



INSTITUT DE RECHERCHE
ET DE DÉVELOPPEMENT
EN AGROENVIRONNEMENT

ИНСТИТУТ ИССЛЕДОВАНИЙ
И РАЗВИТИЯ
В АГРОЭКОЛОГИИ

RAPPORT FINAL

SÉLECTION ET GESTION D'INTERCALAIRES DE LÉGUMINEUSES EN CULTURES MARAÎCHÈRES BIOLOGIQUES

Responsable scientifique : Josée Boisclair, agr., M.P.M., Chercheure

Co-auteurs : Simon Chaussé, Laurence Jochems-Tanguay, Adrien N'Dayegamiye, Maryse Leblanc, Luc Belzile, Denise Godonou, Michèle Grenier, Thierry Boislard et Sandra Mougeot

Rapport présenté à : Programme Innov'Action agroalimentaire, Volet 1-Recherche appliquée, Cultivons l'avenir 2, AAC-MAPAQ.

Date : 30 avril 2019

Projet IRDA # : IA115444

L'IRDA a été 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 est une corporation de recherche à but non lucratif qui travaille 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 est 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



Sélection et gestion d'intercalaires de légumineuses en cultures maraîchères biologiques

Rapport final

Présenté à :

Programme Innov'Action agroalimentaire, Volet 1 – Recherche appliquée, Cultivons l'avenir 2, AAC-MAPAQ.

LE RAPPORT PEUT ÊTRE CITÉ COMME SUIT :

Chaussé Simon, Boisclair Josée, Jochems-Tanguay Laurence, N'Dayegamiye Adrien, Leblanc Maryse, Belzile Luc, Godonou Denise, Grenier Michèle, Boislard Thierry et Mougeot Sandra. 2019. Sélection et gestion d'intercalaires de légumineuses dans les cultures maraîchères biologiques. Rapport final. IRDA et partenaires. 73 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
- Chercheure : Maryse Leblanc, agr., Ph. D.
- Chercheur : Luc Belzile, agr., M. Sc., IRDA
- Chercheur : Adrien N'Dayegamiye, agr., Ph. D., consultant
- Professionnelle de recherche : Laurence Jochems-Tanguay, M. Env., IRDA
- Professionnel de recherche : Thierry Boislard, B. Sc., IRDA
- Professionnel de recherche : Simon Chaussé, B. Sc., IRDA
- Professionnelle de recherche : Denise Godonou, M. Sc., IRDA
- Professionnelle de recherche : Geneviève Richard, agr., ITA (anciennement de l'IRDA)
- Biostatisticienne : Michèle Grenier, M.Sc.
- Technicienne agricole : Sandra Mougeot, IRDA

ÉQUIPE DE RÉDACTION DU RAPPORT

- Luc Belzile, agr., M. Sc., IRDA
- Josée Boisclair, agr., M.P.M., IRDA
- Thierry Boislard, B. Sc., IRDA
- Simon Chaussé, B. Sc., IRDA
- Denise Godonou, M. Sc., IRDA
- Michèle Grenier, biostatisticienne, IRDA
- Laurence Jochems-Tanguay, M. Env., IRDA
- Maryse Leblanc, agr., Ph. D.
- Adrien N'Dayegamiye, agr., Ph. D., consultant
- Sandra Mougeot, IRDA

COLLABORATRICES ET COLLABORATEUR

- Lucie Caron, agr., MAPAQ
- Isabelle Couture, agr., M. Sc., MAPAQ
- Sophie Guimont, agr., Club Bio-Action
- Mathieu Roy, La Récolte de la Rouge, représentant de la CAPÉ
- Nadia Surdek, agr., Pleine Terre
- Christine Villeneuve, agr., MAPAQ

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

Josée Boisclair, agr., M.P.M., IRDA

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

Plateforme d'innovation en agriculture biologique

335, rang des Vingt-Cinq Est

Saint-Bruno-de-Montarville (Québec), CANADA, J3V 0G7

Téléphone : 450-653-7368, poste 331

Courriel : josee.boisclair@irda.gc.ca

REMERCIEMENTS

Ce projet de recherche a été réalisé grâce à une aide financière accordée par le Programme Innov'Action agroalimentaire, volet 1 – Recherche appliquée, un programme issu de l'accord du cadre Cultivons l'avenir 2 conclu entre le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) et Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC). Des remerciements s'adressent à l'IRDA qui a fourni une contribution importante dont l'appui des techniciens et des ouvriers de la ferme expérimentale de la Plateforme d'innovation en agriculture biologique. Les auteurs remercient également les membres du comité de suivi du projet, les taxonomistes d'AAC (Andrew Bennett, José L. Fernández-Triana et John Huber), les nombreux étudiants d'été et les stagiaires qui ont participé à la réalisation de ce projet.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction.....	7
Objectifs de l'étude	7
1 Volet 1 : Sélection d'espèces de légumineuses comme culture intercalaire dans le brocoli (2016)	8
1.1 Objectifs.....	8
1.2 Méthodologie	9
1.2.0 Dispositif expérimental.....	9
1.2.1 Abondance des insectes nuisibles	11
1.2.2 Abondance des ennemis naturels	12
1.2.3 Biomasse des mauvaises herbes et des intercalaires.....	13
1.2.4 Rendement de la culture de brocoli	13
1.2.5 Rendement et teneur en azote des intercalaires de légumineuses.....	13
1.2.6 Analyses statistiques	13
1.3 Résultats et discussion	14
1.3.1 Abondance des insectes nuisibles	14
1.3.2 Abondance des ennemis naturels	16
1.3.3 Biomasse des mauvaises herbes et des intercalaires.....	19
1.3.4 Rendement et dommages reliés à la cécidomyie du chou-fleur	21
1.3.5 Rendement et teneur en azote des intercalaires	22
1.4 Conclusion	23
2 Volet 2 : Stratégie de gestion d'un intercalaire de légumineuse dans le brocoli (2017-2018)	25
2.1 Objectifs.....	25
2.2 Méthodologie	25
2.2.0 Dispositif expérimental.....	25
2.2.1 Abondance des insectes nuisibles	28
2.2.2 Abondance des ennemis naturels	29
2.2.3 Biomasse des mauvaises herbes et des intercalaires.....	29
2.2.4 Rendement de la culture de brocoli	30
2.2.5 Rendement et teneur en azote et carbone des intercalaires.....	31
2.2.6 Structure du sol	31
2.2.7 Analyses statistiques	31
2.3 Résultats et discussion	32
2.3.1 Abondance des insectes nuisibles	32
2.3.2 Abondance des ennemis naturels	35
2.3.3 Biomasse des mauvaises herbes et des intercalaires.....	41

2.3.4	Rendement de la culture de brocoli	46
2.3.5	Rendement et teneur en azote et carbone des intercalaires de légumineuse	48
2.3.6	Structure du sol	50
2.4	Conclusion	52
3	Volet 3 : Incidence d'un intercalaire de légumineuse dans une culture de brocoli et de sa stratégie de gestion sur la nutrition azotée de la culture de maïs sucré (2018).....	54
3.1	Objectif	54
3.2	Méthodologie	54
3.2.1	Dispositif expérimental.....	54
3.2.2	Effets des cultures intercalaires sur le sol et le maïs sucré	56
3.2.3	Rendement et prélèvement en azote et carbone du maïs sucré à maturité	56
3.2.4	Analyses statistiques	56
3.3	Résultats et discussion	57
3.3.1	Effets des cultures intercalaires sur le sol et le maïs sucré	57
3.3.2	Rendement et prélèvement en azote et carbone du maïs sucré à maturité	59
3.4	Conclusion	60
4	Volet 4 : Analyse économique (2017-2018)	61
4.1	Objectif	61
4.2	Méthodologie	61
4.3	Résultats	62
4.4	Discussion	63
4.5	Conclusion	63
	Conclusion	64
	Références	65
	Annexe A.....	67
	Annexe B.....	68
	Annexe C.....	69
	Annexe D	71

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Composition des parcelles selon les traitements.....	9
Tableau 2.	Dates et opérations culturales réalisées en 2016.	10
Tableau 3.	Abondance (moyenne \pm erreur type) des principaux parasitoïdes des ravageurs des crucifères capturés par aspiration après le retrait des filets d'exclusion dans les régies avec et sans filet les 15, 22 et 29 septembre 2016.	17
Tableau 4.	Poids moyen des brocolis commercialisables, pourcentage des brocolis commercialisables et des brocolis avec dommages de CCF (moyenne \pm erreur type) selon l'utilisation ou non de filets d'exclusion.....	22
Tableau 5.	Composition des parcelles selon les traitements en 2017 et 2018.....	26
Tableau 6.	Taux de semis et composition des intercalaires utilisés pour les traitements expérimentaux en 2017 et 2018.	26
Tableau 7.	Liste des opérations culturales réalisées en 2017 et 2018.....	28
Tableau 8.	Périodes de piégeages des carabes dans les parcelles d'intercalaires en 2017 et 2018.....	29
Tableau 9.	Périodes et dates d'évaluation de la biomasse et de la densité des mauvaises herbes et des intercalaires en 2017 et 2018.....	30
Tableau 10.	Abondance (moyenne \pm erreur type) des principaux parasitoïdes des ravageurs des crucifères capturés par aspiration après la levée des intercalaires en 2017.	36
Tableau 11.	Abondance (moyenne \pm erreur type) des parasitoïdes principaux des ravageurs des crucifères sur le nombre d'aspirations réalisées après la levée des intercalaires dans les traitements pour 2018.....	37
Tableau 12.	Rendement, poids moyens, pourcentage des brocolis commercialisables récoltés et pourcentage des dégâts causé par la CCF (moyenne \pm erreur type) durant la saison 2017 entre les traitements d'intercalair..47	
Tableau 13.	Rendement, poids moyens, pourcentage des brocolis commercialisables récoltés et pourcentage des dégâts causés par la CCF (moyenne \pm erreur type) durant la saison 2017 entre les traitements d'intercalaire	48
Tableau 14.	Caractéristiques (moyennes \pm erreur type) des cultures intercalaires cultivées en 2017.	49
Tableau 15.	Caractéristiques (moyenne \pm erreur type) des cultures intercalaires cultivées en 2018.....	50
Tableau 16.	Effet des cultures intercalaires sur les dimensions des agrégats du sol et la stabilité de la structure (DMP) en 2017.....	51
Tableau 17.	Effet des cultures intercalaires sur les dimensions des agrégats du sol et la stabilité de la structure (DMP) en 2018.....	51
Tableau 18.	Dates et opérations culturales réalisées dans les parcelles de maïs sucré en 2018.	55
Tableau 19.	Effet des cultures intercalaires incorporées en automne 2017 sur les teneurs du sol en nitrates, en carbone et en azote en début d'été 2018.	57
Tableau 20.	Effet des cultures intercalaires sur les teneurs du sol en nitrates, l'activité de la phosphatase et l'azote dans les feuilles de maïs au stade 5-6 feuilles (moyenne \pm erreur type).	58

Tableau 21. Poids total des épis récoltés et rendement en épis commercialisables en douzaines par hectare et du pourcentage en azote des plants de maïs matures (moyenne \pm erreur type) en 2018.....	60
Tableau 22. Marge sur coûts variables totale pour la séquence culturale brocoli- maïs sucré biologique.....	62
Tableau 23. Part du revenu, des coûts variables et de la MCV associés au Brocoli dans le revenu, les coûts totaux et la MCV totale de la séquence culturale.	63
Tableau 24. Liste des parasitoïdes et des hyperparasitoïdes associés aux chenilles nuisibles des crucifères et observés lors de cette étude de 2016 à 2018.	67
Tableau 25. Grille d'évaluation des brocolis à la récolte en fonction du degré de dégâts (0 à 5) (R. Hallett et J. Heal (Adapté du protocole de E. Hodgson)).....	68
Tableau 26. Abondance et pourcentage des espèces de parasitoïdes émergés de larves ou de chrysalides de la fausse-teigne des crucifères récoltées en 2016.	69
Tableau 27. Abondance et pourcentage des espèces de parasitoïdes émergés de larves ou chrysalides de fausse-teigne des crucifères récoltées en 2017.	70
Tableau 28. Abondance et pourcentage des espèces de parasitoïdes émergés de larves ou de chrysalides de fausse-teigne des crucifères récoltées en 2018.	70
Tableau 29. Évaluation du revenu, des coûts variables et de la marge par traitement.	71

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Espèces de légumineuses utilisées comme intercalaires en 2016.	9
Figure 2.	Parcelles de brocolis sous paillis de plastique blanc avec ou sans filet, 2016.....	10
Figure 3.	Sarclage mécanique des parcelles témoins sans intercalaire de légumineuses, 25 août 2016.	11
Figure 4.	Parcelle de brocolis avec un intercalaire de trèfle Huia avant (a) et après (b) le fauchage des mauvaises herbes à l'aide d'un coupe-herbe « Weed-Eater », 12 septembre 2016.	11
Figure 5.	Captures de cécidomyies du chou-fleur par piège, par semaine (moyenne \pm écart-type) dans les parcelles témoins sans filet, 2016.	14
Figure 6.	Abondance par plant (moyenne \pm erreur type) de fausse-teigne des crucifères au stade larvaire et chrysalide selon les traitements sans filet pour toute la saison 2016.	15
Figure 7.	Pourcentage de fausse-teignes des crucifères parasitées, hyperparasitées, mortes et non parasitées après 28 jours en chambre de croissance. Les spécimens ont été récoltés dans les parcelles de brocoli le 22 septembre 2016.	18
Figure 8.	Abondance totale des carabes du genre <i>Harpalus</i> spp., <i>Pterostichus melanarius</i> et de tous les <i>Carabidae</i> (moyenne \pm erreur type) récoltés par pièges fosses dans les différentes cultures d'intercalaires entre le 11 août et le 21 septembre 2016.	19
Figure 9.	Biomasse totale de mauvaises herbes (mauvaises herbes) et intercalaires (g/m^2) avant le fauchage des mauvaises herbes et la récolte par espèce d'intercalaire (moyenne \pm erreur type) le 9 septembre 2016.	20
Figure 10.	Biomasse de mauvaises herbes (mauvaises herbes) et des intercalaires avant l'incorporation par espèce d'intercalaire (moyenne \pm erreur type) le 31 octobre 2016.	21
Figure 11.	Biomasse sèche, apport en azote (moyenne \pm erreur type) et pourcentage d'azote (moyenne \pm écart-type) pour les trois traitements d'intercalaires avant l'incorporation le 7 novembre 2016.....	23
Figure 12.	Tonte des intercalaires.	27
Figure 13.	Fauche et incorporation des intercalaires, 2017.....	27
Figure 14.	État des parcelles de culture de brocolis durant la période de l'évaluation du rendement en 2017 (A) et en 2018 (B).....	30
Figure 15.	État des têtes de brocolis observées dans les parcelles en 2018 (têtes irrégulières, trop petites ou encore plants borgnes).....	31
Figure 16.	Captures de cécidomyies du chou-fleur par piège, par semaine (moyenne \pm écart-type), dans les parcelles témoins désherbés du 16 juin au 11 septembre en 2017 et du 22 mai au 19 octobre 2018.	33
Figure 17.	Abondance par plant (moyenne \pm erreur type) de fausse-teigne des crucifères au stade larvaire et chrysalide selon les traitements d'intercalaire en 2017.	34
Figure 18.	Abondance par plant (moyenne \pm erreur type) de fausse-teigne des crucifères au stade larvaire et chrysalide selon les traitements d'intercalaire en 2018.	34

Figure 19. Pourcentage de parasitisme des larves et nymphes de fausse-teigne des crucifères (moyenne \pm écart-type) capturées dans les parcelles de brocolis le 7 et 8 août 2017.	38
Figure 20. Pourcentage de parasitisme des larves et nymphes de fausse-teigne des crucifères (moyenne \pm écart-type) capturées dans les parcelles de brocolis le 30 juillet 2018.	39
Figure 21. Abondance totale pour les quatre dates de captures (moyenne \pm erreur type) de <i>P. melanarius</i> , du genre <i>Harpalus</i> et l'ensemble des Carabidae dans les six traitements d'intercalaires au courant de l'été 2017.	40
Figure 22. Abondance totale pour les sept dates de captures (moyenne \pm erreur type) de <i>P. melanarius</i> , du genre <i>Harpalus</i> et l'ensemble des Carabidae dans les six traitements d'intercalaires au courant de l'été 2018. .	41
Figure 23. Biomasse des mauvaises herbes (g/m^2) (moyenne \pm erreur type) par traitement et par période d'échantillonnage (récolte des brocolis et incorporation des intercalaires) de 2017.	43
Figure 24. Biomasse des mauvaises herbes (g/m^2) (moyenne \pm erreur type) par traitement et par période d'échantillonnage (récolte des brocolis et incorporation des intercalaires) en 2018.	44
Figure 25. Biomasse de trèfle Huia (g/m^2) (moyenne \pm erreur type) au moment de la récolte des brocolis et lors de l'incorporation des intercalaires 2017.	45
Figure 26. Biomasse de trèfle Huia (g/m^2) (moyenne \pm erreur type) au moment de la récolte des brocolis et lors de l'incorporation des intercalaires en 2018.	46
Figure 27. Installation de filets entourant les plants de maïs sur les deux rangs du centre afin de limiter les dégâts sur les épis de maïs contre les animaux.	55

INTRODUCTION

Au Québec, les légumes biologiques sont en demande croissante. Le nombre de fermes qui se tournent vers ce mode de production est également en augmentation. Cependant, les horticulteurs biologiques font encore face à plusieurs défis. La lutte aux mauvaises herbes, maladies et ravageurs constitue un important défi pour lequel peu de moyens curatifs sont disponibles. L'utilisation d'intercalaires pourrait contribuer à la réduction de ravageurs, de mauvaises herbes et de maladies. Un autre défi d'envergure est l'amélioration de sa productivité souvent limitée par le manque d'apport azoté aux cultures et par la compaction des sols. Une source importante d'azote pourrait provenir de l'intégration de légumineuses comme intercalaires dans les cultures maraîchères. De même, les légumineuses pourraient améliorer la structure du sol et accroître ainsi les activités biologiques dans le sol. En fait, les impacts de l'utilisation d'intercalaires de légumineuses dans les cultures légumières sont peu connus au Québec. Les travaux proposés visent à démontrer le potentiel de l'utilisation d'intercalaires de légumineuses pour minimiser les problèmes phytosanitaires et augmenter la productivité dans les cultures maraîchères et pour améliorer l'apport en azote pour une culture subséquente de légumes.

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

L'objectif principal de cette étude est de proposer des utilisations d'intercalaires de légumineuses qui contribueront à la lutte aux ennemis en cultures maraîchères (insectes, maladies et mauvaises herbes) tout en assurant une amélioration de la productivité et de la qualité des sols ainsi que la rentabilité économique.

