux de la teigne du poireau (S. Chaussé).

4.2.5 Lâchers de trichogrammes

Les trichogrammes commerciaux ont été reçus au stade nymphal dans des œufs d'*E. kuehniella*. La moitié des trichogrammes avaient $90-96 \pm 3$ degrés-jours alors que l'autre moitié avaient $120-128 \pm 3$ degrés-jours. La formule permettant de calculer la contribution d'une journée en degrés-jours de développement, avec une température de base de 10°C pour les trichogrammes, est la suivante :

Équation 2. Calcul des degrés-jours.

$$\text{Degrés-Jours} = (\text{Température maximale} + \text{Température minimale}) / 2 - \text{Température de base}$$

Les œufs ont été collés avec de la colle blanche sur des languettes de papier ciré, appelées trichocartes (**Figure 26**), qui assuraient une protection contre les précipitations et les prédateurs. La moitié des œufs sur une trichocarte était de la première cohorte et l'autre moitié était de la deuxième cohorte. Le poids n'étant pas un bon indicateur du nombre de trichogrammes, car il change en fonction du stade nymphal, une aire de 2,9 cm de diamètre a servi de référence pour étaler la quantité désirée de trichogrammes. En supposant un taux de parasitisme standard de 75 %, 3 640 trichogrammes (400 000 individus/ha) ont été relâchés par trichocarte. La trichocarte a été installée sur le 6^{ème} rang à 5 mètres de distance du début du rang à partir de la pancarte d'identification de la parcelle. Les trichocartes ont été récoltées et remplacées au bout de sept jours en 2017 et au bout de 10 jours en 2018. Cette modification avait pour but d'augmenter le taux d'émergence des trichogrammes au champ.



Figure 26. Trichocarte.

En 2017, le premier pic de capture étant très faible, les lâchers de trichogrammes n'ont débuté qu'à partir du deuxième pic de capture (27 juin) et se sont terminés le 25 septembre lorsqu'il n'y avait plus de capture de teigne du poireau dans les pièges (12 lâchers au total). En 2018, les lâchers de trichogrammes ont débuté lorsque les poireaux ont été transplantés, soit juste après le premier pic de capture très élevé (23 mai) et se sont terminés à la récolte le 26 septembre (17 lâchers au total).

4.2.6 Évaluer le potentiel des espèces de trichogramme au champ

L'efficacité des lâchers de trichogrammes au champ a été évaluée en mesurant la dose réelle de trichogrammes relâchés, la dispersion des trichogrammes, le taux de parasitisme des œufs, la densité des larves et des nymphes du ravageur, les dommages sur la culture et le rendement des parcelles traitées et non traitées.

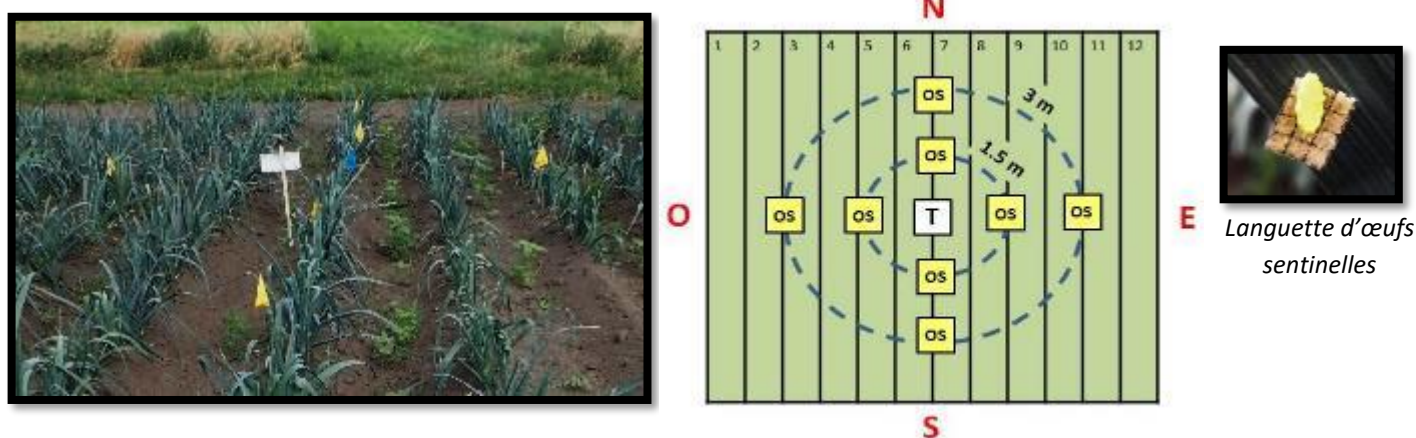
a) Évaluer la dose réelle de trichogrammes relâchés

L'évaluation de la dose réelle de trichogrammes relâchés à l'aide des trichocartes a été effectuée en laboratoire et au champ pendant toute la période des lâchers. Au champ, les trichocartes ont été récoltées au bout de sept jours en 2017 et au bout de 10 jours. Elles ont ensuite été placées au congélateur jusqu'au comptage du nombre d'œufs stériles, parasités émergés et parasités non-émergés sur 250 œufs évalués à la loupe binoculaire. En laboratoire, trois trichocartes par traitement (*T. ostriniae*, *T. brassicae*, et un mélange de *T. brassicae* et *T. ostriniae*) ont été placées en chambre de croissance (photopériode de 16L : 8D, température de 25°C, humidité relative de 70 %). Les trichocartes étaient incubées pendant sept jours en 2017 et pendant 10 jours en 2018. Ensuite, les paramètres suivants ont été mesurés pour évaluer la qualité :

- Sur 100 trichogrammes émergés : rapport des sexes et nombre de parasitoïdes brachyptères.
- Sur 100 œufs d'*E. kuehniella* : nombre d'œufs parasités émergés, non d'œufs parasités non émergés et nombre d'œufs stériles.

b) Évaluation de la dispersion et du taux de parasitisme des trichogrammes

Des œufs sentinelles d'*Ephestia kuehniella* Zeller ont été installés au champ trois fois pendant la saison (2017 : 5 au 7 juillet, 26 au 28 juillet, 6 au 8 septembre, 2018 : 30 mai au 1^{er} juin, 18 au 20 juillet, 1 au 3 août). Une languette cirée a été épinglée 24 heures après le lâcher de trichogrammes sur la face inférieure de la feuille d'un plant de poireau (Figure 27).



Drapeaux jaunes indiquant l'emplacement des œufs sentinelles

OS : Œufs sentinelle ; T : Trichocarte

Figure 27. Dispositif des œufs sentinelles dans les parcelles de poireaux au champ.

La languette a été récoltée après 24 heures d'exposition. Une deuxième languette a été installée 48 heures après le lâcher de trichogrammes et récoltée après 24 heures d'exposition. Les œufs sentinelles ont été distribués de la manière suivante : quatre languettes à 1,5 mètres du centre de la parcelle (trichocarte), quatre languettes à 3 mètres du centre de la parcelle. Les languettes ont été placées en chambre de croissance (photopériode : 16L : 8O, température de 23°C, humidité relative de 65 %) pendant 15 jours afin de permettre aux trichogrammes d'émerger. Une fois tous les trichogrammes émergés, les parasitoïdes ont été tués au congélateur, puis placés dans un tube rempli d'éthanol 70 % jusqu'à l'évaluation du nombre de parasitoïdes émergés, du rapport des sexes et de la présence de brachyptérisme. Les œufs sentinelles ont été observés à la loupe binoculaire. Le pourcentage d'œufs restants a été évalué à l'aide d'un gabarit de référence (Figure 28).

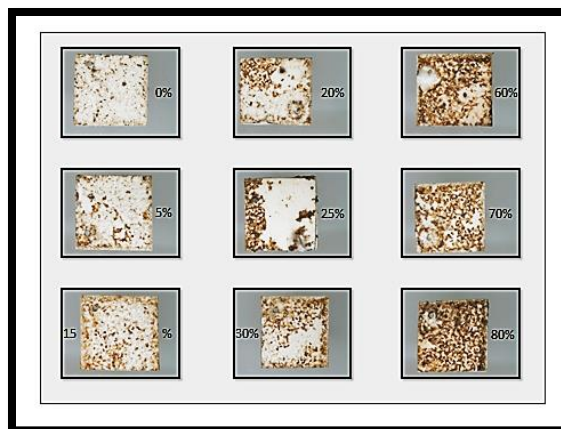


Figure 28. Gabarit de référence pour déterminer le pourcentage d'œufs sentinelles restants sur les languettes récoltées.

Ensuite, le nombre d'œufs parasités désoperculés, parasités non-désoperculés et stériles a été comptabilisés.

c) Évaluation des dommages et dépistage durant la saison

Les feuilles et le fût des plants de poireaux ont été observés pendant toute la période des lâchers de trichogramme afin de détecter la présence de dommages dus aux larves de la teigne du poireau. Les dommages ont été classés selon deux catégories : les nouveaux et les vieux. Les nouveaux dommages étaient caractérisés par des brisures vertes laissées par la larve près de la partie endommagée de la feuille ou du fût. Les vieux dommages étaient caractérisés par un assèchement de la partie endommagée (**Figure 29**).



Figure 29. Nouveaux dommages et vieux dommages sur les feuilles de poireau.

Avant chaque lâcher de trichogrammes, cinq stations de cinq plants de poireaux consécutifs ont été dépistées dans chacune des parcelles. Ainsi, un total de 25 plants étaient dépistés par parcelle par répétition. Les stations étaient réparties selon un plan d'échantillonnage en flèche qui permettait un échantillon représentatif avec une répartition uniforme (**Figure 30**).

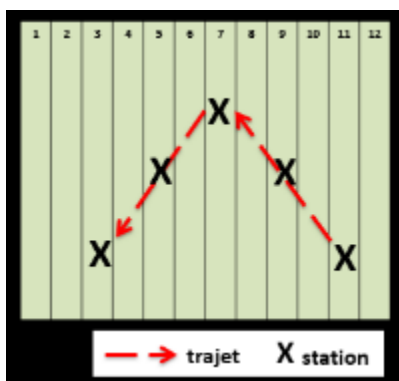


Figure 30. Plan d'échantillonnage pour les cinq stations dans les parcelles de poireaux au champ.