Ces travaux reposent sur l'hypothèse générale que l'utilisation de cultures intercalaires de légumineuses dans une culture de brocoli et la gestion adéquate de ces cultures peuvent augmenter l'activité des parasitoïdes et des carabes tout en diminuant la pression des insectes nuisibles, diminuer la pression des mauvaises herbes, accroître la rentabilité de la culture de brocoli biologique, augmenter l'apport en azote, la productivité et la qualité des sols favorisant ainsi la culture suivante.

Tous les travaux d'expérimentation se sont déroulés sur la Plateforme d'innovation en agriculture biologique gérée par l'IRDA et située à Saint-Bruno-de-Montarville. Ils se sont déroulés sur une période de 3 ans, de 2016 à 2018, et comprennent quatre volets :

1. Sélection d'espèces de légumineuses comme cultures d'intercalaires dans le brocoli (2016)
2. Stratégie de gestion de l'intercalaire de légumineuse dans la culture du brocoli (2017-2018)
3. Incidence de l'intercalaire de légumineuse dans une culture de brocoli et de la stratégie de gestion sur la nutrition azotée de la culture suivante : le maïs sucré (2018)
4. Analyse économique de l'intercalaire de légumineuse dans le brocoli (2016-2018)

1 VOLET 1 : SÉLECTION D'ESPÈCES DE LÉGUMINEUSES COMME CULTURE INTERCALAIRE DANS LE BROCOLI (2016)

1.1 OBJECTIFS

L'objectif principal du premier volet de recherche était de comparer trois espèces de légumineuses soit le trèfle Huia, le trèfle blanc nain et la vesce commune comme culture intercalaire dans une culture de brocoli sous deux régies, avec ou sans filet d'exclusion. Tous ces traitements ont été sélectionnés lors d'un consensus au sein du comité de suivi comprenant des conseillères agricoles du MAPAQ et de Clubs-conseils. L'utilisation des traitements sans filet avait pour objectif de connaître la pression réelle des ravageurs, dont la cécidomyie du chou-fleur et de déterminer si l'utilisation des intercalaires pouvait avoir un impact sur ces derniers ainsi que sur leurs ennemis naturels. L'ajout des traitements avec filets visait à refléter la réalité agronomique de la plupart des producteurs biologiques afin entre autres de limiter les dommages par la cécidomyie du chou-fleur.

Les trois espèces de légumineuses choisies pour cette étude présentent des avantages et désavantages qui leur sont spécifiques quant à leur impact sur la colonisation de la culture principale de brocolis par les insectes nuisibles, leur disponibilité des ressources (abri, nectar, etc.) qu'elles offrent aux parasitoïdes et aux carabes, ainsi que leur niveau de compétition avec la culture principale de brocolis et leur répression sur les mauvaises herbes.

Les hypothèses de départ de ce projet de recherche sont :

- Le couvert végétal fourni par les intercalaires augmente l'activité des carabes prédateurs, qui en retour ont un impact sur les insectes nuisibles aux brocolis qui se trouvent à la surface ou près de la surface du sol, dont la cécidomyie du chou-fleur dont la larve tombe au sol pour s'y enfouir et se transformer en puppe. Ces impacts devraient être différents selon l'espèce d'intercalaires présentes dans les parcelles de brocolis;
- La présence des intercalaires de légumineuses dans le brocoli devrait avoir un effet confondant pour les ravageurs dans leur recherche de plantes hôtes (brocoli) et ainsi, diminuer leur abondance ainsi que les dommages qu'ils occasionnent. Elle devrait encourager la présence des parasitoïdes des chenilles nuisibles en leur fournissant un abri et des ressources végétales dont par exemple du nectar extrafloral que fournit la vesce commune ;
- La présence des intercalaires de légumineuses dans le brocoli devrait favoriser le contrôle des mauvaises herbes sans nuire à la productivité de la culture;
- Étant de petite taille, le trèfle blanc nain ou trèfle rampant s'avère moins compétitif pour la culture principale et ainsi donne de meilleurs rendements de brocoli que les deux autres espèces de légumineuses ;
- Les intercalaires de légumineuses constituent un apport azoté pour le sol et peuvent donc contribuer à augmenter la productivité.

1.2 MÉTHODOLOGIE

1.2.0 Dispositif expérimental

Les travaux ont été réalisés à l'intérieur d'un dispositif expérimental en quatre blocs aléatoires complets comprenant 32 parcelles de brocolis (*Brassica oleracea* L. 'Diplomat'). Selon les traitements, une parcelle était composée d'une culture de brocolis sur butte recouverte de paillis de plastique blanc avec un intercalaire de l'une des trois espèces de légumineuses : trèfle Huia [*Trifolium repens* L. 'Grasslands Huia'], trèfle blanc nain [*T. repens* 'White Dutch'] ou vesce commune [*Vicia sativa* L.] (Figure 1) ou d'une culture de brocoli sans intercalaire (Témoin). Le dispositif comprenait huit traitements répétés quatre fois. Les traitements sont présentés au Tableau 1.



Figure 1. Espèces de légumineuses utilisées comme intercalaires en 2016.

Tableau 1. Composition des parcelles selon les traitements.

Traitements	Composition des parcelles
1 : Témoin sans filet	Parcelle de brocolis sans intercalaire, désherbée mécaniquement sans filet d'exclusion
2 : Témoin avec filet	Parcelle de brocolis sans intercalaire, désherbée mécaniquement avec filet d'exclusion
3 : Trèfle Huia sans filet	Parcelles de brocolis avec intercalaire de trèfle Huia sans filet d'exclusion
4 : Trèfle Huia avec filet	Parcelles de brocolis avec intercalaire de trèfle Huia avec filet d'exclusion
5 : Trèfle blanc nain sans filet	Parcelles de brocolis avec intercalaire de trèfle blanc nain sans filet d'exclusion
6 : Trèfle blanc nain avec filet	Parcelles de brocolis avec intercalaire de trèfle blanc nain avec filet d'exclusion
7 : Vesce commune sans filet	Parcelles de brocolis avec intercalaire de vesce commune sans filet d'exclusion
8 : Vesce commune avec filet	Parcelles de brocolis avec intercalaire de vesce commune avec filet d'exclusion

Chaque parcelle était composée de huit rangs de brocolis de quatre mètres de long disposés sur quatre buttes (2 rangs/butte) recouvertes d'un paillis de plastique blanc. Les parcelles étaient irriguées par un système de goutte-à-goutte.

Les brocolis ont été transplantés le 15 juillet. Les parcelles des traitements 2, 4, 6 et 8 ont été recouvertes d'un filet d'exclusion anti-insectes ProtekNet 25 g (mailles tricotées de 0,35 mm x 0,35 mm) (Figure 2). Durant l'été, les filets ont été ouverts temporairement pour permettre le passage de la machinerie et la prise de données. Les filets ont été retirés définitivement des parcelles le 6 septembre avant le début des récoltes.

Pour la préparation du semis des intercalaires, le sol entre les buttes de chaque parcelle a été travaillé avec un rotoculteur (Terra Nova) les 21 et 22 juillet. Les intercalaires de légumineuses ont ensuite été semés à la volée manuellement le 26 juillet. Le taux de semis des trèfles était de 30 kg/ha et celui de la vesce commune de 150 kg/ha. Ces taux ont été déterminés à la suite d'essais menés par des conseillères membres du comité de suivi. Une période de sécheresse après le semis a grandement ralenti la levée des intercalaires qui n'a été observée que trois semaines après le semis.



Figure 2. Parcelles de brocolis sous paillis de plastique blanc avec ou sans filet, 2016.

Les entre-rangs des parcelles témoins (sans intercalaire) ont été désherbées le 25 août à l'aide d'un rotoculteur (Terra Nova) fixé à un tracteur porte-outil Mazzotti (Figure 3). Étant donné la forte présence de mauvaises herbes dans les intercalaires de légumineuses, un fauchage des mauvaises herbes a été fait le 12 septembre avec un coupe-herbe de type « Weed Eater ». La cime des mauvaises herbes, dominant en hauteur les intercalaires, a été coupée sans endommager les intercalaires (Figure 4).

Tableau 2. Dates et opérations culturales réalisées en 2016.

Type d'opération	Date de réalisation
Transplantation des brocolis et ajout des filets d'exclusion (traitements avec filets seulement)	15 juillet
Sarclage mécanique (avant transplantation des intercalaires)	21-22 juillet
Semis des intercalaires	26 juillet
Sarclage mécanique dans les entre-rangs des parcelles témoins	25 août
Retrait des filets d'exclusion	6 septembre
Fauchage des mauvaises herbes par coupe herbe « weed-eater »	12 septembre
Récolte des brocolis	7, 13 et 21 septembre
Retrait des paillis de plastique et résidus de culture	7 novembre
Incorporation des intercalaires	



Figure 3. Sarclage mécanique des parcelles témoins sans intercalaire de légumineuses, 25 août 2016.

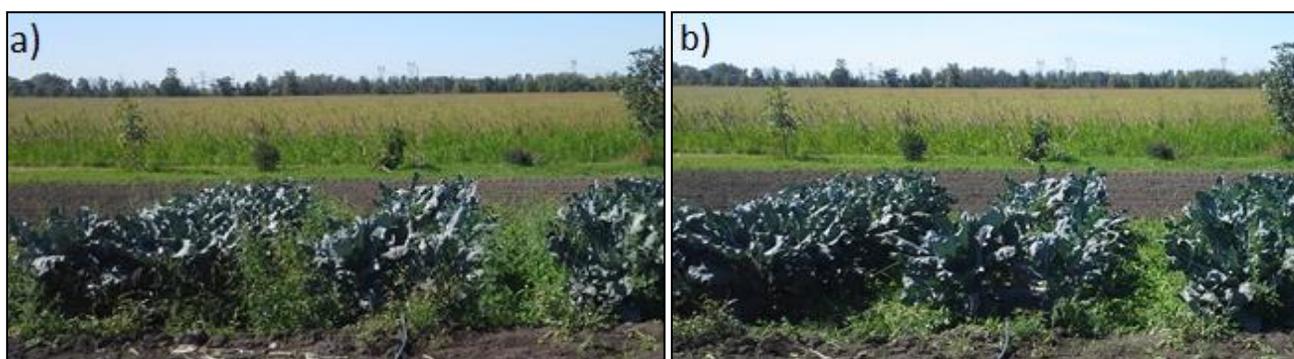


Figure 4. Parcelle de brocolis avec un intercalaire de trèfle Huia avant (a) et après (b) le fauchage des mauvaises herbes à l'aide d'un coupe-herbe « Weed-Eater », 12 septembre 2016.

Étant donné l'inégalité de maturité entre les plants, les brocolis ont été récoltés les 7, 13 et 21 septembre. Ensuite, les résidus de culture et le paillis de plastique ont été retirés des parcelles et le 7 novembre, les intercalaires ont été détruits, puis incorporés en surface dans les dix premiers centimètres du sol.

1.2.1 Abondance des insectes nuisibles

1.2.1.1 Cécidomyie du chou-fleur

Un piège à phéromone Delta a été installé dès la plantation des brocolis dans chaque parcelle témoin (brocoli sans intercalaire) du dispositif afin de suivre la période de vol des adultes mâles de la cécidomyie du chou-fleur (CCF) (*Contarinia nasturtii* (Kieffer)). Le nombre de CCF capturées a ainsi été comptabilisé chaque semaine jusqu'au 17 octobre. Aucun traitement phytosanitaire contre la CCF n'a été effectué, car les captures sont demeurées faibles (section 1.3.1). À la récolte, les dommages causés par la CCF sur les têtes de brocolis ont été évalués dans chaque parcelle.

1.2.1.2 Fausse-teigne des crucifères, piéride du chou et fausse-arpenteuse du chou

Un dépistage des larves et chrysalides des lépidoptères nuisibles aux crucifères (fausse-teigne des crucifères, *Plutella xylostella* [L.]; la piéride du chou, *Pieris rapae* [L.]; et la fausse-arpenteuse du chou, *Trichoplusia ni*

[Hübner]) a été fait avant le semis des intercalaires le 26 juillet et après la transplantation des brocolis les 9 et 23 août et le 6 septembre. Les trois premiers dépistages ont été réalisés dans les parcelles sans filet seulement et dix plants par parcelle étaient dépistés. Au moment du dernier dépistage, les filets d'exclusion présents sur la moitié des traitements ont été retirés pour permettre un dépistage de l'ensemble des parcelles du dispositif (régie avec et sans filet). Dû à la grosseur des plants, le nombre de plants inspectés par parcelle lors du dernier dépistage a été réduit à cinq.

1.2.2 Abondance des ennemis naturels

1.2.2.1 Parasitoïdes des chenilles nuisibles aux crucifères

Les parasitoïdes des lépidoptères nuisibles au brocoli colonisant les intercalaires des parcelles (avec et sans filet d'exclusion) ont été prélevés à l'aide d'un aspirateur (souffleuse-aspirateur à feuilles Troy-Bilt® à moteur à 4 temps de 25 cm³). Le début des aspirations a été retardé au 15 septembre en raison du retard de la levée des intercalaires et s'est répété le 22 septembre et le 29 septembre. À ce moment, les filets d'exclusion avaient été retirés du dispositif étant donné que la récolte des brocolis avait débuté. Pour chaque échantillon, les insectes collectés ont été triés. Les parasitoïdes des chenilles nuisibles ont été identifiés et dénombrés. L'étude de Godin et Boivin (1998) a servi de référence pour guider l'identification des spécimens. Certains spécimens ont nécessité l'assistance de taxonomistes d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (Andrew Bennett, José L. Fernández-Triana et John Huber) pour confirmer leur identification. Les espèces d'intérêt associées aux chenilles nuisibles des crucifères sont présentées en Annexe A.

1.2.2.2 Parasitisme de la fausse-teigne des crucifères

Au moment de la dernière récolte de brocolis, le 22 septembre, les larves et les chrysalides de la fausse-teigne des crucifères présentes sur cinq plants par parcelle ont été échantillonnées, puis mises individuellement dans des petits contenants en plastique en conditions contrôlées (Température : 24 ± 2 °C ; Humidité relative : 60 % ; Photopériode : 18 h de lumière et 6 h d'obscurité) dans un incubateur de marque Conviron (Model E15). Les chenilles étaient nourries avec un morceau de chou. Les contenants étaient vérifiés et nettoyés trois fois par semaine et le morceau de chou était remplacé si nécessaire. Les taux de parasitisme et de mortalité des chenilles et des chrysalides ont été mesurés. Le taux de parasitisme a été calculé à partir du nombre d'individus parasités sur le nombre total d'individus récoltés. Les parasitoïdes et les hyperparasitoïdes émergés lors de l'élevage ont été identifiés au genre ou encore à l'espèce lorsque possible.

1.2.2.3 Activité des carabes

Des pièges-fosses ont été installés afin de piéger les carabes actifs dans les parcelles pendant une période de 48 heures à trois reprises durant l'été, soit les 9 et 29 août et le 19 septembre. Les collectes n'ont été effectuées que dans les parcelles sans filet d'exclusion. Les insectes piégés ont ensuite été triés et les carabes d'intérêt, soit ceux des genres *Harpalus* et *Pterostichus* comprenant les espèces les plus abondantes dans les agroécosystèmes agricoles, ont été identifiés et dénombrés.

1.2.3 Biomasse des mauvaises herbes et des intercalaires

La densité et la biomasse sèche des mauvaises herbes présentes dans les parcelles avec des intercalaires de légumineuses et les parcelles témoins ont été évaluées le 9 septembre (avant la tonte et après la première récolte de brocolis) et le 31 octobre (avant l'incorporation des intercalaires). À l'intérieur d'un quadrat (20 cm X 50 cm) placé aléatoirement dans chaque parcelle, les plants de mauvaises herbes et de la culture intercalaire de légumineuses étaient identifiés, dénombrés et coupés à la surface du sol pour être ensuite ensachés par espèce. Les échantillons étaient ensuite séchés à 65 °C jusqu'à un poids constant et pesés afin d'en mesurer la biomasse sèche.

1.2.4 Rendement de la culture de brocoli

À l'exception des deux plants placés aux extrémités des buttes, tous les brocolis des deux planches du centre de chaque parcelle ont été récoltés entre le 7 et le 21 septembre. Le poids et le diamètre de chaque brocoli ont été mesurés et les dommages de la cécidomyie du chou-fleur ont été évalués. Les brocolis ont été classés en deux catégories : commercialisables ou non commercialisables selon l'irrégularité ou la déformation de la tête et le degré d'intensité de cicatrices sur la tige (dégâts reliés à la CCF) (voir Annexe B).

1.2.5 Rendement et teneur en azote des intercalaires de légumineuses

Le 7 novembre, avant l'incorporation des intercalaires, le rendement et la teneur en azote des intercalaires ont été mesurés. Dans un quadrat (20 cm X 50 cm) positionné aléatoirement dans les parcelles, tout le couvert végétal a été échantillonné. Les poids frais et sec ont été déterminés et les concentrations en azote ont été évaluées par analyse par combustion.

1.2.6 Analyses statistiques

Toutes les analyses statistiques du projet ont été effectuées avec le logiciel SAS, version 9.4. Les modèles d'analyse des données 2016 comprennent les effets fixes du traitement (la culture), du filet, et de l'interaction filet x traitement. Les effets aléatoires sont les blocs et l'erreur résiduelle. Pour les données d'aspiration, un modèle mixte généralisé avec fonction de lien log pour dénombrements obéissant à une loi de Poisson (Proc GLIMMIX) a été ajusté. Pour les données de parasitisme, un modèle mixte généralisé avec fonction de lien logit pour variable de proportion à caractère binomial (Proc GLIMMIX) a été ajusté. Pour les données de carabes, seules les données des traitements sans filet étaient disponibles et ont été analysées. Le seul effet fixe du modèle est celui de la culture. Un modèle mixte généralisé avec fonction de lien log pour dénombrements obéissant à une loi de Poisson (Proc GLIMMIX) a été ajusté. Un paramètre de sur-dispersion est intégré à ces modèles.

Un modèle linéaire mixte normal est utilisé pour l'analyse de la biomasse des mauvaises herbes, des rendements de brocoli, des dommages reliés à la cécidomyie et de teneur en azote (proc MIXED de SAS).

Pour tous ces modèles, les degrés de liberté sont calculés avec l'approximation de Satterthwaite. Le test de F sur les effets fixes de l'analyse de variance permet de déterminer si un facteur a un effet significatif. Lorsqu'un cet effet est déclaré significatif, des tests de t sont produits afin de déterminer les niveaux du facteur qui sont

significativement différents entre eux. Les moyennes par niveau de facteurs ajustées au modèle et les erreurs types sont calculées.

1.3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

1.3.1 Abondance des insectes nuisibles

1.3.1.1 Cécidomyie du chou-fleur

De manière générale, l'abondance de la CCF est demeurée faible tout au long de la saison (Figure 5). Un premier pic de captures de CCF a été observé le 29 août avec une moyenne de quatre CCF par piège suivi d'un deuxième pic plus important le 19 septembre avec une moyenne de 19 CCF par piège. Ce dernier pic a été observé lorsque la récolte était en cours.