Pour chaque plant dépisté, la présence et le type de dommage ainsi que le nombre de larves et de nymphes de la teigne du poireau observées ont été notés. Les larves et les nymphes d'*A. assectella* ont été identifiées à l'aide d'une fiche d'identification (**Annexe A**). Les spécimens ont été envoyés au LEDP du MAPAQ s'il était impossible de le faire sur place.

d) Échantillonnage destructif après les pics de captures de la teigne du poireau

Un échantillonnage destructif a été effectué deux semaines après le deuxième et le troisième pic de captures de teigne du poireau (2017 : 17-18 juillet et 28-29 août ; 2018 : 25-26 juillet et 5-6 septembre). Après chaque pic de capture, cinq stations de trois plants de poireaux consécutifs ont été récoltées dans chacune des parcelles. Ainsi, un total de 15 plants a été récolté par parcelle par répétition. Les stations étaient réparties selon un plan d'échantillonnage en flèche (**Figure 27**, ci-dessus). Pour chaque plant récolté, la présence et le type de dommage ont été notés. De plus, les plants ont été disséqués afin de comptabiliser plus précisément le nombre de larves et de nymphes de la teigne du poireau.

e) Évaluation du rendement, des dommages et dépistage à la récolte

À la suite de la récolte, les poireaux ont été pesés avant et après parage. Le parage consiste au retrait des feuilles endommagées par la teigne du poireau ou par la machinerie agricole. Le nombre de larves et de nymphes a été comptabilisé sans disséquer les feuilles ou le fût. La longueur et le diamètre du fût ont été mesurés après le parage.

4.3 Résultats

4.3.1 Suivi des populations de teigne du poireau

Aucune différence quant à la quantité de teignes du poireau capturées entre 2017 et 2018 (Kruskal-Wallis, $\chi^2=1,9222$, $df=1$, $P=0,1656$) (**Figure 31**) n'a été observé au cours de cette expérimentation. Cependant, on constate que les patrons de captures ont été différents d'une année à l'autre. En 2017, les pics de captures ont augmenté au cours de la saison alors qu'en 2018, le pic de capture au début de la saison a été le plus élevé. Cela pourrait s'expliquer par la colonisation des populations de teigne sur le site en 2017, car c'était la première année que des

poireaux y étaient cultivés. Plusieurs teignes du poireau ont probablement hiverné de sorte qu'en 2018, le premier pic était très élevé.

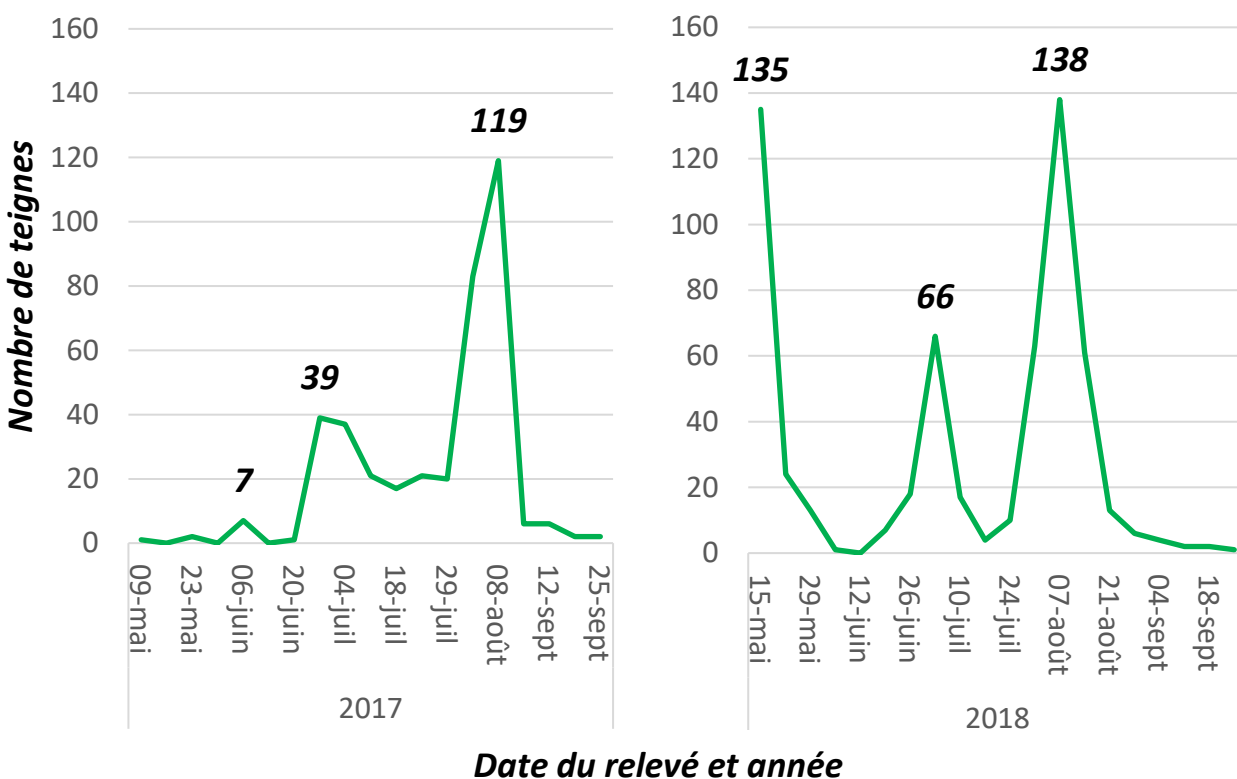


Figure 31. Nombre de teignes du poireau capturées dans les pièges à phéromone sexuelle en fonction de la date du relevé de piège en 2017 et 2018. Les 3 pics de captures sont indiqués pour chacune des années.

4.3.2 Évaluer le potentiel des espèces de trichogramme au champ

a) Évaluer la dose réelle de trichogrammes relâchés

Il y a eu en moyenne un pourcentage d'œufs désoperculés plus élevé sur les trichocartes récupérées au champ après 10 jours en 2018 ($64,9 \pm 1,1\%$) que les trichocartes récupérées après 7 jours en 2017 ($52,4 \pm 1,2\%$) (Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 61,491$, $df = 1$, $P < 0,00001$) (**Figure 32**). En 2018, les températures étaient très élevées, ce qui pourrait aussi expliquer cette différence.

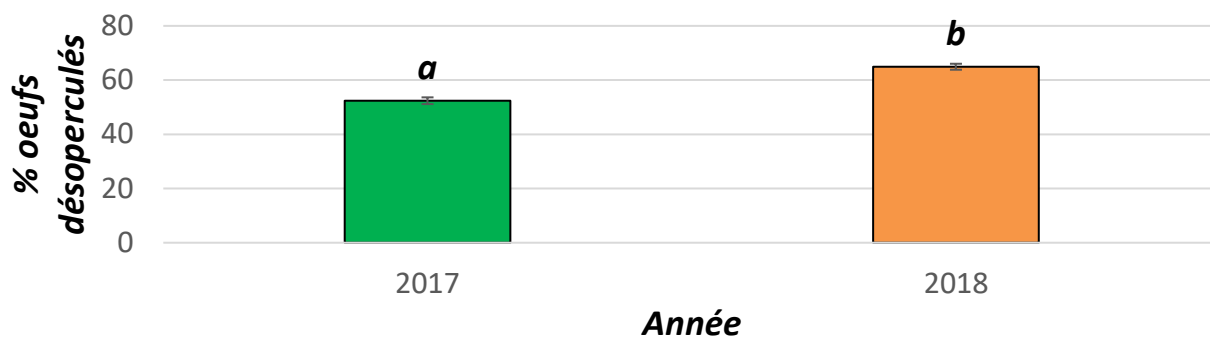


Figure 32. Pourcentage moyen d'œufs désoperculés sur les trichocarts récupérés au champ en 2017 et 2018 avec erreurs types.

Les résultats indiquent également une différence quant au pourcentage d'œufs parasités sur les trichocarts en fonction des espèces de trichogramme utilisées (Kruskal-Wallis, $\chi^2=24,914$, $dl=2$, $P<0,00001$) (**Figure 33**). Il y a eu un moins grand pourcentage d'œufs parasités sur les trichocarts de l'espèce *T. ostriniae* ($75,3 \pm 0,6$ %) que les trichocarts avec l'espèce *T. brassicae* ($80,2 \pm 0,8$ %) (Test de U, $P_{(\text{Bonferroni})}<0,00001$) et les trichocarts avec les deux espèces ($78,6 \pm 0,6$ %) (Test de U, $P_{(\text{Bonferroni})}<0,001$). Les taux moyens sont toutefois tous au-dessus du taux standard fixé à 75 %.

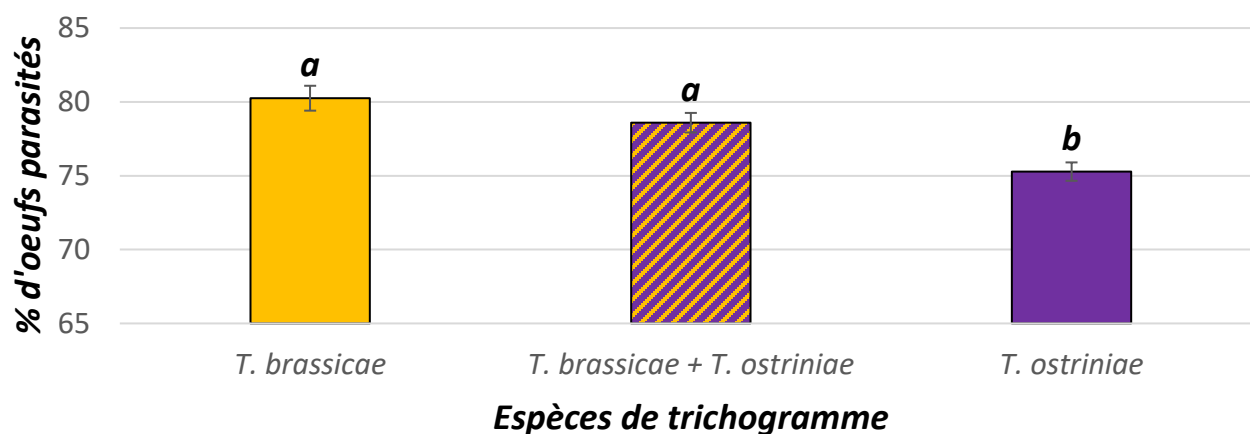


Figure 33. Pourcentage moyen d'œufs parasités et désoperculés sur les trichocarts en fonction des espèces de trichogramme utilisées en 2017 et 2018 avec erreurs types.

En 2018, le suivi du taux d'émergence des trichogrammes pendant trois jours en chambre de croissance montre qu'il n'y a pas de différence entre *T. ostriniae* et *T. brassicae* au niveau du pourcentage moyen d'émergence (Kruskal-Wallis, $\chi^2=0,070436$, $dl=1$, $P=0,7907$). Une régression linéaire nous permet d'estimer qu'au bout d'environ sept jours, les œufs devraient tous être désoperculés (**Figure 34**).

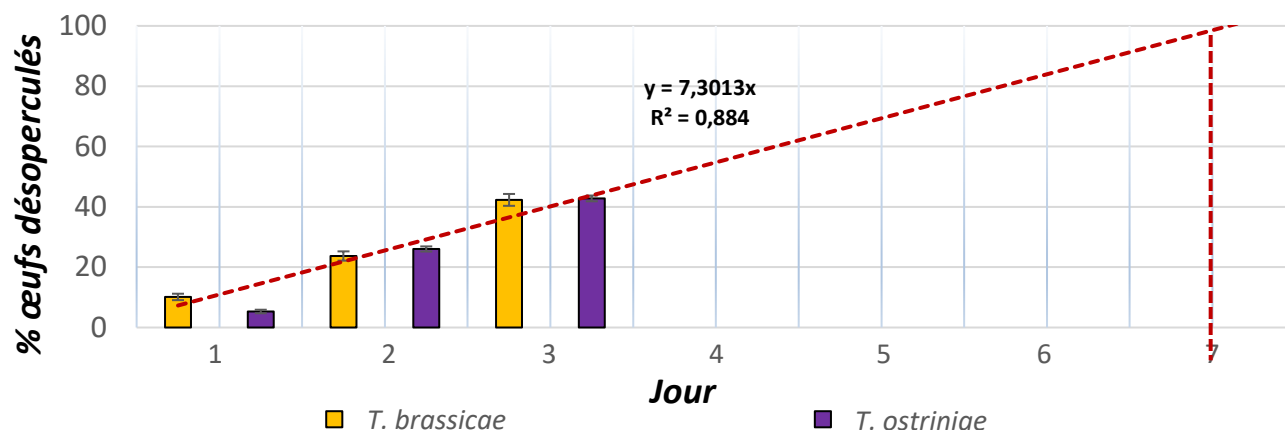


Figure 34. Pourcentage moyen d'œufs désoperculés en fonction du temps en jour en chambre de croissance en 2018 avec erreurs types.

b) Évaluation de la dispersion des trichogrammes

Il y avait plus de languettes d'œufs sentinelles parasitées par les trichogrammes dans les parcelles traitées avec *T. brassicae* ($7,0 \pm 0,3$ %) que dans les parcelles traitées avec *T. ostriniae* ($3,4 \pm 0,1$ %) (Régression linéaire, $P < 0,05$) et les parcelles témoins ($3,1 \pm 0,1$ %) (Régression linéaire, $P < 0,05$) (**Figure 35**). Le pourcentage de languettes parasitées a toutefois été très faible pour tous les traitements. De plus, il y a eu des languettes parasitées dans les parcelles témoins.

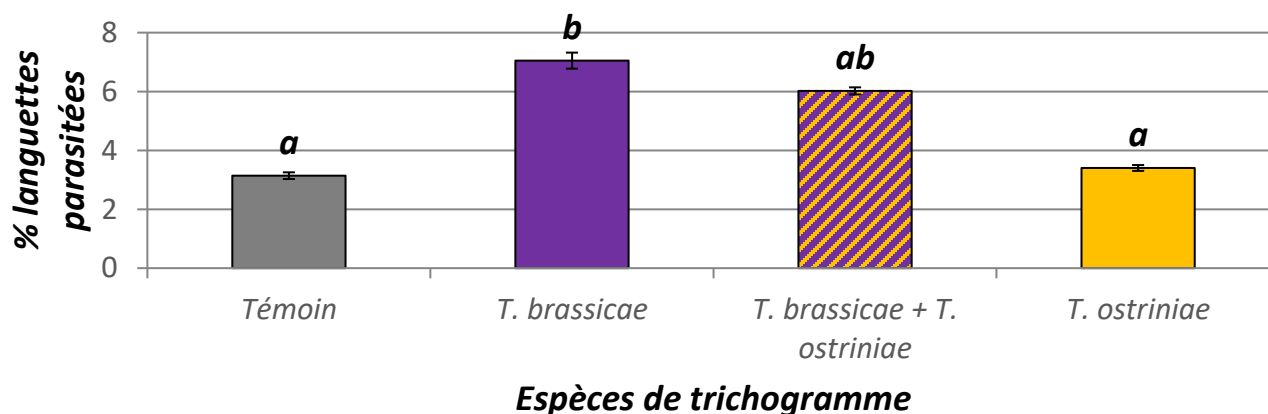


Figure 35. Pourcentage de languettes d'œufs sentinelles parasités en fonction des espèces de trichogramme utilisées en 2017 et 2018 avec erreurs types.

Il y avait plus de languettes d'œufs sentinelles parasitées à 1,5 m ($6,2 \pm 0,1$ %) qu'à 3 m ($3,7 \pm 0,1$ %) de distance du point de lâcher des trichogrammes (Régression linéaire, $P < 0,05$) (**Figure 36**). Ces résultats montrent que le taux de parasitisme des œufs par les trichogrammes chute rapidement dans une parcelle de poireau.

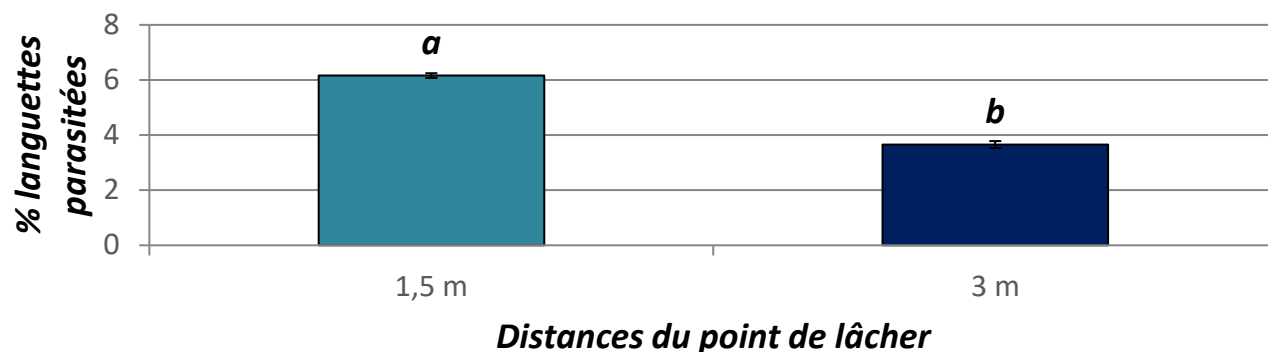


Figure 36. Pourcentage de languettes d'œufs sentinelles parasitées par les trichogrammes en fonction de la distance au point de lâcher en 2017 et 2018.

c) Évaluation des dommages et dépistage durant la saison

En 2018, la présence de nymphes a été moindre dans les parcelles traitées avec *T. brassicae* ($2,6 \pm 0,1$ %) (Régression linéaire, $P < 0,05$), *T. ostriniae* ($2,7 \pm 0,0$ %) (Régression linéaire, $P < 0,05$) et un mélange de *T. ostriniae* et *T. brassicae* ($1,9 \pm 0,1$ %) (Régression linéaire, $P < 0,001$) que dans les parcelles témoins ($4,1 \pm 0,0$ %) (Figure 37). Cependant, la différence de pourcentage est faible entre les traitements.

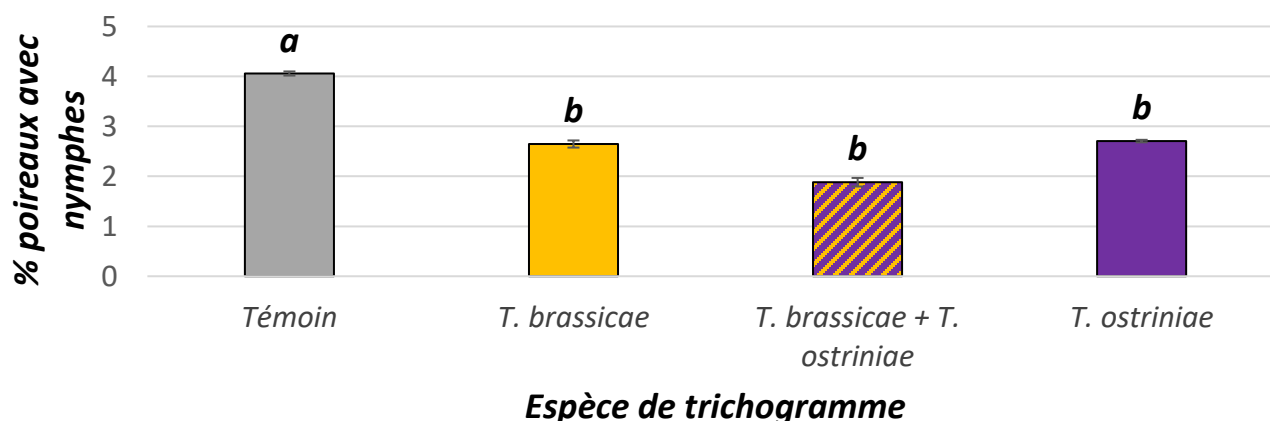


Figure 37. Pourcentage de poireaux avec présence de nymphes en fonction des espèces de trichogramme utilisées pour l'année 2018.

En 2017, la présence de larves et de nymphes sur les poireaux dépistés a été plus importante qu'en 2018 (Régression linéaire, $P < 0,00001$) (Figure 38). Cela semble corrélé positivement avec le taux d'émergence plus élevé des trichogrammes sur les trichocartes en 2018 ($64,9 \pm 1,1$ %) qu'en 2017 ($52,4 \pm 1,2$ %) (Figure 38, ci-dessus).

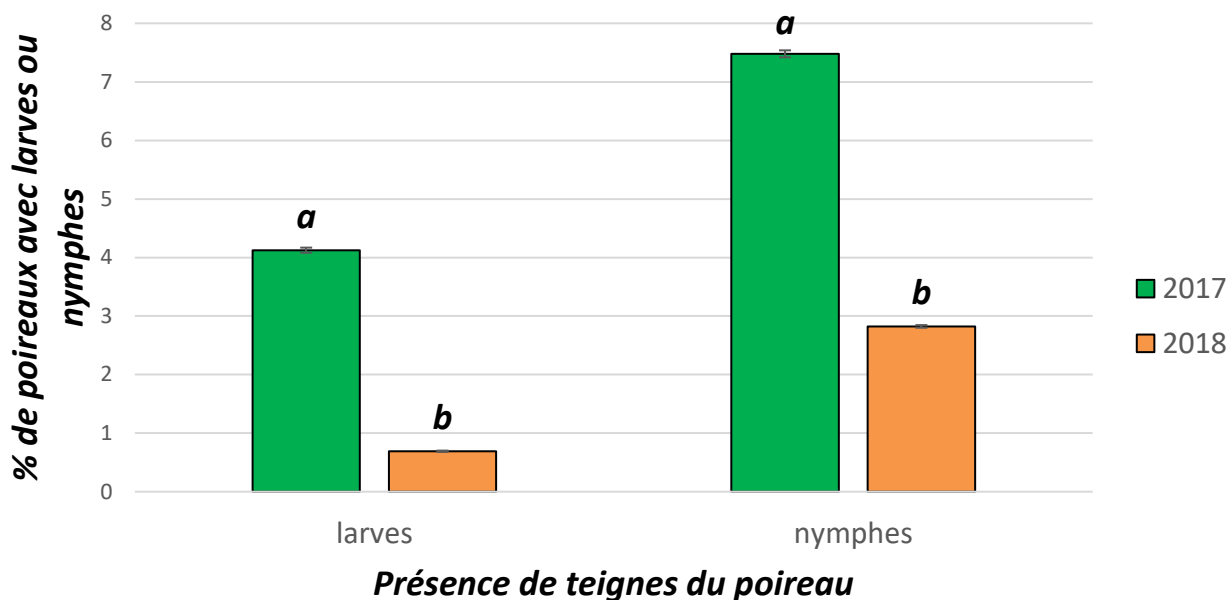


Figure 38. Pourcentage de poireaux avec présence de larves ou de nymphes en fonction de l'année avec erreurs types.