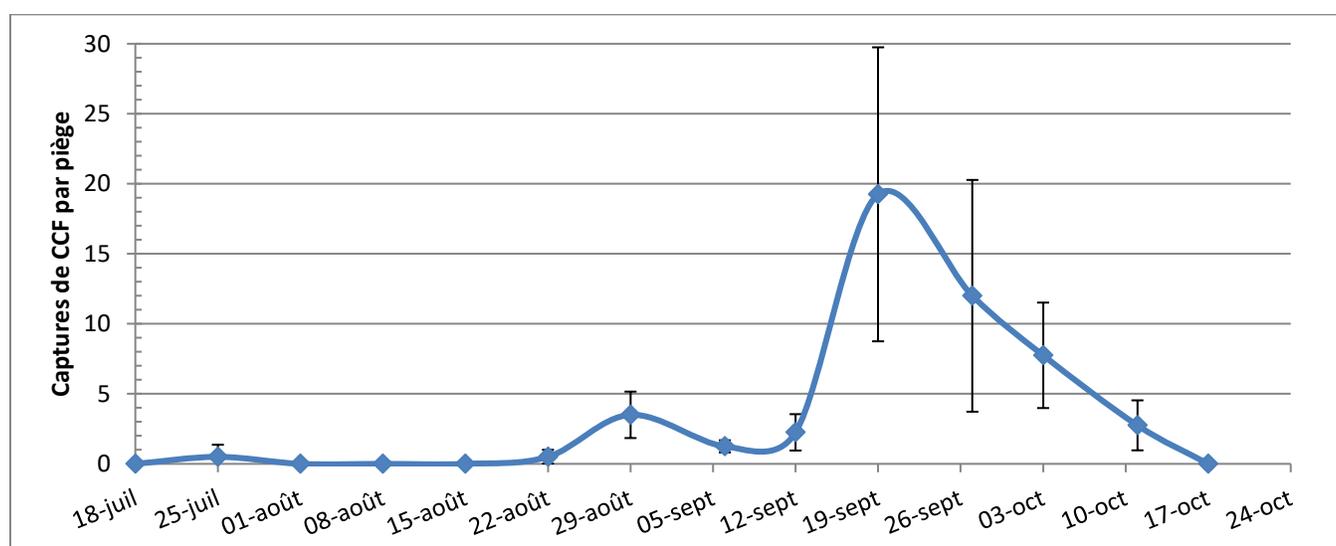


Figure 5. Captures de cécidomyies du chou-fleur par piège, par semaine (moyenne \pm écart-type) dans les parcelles témoins sans filet, 2016.

1.3.1.2 Fausse-teigne des crucifères, piéride du chou et fausse-arpenteuse du chou

L'utilisation de filets anti-insectes sur les parcelles de brocoli permet de restreindre l'invasion par les insectes nuisibles. Pour cette raison, il n'a pas été possible de faire un suivi des chenilles nuisibles dans les parcelles de régie avec filets. Les observations des dépistages des trois espèces nuisibles ciblées ont été comptabilisées pour les traitements sans filet lors des trois premiers dépistages. Toutefois, le dernier dépistage a été réalisé dans les deux régies alors que les filets avaient été retirés.

La fausse-teigne des crucifères (FTC) a été la chenille ravageuse la plus abondamment retrouvée dans l'ensemble du dispositif. La piéride du chou (PC) et la fausse-arpenteuse du chou (FAC) ont obtenu une abondance moyenne de 0 à 0,15 individu par plant et 0 à 0,30 individu par plant respectivement selon le traitement. Étant donné la

faible présence de ces deux ravageurs, seuls les résultats obtenus pour la FTC sans filet d'exclusion sont présentés (Figure 6).

Globalement, l'abondance totale des FTC se retrouve à 1,1 larve par plant pour le traitement avec le trèfle Huia, suivi de 1,2 dans les parcelles témoins ainsi que sur la vesce commune et 1,45 larve par plant dans les parcelles avec trèfle blanc nain. Pour les chrysalides des FTC, une faible abondance a été observée durant la saison allant de 0,5 chrysalide par plant pour le traitement de trèfle Huia à 0,9 chrysalide par plant pour le traitement avec de la vesce commune. Il n'a pas été possible d'observer de différence significative entre les traitements d'intercalaires autant pour le stade larvaire ($F_{[3,12]} = 1,07$; $p = 0,3996$) que le stade chrysalide ($F_{[3,12]} = 1,53$; $p = 0,2580$). En effet, les faibles écarts d'abondance entre les traitements suggèrent que la présence d'intercalaires n'a pas influencé les populations de la FTC dans les parcelles de brocolis.

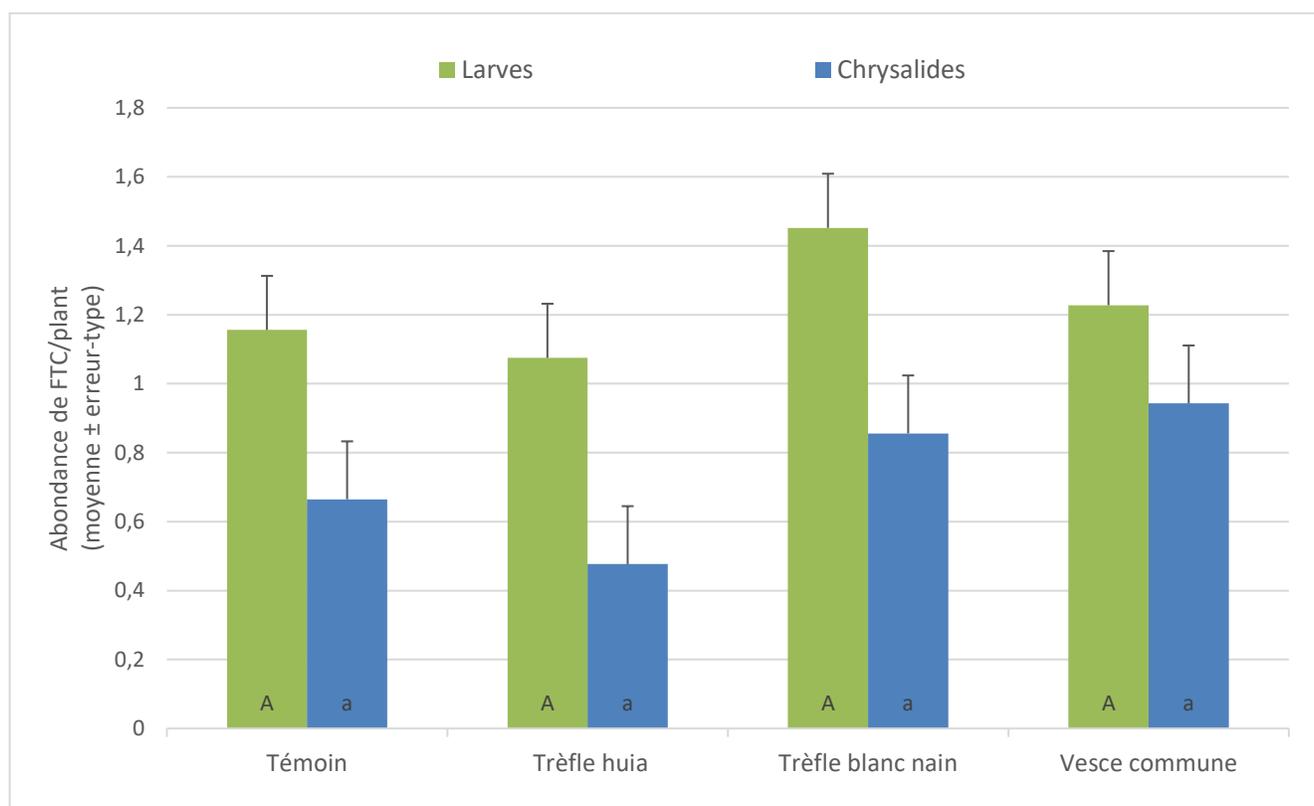


Figure 6. Abondance par plant (moyenne ± erreur type) de fausse-teigne des crucifères au stade larvaire et chrysalide selon les traitements sans filet pour toute la saison 2016.

Les résultats du dernier dépistage de la saison réalisé le 6 septembre indiquent que l'abondance moyenne des larves de FTC a été de $0,17 \pm 0,1$ par plant avec filet et $0,88 \pm 0,27$ sans filet. Pour les chrysalides, $0,27 \pm 0,14$ FTC par plant a été observé dans les traitements avec filet et $1,96 \pm 0,32$ FTC par plant sans filet. Il y a eu une nette différence de l'abondance des FTC par plant entre la régée avec et sans filet. En effet, une abondance significativement plus élevée des larves ($F_{[1,21,29]} = 8,56$; $p = 0,0080$) et des chrysalides ($F_{[1,24]} = 13,95$; $p = 0,0010$) de la FTC a été observée. La tendance a été similaire pour la PC et la FAC lors de ce dernier dépistage, mais aucune analyse statistique n'a pu être réalisée pour ces deux ravageurs. Ces observations permettent de valider l'effet

des filets d'exclusion sur les cultures de brocolis. Les filets n'ont toutefois pas complètement empêché les chenilles nuisibles de s'installer sur la culture. En effet, les filets ont été retirés à quelques occasions pour réaliser certaines opérations culturales et pour la prise de données.

1.3.2 Abondance des ennemis naturels

1.3.2.1 Parasitoïdes des chenilles nuisibles aux crucifères

Les trois échantillonnages par aspirations (15, 22 et 29 septembre) ont permis de comptabiliser trois taxons de parasitoïdes des chenilles nuisibles des crucifères dont *D. insulare*, *D. subtilicornis* et les Microgastrinae (sous-famille des Braconidae qui renferme plusieurs parasitoïdes de Lépidoptères dont *Cotesia* spp., *M. plutellae* et *D. claritibia* [voir Annexe A]). L'abondance de ces parasitoïdes a été comparée entre les régies avec et sans filet et entre les trois espèces d'intercalaires. Ces données sont présentées au Tableau 3.

Les captures de *D. insulare* dans les intercalaires avec filet et sans filet ont été significativement plus élevées dans la vesce commune en comparaison avec le trèfle blanc nain ($F_{[1,14.64]} = 3,89$; $p = 0,0441$) tandis qu'aucune différence n'a été observée pour le trèfle Huia. Aucune différence de l'abondance entre la régie avec filet et sans filet n'a été observée chez *D. insulare* ($F_{[1,14.84]} = 3,70$; $p = 0,0739$).

Pour *D. subtilicornis*, l'abondance moyenne a été très faible pour tous les traitements (Abondance (moyenne \pm erreur type) des principaux parasitoïdes des ravageurs des crucifères capturés par aspiration après le retrait des filets d'exclusion dans les régies avec et sans filet les 15, 22 et 29 septembre 2016.). Pour les parasitoïdes de la famille des Microgastrinae seulement quelques individus ont été capturés dans les parcelles sans filet et avec filet. Leur abondance tend à être inférieure sous régie sans filet qu'avec filet. Toutefois, aucune différence significative n'a été observée ($F_{[1,18]} = 4,24$; $p = 0,0543$) de même qu'entre les espèces d'intercalaires ($F_{[2,1]} = 2,62$; $p = 0,4001$). Un bon nombre de spécimens de la famille des *Pteromalidae* et des *Eulophidae* de même que quelques spécimens de *Trichogrammatidae* ont également été récoltés lors de ces échantillonnages par aspiration. Ces familles comprennent des parasitoïdes pouvant s'attaquer aux chenilles nuisibles des crucifères (Annexe A), mais ces spécimens n'ont toutefois pas pu être identifiés à l'espèce.

Les résultats laissent croire que *D. insulare* pourrait avoir été attiré par la vesce commune qui produit du nectar extrafloral (Bugg *et al.*, 1989). Toutefois, aucune différence n'a été observée entre le trèfle Huia et la vesce commune. Ces observations ne peuvent confirmer l'effet du nectar extrafloral sur l'abondance des parasitoïdes. Aussi, la régie avec filet d'exclusion n'a pas eu d'effet significatif sur l'abondance des taxons d'intérêts. Les filets ayant été retirés au début septembre, les parasitoïdes étaient présents dans l'ensemble du dispositif au moment des échantillonnages.

Tableau 3. Abondance (moyenne \pm erreur type) des principaux parasitoïdes des ravageurs des crucifères capturés par aspiration après le retrait des filets d'exclusion dans les régies avec et sans filet les 15, 22 et 29 septembre 2016.

Super-famille		<i>Ichneumonidea</i>					
Famille		<i>Braconidae</i>			<i>Ichneumonidae</i>		
Sous-famille		<i>Microgastrinae</i>			<i>Campopleginae</i>		<i>Ichneumoninae</i>
Genre espèce		<i>Cotesia</i> spp. <i>M. plutellae</i> <i>D. claritibia</i> et autres espèces			<i>D. insulare</i> *		<i>D. subtilicornis</i>
Avec filet	Trèfle Huia	15,7 \pm 2,1	3,0 \pm 0,9	14,3 \pm 2,5	11,9 \pm 3,1	ab	1
	Trèfle blanc nain	11,0 \pm 1,7	2,2 \pm 0,8	8,1 \pm 1,7	6,9 \pm 2,0	a	1
	Vesce commune	22,2 \pm 2,5	3,4 \pm 1,0	18,9 \pm 3,0	15,8 \pm 3,9	b	2
Sans filet	Trèfle Huia	10,5 \pm 1,7	1,0 \pm 0,5	18,0 \pm 2,9	16,6 \pm 4,1	ab	1
	Trèfle blanc nain	15,5 \pm 2,1	1,2 \pm 0,6	13,5 \pm 2,4	12,0 \pm 3,1	a	1
	Vesce commune	11,2 \pm 1,7	3,0 \pm 0,9	22,6 \pm 3,5	20,8 \pm 5,0	b	1
Effet Intercalaire : p =		0,4993	0,4001	0,1934	0,0441		-
Effet Filet : p =		0,0391	0,0543	0,0104	0,0739		-
Effet intercalaire*filet : p =		0,2484	0,5902	0,6199	0,8410		-

Les valeurs ayant des lettres différentes indiquent une différence significative seulement pour l'effet de l'intercalaire ($p < 0.05$). Aucune interaction intercalaire*filet n'a été démontrée.

1.3.2.2 Parasitisme de la fausse-teigne des crucifères

Plus de 50 % des fausses-teignes échantillonnées et mises en chambre de croissance au moment de la récolte des brocolis renfermaient un parasitoïde ou un hyperparasitoïde (Figure 7). Le taux de parasitisme dans les traitements sans filet s'est retrouvé entre 54 % pour le témoin et 67 % pour le trèfle blanc nain. Pour les traitements avec filet, le pourcentage de parasitisme a varié de 52 % pour la vesce commune à 80 % pour le témoin.

Aucune différence significative du taux de parasitisme n'a été observée entre les espèces d'intercalaires ($F_{[3,21]} = 1,85$; $p = 0,1696$) et la régie avec filet et sans filet ($F_{[3,21]} = 0,55$; $p = 0,4654$). Il en est de même pour le taux de mortalité de la FTC entre les intercalaires ($F_{[3,21]} = 2,75$; $p = 0,0680$) et la régie avec et sans filet ($F_{[3,21]} = 0,00$; $p = 0,9617$). Les taux de parasitisme obtenus dans cette étude sont similaires à ceux de Godin et Boivin (1998) où une moyenne de 65 % de parasitisme a été observée chez la FTC.

Le pourcentage d'hyperparasitoïdes a varié entre 1 et 8 % dans nos traitements sans filet. Ces résultats concordent avec ceux de Godin et Boivin (1998) où un taux d'hyperparasitisme inférieur à 11 % a été observé dans leur étude. Des larves et/ou chrysalides hyperparasitées n'ont toutefois pas été retrouvées dans les traitements avec filet. Ces résultats laissent croire que les filets ont empêché la colonisation des hyperparasitoïdes dans ces parcelles. Le retrait des filets le 6 septembre 2016 n'a permis le développement d'une nouvelle dynamique des populations

(ravageurs-parasitoïdes-hyperparasitoïdes) dans ces parcelles. Un autre facteur ayant pu également contribuer à ce résultat concernant l'hyperparasitisme dans les parcelles avec filets est le plus petit nombre d'individus de FTC échantillonnés.

Les parasitoïdes et les hyperparasitoïdes émergés des FTC en 2016 ont été identifiés et sont présentés en Annexe C.

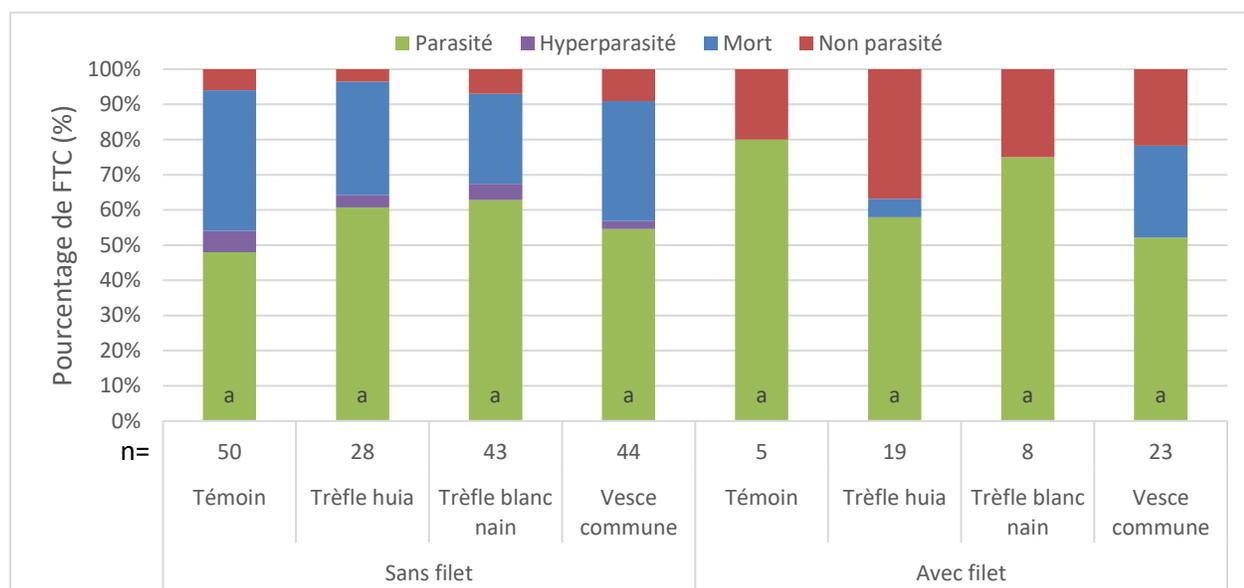


Figure 7. Pourcentage de fausse-teignes des crucifères parasitées, hyperparasitées, mortes et non parasitées après 28 jours en chambre de croissance. Les spécimens ont été récoltés dans les parcelles de brocoli le 22 septembre 2016.

1.3.2.3 Activité des carabes

Une des hypothèses de cette étude est que la présence d'un couvert végétal devrait favoriser l'activité des carabes. Une étude de Gallandt et al. (2005) a démontré que l'espèce *Harpalus rufipes* était moins abondante dans des systèmes où le sol est travaillé au courant de la saison et donc avec l'absence de couvert végétal. Toutefois, il y a encore peu de connaissances sur le comportement des différentes espèces de carabes et leur dispersion dans des milieux diversifiés comme les polycultures (dont l'utilisation d'intercalaires) (Carcamo et Spence, 1994).

Les résultats de piégeage des carabes du genre *Harpalus*, de l'espèce *Pterostichus melanarius* et de tous les Carabidae sont présentés sur la Figure 8. Bien que l'abondance de tous ces groupes de carabes soit moins élevée dans les parcelles témoins, la différence n'est pas significative (genre *Harpalus* ($F_{[3,1]} = 4,11$; $p = 0,3445$), de *P. melanarius* ($F_{[3,1]} = 1,52$; $p = 0,5229$) et la famille de Carabidae ($F_{[3,1]} = 4,54$; $p = 0,3292$)).

Étant donné que les carabes ont un comportement de dispersion assez élevé, soit plusieurs mètres par jour (Thomas et al., 1998), il est possible que le dispositif expérimental avec une distance de huit mètres entre les parcelles n'ait pas permis de mettre en évidence de différences.

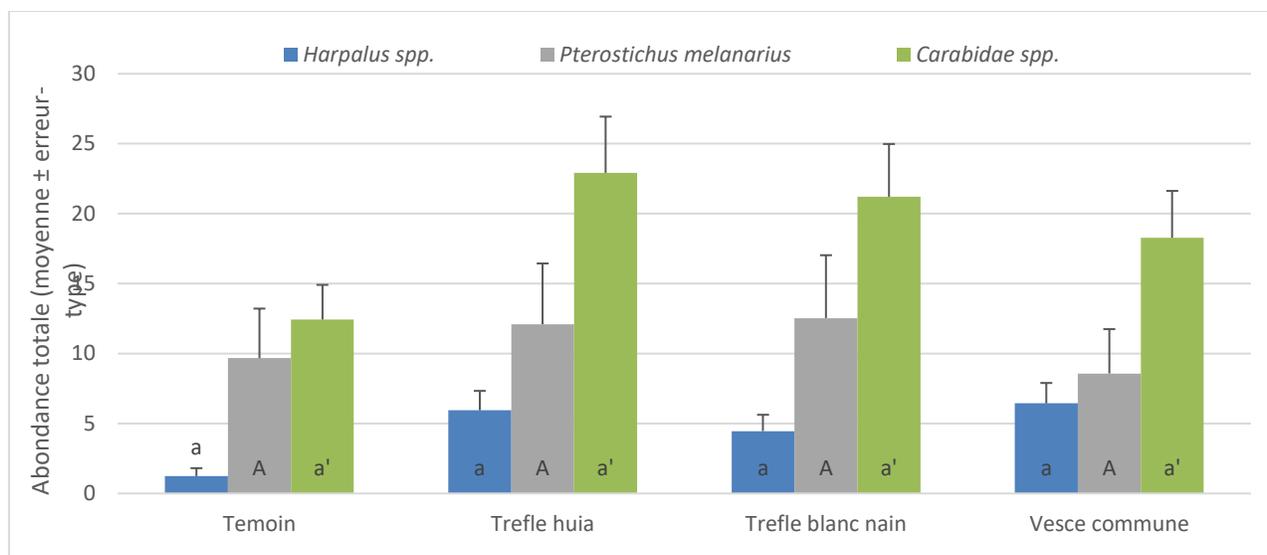


Figure 8. Abondance totale des carabes du genre *Harpalus spp.*, *Pterostichus melanarius* et de tous les *Carabidae* (moyenne ± erreur type) récoltés par pièges fosses dans les différentes cultures d'intercalaires entre le 11 août et le 21 septembre 2016.

1.3.3 Biomasse des mauvaises herbes et des intercalaires

Le tabouret des champs (*Thlaspi arvense* L.) a été l'espèce la plus abondante dans les parcelles avec des intercalaires. Il représentait de 69 à 86 % de la densité totale des mauvaises herbes à la récolte. Par contre, le tabouret ne constituait que de 6 à 15 % de la biomasse totale des mauvaises herbes à la récolte. Donc, bien que la densité du tabouret des champs était élevée, les plants étaient de petite taille. Les autres espèces présentes, soit le pied-de-coq (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.), la renouée scabre (*Polygonum scabrum* Moench), la renouée persicaire (*P. persicaria* L.) et l'herbe à poux (*Ambrosia artemisiifolia* L.), avaient de très faibles densités, mais des biomasses comparables ou plus élevées que celle du tabouret des champs, soit de 6 à 28 % de la biomasse totale des mauvaises herbes.

À l'incorporation, le tabouret était à nouveau l'espèce la plus abondante totalisant 74 à 80 % de la densité totale des mauvaises herbes dans les parcelles avec intercalaires. Le tabouret représentait la moitié de la biomasse totale des mauvaises herbes. Le tabouret était alors abondant et de plus forte taille. Bien qu'en très faible densité, les autres espèces présentes à cette période étaient : le chénopode blanc (*Chenopodium album* L.), la renouée scabre (*P. scabrum* Moench), la sétaire glauque (*S. glauca* [L.] Beauv.) et la lychnide blanche (*S. alba* [Mill.] E.H.L. Krause). Dans les parcelles avec trèfle Huia, ces mauvaises herbes représentaient 29 % de la biomasse totale des mauvaises herbes alors que dans les parcelles avec trèfle blanc nain ou vesce commune, ce pourcentage était respectivement de 29 et 28 %.

Le 9 septembre, trois semaines après le sarclage mécanique et le 31 octobre, quelques jours avant l'incorporation des intercalaires, une évaluation de la densité et de la biomasse des intercalaires et des mauvaises herbes (mauvaises herbes) a été réalisée. Il est à noter qu'aucun effet des filets sur la biomasse des mauvaises herbes et des intercalaires n'a été observé lors des deux dates d'évaluation ([Fauçage : $F_{[1, 15,6]} = 0,67$; $p = 0,4270$]

[Incorporation : $F_{[1, 12,6]} = 0,33$; $p = 0,5762$). Ainsi, les données de tous les traitements des intercalaires ont été regroupées en éliminant le facteur de la régie des filets (avec et sans filet).

Avant le fauchage des mauvaises herbes (Figure 9), la biomasse et la densité des mauvaises herbes étaient plus importantes dans les parcelles avec les intercalaires. La biomasse moyenne des mauvaises herbes dans les parcelles du trèfle blanc nain a été de $117,1 \text{ g/m}^2$, suivi de $97,6 \text{ g/m}^2$ pour celles de la vesce commune et $71,3 \text{ g/m}^2$ pour celles du trèfle Huia. Il est possible d'observer une différence nettement significative de la biomasse des mauvaises herbes pour les trois intercalaires en comparaison avec celle du témoin ($5,1 \text{ g/m}^2$) ($F_{[3, 8,59]} = 19,48$; $p = 0,0004$). Il est à noter que le traitement témoin était sarclé mécaniquement afin d'obtenir un contrôle sur les mauvaises herbes.

Pour ce qui est de la biomasse des intercalaires avant le fauchage des mauvaises herbes, la vesce commune a obtenu une biomasse de $42,2 \text{ g/m}^2$ suivis du trèfle blanc nain avec $39,8 \text{ g/m}^2$ et le trèfle Huia avec $36,6 \text{ g/m}^2$. Ce faible écart entre les biomasses ne permet pas d'observer de différence significative ($F_{[2, 9,81]} = 0,33$; $p = 0,7269$) entre les trois espèces.

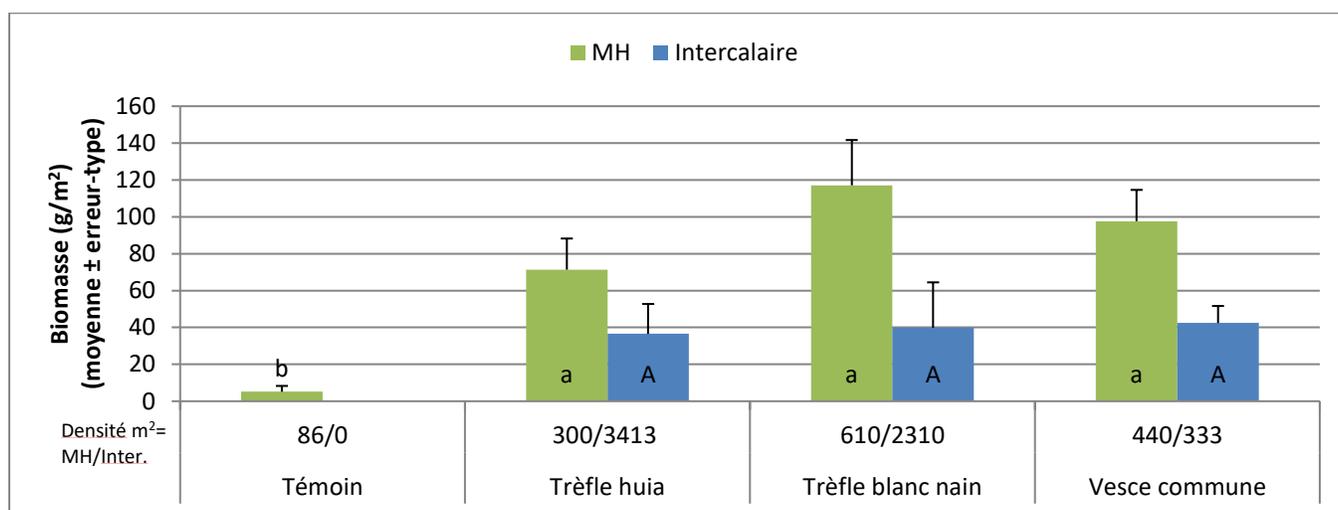


Figure 9. Biomasse totale de mauvaises herbes (mauvaises herbes) et intercalaires (g/m^2) avant le fauchage des mauvaises herbes et la récolte par espèce d'intercalaire (moyenne \pm erreur type) le 9 septembre 2016.

Avant l'incorporation (Figure 10), il est possible d'observer une nette augmentation de la biomasse des intercalaires. En effet, une période de 52 jours de croissance entre la première et la deuxième évaluation a permis aux intercalaires d'augmenter leur biomasse. La biomasse moyenne du trèfle Huia a été de $280,7 \text{ g/m}^2$, suivi de $256,4 \text{ g/m}^2$ pour le trèfle blanc nain et $251,6 \text{ g/m}^2$ pour la vesce commune. Aucune différence n'a été observée entre les espèces d'intercalaires ($F_{[3, 9,15]} = 0,24$; $p = 0,7894$). La biomasse moyenne des mauvaises herbes a été $101,1 \text{ g/m}^2$ dans le trèfle blanc, $98,3 \text{ g/m}^2$ dans la vesce commune, $91,6 \text{ g/m}^2$ dans le trèfle Huia et $53,9 \text{ g/m}^2$ dans le témoin. Il est à noter qu'un contrôle des mauvaises herbes a été réalisé le 12 septembre à l'aide d'un coupe bordure réduisant leur biomasse. Toutefois, aucune différence entre les traitements n'a été observée ($F_{[3, 8,66]} = 1,13$; $p = 0,3894$). Alors que la densité de mauvaises herbes était moins élevée dans le témoin que dans les

intercalaires avant le fauchage des mauvaises herbes et la récolte, il n'y a pas de différence entre les traitements au moment de l'incorporation.

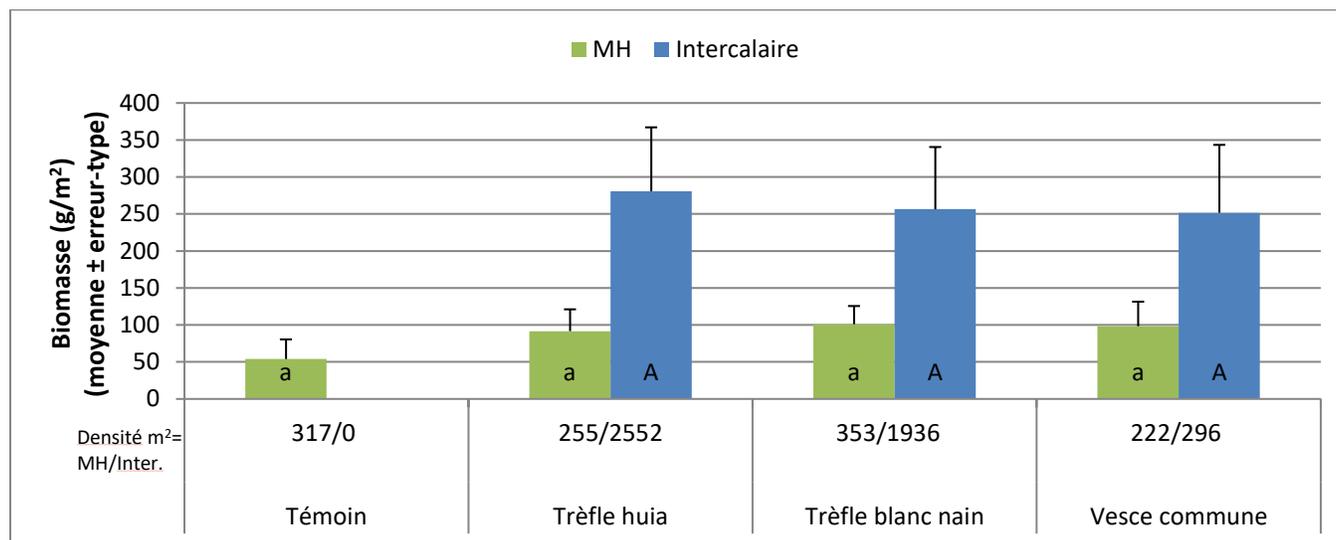


Figure 10. Biomasse de mauvaises herbes (mauvaises herbes) et des intercalaires avant l'incorporation par espèce d'intercalaire (moyenne \pm erreur type) le 31 octobre 2016.

1.3.4 Rendement et dommages liés à la cécidomyie du chou-fleur

Après la récolte, les brocolis ont été évalués selon leur poids moyen commercialisable. Les pourcentages de brocolis commercialisables et de brocolis ayant été endommagés par la cécidomyie ont également été comptabilisés (0). Aucun effet des traitements avec intercalaires n'a été observé sur le poids moyen des brocolis commercialisables ($F_{[3,21]} = 0,65$; $p = 0,5919$), le pourcentage de brocolis commercialisables ($F_{[3,21]} = 1,62$; $p = 0,2141$) et le pourcentage de brocolis avec des dommages de CCF ($F_{[3,21]} = 0,14$; $p = 0,9326$). Ainsi, les répétitions pour les traitements de régies avec et sans filets ont été regroupées en éliminant les variables des intercalaires (trèfle Huia, trèfle blanc nain et vesce commune).

Le poids moyen des brocolis commercialisables a été significativement plus élevé dans les parcelles sans filet (348,5 g) que dans celles avec filet (272,4 g) ($F_{[3, 21]} = 45,00$; $p < 0,0001$). Le pourcentage de rendement de brocolis commercialisables a été significativement plus élevé pour la régie avec filet (86,9 %) que pour la régie sans filet (79,8 %) ($F_{[3, 21]} = 5,01$; $p = 0,0360$). Pour les dégâts de la CCF, ils ont été significativement plus élevés dans la régie sans filet (5,4 %) que dans la régie avec filet (0,7 %) ($F_{[1,21]} = 15,12$; $p = 0,0008$).

Tableau 4. Poids moyen des brocolis commercialisables, pourcentage des brocolis commercialisables et des brocolis avec dommages de CCF (moyenne \pm erreur type) selon l'utilisation ou non de filets d'exclusion.

Régie de culture	Poids moyen des brocolis commercialisables (g)	Pourcentage de brocolis commercialisables (%)	Pourcentage de brocolis avec dégâts de CCF (%)
Avec filet	272,37 \pm 34,71	87,0 \pm 8,9	0,8 \pm 1,2
Sans filet	348,53 \pm 34,71	79,9 \pm 8,9	5,5 \pm 1,2
Effet intercalaire : p =	0,5919	0,2140	0,9326
Effet filet : p =	< 0,0001	0,036	0,0008
Effet intercalaire*filet : p =	0,4442	0,3407	0,9397

1.3.5 Rendement et teneur en azote des intercalaires

Les prélèvements réalisés le 7 novembre avant l'incorporation des intercalaires ont permis d'évaluer la biomasse des intercalaires, d'analyser leur pourcentage en azote et de déterminer l'apport en azote pouvant être incorporé au sol (Figure 11). Aucun effet des filets sur la biomasse et sur l'apport en azote des intercalaires n'a été observé ([biomasse : $F_{[2, 18]} = 0,74$; $p = 0,4015$] [apport N : $F_{[1, 18]} = 2,03$; $p = 0,1717$]). Ainsi, les répétitions pour les traitements des intercalaires ont été regroupées en éliminant le facteur de la régie des filets (avec et sans filet). La biomasse sèche récoltée dans les quadrats de 20 x 50 cm a été rapportée en kg/ha. La biomasse sèche des intercalaires a été en moyenne de 2 641,5 kg/ha pour le trèfle Huia, 2 962,0 kg/ha pour le trèfle blanc nain et 5 247,8 kg/ha pour la vesce commune. L'apport moyen en azote suit ce même patron avec 74,2 kg N/ha pour le trèfle Huia, suivi du trèfle blanc nain avec 79,7 kg N/ha et de la vesce commune avec 160,8 kg N/ha.

Les analyses statistiques ont résulté en des différences significatives entre les deux espèces de trèfles (Huia et blanc nain) et la vesce commune autant pour la biomasse sèche ($F_{[2, 18]} = 22,08$; $p = < 0,0001$) que pour l'apport d'azote ($F_{[1, 18]} = 44,87$; $p = < 0,0001$). Effectivement, la vesce commune a apporté significativement plus d'azote lors de l'incorporation. Le pourcentage en azote du trèfle Huia et du trèfle blanc nain était en moyenne de 2,8 % tandis que celui de la vesce commune était de 3,1 %. Aussi, la biomasse sèche par hectare obtenue pour les trois intercalaires suggère que la vesce commune pourrait fournir un apport d'azote plus important.

Par contre, l'évaluation de la biomasse récoltée sept jours avant l'incorporation (Figure 10) n'a pas donné les mêmes résultats. Ceci pourrait être expliqué par une erreur de manipulation lors de la récolte des plants et du placement des quadrats dans des zones plus variables le 31 octobre qu'au moment de l'incorporation.