En 2017 et 2018, il y a eu moins de poireaux avec présence de vieux dommages dans les parcelles traitées avec *T. brassicae* ($37,3 \pm 0,3$ %) que les parcelles témoins ($41,8 \pm 0,2$ %) (Régression linéaire, $P < 0,001$) et les parcelles traitées avec *T. brassicae* et *T. ostriniae* ($41,7 \pm 0,3$ %) (Régression linéaire, $P < 0,01$) (Figure 39). Également, pour les deux années, il y avait moins de vieux dommages dans les parcelles traitées avec *T. ostriniae* ($39,9 \pm 0,3$ %) que les parcelles témoins (Régression linéaire, $P < 0,05$).

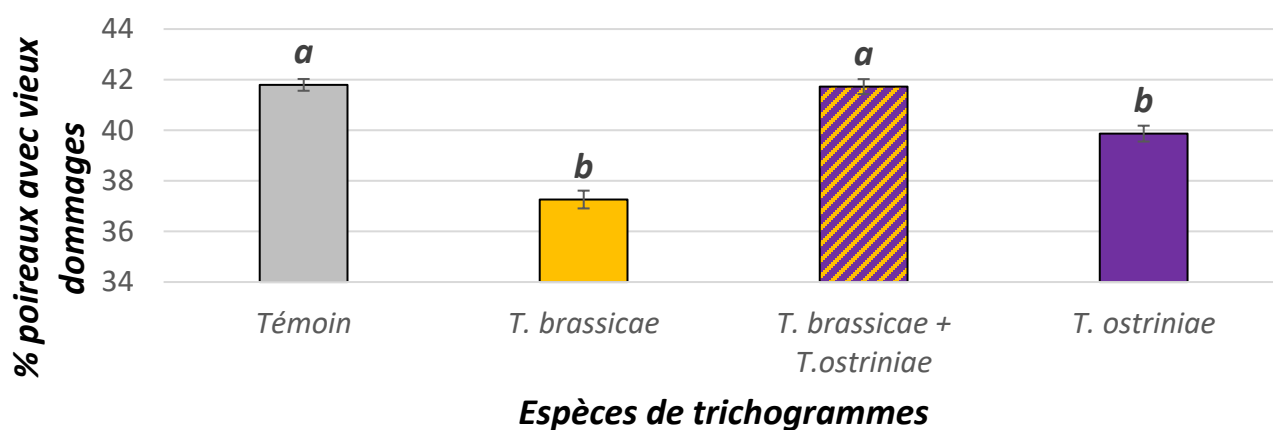


Figure 39. Pourcentage de poireaux avec présence de vieux dommages en fonction des espèces de trichogramme utilisées en 2017 et 2018 avec erreurs types.

En 2017, il y avait plus de présence de nouveaux dommages sur les poireaux ($52,1 \pm 0,1$ %) qu'en 2018 ($28,2 \pm 0,1$ %) (Régression linéaire, $P < 0,00001$) (Figure 40).

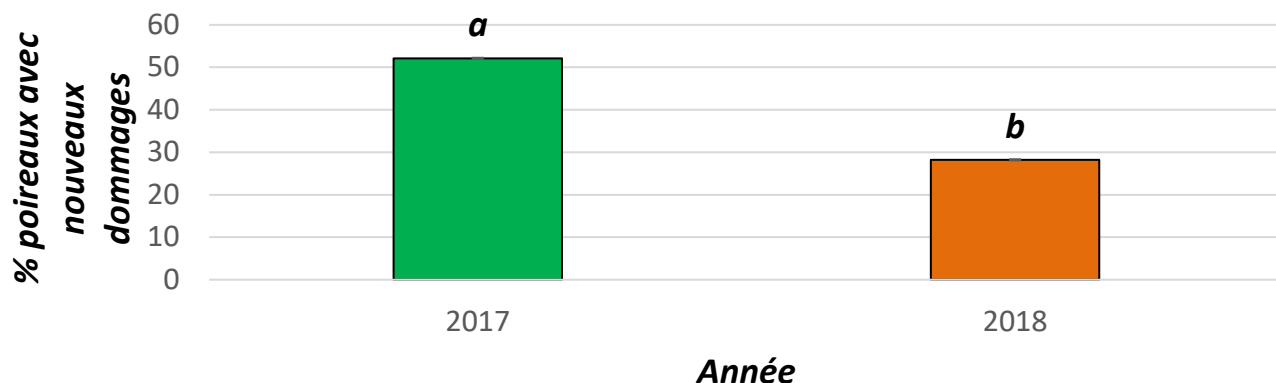


Figure 40. Pourcentage de poireaux avec nouveaux dommages en fonction de l'année avec erreurs types.

d) Échantillonnage destructif après les pics de captures de la teigne du poireau

Il y avait moins de vieux dommages dans les parcelles traitées avec *T. brassicae* ($61,0 \pm 1,2$ %) que dans les parcelles témoins ($71,3 \pm 0,8$ %) (Régression linéaire, $P < 0,01$) et les parcelles traitées avec *T. brassicae* et *T. ostriniae* ($75,4 \pm 0,6$ %) (Régression linéaire, $P < 0,001$) (Figure 41). Il y avait également moins de vieux dommages dans les parcelles traitées avec *T. ostriniae* ($67,1 \pm 0,5$ %) que les parcelles traitées avec les deux espèces (Régression linéaire, $P < 0,05$).

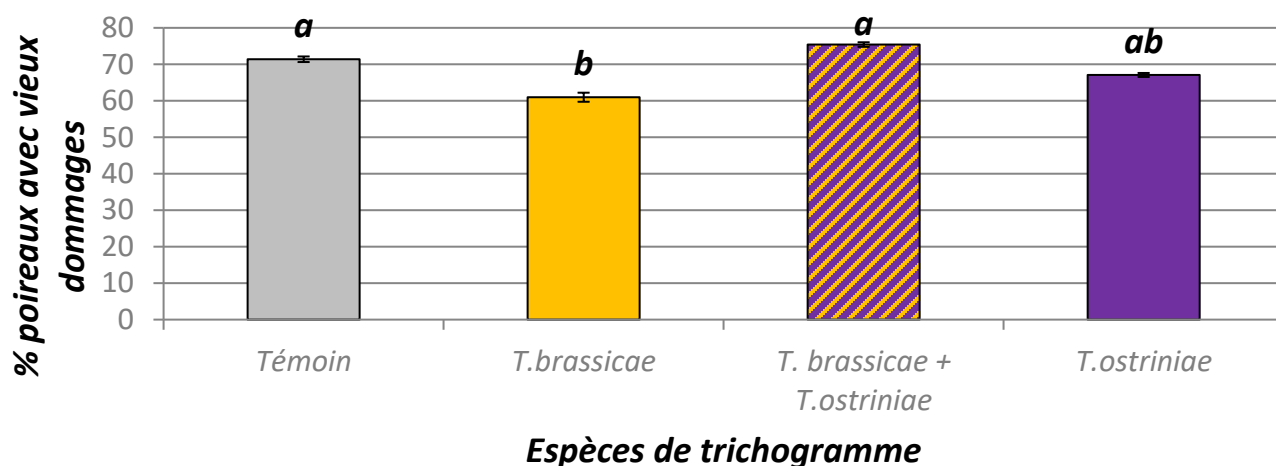


Figure 41. Pourcentage de poireaux avec présence de vieux dommages en fonction des espèces de trichogramme utilisées 2017 et 2018 avec erreurs types.

Il y avait moins de poireaux avec présence de nouveaux dommages dans les parcelles traitées avec *T. brassicae* ($39,7 \pm 1,4$ %) que dans les parcelles témoins ($50,0 \pm 1,1$ %) (Régression linéaire, $P < 0,01$) (Figure 42).

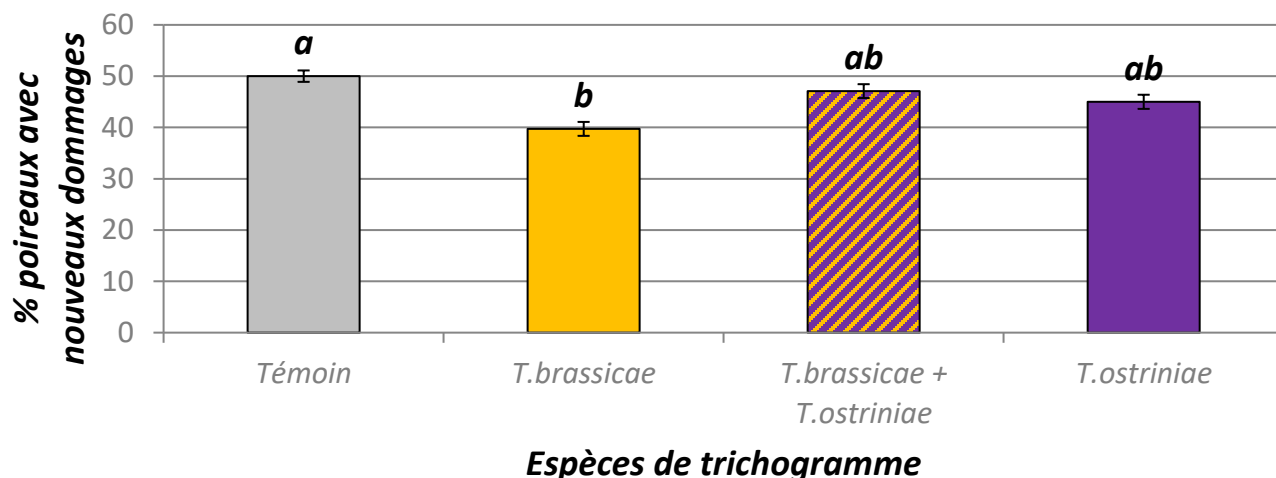


Figure 42. Pourcentage de poireaux avec présence de nouveaux dommages en fonction des espèces de trichogramme utilisées en 2017 et 2018.