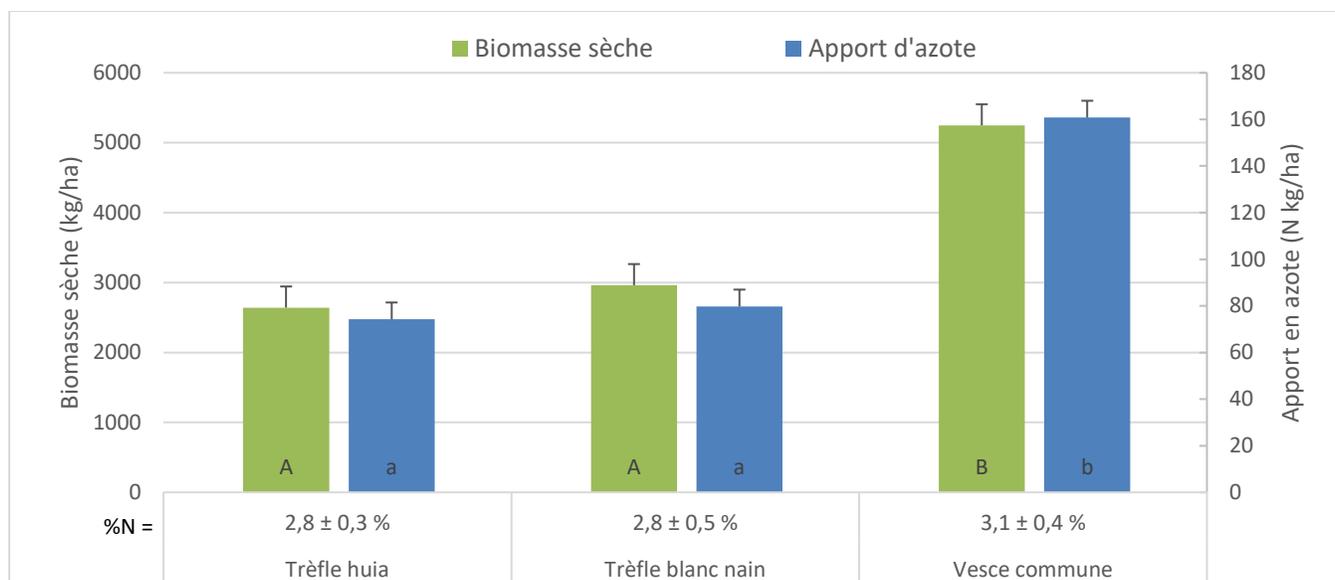


Figure 11. Biomasse sèche, apport en azote (moyenne ± erreur type) et pourcentage d'azote (moyenne ± écart-type) pour les trois traitements d'intercalaires avant l'incorporation le 7 novembre 2016.

1.4 CONCLUSION

Les travaux effectués dans ce premier volet ont permis de constater que les différentes espèces d'intercalaires utilisées dans cette expérimentation n'ont démontré des effets significatifs que sur quelques-uns des aspects à l'étude. Cependant, certains avantages ont été mis en évidence pour toutes les espèces d'intercalaires. Concernant la faune entomologique, aucune différence significative n'a été observée pour l'abondance des ravageurs, plus particulièrement celle de la FTC. Au niveau de l'abondance des parasitoïdes et du taux de parasitisme des chenilles, la vesce commune semble avoir abrité plus de parasitoïdes de l'espèce *D. insulare* que le trèfle blanc nain, mais le taux de parasitisme des chenilles de FT étaient identiques pour toutes les légumineuses. Bien que l'activité des carabes semble moins élevée dans les parcelles sans intercalaire, cette différence ne s'est pas révélée significative. Cependant, l'utilisation de filets dans les parcelles de régie avec filet a entraîné une réduction de l'abondance des ravageurs, et par conséquent des parasitoïdes.

Les résultats ne démontrent aucune différence significative au niveau de la biomasse des mauvaises herbes avant le fauchage des mauvaises herbes ou avant l'incorporation. Le trèfle blanc nain ne s'est donc pas avéré moins compétitif pour les mauvaises herbes ou encore pour la culture, les rendements étaient identiques pour toutes les espèces d'intercalaires. Le fauchage des mauvaises herbes a entraîné une augmentation importante de la biomasse de toutes les intercalaires et a contribué à contrôler les mauvaises herbes. Au moment de l'incorporation, la biomasse de la vesce commune et son apport en azote ont été significativement plus élevés que les autres intercalaires.

En ce qui concerne les rendements de brocolis, les résultats montrent que les brocolis cultivés sous filet ont un poids moyen significativement moindre que ceux cultivés sans filet. Par contre, un pourcentage de brocolis commercialisables significativement plus élevé a été observé dans les parcelles avec filets. Les filets à exclusion

limitent la présence de ravageurs et par le fait même réduit les dommages causés par la CCF et d'autres ravageurs qui rendent les brocolis non commercialisables. Aucune espèce d'intercalaire ne s'est avérée plus compétitive pour la culture. La croissance des intercalaires était cependant limitée par la présence de paillis de plastique sur le rang et la culture était irriguée par un goutte-à-goutte installé sous le paillis, deux pratiques qui contribuent à minimiser la compétition.

Une rencontre du comité de suivi a eu lieu à l'hiver 2017 afin de présenter les résultats de cette première étape, d'établir certains aspects de régie (choix de cultivar, utilisation ou non de filets, etc.) et de sélectionner la légumineuse pour la poursuite des expérimentations 2017 et 2018. Une date d'implantation hâtive a été choisie, soit la mi-mai, afin de laisser un maximum de temps de croissance à l'intercalaire et de réduire les risques de dommages par la cécidomyie. Afin de mieux répondre à l'objectif de vérifier l'impact d'une culture intercalaire de légumineuse sur la faune entomologique (insectes nuisibles et utiles), il a été convenu d'éliminer l'utilisation de filets et du paillis de plastique. Le maintien d'une irrigation goutte à goutte a été convenu. Aucune des trois légumineuses ne s'est démarquée en 2016 pour ses effets sur les insectes ravageurs, les parasitoïdes, les mauvaises herbes ou encore les rendements. Bien que la vesce commune ait semblé se démarquer pour sa biomasse plus importante, les légumineuses utilisées en intercalaires en 2016 ont été comparées selon les critères suivants : biomasse aérienne, biomasse racinaire, tolérance à la tonte (résultats tests préliminaires de tonte) et coût des semences. La vesce commune n'a pas été retenue, car elle pousse trop en hauteur. Elle n'a pas un beau système racinaire comparativement aux trèfles et ne semble pas bien résister à la tonte. Les deux trèfles montrent une bonne résistance à la tonte. Le trèfle Huia est celui qui semble le plus intéressant par sa biomasse racinaire élevée et ses semences moins dispendieuses. Un mélange de trèfle Huia et de ray-grass alternatif a été proposé. En germant rapidement, le ray-grass aurait pour effet de servir de plante abri et de compétitionner les mauvaises herbes le temps que le trèfle s'établisse. Une proportion de semis de 30 % ray-grass et 70 % trèfle Huia a été déterminée.

2 VOLET 2 : STRATÉGIE DE GESTION D'UN INTERCALAIRE DE LÉGUMINEUSE DANS LE BROCOLI (2017-2018)

Étant donné que les conditions climatiques sont variables et peuvent fortement influencer la croissance de la légumineuse ciblée (trèfle Huia) et son potentiel de fixation d'azote, l'expérimentation a été effectuée sur deux ans (2017 et 2018). Les travaux réalisés dans ce volet ont inclus la tonte comme stratégie de gestion de l'intercalaire de légumineuse.

2.1 OBJECTIFS

En 2017 et 2018, l'objectif de l'étude était de comparer l'utilisation de deux types d'intercalaires de légumineuse à base de trèfle Huia, espèce sélectionnée lors du premier volet, soit pur, ou en mélange avec du ray-grass d'Italie (*Lolium multiflorum* Lam. 'Firkin'), et ce, avec ou sans stratégie de gestion par tonte dans une culture de brocoli.

Les hypothèses de départ sont les suivantes :

- L'utilisation de l'intercalaire contribuera à réduire l'abondance des chenilles nuisibles aux crucifères et de la cécidomyie du chou-fleur en créant un habitat plus diversifié qui aura un effet confondant dans leur recherche de plantes-hôtes (brocoli) et favorisera la présence d'ennemis naturels.
- Le couvert végétal fourni par la présence de l'intercalaire augmentera l'activité des carabes prédateurs, qui en retour pourront avoir un impact sur les insectes nuisibles aux brocolis qui se trouvent à la surface ou près de la surface du sol, dont les larves de la cécidomyie du chou-fleur au moment où elles s'enfouissent dans le sol pour leur pupaison.
- Le mélange de trèfle Huia et de ray-grass en intercalaire permettra une meilleure compétition avec les mauvaises herbes.
- La tonte de l'intercalaire contribuera à minimiser la compétition entre l'intercalaire et la culture principale et permettra par conséquent d'obtenir des rendements équivalents ou supérieurs à ceux provenant des parcelles de brocolis seuls (témoins désherbés) ou avec intercalaires, mais sans tonte.
- Le type d'intercalaire, pur (trèfle Huia 100 %) ou en mélange (trèfle Huia-ray-grass ; 70-30%) et l'emploi d'une stratégie de tonte pourra influencer la production de biomasses et de quantités d'azote de l'intercalaire ainsi que la structure du sol.

2.2 MÉTHODOLOGIE

2.2.0 Dispositif expérimental

En 2017, les parcelles ont été implantées dans un loam sablo-argileux (séries Aston et Providence) à la PIAB alors qu'en 2018, les parcelles étaient dans un sable loameux et loam sableux (séries Aston et Massueville respectivement). En 2017 et 2018, le dispositif expérimental comprenait six traitements distribués en blocs aléatoires complets avec quatre répétitions par traitement, pour un total de 24 parcelles (6 traitements x 4 répétitions). Les six traitements comparés étaient : (1) témoin sans intercalaire enherbé, (2) témoin sans intercalaire désherbé, (3) trèfle Huia sans tonte, (4) trèfle Huia avec tonte, (5) trèfle Huia + ray-grass sans tonte

et (6) trèfle Huia + ray-grass avec tonte (Tableau 6). La liste des traitements est décrite en détail au Tableau 5. Chacune des parcelles était composée de huit rangs de brocolis de 4 m de long. Contrairement au dispositif expérimental du volet 1 réalisé en 2016 (voir section 1.2.0), les brocolis ont été transplantés en plein champ sans paillis de plastique et sans filet d'exclusion. Les parcelles ont été irriguées par un système de goutte-à-goutte.

Tableau 5. Composition des parcelles selon les traitements en 2017 et 2018.

Traitements	Composition des parcelles
1 : Témoin enherbé	Parcelles de brocolis sans intercalaire de légumineuse et sans gestion des mauvaises herbes
2 : Témoin désherbé	Parcelles de brocolis sans intercalaire de légumineuse et avec une gestion des mauvaises herbes (sarclage mécanique et manuel)
3 : [TH]	Parcelles de brocolis avec un intercalaire de trèfle Huia (100 %), sans tonte (2017), une tonte (2018)
4 : [TH]+tonte	Parcelle de brocolis avec un intercalaire de trèfle Huia (100 %), avec tonte (2017), avec trois tontes (2018)
5 : [TH]+[RG]	Parcelles de brocolis avec un intercalaire de trèfle Huia (70 %) et ray-grass (30 %), sans tonte (2017), avec une tonte (2018)
6 : [TH]+[RG]+tonte	Parcelles avec un intercalaire de trèfle Huia (70 %) et ray-grass (30 %), avec tonte (2017), avec trois tontes (2018)

Avant le semis des intercalaires, toutes les parcelles du dispositif ont été sarclées manuellement sur le rang et mécaniquement entre les rangs. Le sol du dispositif de 2017 étant très compact, le sarclage mécanique des entre-rangs a été effectué avec un rotoculteur (Terra Nova) monté sur un tracteur porte-outils. En 2017, les intercalaires ont été semés manuellement à la volée selon les taux de semis présentés au Tableau 6. En 2018, les mêmes taux de semis ont été utilisés, mais le semis des intercalaires a été effectué à la volée à l'aide d'un applicateur d'engrais Aulari.

Tableau 6. Taux de semis et composition des intercalaires utilisés pour les traitements expérimentaux en 2017 et 2018.

# Traitements	Composition des intercalaires	Taux de semis (kg/ha)	
		Trèfle Huia	Ray-grass
Traitements 3 et 4	Trèfle Huia (100 %)	30	-
Traitements 5 et 6	Trèfle Huia (70 %) + Ray-grass (30 %)	21	9

La tonte des intercalaires était réalisée à l'aide d'une tondeuse à gazon mécanique à lames rotatives (Figure 12). Les plants ont été coupés à environ 3 po (8 cm) du sol lorsque leur hauteur ou celle des mauvaises herbes atteignait la moitié de la hauteur de la culture principale. Les résidus de tonte étaient laissés au sol entre les rangs de brocolis. En 2017, les traitements 4 et 6 ont été tondu à deux reprises. En 2018, étant donné la forte pression des mauvaises herbes, tous les traitements avec intercalaires (sauf témoin enherbé et désherbé) ont subi une tonte, tandis que les traitements 4 et 6 ont été tondu à trois reprises durant l'été (Tableau 7).



Figure 12. Tonte des intercalaires.

En 2017 et 2018, après la récolte, le système d'irrigation a été retiré des parcelles et ces dernières ont été fauchées afin de détruire les résidus de culture de brocoli (Figure 13). Les parcelles ont ainsi été laissées sans intervention jusqu'à l'automne pour favoriser la croissance des intercalaires. Puis, elles ont été incorporées à l'aide d'une herse à disques offset. Les opérations culturales et leurs dates d'exécution sont énumérées au Tableau 7.



Figure 13. Fauche et incorporation des intercalaires, 2017.

Tableau 7. Liste des opérations culturales réalisées en 2017 et 2018.

Type d'opération	Date (2017)	Date (2018)
Transplantation des brocolis	3 juin	24 mai
Sarclage (avant transplantation des intercalaires)		
Mécanique :	14-15 juin	N.A.
Manuel:	13-14 juin	6 juin
Semis des intercalaires (T-3, T-4, T-5 et T-6)	15 juin	7 juin
Sarclage du traitement désherbé (Traitement 2)		
Mécanique :	28 juin, 5 et 14 juillet	13, 22 et 29 juin
Manuel:	29 juin	7 juin et 9 juillet
Tonte des intercalaires		
- Traitements avec tonte (4 et 6) :	18 et 28 juillet	29 juin, 6 et 16 juillet
- Traitements sans tonte (3 et 5) :	-	6 juillet
Récolte des brocolis	3, 9, 16 et 23 août	3, 7 et 14 août
Fauchage des résidus de culture et intercalaires	1 ^{er} septembre	24 août
Incorporation des intercalaires	17 novembre	19 octobre

2.2.1 Abondance des insectes nuisibles

2.2.1.1 Cécidomyie du chou-fleur

Le 7 juin 2017, quatre jours après la transplantation des brocolis, un piège à phéromone Jackson a été installé dans chaque parcelle témoin sans intercalaire et désherbée (traitement 2). Le nombre de CCF capturées a été comptabilisé chaque semaine jusqu'au 11 septembre. Aucun traitement phytosanitaire contre la CCF n'a été effectué. En 2018, le piégeage de la CCF s'est déroulé de la même manière en commençant le 4 juin et en se terminant 19 octobre.

2.2.1.2 Fausse-teigne des crucifères, piéride du chou et fausse-arpenteuse du chou

En 2017, cinq dépistages ont été réalisés durant l'été, soit les 13 et 27 juin, les 12 et 26 juillet, et le 7 août. Les larves et les chrysalides des Lépidoptères visés ont été comptées sur dix plants par parcelle. Étant donné la charge de travail supplémentaire occasionnée par l'abondance du feuillage à inspecter, le nombre de plants par parcelle pour le dernier dépistage a été réduit à cinq. La même procédure a été utilisée en 2018 pour cinq dépistages : les 6 et 27 juin, 10 et 24 juillet et 8 août.

2.2.2 Abondance des ennemis naturels

2.2.2.1 Parasitoïdes des chenilles nuisibles aux crucifères

Des échantillons d'insectes ont été prélevés à l'aide d'un aspirateur dans les intercalaires de chaque parcelle approximativement toutes les deux semaines les 21 juillet, 3 et 17 août, 5, 14 et 27 septembre et 11 octobre, en 2017 et les 11 et 23 juillet, 10 et 23 août, 6 et 20 septembre, 5 octobre en 2018. Un total de sept aspirations a été réalisé chaque année. Les insectes collectés lors des aspirations ont été triés et les parasitoïdes des Lépidoptères nuisibles au brocoli ont été identifiés et dénombrés.

2.2.2.2 Parasitisme de la fausse-teigne des crucifères

En 2017, les 7 et 8 août, au début de la récolte des brocolis, toutes les larves et les chrysalides de FTC présentes sur 16 plants ont été prélevées dans chacune des parcelles et mises individuellement en élevage. En 2018, les mêmes travaux ont été effectués le 30 juillet (voir section 1.2.2.2 pour la méthodologie et les conditions d'élevage).

2.2.2.3 Activité des carabes

En 2017 et 2018, des pièges-fosses ont été utilisés afin de déterminer l'activité des carabes dans chaque parcelle. Ces pièges ont été installés à différentes périodes de croissance des intercalaires (Tableau 8). Après 48 heures, les insectes piégés ont été triés et les carabes d'intérêt, soit le genre *Harpalus* et l'espèce *Pterostichus melanarius* ont été identifiés et dénombrés. L'abondance totale de toutes les espèces de carabes (Famille : Carabidae) a également été évaluée.

Tableau 8. Périodes de piégeages des carabes dans les parcelles d'intercalaires en 2017 et 2018.

Période de piégeage	Dates (2017)	Dates (2018)
Deux semaines après le semis des intercalaires	3 au 5 juillet	4 au 6 juillet
Quatre semaines après le semis des intercalaires	19 au 21 juillet	18 au 20 juillet
Six semaines après le semis des intercalaires	31 juillet au 2 août	1 au 3 août
Huit semaines après le semis des intercalaires	14 au 16 août	15 au 17 août
Une semaine après la fauche des intercalaires	-	29 au 31 août
Trois semaines après la fauche des intercalaires	-	12 au 14 septembre

2.2.3 Biomasse des mauvaises herbes et des intercalaires

Avant la récolte des brocolis et avant l'incorporation des intercalaires, une évaluation de la densité (2017) et de la biomasse des mauvaises herbes et des intercalaires (2017 et 2018) a été réalisée. Pour ce faire, les plants de mauvaises herbes et d'intercalaires ont été identifiés à l'intérieur d'un quadrat placé dans chaque parcelle. En 2017, des quadrats de 40 X 50 cm ont été utilisés avant la récolte et de 20 X 50 cm avant l'incorporation. En 2018, des quadrats de 40 x 50 cm ont été utilisés pour les deux périodes d'échantillonnages. Les plants retrouvés dans

les quadrats ont été coupés à la surface du sol, puis ensachés par espèce. Les échantillons étaient ensuite séchés à 65 °C et pesés jusqu'à l'obtention d'un poids stable. Les dates d'évaluation pour les deux années sont présentées au Tableau 9.

Tableau 9. Périodes et dates d'évaluation de la biomasse et de la densité des mauvaises herbes et des intercalaires en 2017 et 2018.

Périodes d'évaluation des mauvaises herbes et des intercalaires	2017	2018
Avant la récolte de brocolis	1 ^{er} et 2 août	1 ^{er} et 2 août
Avant l'incorporation des intercalaires	7 et 8 novembre	12 et 16 octobre

2.2.4 Rendement de la culture de brocoli

En 2017, la méthodologie de récolte a été la même qu'au volet 1 (voir section 1.2.4). Pour 2018, plusieurs facteurs abiotiques (conditions de sécheresse) et biotiques (pression de la CCF et forte pression des mauvaises herbes) ont fait en sorte qu'une très faible quantité de plants ont produit une tête de brocoli (Figure 14 et Figure 15). Il a donc été convenu de récolter des plants entiers afin d'avoir un élément de comparaison entre les traitements en fin de saison. Ainsi, les variables évaluées ont été les dommages de CCF et le poids des plants entiers de brocoli. Pour les dommages de CCF, l'échelle de dommages (Hallett, 2007) a été utilisée sur 10 plants choisis aléatoirement dans les quatre rangs du centre de chaque parcelle en excluant les deux plants aux extrémités des rangs (voir Annexe B). Pour le poids, cinq plants ont été choisis aléatoirement dans chaque parcelle. Les cinq plants choisis étaient coupés au ras du sol et pesés.

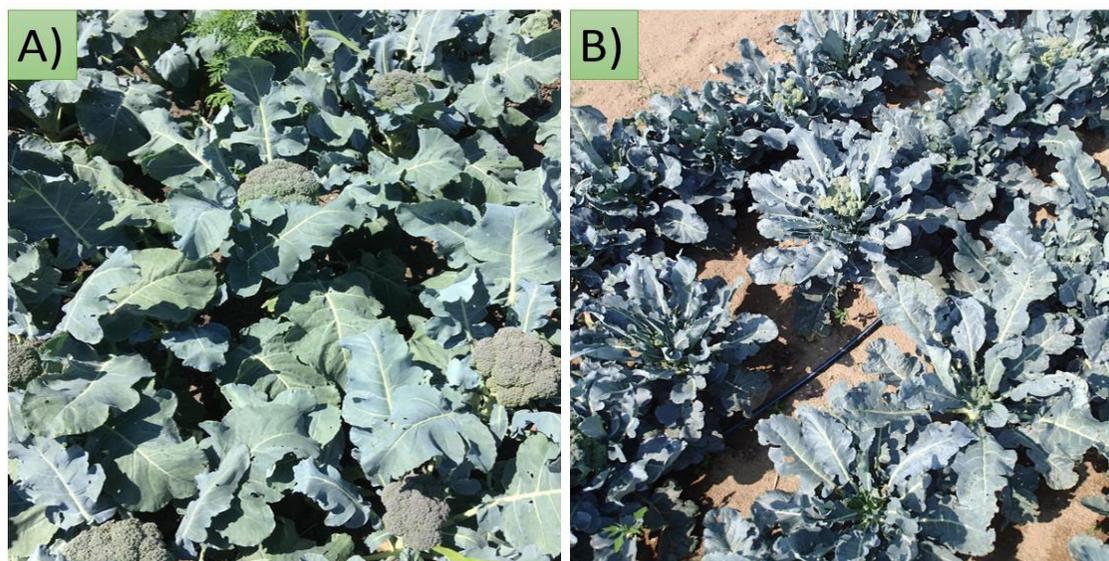


Figure 14. État des parcelles de culture de brocolis durant la période de l'évaluation du rendement en 2017 (A) et en 2018 (B).



Figure 15. État des têtes de brocolis observées dans les parcelles en 2018 (têtes irrégulières, trop petites ou encore plants borgnes).

2.2.5 Rendement et teneur en azote et carbone des intercalaires

En 2017 et 2018, au moment de la récolte, trois quadrats d'une dimension de 20 cm X 50 cm ont été positionnés dans chaque parcelle. Dans ces derniers, tout le couvert végétal a été récolté. Le poids frais des échantillons a été pesé. Les échantillons des intercalaires ont ensuite été séchés et leur concentration en carbone et en azote a été analysée. Les intercalaires ont aussi été échantillonnés avec la même méthode une deuxième fois juste avant leur incorporation.

2.2.6 Structure du sol

En 2017 et 2018, avant l'incorporation des intercalaires, un échantillon de sol d'une dimension de 10 x 10 cm et d'une profondeur de 10 cm a été prélevé dans chaque parcelle. Les échantillons ont été acheminés au Laboratoire d'analyses agroenvironnementales (LAA) de l'IRDA à Québec pour une analyse physique par tamisage qui permet de déterminer la stabilité des agrégats.

2.2.7 Analyses statistiques

Les modèles d'analyse de variance ont été ajustés à l'aide de la procédure PROC MIXED ou PROC GLIMMIX de SAS (version 9.4), selon la variable analysée, telle que pour le volet 1 du projet. Le traitement est le seul effet fixe dans le modèle. Les blocs et l'erreur résiduelle sont les effets aléatoires. Les degrés de liberté ont été estimés par la méthode d'approximation de Satterthwaite.

Lorsque l'effet de traitement est significatif selon le test de F, les tests de t des comparaisons deux à deux entre les traitements ont été effectués avec des tests de t. Les moyennes par traitement ajustées au modèle d'ANOVA et les erreurs types ont été calculées.

Un modèle mixte généralisé avec fonction de lien log pour dénombrements obéissant à une loi de Poisson (Proc GLIMMIX) a été appliqué pour les variables des volets aspirations, carabes, dépistages, et insectes. Un paramètre de sur-dispersion a été calculé pour ces modèles.

Un modèle mixte généralisé avec fonction de lien logit pour variable de proportion à caractère binomial (Proc GLIMMIX) a été ajusté pour la proportion de dommages et la proportion de parasitisme.

Un modèle mixte généralisé avec fonction de lien logit généralisé pour variable à caractère multinomial nominal (Proc GLIMMIX) a été ajusté pour investiguer le lien entre le traitement et l'état des plants de brocoli. Les plants de brocoli échantillonnés dans une parcelle ont été classés selon 4 états : brocoli mature, immature, repousse ou aucune tête. La variable réponse de ce modèle est log (probabilité que l'état soit X / probabilité d'un des trois autres états possibles).

Un modèle mixte généralisé avec fonction de lien logit pour variable à caractère binomial (Proc GLIMMIX) a été également ajusté pour l'analyse des données de l'état des brocolis. Dans ce cas, on considère deux classes possibles, soit aucune tête ou autre. La variable réponse est log(prob(aucune tête)/prob(autre état)).

Un modèle mixte pour données normales (Proc MIXED) a été appliqué pour les variables des volets de biomasse de mauvaises herbes, d'intercalaires, de rendement en brocoli et de structure de sol.

2.3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

2.3.1 Abondance des insectes nuisibles

2.3.1.1 Cécidomyie du chou-fleur

En 2017, l'abondance de la CCF est demeurée assez faible tout au long de la saison (Figure 16). Un premier pic des captures de CCF a été observé le 24 juillet avec une moyenne de 2,5 CCF par piège. Les captures sont restées constantes tout le reste de la saison jusqu'au deuxième pic le 4 septembre avec une moyenne de 15 CCF par piège. Ce dernier pic a été observé après la dernière récolte (23 août) et la fauche des parcelles (1^{er} septembre).

En 2018, le scénario a été à l'opposé de 2017. L'abondance totale de CCF capturées a été 16 fois plus élevée qu'en 2017. Un premier pic de capture a été observé le 28 mai avec 14 CCF en moyenne par piège. Un deuxième pic a suivi le 9 juillet avec 25 CCF en moyenne par piège. Les populations ont légèrement diminué durant les quatre semaines suivantes avec une moyenne de 15 à 70 CCF par piège. Ceci a été suivi d'une explosion de captures formant le troisième pic le 20 août avec une moyenne de 199 CCF par piège, dont un piège qui s'est retrouvé avec 372 individus. Un dernier pic peut être observé le 17 septembre avec 17 CCF par piège en moyenne. Contrairement à 2017, il a été possible d'observer quatre pics de captures démontrant la présence de trois générations et d'une pression très élevée de la CCF dans nos parcelles expérimentales. Selon le seuil d'intervention phytosanitaire suggéré par le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario (MAAARO), qui est d'une à cinq CCF capturées par piège par jour, un traitement phytosanitaire aurait été nécessaire dans les parcelles de brocolis dès le 10 juillet 2018 (Allen *et al.*, 2008). À ce moment, les brocolis étaient au stade de formation des boutons floraux dans l'ensemble du dispositif. Aucune intervention n'a été

effectuée puisque les plants de brocolis avaient alors atteint le stade « début de la formation de l'inflorescence », stade auquel il est recommandé de cesser les applications d'insecticides (Tremblay et al. 2014).

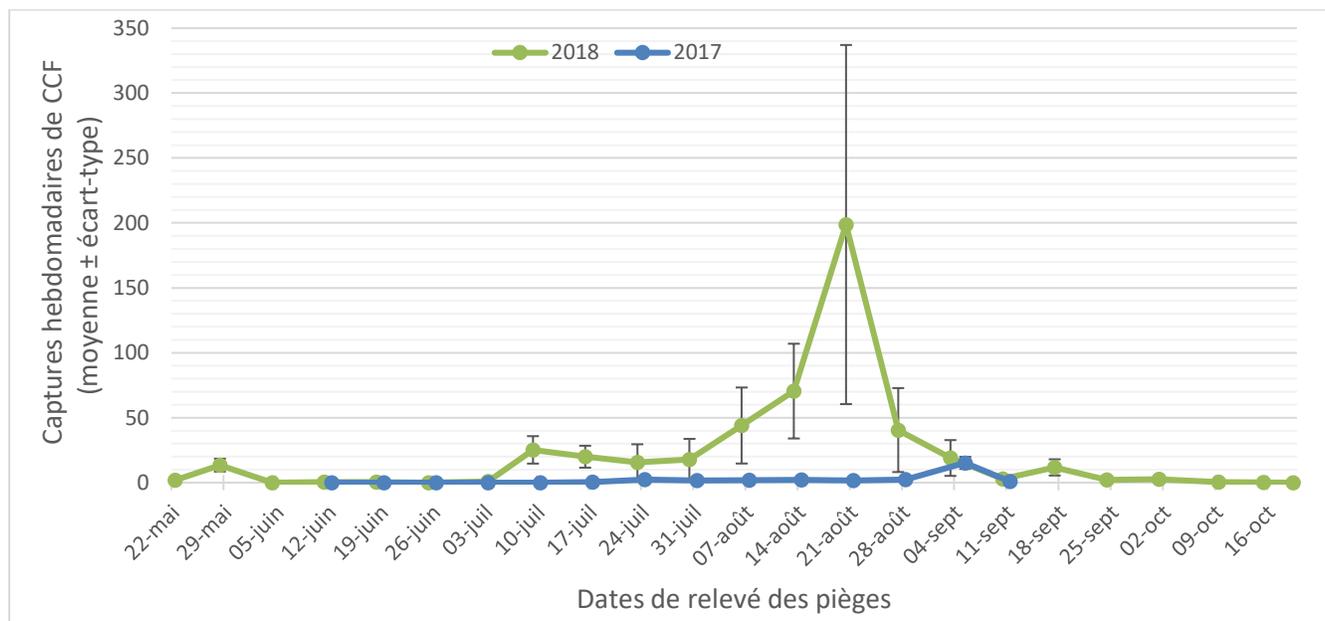


Figure 16. Captures de cécidomyies du chou-fleur par piège, par semaine (moyenne ± écart-type), dans les parcelles témoins désherbés du 16 juin au 11 septembre en 2017 et du 22 mai au 19 octobre 2018.

2.3.1.2 Fausse-teigne des crucifères, piéride du chou et fausse-arpenteuse du chou

En 2017 et 2018, la FTC a également été l'espèce de chenille la plus abondante sur notre site d'expérimentation. Les deux autres ravageurs, la PC et la FAC, ont été observés en moyenne entre 0,034 et 0,001 individu par plant en 2017 et entre 0,33 et 0,02 individu par plant en 2018. Étant donné la faible présence de ces ravageurs, seuls les résultats obtenus pour la FTC sont présentés dans ce rapport.

En 2017, l'abondance des larves de FTC/plant observées pour toute la saison (Figure 17) a été de 1,43 pour le témoin enherbé, 1,05 pour le témoin désherbé, 1,43 pour le trèfle Huia sans tonte, 1,15 pour le trèfle Huia avec tonte, 1,56 pour le mélange trèfle Huia et ray-grass et de 1,38 pour le mélange avec tonte. Ces résultats ne montrent pas de différence significative entre les traitements ($F_{[5,14.88]} = 1,80$; $p = 0,1742$) au niveau de la pression des larves de FTC au courant de la saison. Pour les chrysalides, l'abondance de FTC/plant a été de 0,27 pour le témoin enherbé, 0,13 pour le témoin désherbé, 0,23 pour le trèfle Huia sans tonte, 0,20 pour le trèfle Huia avec tonte, 0,36 pour le mélange trèfle Huia et ray-grass et de 0,18 pour le mélange avec tonte. Malgré ces faibles densités de chrysalides, le mélange sans tonte a obtenu une densité de chrysalides significativement plus grande que les autres traitements ($F_{[5,15.19]} = 3,05$; $p = 0,0423$) sauf pour le trèfle Huia sans tonte et le témoin enherbé. Inversement, une densité significativement plus faible a été observée dans le témoin désherbé par rapport au témoin enherbé et au mélange sans tonte. Ces résultats ne permettent pas de déterminer clairement un effet confondant des intercalaires sur les larves et les chrysalides de FTC à la recherche de leurs plantes-hôtes, dans ce cas-ci les brocolis.

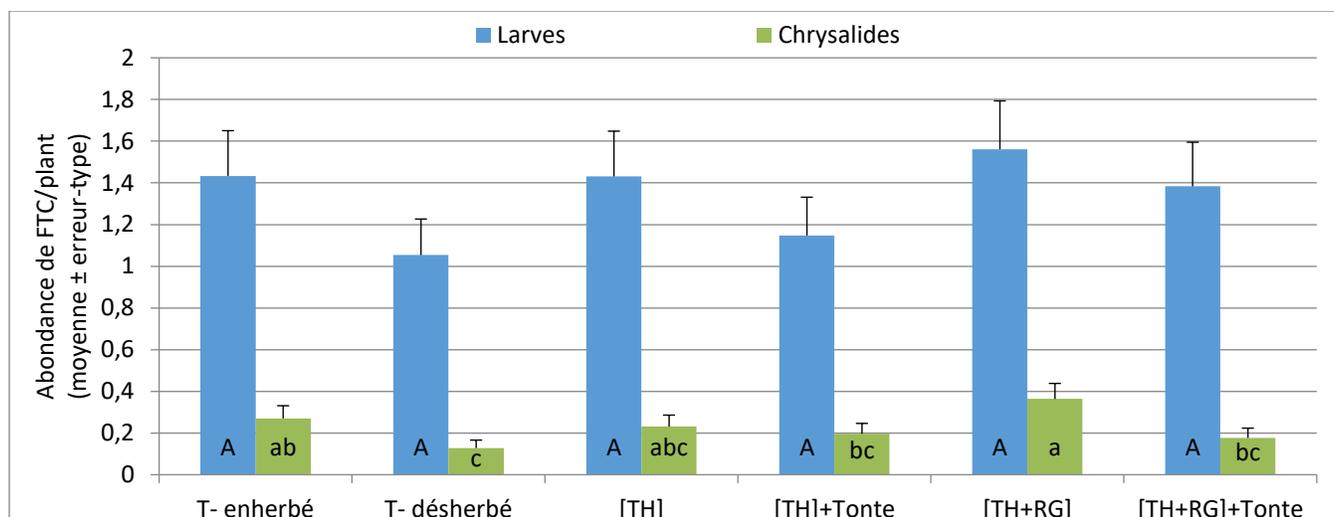


Figure 17. Abondance par plant (moyenne ± erreur type) de fausse-teigne des crucifères au stade larvaire et chrysalide selon les traitements d'intercalaire en 2017.

En 2018, l'abondance des larves de FTC/plant pour toute la saison (Figure 18) a été de 1,49 pour le témoin enherbé, 1,43 pour le témoin désherbé, 1,25 pour le trèfle Huia sans tonte, 1,20 pour le trèfle Huia avec tonte, 1,36 pour le mélange trèfle Huia et ray-grass et de 1,21 pour le mélange avec tonte. Ces différences ne sont cependant pas significatives entre les traitements ($F_{[5,15]} = 0,26$; $p = 0,9277$). Pour les chrysalides, l'abondance de FTC/plant a été de 0,32 pour le témoin enherbé, 0,28 pour le témoin désherbé, 0,19 pour le trèfle Huia sans tonte, 0,48 pour le trèfle Huia avec tonte, 0,26 pour le mélange trèfle Huia et ray-grass et de 0,30 pour le mélange avec tonte. ($F_{[5,15]} = 1,80$; $p = 0,1736$). Bref, l'abondance de FTC a été similaire pour l'ensemble de traitements.

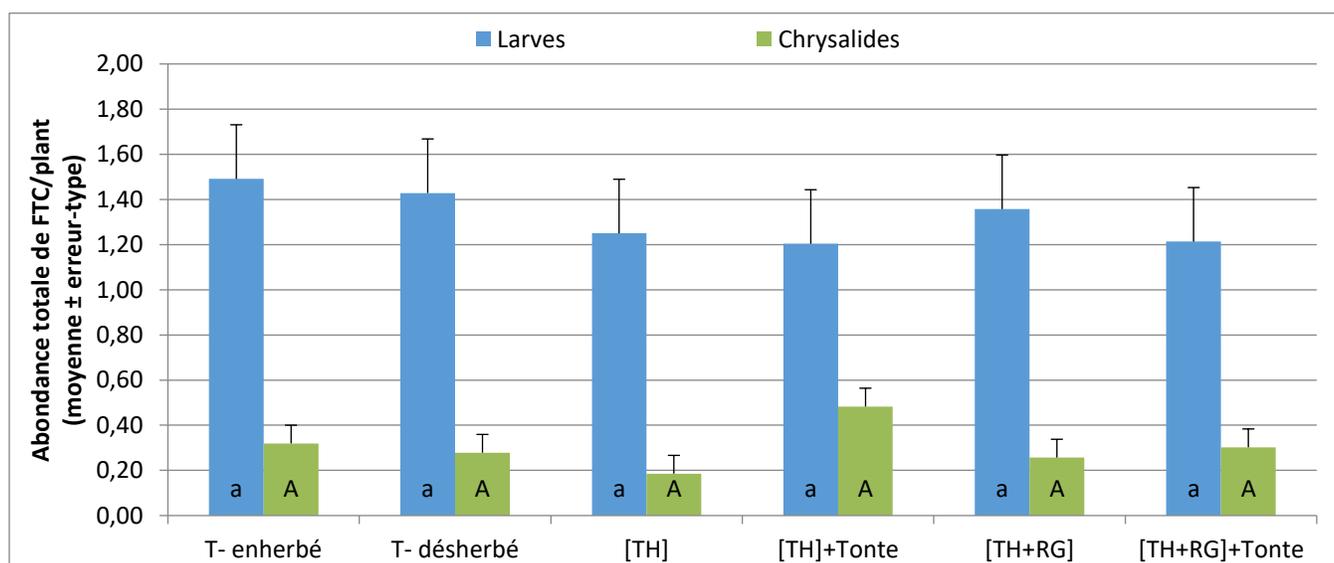


Figure 18. Abondance par plant (moyenne ± erreur type) de fausse-teigne des crucifères au stade larvaire et chrysalide selon les traitements d'intercalaire en 2018.