Comme pour les données de dépistage, il y a eu deux fois plus de poireaux avec présence de nouveaux dommages en 2017 ($60.2 \pm 0,8$ %) qu'en 2018 ($30.7 \pm 0,6$ %) (Régression linéaire, $P < 0,00001$) (Figure 43), ce qui correspond avec le taux d'émergence plus élevé de trichogrammes en 2018 (Figure 32, ci-dessus).

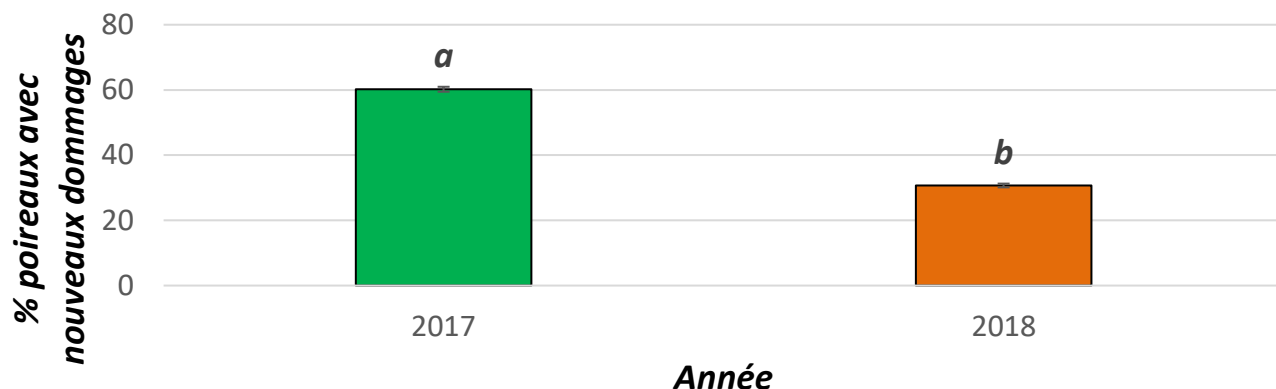


Figure 43. Pourcentage de poireaux avec présence de nouveaux dommages en fonction de l'année avec erreurs types.

e) Évaluation des dommages et dépistage à la récolte

Il y avait moins de poireaux avec présence de dommages sur les feuilles dans les parcelles traitées avec *T. brassicae* (88.7 ± 0.9 %) que dans les parcelles témoins ($93,7 \pm 0,4$ %) (Régression linéaire, $P < 0,05$) et les parcelles traitées avec *T. ostrinae* ($95,2 \pm 0,2$ %) (Régression linéaire, $P < 0,001$) (Figure 44). De plus, il y avait moins de dommages dans les parcelles traitées avec les deux espèces ($89,5 \pm 0,4$ %) que dans les parcelles témoins (Régression linéaire, $P < 0,05$) et les parcelles traitées avec *T. ostrinae* (Régression linéaire, $P < 0,01$). Le pourcentage de poireaux avec des feuilles endommagées par la teigne du poireau demeure très élevée pour tous les traitements.

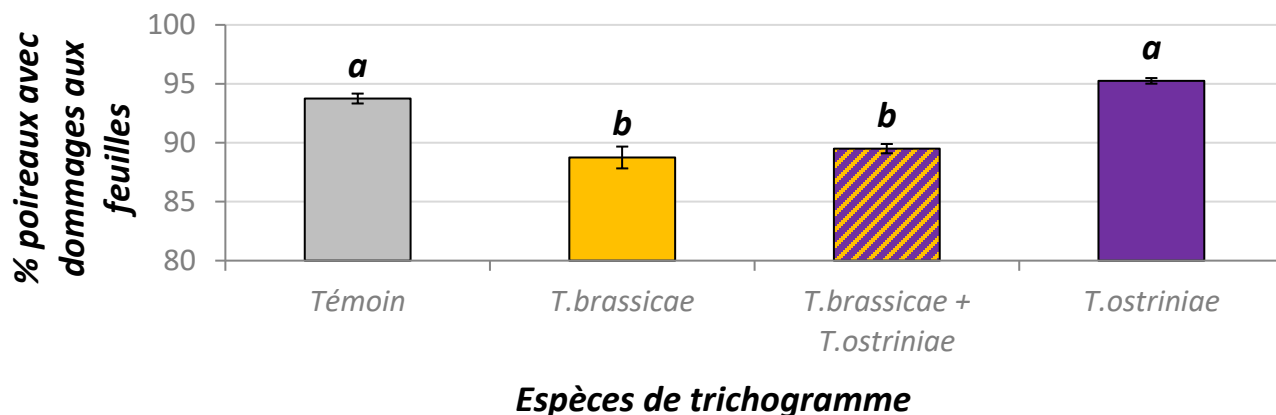


Figure 44. Pourcentage de poireaux avec présence de dommages sur les feuilles par la teigne du poireau en fonction des espèces de trichogramme utilisées en 2017 et 2018 avec erreurs types.

Il y avait moins de poireaux avec présence de dommages au fût dans les parcelles traitées avec *T. brassicæ* ($64,2 \pm 1,1$ %) que dans les parcelles témoins ($73,5 \pm 0,9$ %) (Régression linéaire, $P < 0,01$) et les parcelles traitées avec *T. ostriniæ* ($74,2 \pm 0,8$ %) (Régression linéaire, $P < 0,001$) (Figure 45).

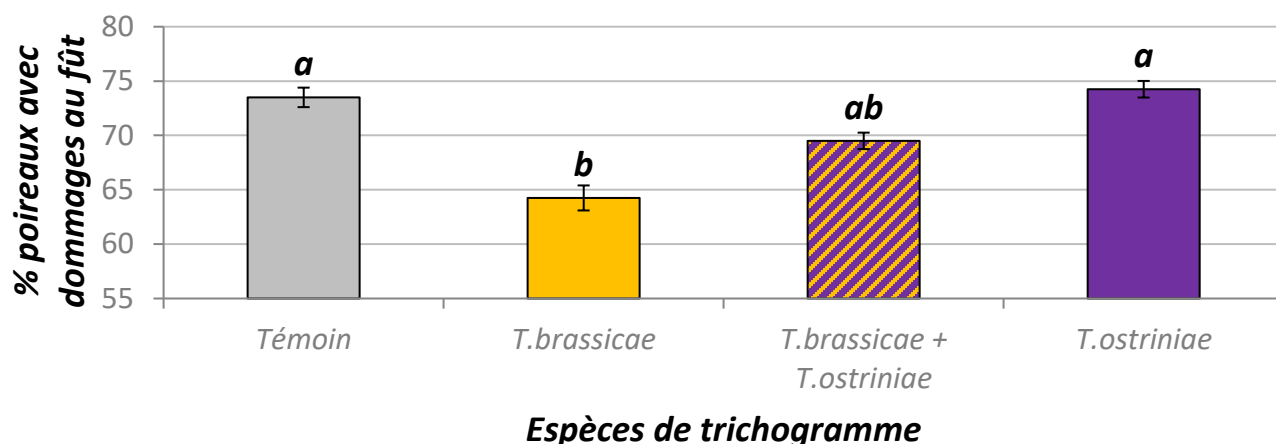


Figure 45. Pourcentage de poireaux avec présence de dommage de la teigne du poireau dans le fût en fonction des espèces de trichogramme utilisées en 2017 et 2018 avec erreurs types.

Il y a eu une différence entre les traitements quant au nombre de feuilles parées (Kruskal-Wallis, $\chi^2=33,017$, $df=3$, $P < 0,00001$). Il y a eu moins de feuilles à parer pour les poireaux des parcelles traitées avec *T. brassicæ* ($5,2 \pm 0,1$ feuilles) que les parcelles témoins ($6,7 \pm 0,1$ feuilles) ($P_{\text{Bonferroni}} < 0,0001$), les parcelles traitées avec *T. ostriniæ* ($6,4 \pm 0,1$ feuilles) ($P_{\text{Bonferroni}} < 0,0001$) et les parcelles traitées avec les deux espèces ($5,8 \pm 0,1$ feuilles) ($P_{\text{Bonferroni}} < 0,01$) (Figure 46). Note : Le nombre de feuilles parées a été comptabilisé seulement en 2018.

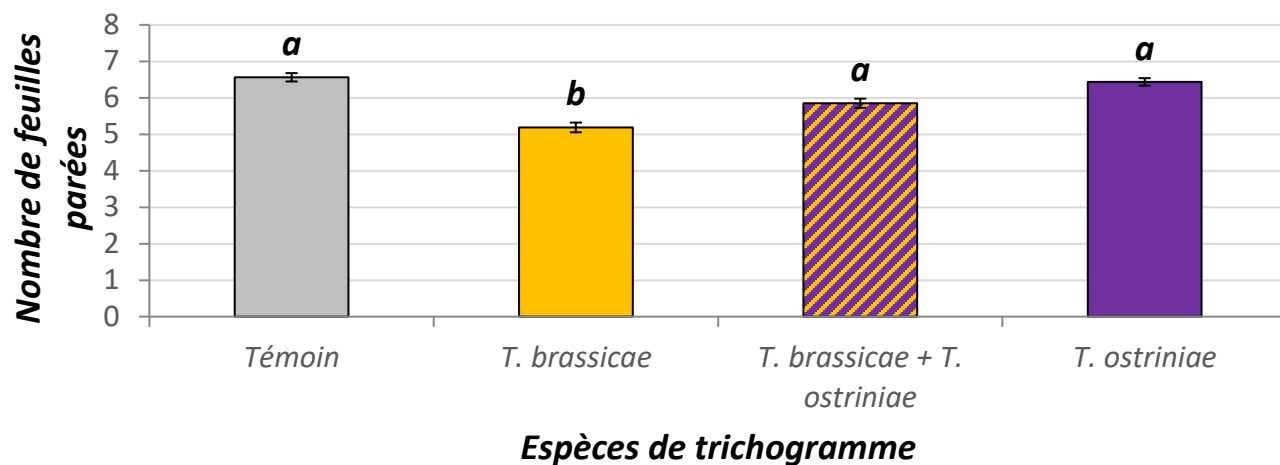


Figure 46. Nombre de feuilles parées à la récolte en fonction des espèces de trichogramme utilisées en 2018 avec erreurs types.

En 2017, il y a eu plus de dommages aux feuilles (Régression linéaire, $P < 0,00001$) et au fût (Régression linéaire, $P < 0,001$) qu'en 2018, ce qui correspond avec le taux d'émergence plus élevé de trichogrammes en 2018.