2.3.2 Abondance des ennemis naturels

2.3.2.1 Parasitoïdes des chenilles nuisibles aux crucifères

En 2017, les aspirations ont permis d'évaluer le profil de cinq taxons (0). L'abondance de la famille des Braconidae a varié de 6,2 à 77,0 individus selon les traitements et a été significativement plus faible dans les témoins désherbés que dans les témoins enherbés. De plus, l'abondance dans les témoins enherbés a été significativement plus faible que dans les traitements avec un intercalaire, soit avec trèfle Huia et mélange de trèfle Huia et ray-grass, avec et sans tonte ($F_{[5,7.321]} = 37,57$; $p < 0,0001$). Pour la famille des Microgastrinae, l'abondance a varié de 1,0 à 7,8 individus et a été significativement plus élevée dans les témoins enherbés et les traitements avec intercalaires que les témoins désherbés ($F_{[5, 7.863]} = 4,33$; $p = 0,0341$). Il a également été possible d'observer cette différence pour la famille des Ichneumonidae ($F_{[5, 6.311]} = 8,63$; $p = 0,009$) où l'abondance a varié de 0,8 à 7,8 individus.

Pour *D. insulare*, malgré une faible abondance dans le témoin désherbé (0,25 individu), l'abondance de cette espèce par aspiration n'a pas été significativement différente entre les traitements ($F_{[5,4.627]} = 1,98$; $p = 0,2447$). Pour *D. subtilicornis*, étant donné le très faible nombre d'individus capturés, aucune analyse statistique n'a été effectuée. Toutefois, aucun spécimen n'a été retrouvé dans les deux témoins.

Ces résultats laissent croire que l'abondance de certains taxons des principaux parasitoïdes des chenilles nuisibles des crucifères, dont des Braconidae et des Ichneumonidae, semble influencée par la présence d'intercalaires. Les résultats indiquent que ces derniers sont présents dans les entre-rangs lorsqu'il y a présence de végétation. De plus, les intercalaires semblent avoir davantage favorisé la présence des Braconidae que le témoin enherbé. Pour *D. insulare*, le principal parasitoïde de la FTC, bien que les différences ne soient pas significatives, il semble y avoir une tendance vers une plus grande abondance de ce parasitoïde lorsqu'il y a présence de végétation, soit dans le témoin enherbé ou encore les intercalaires.

Tableau 10. Abondance (moyenne \pm erreur type) des principaux parasitoïdes des ravageurs des crucifères capturés par aspiration après la levée des intercalaires en 2017.

Super famille	Ichneumonoidea							
Famille	Braconidae			Ichneumonidae				
Sous-famille	Microgastrinae			Campopleginae		Ichneumoninae		
Genre espèce	<i>Cotesia</i> spp. <i>M. plutellae</i> <i>D. claritibia</i> et autres espèces			<i>Diadegma insulare</i>		<i>Diadromus subtilicornis</i>		
T- enherbé	29,8 \pm 1,6	a	4,8 \pm 0,5	a	3,2 \pm 1,0	a	2,2 \pm 0,6	0
T- désherbé	6,2 \pm 1,10	b	1,0 \pm 0,4	b	0,8 \pm 0,2	b	0,2 \pm 0,2	0
TH	77,0 \pm 8,7	c	6,0 \pm 2,1	a	7,8 \pm 1,6	a	4,0 \pm 1,1	0,8
TH+TONTE	55,0 \pm 10,1	c	7,8 \pm 1,8	a	6,8 \pm 0,9	a	3,0 \pm 1,1	0,5
TH+RG	65,2 \pm 14,9	c	6,8 \pm 1,6	a	6,0 \pm 1,8	a	2,0 \pm 0,4	0,5
TH+RG+TONTE	60,0 \pm 6,7	c	4,5 \pm 0,6	a	5,0 \pm 1,2	a	2,5 \pm 0,3	0,8
p=	< 0,001		0,0341		0,009		0,2447	-

En 2018, ces mêmes taxons ont été évalués (Tableau 11). Pour la famille des Braconidae, une différence significative a été observée entre les traitements ($F_{[5, 18]} = 3,35$; $p = 0,0258$). Leur abondance a été plus faible dans les témoins désherbés que dans les intercalaires. Il ne semble pas y avoir de différence entre les deux témoins et aucune différence n'a été observée entre le témoin enherbé et les traitements avec tonte. Une plus grande abondance des Braconidae a été observée dans les parcelles sans tonte, mais aucune différence n'a été observée entre les parcelles avec trèfle Huia et avec trèfle Huia et ray-grass.

Pour les taxons d'intérêts, soit les Microgastrinae ($F_{[5,18]} = 1,36$; $p = 0,2837$), les Ichneumonidae ($F_{[5, 15.01]} = 2,60$; $p = 0,0697$), *D. insulare* ($F_{[5, 18]} = 2,31$; $p = 0,0874$) et *D. subtilicornis* ($F_{[5,18]} = 0,17$; $p = 0,9711$), aucune différence significative n'a été observée entre les traitements.

Tableau 11. Abondance (moyenne \pm erreur type) des parasitoïdes principaux des ravageurs des crucifères sur le nombre d'aspirations réalisées après la levée des intercalaires dans les traitements pour 2018.

Super famille	Ichneumonoidea					
Famille	Braconidae			Ichneumonidae		
Sous-famille	Microgastrinae			Campopleginae		Ichneumoninae
Genre espèce	<i>Cotesia</i> spp. <i>M. plutellae</i> <i>D. claritibia</i> et autres espèces			<i>Diadegma insulare</i>	<i>Diadromus subtilicornis</i>	
T- enherbé	4,57 \pm 0,70	ac	0,61 \pm 0,20	0,82 \pm 0,21	0,57 \pm 0,16	0,07 \pm 0,13
T- désherbé	3,54 \pm 0,62	a	0,36 \pm 0,15	0,82 \pm 0,21	0,68 \pm 0,18	0,04 \pm 0,09
TH	7,14 \pm 0,88	b	0,82 \pm 0,23	1,36 \pm 0,27	0,75 \pm 0,19	0,18 \pm 0,21
TH+TONTE	7,29 \pm 0,80	bc	1,11 \pm 0,20	1,93 \pm 0,25	1,36 \pm 0,17	0,07 \pm 0,13
TH+RG	6,35 \pm 0,89	b	0,74 \pm 0,26	1,51 \pm 0,32	1,04 \pm 0,25	0,07 \pm 0,13
TH+RG+TONTE	5,89 \pm 0,83	bc	0,61 \pm 0,21	1,14 \pm 0,28	0,61 \pm 0,22	0,21 \pm 0,23
p=	0,0258		0,2837	0,0697	0,0874	0,9711

2.3.2.2 Parasitisme de la fausse-teigne des crucifères

Pour chaque traitement, le nombre de FTC récoltées est indiqué au bas de chaque graphique (Figure 19). En 2017, le nombre de captures de FTC a été plus faible dans les parcelles de témoin désherbé (27 FTC récoltées) que dans les parcelles des autres traitements. Le taux de parasitisme (incluant l'hyperparasitisme) de la FTC en 2017 a été de 71,9 % pour le témoin enherbé, 55,6 % pour le témoin désherbé, 73,6 % pour le trèfle Huia sans tonte, 63,6 % pour le trèfle Huia avec tonte, 73,7 % pour le mélange de trèfle Huia et ray-grass sans tonte et 69,0 % pour le mélange avec tonte (Figure 19). Pour ces mêmes traitements, le taux de mortalité observé en chambre de croissance a été de 21,3 %, 22,2 %, 13,9 %, 11,7 %, 24,6 % et 10,3 %, respectivement. Aucune différence du taux de parasitisme ($F_{[5, 5.816]} = 0,72$; $p = 0,6325$) et du taux de mortalité ($F_{[5, 4.881]} = 0,67$; $p = 0,6649$) n'a été observée entre les traitements. En observant le pourcentage des FTC ayant émergé au stade imago, 6,4 %, 22,4 %, 11,6 %, 21,4 %, 1,6 % et 20,3 % d'émergence pour ces mêmes traitements respectivement. Ces proportions n'ont pas été significativement différentes entre les traitements ($F_{[5,2.5]} = 5,99$; $p = 0,1110$). Le taux d'hyperparasitisme a varié de 0 à 6,9 % entre les traitements où seul le témoin désherbé n'a eu aucun hyperparasitoïde. Ceci peut être expliqué par un faible échantillonnage.

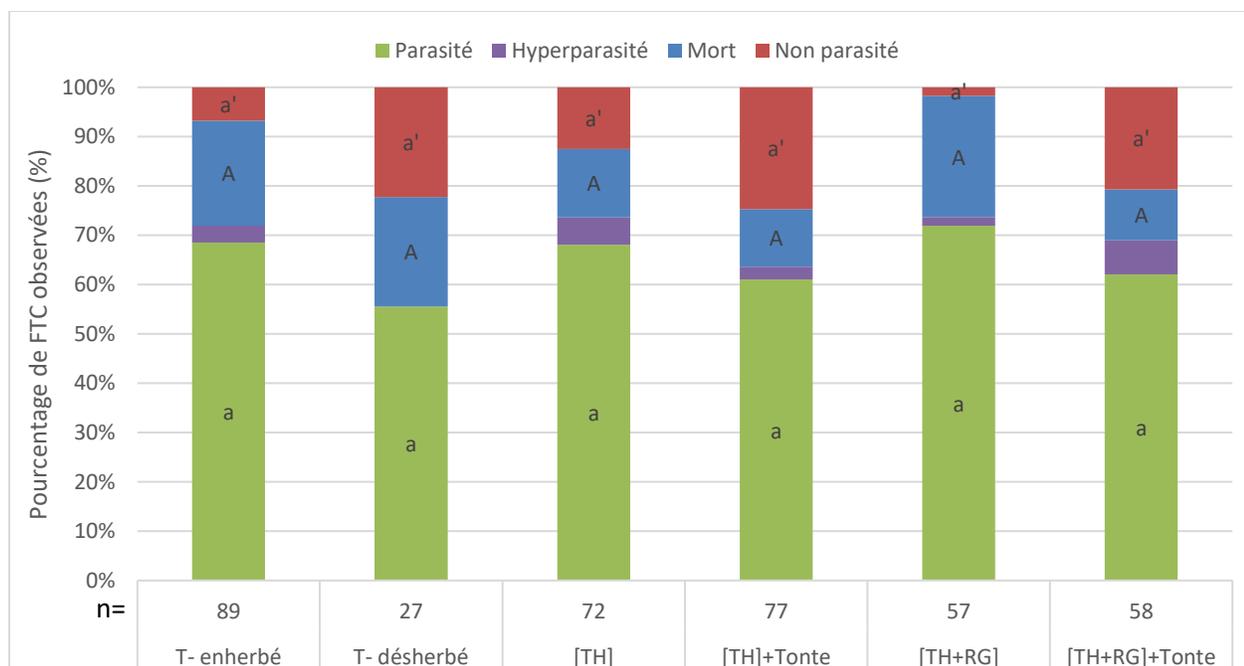


Figure 19. Pourcentage de parasitisme des larves et nymphes de fausse-teigne des crucifères (moyenne \pm écart-type) capturées dans les parcelles de brocolis le 7 et 8 août 2017.

En 2018, l'échantillonnage de FTC a été nettement supérieur à celui de 2017 allant de 191 à 287 FTC récoltés selon le traitement. Le taux de parasitisme (et hyperparasitisme) pour 2018 a été de 56,4 % pour le témoin enherbé, 50,1 % pour le témoin désherbé, 64,2 % pour le traitement avec trèfle Huia, 63,7 % pour le traitement avec trèfle Huia et tonte, 58,0 % pour le traitement avec un mélange de trèfle Huia et ray-grass et 63,4 % pour le traitement du mélange avec tonte. Pour le taux de mortalité, pour ces mêmes traitements, 11,5 %, 11,5 %, 13,2 %, 13,7 %, 17,3 % et 17,3 % ont été observés respectivement. Le taux d'hyperparasitisme a varié de 0,3 à 4,2 % entre les traitements où le trèfle Huia avec tonte a obtenu le plus haut pourcentage et le témoin désherbé avec le plus faible. Ces pourcentages restent négligeables. Pour le taux d'individus non parasité, pour ces mêmes traitements, 32,0 %, 38,3 %, 22,5 %, 22,6 %, 24,7 % et 19,4 % ont été observés respectivement. Ces résultats n'ont pas permis d'observer de différence significative sur le taux de mortalité ($F_{[5,15.03]} = 1,19$; $p = 0,3615$) et sur le taux de parasitisme ($F_{[5, 15.6]} = 2,68$; $p = 0,0616$) entre les traitements. En revanche, il a été possible de constater que le pourcentage de FTC non parasitées a été plus faible dans les traitements avec intercalaires que dans le témoin désherbé ($F_{[5,18]} = 2,84$; $p = 0,0463$), mais aucune différence n'a été observée entre les témoins. Selon le rapport de cote, il y a deux fois plus de chance de trouver une FTC non parasitée dans le témoin désherbé que dans les parcelles avec intercalaires. Les parasitoïdes et hyperparasitoïdes émergés des FTC en 2017 et 2018 ont été identifiés et sont présentés en Annexe C. Le témoin désherbé a obtenu le pourcentage d'hyperparasitisme le plus faible autant en 2017 qu'en 2018. Ceci n'est pas surprenant pour le témoin de 2017 pour son faible échantillonnage, mais pour 2018, le témoin désherbé a eu le plus d'individus échantillonnés. L'effet des hyperparasitoïdes n'a toutefois pas été analysé dans le cadre de cette étude.

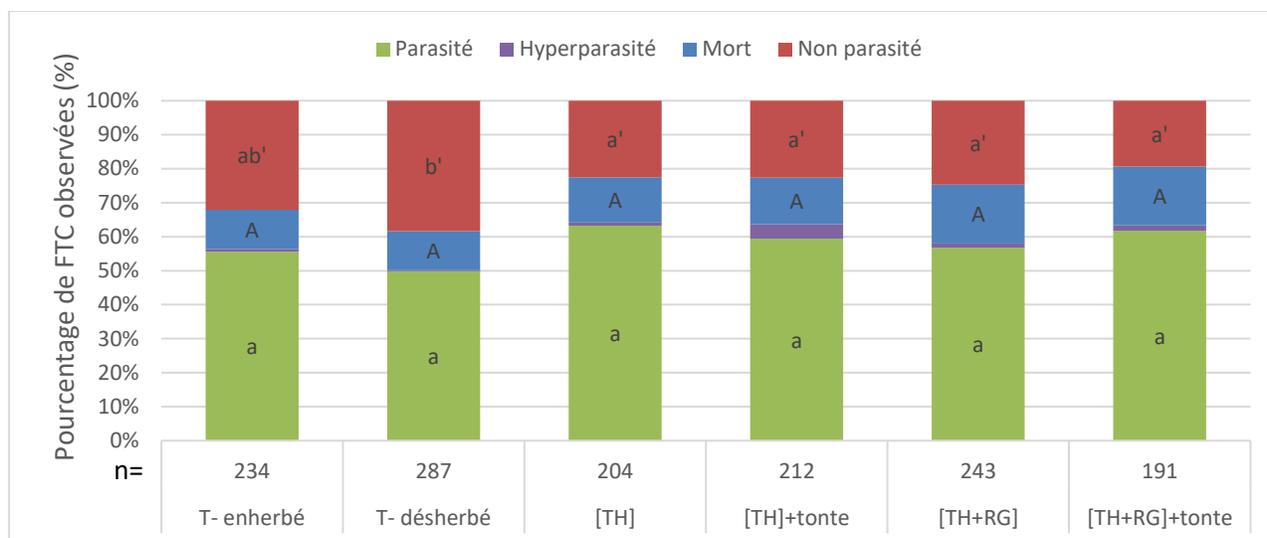


Figure 20. Pourcentage de parasitisme des larves et nymphes de fausse-teigne des crucifères (moyenne \pm écart-type) capturées dans les parcelles de brocolis le 30 juillet 2018.

2.3.2.3 Activité des carabes

Comme présenté à la Figure 21, en 2017 *P. melanarius* a été capturé de façon anecdotique dans le témoin enherbé, les traitements trèfle Huia et mélange de trèfle et ray-grass sans tonte. Ainsi, aucune analyse statistique n'a été réalisée à cet effet. Il est tout de même intéressant de noter sa faible abondance en comparaison avec le volet 1 (Figure 8). L'abondance d'*Harpalus* spp., qui a varié de 6,4 à 35,4 individus pour la saison 2017, a été significativement plus élevée ($F_{[5,15.01]} = 7,05$; $p = 0,0014$) dans les témoins enherbés que dans tous les autres traitements sauf pour le mélange sans tonte. Aucune différence sur l'abondance n'a été observée entre les parcelles avec intercalaires de légumineuses. Toutefois l'abondance du mélange sans tonte a été significativement plus élevée que le témoin désherbé et du mélange avec tonte. Pour l'abondance de l'ensemble des Carabidae capturés qui a varié de 8,2 à 41,8 individus en moyennes, les observations ont été semblables à *Harpalus* spp. où l'abondance du témoin enherbé a été significativement plus élevée ($F_{[5,18]} = 5,66$; $p = 0,0026$) que tous les autres traitements sauf pour le mélange sans tonte. L'abondance du témoin désherbé (8,2 individus) a été significativement plus faible que tous les autres traitements. Aucune différence n'a été observée entre les traitements d'intercalaires de légumineuses.