5 VOLET 4 – ANALYSE ÉCONOMIQUE

Le contrôle de la teigne du poireau en production biologique se fait présentement surtout grâce à des biopesticides. Aussi, les biopesticides ne peuvent être utilisés qu'un maximum de trois fois dans la saison. Le filet protecteur a quant à lui des coûts d'acquisition et d'utilisation élevés (main d'œuvre pour installations et retraits), en plus de rendre difficile le contrôle des mauvaises herbes et de pouvoir contribuer à l'apparition de maladies (Guimont, 2019). Le projet avait pour objectif d'évaluer le potentiel de deux espèces de trichogrammes pour parasiter les œufs de la teigne du poireau. Le coût des trichogrammes est le même indépendamment de l'espèce. Par conséquent, l'option la plus rentable serait essentiellement celle qui donne le meilleur résultat agronomique. L'analyse économique ne s'attarde donc pas à évaluer le traitement le plus rentable entre les espèces, mais elle consiste plutôt à comparer le potentiel de rentabilité de l'utilisation des trichogrammes à celui des biopesticides homologués.

5.1 Méthodologie

Dans le cadre du projet, 12 lâchers de trichogrammes ont été faits à l'année 1 et 17 lâchers à l'année 2. S'il est possible de maîtriser la lutte biologique contre la teigne du poireau, il est envisageable de faire trois à cinq lâchers de trichogrammes. Pour ce faire, les coûts de l'utilisation des trichogrammes ont été évalués pour 3 à 17 lâchers avec les informations suivantes :

- Un taux d'application de 100 trichocartes par hectare. Le coût d'achat unitaire des trichocartes est de 2,10\$ (pour une commande de 200 à 5000 trichocartes);
- Pour poser les trichocartes, il faut environ 1 heure/ha à un coût de 15 \$/heure (Forest Lavoie Conseil, 2017);
- Les bâtonnets sont nécessaires à chaque introduction des trichogrammes. Leur coût est à 0,07 \$ par unité et il en faut 100 par hectare;
- Les frais de transport par envoi varient entre 15 \$ et 25 \$. La valeur médiane de 20 \$/envoi est utilisée. Étant donné que la superficie cultivée en poireau biologique ne dépasse pas 0,2 ha (Leblanc, 2019), nous appliquons le coût de transport intégralement à une superficie d'un hectare.

Les deux biopesticides retenus pour l'analyse économique sont : le Bioprotect CAF® et l'Entrust®. Soulignons qu'il y a également le Xentari®, un biopesticide récemment homologué pour la teigne de poireau, mais pour lequel nous ne disposons pas de prix. Par conséquent, il n'est pas inclus dans l'analyse économique. Pour chacun des deux biopesticides retenus, le nombre d'applications par saison retenu est de trois. La dose par traitement quant à elle varie selon le biopesticide :

- Stratégie 1 : trois traitements au Bioprotect CAF® avec une dose par traitement comprise entre 1,4 litre et 2,8 litres par hectare;
- Stratégie 2 : trois traitements à l'Entrust® avec une dose par traitement comprise entre 437 ml et 527 ml par hectare.

Chaque traitement implique un coût d'achat du biopesticide et un tarif d'application de 10 \$ à l'hectare (CRAAQ, 2018a, 2018b). Le prix d'achat des biopesticides a été obtenu des Références économiques du CRAAQ.

Étant donné que chaque option de lutte n'offre pas le même niveau de protection de rendement, pour évaluer la rentabilité des options, le coût de chaque option de lutte est discuté en regard du taux protection moyen qu'elle offre.

Le taux de protection des trichogrammes a été déduit en utilisant le rendement avant et après le parage des poireaux traités avec le *T. brassicae* (Les résultats agronomiques ont montré que cette espèce parasite plus d'œufs de la teigne du poireau grâce à une meilleure capacité de dispersion en culture de poireaux). Le taux de protection du biopesticide Entrust® a été obtenu dans le rapport de Lafontaine et al. (2012). Puisque le taux de protection du biopesticide ne provient pas du projet et que le niveau d'infestation peut varier d'un projet à un autre, nous utilisons juste la donnée pour avoir un ordre de grandeur. Nous n'avons pas trouvé de référence pour le Bioprotect CAF®.

5.2 Résultats

L'utilisation des trichogrammes pour la lutte contre la teigne du poireau génère un coût brut compris entre 756 \$ et 4 284 \$ par saison pour un hectare (Tableau 2). Un coût net est aussi calculé dans l'éventualité où la pratique serait incluse à l'aide financière du programme Prime-Vert 2018-2023, offrant ainsi une aide de 90 % des dépenses pour les entreprises biologiques (MAPAQ, 2018). Dans la mesure où l'utilisation des trichogrammes contre la teigne du poireau serait admissible à ce programme, le coût net de cette pratique pour le producteur serait compris entre 76 \$ et 428 \$/ha (Tableau 2).

Tableau 2. Coûts de l'utilisation des trichogrammes et biopesticides.

Option		Coût (\$/ha)	Subvention	Coût net (\$/ha)	
Biopesticides	Bioprotec®	Dose minimale	62,72 \$	Ne s'applique pas	62,72 \$
		Dose maximale	94,94 \$		94,94 \$
	Entrust®	Dose minimale	261,68 \$		261,68 \$
		Dose maximale	309,29 \$		309,29 \$
Trichogrammes	3 lâchers		756 \$	90 %	75,60 \$
	5 lâchers		1 260 \$		126,00 \$
	12 lâchers		3 024 \$		302,40 \$
	17 lâchers		4 284 \$		428,40 \$

Les résultats agronomiques du projet montrent que le taux de protection moyen (2017-2018) des trichogrammes est de l'ordre de 51 % (le taux de protection du témoin est de 45 %).

Le bioinsecticide Bioprotec CAF[®], quant à lui a un coût qui varie entre 63 \$ et 95 \$. L'Entrust[®] a un coût compris entre 262 \$ et 309 \$. Selon le rapport de Lafontaine et al. (2012), Entrust[®] a un taux de protection élevée de l'ordre de 97 % (le taux de protection de leur témoin était de 62 %).

6 CONCLUSION

6.1 Évaluation du potentiel des espèces de trichogrammes en laboratoire

L'hypothèse de départ selon laquelle l'utilisation successive de *T. ostriniae* et de *T. brassicae* en laboratoire augmenterait le taux de parasitisme des œufs de la teigne du poireau est réfutée. *T. ostriniae* parasitait beaucoup plus d'œufs de la teigne du poireau ($65,9 \pm 7,0$ %) que *T. brassicae* ($9,7 \pm 3,7$ %) dans les conditions de ce laboratoire. Selon l'équation de Benz (1971), il y avait un effet antagoniste à utiliser *T. ostriniae* et *T. brassicae* conjointement. Les descendants des deux espèces de trichogramme étaient de bonne qualité, soit un pourcentage moyen d'émergence élevé ($88,1 \pm 1,3$ %), un rapport des sexes généralement en faveur des femelles ($0,70 \pm 0,03$) et peu de parasitoïdes brachyptères ($2,4 \pm 0,8$ %). L'hypothèse selon laquelle il y n'y aurait pas de multiparasitisme lorsque les œufs de teigne du poireau étaient exposés aux deux espèces de trichogramme est confirmée. L'occurrence du multiparasitisme était très faible (0,1 %). Ainsi, les femelles discriminent les œufs parasités par l'autre espèce en général. Le multiparasitisme ne peut donc pas expliquer l'interaction négative entre *T. ostriniae* et *T. brassicae*.

L'hypothèse selon laquelle *T. ostriniae* parasiterait un plus grand nombre d'œufs que *T. brassicae* aux températures extrêmes (15 et 30°C) est confirmée. Tout comme pour l'expérience des interactions, *T. ostriniae* parasite beaucoup plus d'œufs de la teigne du poireau ($52,2 \pm 10,1$ %) que *T. brassicae* ($8,5 \pm 3,6$ %) pour toute la gamme de températures testées. La température optimale de parasitisme de *T. ostriniae* (20-25°C) est semblable à celle de Gou (1986). Dans une étude de Wang *et al.* (1997), les basses températures (<17°C) causaient une diminution du parasitisme de *O. nubilalis* par *T. ostriniae*. Les résultats de cette étude sont similaires. En effet, le taux de parasitisme de *T. ostriniae* était plus faible à 15°C ($40,7 \pm 10,3$ %) qu'à 20°C ($62,1 \pm 9,5$ %) et 25°C ($5,4 \pm 10,9$ %). La température optimale de parasitisme de *T. brassicae* était d'environ 30°C, ce qui correspond aux conditions météorologiques de la Moldavie, où les étés sont longs et chauds. En laboratoire, une espèce de trichogramme qui conserve une bonne capacité de parasitisme aux températures locales a un potentiel élevé au champ (Hassan, 1994).

À la vue de ces résultats, l'espèce *T. ostriniae* semble être une meilleure candidate comme agent de lutte biologique contre la teigne du poireau en culture biologique du poireau au Québec.

6.2 Potentiel des espèces de trichogrammes au champ

En 2018, le pourcentage d'émergence des trichogrammes au champ ($64,9 \pm 1,1$ %) a été supérieur comparativement à la saison 2017 ($52,4 \pm 1,2$ %). Cela peut s'expliquer par la décision de récupérer les trichocartes au bout de dix jours en 2018 plutôt qu'au bout de sept jours en 2017, ou alors par les températures estivales plus élevées en 2018. Quoi qu'il en soit, le taux plus élevé de trichogrammes en 2018 semble corrélé positivement avec une meilleure lutte des populations de teigne du poireau. Cela se traduit par un pourcentage plus faible de poireaux avec présence de larves (2017 : 4,1 %, 2018 : 0,7 %) et de nymphes (2017 : 7,5 %, 2018 : 2,8 %) de la teigne du poireau et de nouveaux dommages (2017 : 52,1 et 60,2 %, 2018 : 28,2 et 30,7 %). Il n'y avait pas de

différence quant à la quantité de teignes du poireau capturées entre 2017 et 2018. La meilleure lutte en 2018 pourrait s'expliquer également par :

- La transplantation des poireaux juste après le premier pic de capture de teignes en 2018.
- Plus de lâchers de trichogrammes en 2018 (17 lâchers) qu'en 2017 (12). En effet, en 2017 les lâchers n'ont débuté qu'au deuxième pic de captures de teigne du poireau en raison du premier pic très faible.

Il y a eu deux fois plus de languettes d'œufs sentinelles parasitées dans les parcelles de poireaux traitées avec *T. brassicae* ($7,0 \pm 0,3$ %) que dans les parcelles traitées avec *T. ostriniae* ($3,4 \pm 0,1$ %) et les parcelles témoins ($3,1 \pm 0,1$ %). Ces résultats montrent que *T. brassicae* se disperse mieux dans une parcelle de poireaux et trouve plus efficacement les œufs sentinelles que *T. ostriniae*. Toutefois, le pourcentage de languettes parasitées était très faible pour tous les traitements et la capacité de parasitisme des deux espèces de trichogramme diminue rapidement lorsqu'on s'éloigne du point de lâcher. D'autres études ont rapporté une corrélation négative entre le taux de parasitisme et la distance des œufs sentinelles du point de lâcher (Wang *et al.*, 1997; Fournier et Boivin, 2000). Plusieurs caractéristiques de la plante cultivée peuvent influencer le taux de parasitisme :

- La densité et le patron des trichomes ainsi que l'aire des feuilles peuvent ralentir la recherche des trichogrammes et réduire le parasitisme (Treacy *et al.*, 1983; Ables, 1980). Il serait intéressant de comparer ces caractéristiques pour une feuille de poireau et une feuille de maïs sucré, car *T. brassicae* et *T. ostriniae* sont efficaces contre la pyrale du maïs dans cette culture au Québec (**Figure 47**).
- Les canopées denses permettraient aux trichogrammes de se disperser plus facilement en marchant ou en volant d'un plant à l'autre (Treacy *et al.*, 1983). Or, la canopée des parcelles expérimentales de poireaux étaient beaucoup moins denses qu'une parcelle de maïs sucré.
- Il est possible que les trichogrammes soient plus vulnérables au vent dans les parcelles de poireaux que dans les parcelles de maïs sucré. En effet, les trichogrammes sont facilement transportés par le vent. Dans le maïs, 40 à 60 % des trichogrammes peuvent être transportés en dehors du champ de cette façon (Bigler, 1994). Le vent change la distribution et le comportement de *T. ostriniae* (Qian *et al.*, 1984).
- De plus, quelques languettes dans les parcelles témoins ont été parasitées, ce qui suggère que les trichogrammes se sont peut-être dispersés d'une parcelle à l'autre.



Figure 47. Champ de maïs et champ de poireaux.

Les lâchers conjoints de *T. brassicae* et *T. ostriniae* n'ont pas été plus efficaces que les lâchers d'une seule espèce. Ainsi, l'hypothèse de départ est réfutée. Ces résultats sont semblables à l'étude menée aux États-Unis avec *T. nubilale* et *T. ostriniae* (Wang *et al.*, 1999) et aux résultats des expériences en laboratoire. En effet, les résultats de cette étude montraient également que le taux de parasitisme des œufs de la pyrale du maïs était plus élevé lorsque les espèces étaient relâchées seules que lorsqu'elles étaient relâchées ensemble, suggérant qu'il y avait une interférence négative (Wang *et al.*, 1999).

En général, les poireaux des parcelles traitées avec l'espèce *T. brassicae* ont été moins affectés par la teigne du poireau. Les résultats sont plus évidents à la récolte, où il y avait une réduction de 5,0 % des dommages sur les feuilles et de 9,3 % sur le fût des poireaux dans les parcelles traitées avec *T. brassicae* comparativement aux parcelles témoins. Il y avait également deux feuilles de moins à parer en moyenne sur les poireaux dans les parcelles traitées avec *T. brassicae* comparativement aux parcelles témoins. Bien que l'espèce *T. brassicae* ait réduit les dommages de la teigne du poireau dans les parcelles expérimentales de poireaux biologiques, les pourcentages de poireaux avec des dommages sur les feuilles et sur le fût demeurent élevés pour un producteur. Plusieurs raisons peuvent expliquer l'efficacité insuffisante des trichogrammes dans cette étude :

- Les conditions artificielles de l'élevage de masse qui peuvent réduire la qualité génétique des trichogrammes (Losey et Calvin, 1995; Hassan et Zhang 2001). Chez Anatis Bioprotection, les trichogrammes sont élevés sur des œufs d'*Ephestia kuehniella*. Cependant, des tentatives d'élevage de *T. brassicae* sur des œufs de la teigne du poireau sont prévues pour la saison 2019.
- Un nombre insuffisant de points de lâchers qui ne permet pas aux trichogrammes de couvrir le champ (Mills *et al.*, 2000 ; Parra et Zucchi, 2004). Il est possible qu'un plus grand nombre de points de lâchers soit nécessaire dans un champ de poireaux que dans un champ de maïs sucré.
- L'architecture de la plante (Mills *et al.*, 2000; Gingras *et al.*, 2008). La densité et le patron des trichomes ainsi que l'aire des feuilles peuvent ralentir la recherche des trichogrammes et réduire le parasitisme (Treacy *et al.*, 1983; Ables, 1980). Il serait intéressant de comparer les caractéristiques d'une feuille de poireau à une feuille de maïs sucré.
- Des conditions météorologiques incompatibles qui limitent l'activité et la performance des trichogrammes (Bourchier et Smith, 1996; Wang *et al.*, 1999; Gardner *et al.*, 2007), comme les précipitations, le vent et la température qui peuvent affecter le taux de parasitisme des trichogrammes.
- Une mauvaise synchronisation des lâchers avec la présence des œufs (Glenn et Hoffmann, 1997).
- Un faible taux de parasitoïdes relâchés (Mills *et al.*, 2000). En 2017, le taux moyen d'émergence des trichogrammes a été de 52,4 % et en 2018 de 64,9 %. Ainsi, la dose réelle de trichogrammes relâchés a été en moyenne dessous de la dose visée de 400 000 individus à l'hectare, estimée avec un taux d'émergence de 75 %.

- La présence de prédateurs de trichogrammes (Suh *et al.*, 2000b; Pereira *et al.*, 2004). Les œufs d'*E. kuehniella* parasités sur les trichocartes ont été parfois mangés par des prédateurs, souvent des coccinelles, particulièrement au mois d'août.

De plus, en 2018, une parcelle de poireaux traitée avec *T. brassicae* a été complètement ravagée par la teigne du poireau, ce qui suggère qu'au-delà d'un certain seuil de pression du ravageur, *T. brassicae* n'est pas efficace aux doses et aux fréquences de lâchers de notre étude (**Figure 48**). La pression de la teigne du poireau a été particulièrement élevée dans cette parcelle.



Figure 48. Parcelle de poireaux traitée avec *T. brassicae*, mais très endommagée par la teigne du poireau.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer la singularité de cette parcelle :

- Des coyotes ont retiré à plusieurs reprises la trichocarte. Une cage pour protéger la trichocarte a été installée pour contrer ce problème.
- Le sol organique a été particulièrement chaud pendant l'été 2018, ce qui peut avoir nui au déplacement des trichogrammes.
- La parcelle était entourée de boisés, ce qui peut avoir favorisé une colonisation importante de la teigne au printemps, car les imagos hivernent dans les zones abritées à l'extérieur des champs (Leblanc, 2003).

Les résultats de cette étude montrent qu'une espèce de trichogramme qui performe mieux en laboratoire n'est pas nécessairement celle qui performe le mieux au champ. Dans cette étude, la capacité de dispersion dans une culture de poireau et la capacité de recherche des œufs de la teigne du poireau ont été les facteurs majeurs qui ont permis de conclure que *T. brassicae* est une meilleure candidate comme agent de lutte biologique contre la teigne du poireau dans une culture de poireaux biologiques au Québec.

6.3 Analyse économique

L'analyse économique démontre que la lutte biologique à l'aide du Bioprotec CAF® est la moins coûteuse, mais il nous est impossible de dire si elle est la plus rentable étant donné que son taux de protection n'est pas connu. Au regard des résultats complets, la meilleure alternative économique semble être l'utilisation de l'Entrust®. Non seulement il est moins dispendieux que les trichogrammes, il offre aussi une meilleure protection contre la teigne du poireau. Pour que l'utilisation des trichogrammes contre la teigne du poireau devienne intéressante, il faudrait dans un premier temps pouvoir en augmenter l'efficacité, en réduisant le nombre de lâchers, car chaque lâcher génère un coût de 252\$. Dans un second temps, leur utilisation deviendrait financièrement compétitive avec les biopesticides si une aide financière devenait disponible. Cette aide pourrait encourager l'utilisation des trichogrammes en combinaison avec les biopesticides, dans l'optique de réduire le risque de développement de résistance des teignes aux bioinsecticides. À cet effet, le coût net (après application de la subvention) de trois à douze lâchers de trichogrammes se situe plus près du coût des biopesticides (Tableau 2).

RÉFÉRENCES

- Ables, J. R., D. W. McCommas, Jr., S. L. Jones and R. K. Morrison. (1980). Effect of cotton plant size, host egg location, and location of parasite release on parasitism by *Trichogramma pretiosum*. *Southwestern Entomol.* 5:261-264.
- Allen, J., Fraser, H. and Appleby, M. (2009). Fiche technique : La teigne du poireau, ravageur des cultures des alliacées. Récupéré de <http://www.omafra.gov.on.ca>
- Anatis bioprotection. (2018). Récupéré de <http://anatisbioprotection.com/>
- Benz, G. 1971. « Synergism of micro-organisms and chemical insecticides ». Dans *Microbial control of insects and mites*, sous la direction de H. D. Burgers et N. W. Hussey, p. 327-535. New York: Academic Press.
- Bigler, F. (1994). Quality control in *Trichogramma* production. In *Biological Control with Egg Parasitoids*, eds. Wajnberg, E. and Hassan, S. A. pp. 93-111. Oxon, U.K.: CAB International.
- Bourchier, R.S. and Smith, S.M. (1996). Influence of environmental conditions and parasitoid quality on field performance of *Trichogramma minutum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata.* 80:461–468.
- Centre de références en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ).
- 2018a. *Pesticides, Prix moyen (AGDEX 905/855 2017)*. CRAAQ, 10 pages.
 - 2018b. *Machinerie - Coûts d'utilisation et taux à forfait suggérés (AGDEX 740/825)*. CRAAQ, 25 pages.
 - 2017. *Brocoli biologique, Budget à l'hectare (AGDEX 252.19/821)*. CRAAQ, 8 pages.
- Elton, C.S. (1958). *The Ecology of Invasions by Animals and Plants*. London : Chapman and Hall. 196 pages.
- Etilé, E., Boisclair, J., Lucas, E., Cormier, D. and Todorova, S. (2011). Optimisation de la lutte biologique contre la pyrale du maïs et les pucerons dans la culture du maïs sucré frais. (Rapport final). Programme de soutien à l'innovation en agroalimentaire.
- Fournier, F. and Boivin, G. (2000). Comparative Dispersal of *Trichogramma evanescens* and *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in Relation to Environmental Conditions. *Environmental Entomology* 29(1):55-63.
- Gardner, J., Hoffmann, M.P., Cheever, S.A., Seaman, A.J., Westgate, P. and Hazzard, R.V. (2007). Large-scale releases of *Trichogramma ostrinae* to suppress *Ostrinia nubilalis* in commercially grown processing and fresh market sweet corn. *J Appl Entomol.* 131:432–440.
- Gingras, D., Dutilleul, P. et Boivin, G. (2008). Effect of Plant Structure on Searching Strategy and Searching Efficiency of *Trichogramma turkestanica*. *Journal of Insect Science.* 8:28.
- Glenn, D.C. and Hoffmann, A.A. (1997). Developing a commercially viable system for biological control of light brown apple moth (Lepidoptera: Tortricidae) in grapes using endemic *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *J Econ Entomol.* 90:370–382.

- Gou, X. (1986). Bionomics of *Trichogramma ostrinae* Pang et Chen. Chinese J. Biol. Contr. 2: 148-152.
- Guimont, S. 2019. Communication personnelle.
- Hassan, S. A. (1994). Strategies to select *trichogramma* species for use in biological control. In *Biological Control With Egg Parasitoids*, eds. Wajnberg, E. and Hassan, S.A., Oxon, U.K.: CAB International.
- Hassan, S.A. and Zhang, W.Q. (2001). Variability in quality of *Trichogramma brassicae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) from commercial suppliers in Germany. Biol Control. 22:115-121.
- Hoffmann, M. P., Walker, D. L., and Shelton, A. M. 1995. Biology of *Trichogramma ostrinae* (Hym.: Trichogrammatidae) reared on *Ostrinia nubilalis* (Lep.: Pyralidae) and survey for additional hosts. Entomophaga 40, 387–402.
- Hoffmann, M. P., Ode, P.R., Walker, D.L., Gardner, J., Nouhuys, S.V. and Shelton, A.M. (2001). Performance of *Trichogramma ostrinae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) reared on factitious hosts, including the target host, *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae). Biological Control. 21 (1) : 1-10.
- Hoffman, M.P., Wright, M.G., Pitcher, S.A. and Gardner, J. (2002) Inoculative releases of *Trichogramma ostrinae* for suppression of *Ostrinia nubilalis* (European corn borer) in sweet corn: Field biology and population dynamics. Biol Control. 25:249–258.
- Jenner, W. H., Mason, P.G., Cappuccino, N. and Kuhlmann, U. (2010). Native range assessment of classical biological control agents: Impact of inundative releases as pre-introduction evaluation. Bulletin of Entomological Research. 100 (4) : 387–394.
- Klass, C. 2009. Leek moth found in NY [online]. Récupéré de <http://blogs.cce.cornell.edu/community-horticulture/2009/09/08/leek-moth-foundin-ny/>
- Knutson, A. (1998). The *trichogramma* manual : a guide to the use of *trichogramma* for biological control with special reference to augmentative releases for control of bollworm and budworm in cotton. Texas Agricultural Extension Service.
- Landry, J.-F. (2007). Taxonomic review of the leek moth genus *Acrolepiopsis* (Lepidoptera: Acrolepiidae) in North America. The Canadian Entomologist. 139 (3) : 319–353.
- Laroche, C., Laplante, C.D. et Leblanc, M. (2017). La teigne du poireau : Stratégie de lutte. Réseau d'avertissement phytosanitaire. Récupéré de <https://www.agrireseau.net>
- Laroche, C., Fyfe, M. et Leblanc, M. (2016). La teigne du poireau : biologie et impact sur les cultures. Récupéré de <https://www.agrireseau.net>
- Leblanc, M. (2003). La teigne du poireau : biologie et impact sur les cultures. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. Récupéré de <https://www.agrireseau.net>
- Leblanc, M. (2007). La teigne du poireau : une menace pour nos oignons et nos poireaux? – portrait de la situation au Québec. Récupéré de <https://www.agrireseau.net>

- Leblanc M. 2017. La lutte intégrée pour un ravageur introduit : l'exemple de la teigne du poireau. Agri Réseau. 30 pages
- Lorenz, N., Zimmermann, O., and Hassan, S.A. (2003). Use of *Trichogramma* parasitoids against the leek moth (*Acrolepiopsis assectella*) for the solution of plant protection problems in organic farming. DGaEE Nachrichten. 17 (1) : 19.
- Losey, J.E. and Calvin, D.D. (1995). Quality assessment of four commercially available species of *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). J Econ Entomol. 88:1243-125.
- MAPAQ. 2018. Prime-Vert 2018-2023. 26 pages.
- Mason, P. G., Appleby, M., Juneja, S., Allen, J. and Landry, J-F. (2010). Biology and development of *Acrolepiopsis assectella* (Lepidoptera: Acrolepiidae) in eastern Ontario. Canadian Entomologist. 142 (4): 393–404.
- Mason, P. G., Weiss, R.M., Olfert, O., Appleby, M. and Landry, J-F. (2011). Actual and potential distribution of *Acrolepiopsis assectella* (Lepidoptera: Acrolepiidae), an invasive alien pest of *Allium* spp. in Canada. Canadian Entomologist. 143 (2): 185–196.
- Mason, P. G., Brauner, A.M., Miall, J.H. and Bennett, A.M.R. (2013). *Diadromus pulchellus* in North America: Field release against leek moth and new characters to distinguish it from *Diadromus subtilicornis*, a native diamondback moth parasitoid. Biocontrol Science and Technology. 23 (3): 260–276.
- Mason, P.G. et Brauner, A.M. (2014). Approche phytosanitaire intégrée contre la teigne du poireau. Récupéré de <http://www.agr.gc.ca>
- Mills, N.J., Pickel, C., Mansfield, S., McDougall, S., Buchner, R., Caprile, J., Edstrom, J., Elkins, R., Hasey, J., Kelley, K., Krueger, W., Olson, W. and Stocker, R. (2000). *Trichogramma* inundation: integrating parasitism into management of codling moth. Calif Agric . 54 (6) :22-25.
- Parra, J.R.P. and Zucchi, R.A. (2004). *Trichogramma* in Brazil: feasibility of use after twenty years of research. Neotrop Entomol. 33:271–284.
- Pereira, J.A., Bento, A., Cabanas, J.E., Torres, L.M., Herz, A. and Hassan, S.A. (2004) Ants as predators of the egg parasitoid *Trichogramma cacoeciae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) applied for biological control of the olive moth, *Prays oleae* (Lepidoptera: Plutellidae) in Portugal. Biocontrol Sci Technol 14:653–664.
- Pitcher, S. A., Hoffmann, M.P., Gardner, J., Wright, M.G. and Kuhar, T.P. (2002). Cold storage of *Trichogramma ostriniae* reared on *Sitotroga cerealella* eggs. BioControl. 47(5):525–535.
- Qian, Y. , Cao, R. and Li, G. (1984). Biology of *Trichogramma ostriniae* and evaluation of its effectiveness in controlling corn borer. Acta Entomologica Sinica. 27: 287–293.
- Rabb, R.L. and Bradley, J.R. (1968). The influence of host plants on parasitism of eggs of the tobacco hornworm. J Econ Entomol. 61:1249–1252.

- Romeis, J., Shanower, T.G. and Zebitz, C.P.W. (1998). Physical and chemical plant characters inhibiting the searching behaviour of *Trichogramma chilonis*. *Entomol Exp Appl.* 87:275–284.
- Romeis, J., Babendreier, D., Wäckers, F. and Shanower, T.G. (2005). Habitat and plant specificity of *Trichogramma* egg parasitoids – underlying mechanisms and implications. *Basic Appl Ecol.* 6:215–236.
- SaGe pesticides* [Base de données] (2018, mars). Récupéré de <https://www.sagepesticides.qc.ca>
- Suh, C.P.C., Orr, D.B. and Van Duyn, J.W. (2000b) *Trichogramma* releases in North Carolina cotton: Why releases fail to suppress heliothine pests. *J Econ Entomol* 93:1137–1145.
- Thorpe, K.W. (1985). Effects of height and habitat type on egg parasitism by *Trichogramma minutum* and *T. pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Agric, Ecosyst Environ.* 12:117–126.
- Treacy, M. F., Benedict, J.H. and Segers, J.C. (1983). Effect of smooth, hirsute and pilose cottons on the functional responses of *Trichogramma pretiosum* and *Chrysopa rufilabris*. *Proc. Beltwide Cotton Conf., National Cotton Council, Memphis, Tennessee.*
- Van Driesche, R.G. and Bellows Jr., T.S. (1996). *Biological Control*. New York : Chapman and Hall. 539 pages.
- Wang, B., Ferro, D. N. and Hosmer, D. W. (1997). Importance of plant size, distribution of egg masses, and weather conditions on egg parasitism of the European corn borer, *Ostrinia nubilalis* by *Trichogramma ostriniae* in sweet corn. *Entomologia Experimentalis et Applicata.* 83(3): 337–345.
- Wang, B., Ferro, D.N. and Hosmer, D.W. (1999). Effectiveness of *Trichogramma ostriniae* and *T. nubilale* for controlling the European corn borer *Ostrinia nubilalis* in sweet corn. *Entomol Exp Appl.* 91:297–303.

ANNEXE A : FICHE D'IDENTIFICATION DE LA TEIGNE DU POIREAU (MASON ET BRAUNER, 2014)

Fiche d'identification de la Teigne du poireau

OEUF



- Les oeufs sont pondus individuellement sur la surface des feuilles
- Les oeufs sont blancs et mesurent ~0.4 mm

LARVES



taille réelle

- Les larves sont vert jaunâtre avec une capsule céphalique brun pâle et huit petites taches sur chaque segment abdominal
- Les mâles se reconnaissent à la tache rouge (génitalia) dans la partie postérieure; les femelles n'ont pas de tache rouge
- Les larves mesurent entre ~1-14 mm de longueur

PRÉPUPES/PUPES



- Les prépupes et les pupes sont enfermées dans un cocon ayant l'apparence d'un filet
- Les prépupes sont blanches à vertes, les pupes deviennent brun rougeâtre

ADULTE



- Les adultes sont de petits papillons brun rougeâtre avec une tache triangulaire blanche au milieu des ailes repliées
- Les papillons adultes ont des ailes inférieures largement frangées, une envergure de 12-14 mm, et mesurent de 5-7 mm avec les ailes repliées au repos

DÉGÂTS



- Les dégâts de la Teigne du poireau sur la plante se reconnaissent à des marques de broutage, des déjections, des « fenêtres » translucides sur les feuilles, ou la destruction complète de la plante
- Les dégâts sur les bulbes d'ail se reconnaissent à la présence de déjections, de trous et de marques de broutage

PIÈGES À PHÉROMONE ET PÉRIODES DE VOL