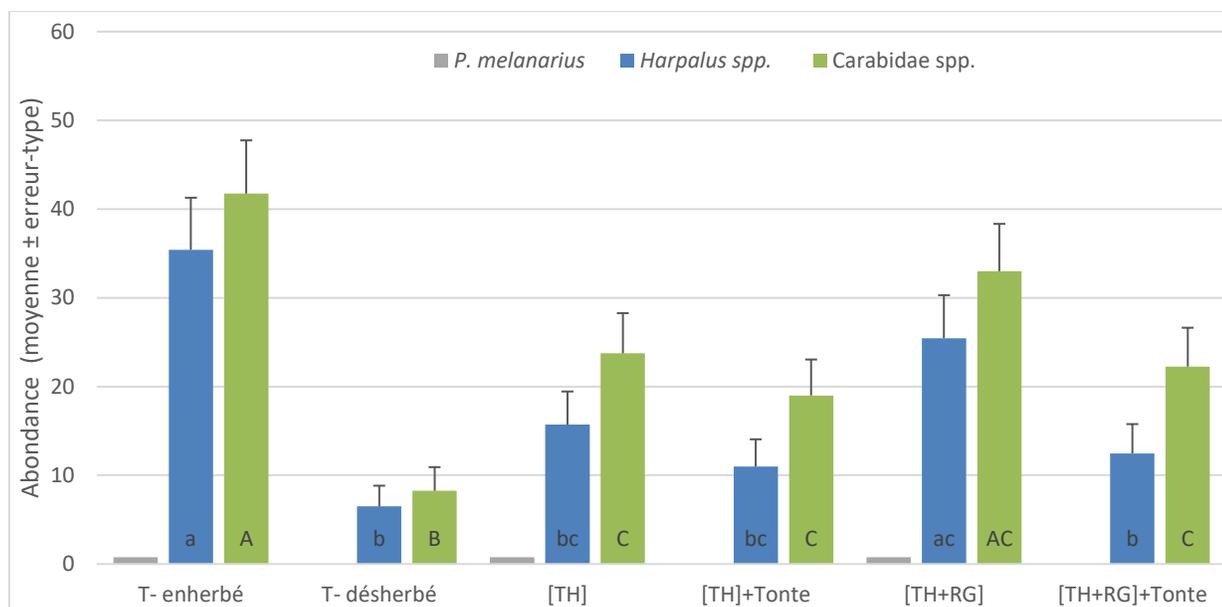


Figure 21. Abondance totale pour les quatre dates de captures (moyenne \pm erreur type) de *P. melanarius*, du genre *Harpalus* et l'ensemble des Carabidae dans les six traitements d'intercalaires au courant de l'été 2017.

L'abondance de *P. melanarius* en 2018 a été assez faible, soit 7,5 individus dans le témoin enherbé, 3,0 pour le témoin dés herbé, 2,3 pour le trèfle sans tonte, 1,3 pour le trèfle avec tonte, 9,3 pour le mélange sans tonte et 1,3 pour le mélange avec tonte. Aucune différence sur l'abondance n'a été observée entre les traitements ($F_{[5,15.39]} = 1,69$; $p = 0,1972$). Pour *Harpalus* spp., leur abondance a été de 47,3, 10,5, 30,5, 37,5, 45,0 et 36,8 individus respectivement pour ces mêmes traitements. L'abondance d'*Harpalus* spp. a été significativement plus faible dans le témoin dés herbé ($F_{[5,4.543]} = 8,07$; $p = 0,0243$) que tous les autres traitements. De plus, l'abondance d'*Harpalus* spp. a été significativement plus faible dans les parcelles de trèfle Huia sans tonte que pour les témoins enherbés, mais aucune différence n'a été observé entre les parcelles d'intercalaires de légumineuses.

Pour les Carabidae, leur abondance a été de 62,5, 19,0, 38,0, 44,8, 64,8, 42,8 individus respectivement pour ces mêmes traitements. L'abondance des Carabidae spp. témoin dés herbé a été significativement plus faible que tous les autres traitements sauf pour le mélange avec tonte ($F_{[5,4.023]} = 27,61$; $p = 0,0013$). Ces résultats reflètent ce qui a été observé en 2017 où l'abondance des carabes a été plus élevée dans le témoin enherbé et plus faible dans le témoin dés herbé. Toutefois aucune différence n'a été observée entre le témoin enherbé et les intercalaires de légumineuses.

Concernant l'abondance variable de *P. melanarius* entre les deux années, ceci pourrait être expliqué par son mode de développement. *P. melanarius* est une espèce qui, contrairement aux espèces du genre *Harpalus* spp., hiverne dans les champs au stade larvaire seulement. L'abondance de *P. melanarius* peut donc être influencée négativement lors du travail du sol (Trefas et van Lenteren, 2008). Les parcelles de 2017 étaient situées sur un champ en culture tandis que les parcelles en 2018 étaient sur un retour de prairie où le champ n'avait pas été entièrement travaillé, ce qui pourrait expliquer cette différence.

Les espèces les plus abondantes dans notre dispositif durant les trois années d'étude ont été *Harpalus rufipes* suivi de *Harpalus pennsylvanicus*, deux carabes omnivores qui ont tendance à favoriser un régime alimentaire granivore (Harrison et Gallandt, 2012; Jørgensen et Toft, 1997). Contrairement au volet 1, il a été possible d'observer de lien entre le couvert végétal et l'activité des carabes comme il avait été démontré pour *H. rufipes* (Gallandt *et al.*, 2005). Il est intéressant de constater qu'il n'y avait pas de différence entre les traitements enherbés et les intercalaires de légumineuses pour 2018, sauf pour les parcelles de trèfle Huia sans tonte, sachant que la biomasse de mauvaises herbes n'a pas été différente entre les traitements (voir section 2.3.3).

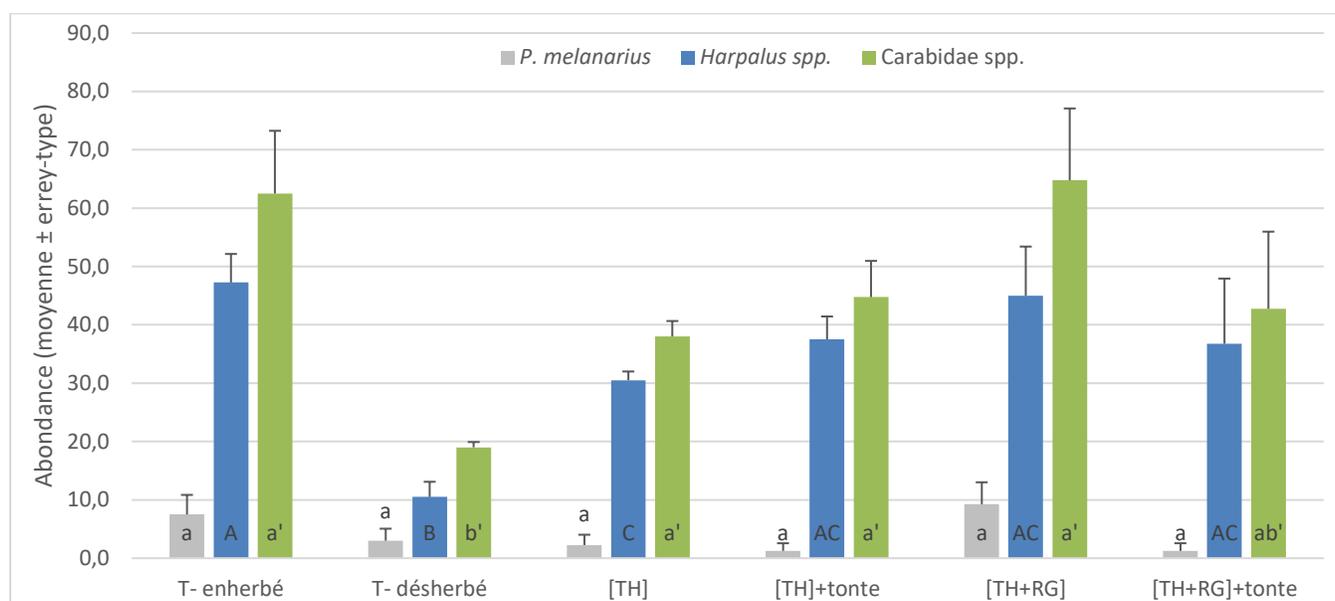


Figure 22. Abondance totale pour les sept dates de captures (moyenne \pm erreur type) de *P. melanarius*, du genre *Harpalus* et l'ensemble des Carabidae dans les six traitements d'intercalaires au courant de l'été 2018.

2.3.3 Biomasse des mauvaises herbes et des intercalaires

En 2017, à la récolte, les espèces les plus abondantes dans le témoin enherbé étaient le plantain majeur (*Plantago major*), le chénopode blanc, le pied-de-coq et le panic capillaire (*Panicum capillare*) représentant respectivement 29 %, 16 %, 14 % et 11 % de la densité totale des mauvaises herbes. Par contre, les plantules de plantain majeur et de panic capillaire étaient petites et ne représentaient que 4 % et 1 % respectivement de la biomasse totale de mauvaises herbes. Le chénopode blanc, la digitale astringente et le pied-de-coq représentaient respectivement 15 %, 24 % et 40 % de la biomasse totale des mauvaises herbes. Ces mêmes espèces étaient présentes dans les parcelles avec des intercalaires avec une prédominance de sétaïres dans les traitements avec trèfle huia seulement.

L'implantation en intercalaire de trèfle Huia sans tonte n'a pas eu d'effet sur la densité et la biomasse des mauvaises herbes comparé au témoin enherbé. Par contre, le traitement de trèfle Huia avec tonte a réduit de 40 % la densité et de 96 % la biomasse du chénopode blanc, de 66 % la biomasse de la digitale astringente et 54 % la biomasse du pied-de-coq comparé au traitement de trèfle Huia sans tonte. Pour la sétaire glauque, la

biomasse est similaire, cependant la densité est près de quatre fois plus élevée lorsqu'il y a tonte de l'intercalaire. Pour le plantain majeur, la biomasse et la densité sont respectivement environ trois fois et près de sept fois plus élevées comparées au traitement sans tonte bien que les plantules étaient très petites.

Comparé au traitement de trèfle Huia seul, l'ajout de ray-grass a permis de réduire la biomasse de la plupart des mauvaises herbes à l'exception du pied-de-coq pour lequel la biomasse et la densité ont doublé, du plantain majeur dont la biomasse a triplé et la densité a quintuplé.

La tonte dans les parcelles de ray-grass et trèfle Huia n'a pas permis de réduire le chénopode blanc. La biomasse du pied-de-coq a été réduite de près du tiers comparé aux intercalaires trèfle Huia et ray-grass sans tonte. Cependant, la biomasse et la densité de la sétaire glauque et du plantain majeur ont augmenté suite à la tonte.

Ces résultats indiquent que généralement la biomasse devrait diminuer suite à la tonte, mais ce n'est pas toujours le cas. La répression des mauvaises herbes par les intercalaires qu'il y ait tonte ou pas est difficilement prévisible, car elle est étroitement reliée aux espèces de mauvaises herbes présentes sur un site et à leur capacité intrinsèque à compétitionner.

À la récolte, la biomasse totale de mauvaises herbes était de 107,1 g/m² pour le témoin enherbé, 4,7 g/m² pour le témoin dés herbé, 76,9 g/m² pour le trèfle Huia, 34,5 g/m² pour le trèfle avec tonte, 78,5 g/m² pour le mélange sans tonte et 48,7 g/m² pour le mélange avec tonte (Figure 23). La biomasse du témoin enherbé a été significativement plus élevée ($F_{[5,17,1]} = 7,3$; $p = 0,0008$) que le témoin dés herbé et les traitements avec tontes. La tonte aurait permis de réduire la biomasse totale des mauvaises herbes de 55 % à 68 % comparé aux témoins enherbés. L'ajout de ray-grass à la légumineuse de trèfle Huia n'a pas influencé la biomasse de mauvaises herbes contrairement à ce qui avait été énoncé dans nos hypothèses. Cependant, l'effet de la tonte sur les intercalaires tend à réduire la biomasse de mauvaises herbes, bien que la différence ne soit pas significative, mais près du seuil de signification de 0,05 ($p = 0,0553$).

À l'incorporation, dans le témoin enherbé, les principales mauvaises herbes étaient l'amarante (*Amaranthus retroflexus*), le plantain majeur, la potentille de Norvège (*Potentilla norvegica* L.) ainsi que plusieurs monocotylédones qui représentent 44 % de la biomasse totale et 28 % de la densité totale des mauvaises herbes. En général, la majorité de ces mauvaises herbes étaient présentes dans toutes les parcelles expérimentales avec intercalaires.

Au moment de l'incorporation, la biomasse de mauvaises herbes était de 140,0 g/m² pour le témoin enherbé, 169,6 g/m² pour le témoin dés herbé, 29,8 g/m² pour le trèfle sans tonte, 23,0 g/m² pour le trèfle avec tonte, 33,3 g/m² pour le mélange sans tonte et 6,9 g/m² pour le mélange avec tonte (Figure 23). Une nette diminution ($F_{[5,16,2]} = 12,98$; $p < 0,0001$) de la biomasse de mauvaises herbes est observée dans les quatre traitements avec intercalaires contrairement aux témoins (enherbé et dés herbé). Cependant, la biomasse de mauvaises herbes s'est avérée similaire entre les traitements d'intercalaires avec ou sans tonte. La densité semble également être la même pour ces traitements.

Toutes les parcelles ont été fauchées après la récolte et aucun entretien n'a été effectué jusqu'à l'incorporation. Une nette augmentation de la biomasse des mauvaises herbes dans le témoin dés herbé a été observée, passant de 4,7 g/m² à 169,6 g/m² à l'incorporation ($F_{[5,16,2]} = 12,98$; $p < 0,0001$). La présence d'intercalaires a entraîné une

diminution de la biomasse des mauvaises herbes de 76 % à 95 % et de 80 à 96 % par rapport aux témoins enherbé et désherbé respectivement.

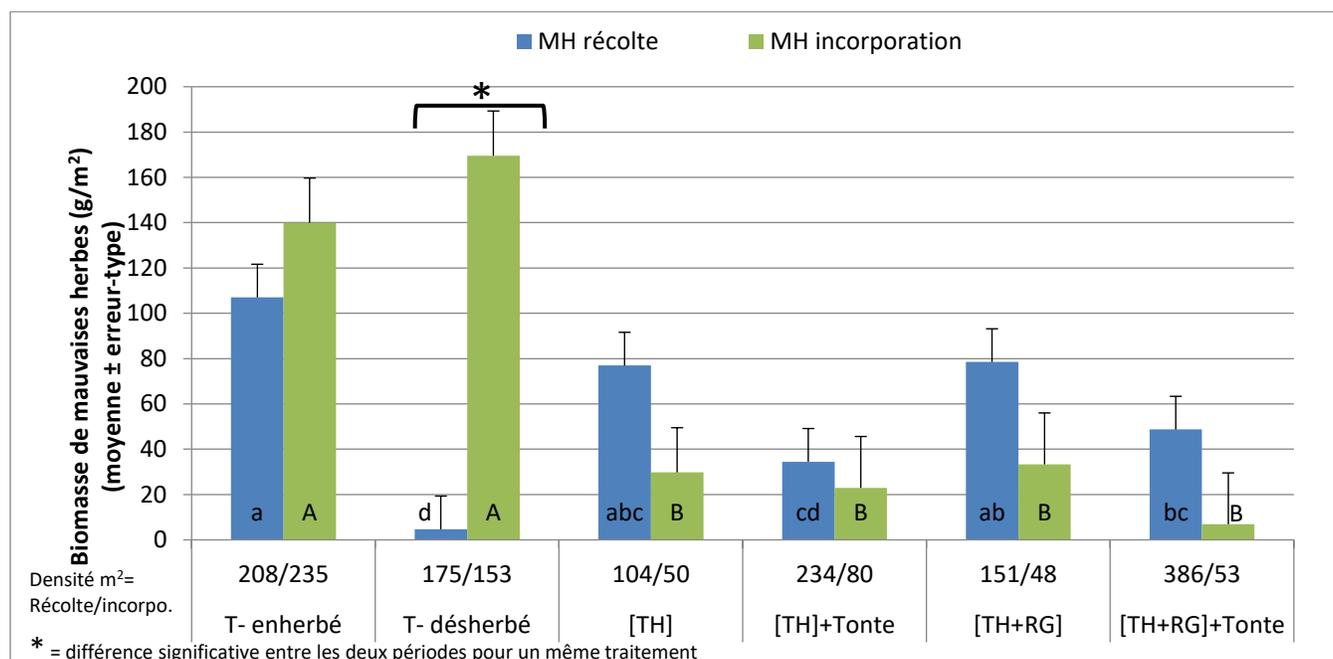


Figure 23. Biomasse des mauvaises herbes (g/m²) (moyenne ± erreur type) par traitement et par période d'échantillonnage (récolte des brocolis et incorporation des intercalaires) de 2017.

En 2018, à la récolte, la biomasse des mauvaises herbes dans le témoin enherbé était composée majoritairement de *C. album* avec 77 %. La balance de la biomasse des mauvaises herbes était composée d'amarante rouge (*Amaranthus retroflexus*) à 8 %, de digitale astringente (*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.) à 7 % et de pourpier potager (*Portulaca oleracea* L.) à 5 %.

Pour cette même année, la biomasse de mauvaises herbes à la récolte était de 287,0 g/m² pour le témoin enherbé, 1,0 g/m² pour le témoin désherbé, 308,7 g/m² pour le trèfle Huia, 124,1 g/m² pour le trèfle avec tonte, 158,6 g/m² pour le mélange sans tonte et 127,8 g/m² pour le mélange avec tonte (Figure 24). Trois des traitements avec intercalaires, soit TH avec tonte, TH+RG avec ou sans tonte, ont eu tendance à réduire la biomasse des mauvaises herbes bien que les différences observées ne soient pas significatives ($F_{[5,18]} = 2,69$; $p = 0,0553$).

À l'incorporation, dans le témoin enherbé, 65 % de la biomasse totale des mauvaises herbes était de la digitale sanguine, suivi du chénopode blanc à 14 %, du laiteron des champs (*Sonchus arvensis*) à 7 % et du pourpier potager 6 %. Ces mauvaises herbes étaient aussi présentes dans les parcelles expérimentales avec intercalaires.

À l'incorporation, la biomasse de mauvaises herbes à la récolte était de 110,0 g/m² pour le témoin enherbé, 17,7 g/m² pour le témoin désherbé, 129,0 g/m² pour le trèfle Huia, 201,7 g/m² pour le trèfle avec tonte, 158,8 g/m² pour le mélange sans tonte et 195,5 g/m² pour le mélange avec tonte (Figure 24). Le témoin désherbé avait une biomasse moindre comparée aux autres traitements, mais la différence n'est pas significative ($F_{[5,18]} = 2,69$; $p = 0,0553$). L'analyse comparative entre la biomasse à la récolte et celle à l'incorporation n'a pas montré de différence significative pour 2018.

Les résultats très variables de ces deux années d'expérimentation démontrent que les conditions édaphiques et météorologiques de même que la pression de mauvaises herbes sur un site ont un impact majeur sur l'implantation et la croissance des intercalaires. Par exemple, la biomasse de mauvaises herbes du site en 2018 était près de trois fois plus élevée qu'en 2017. En effet, ces facteurs doivent être pris en considération pour faire un choix judicieux du site afin de favoriser l'implantation de l'intercalaire pour qu'elle puisse bien se développer pour compétitionner contre les mauvaises herbes.

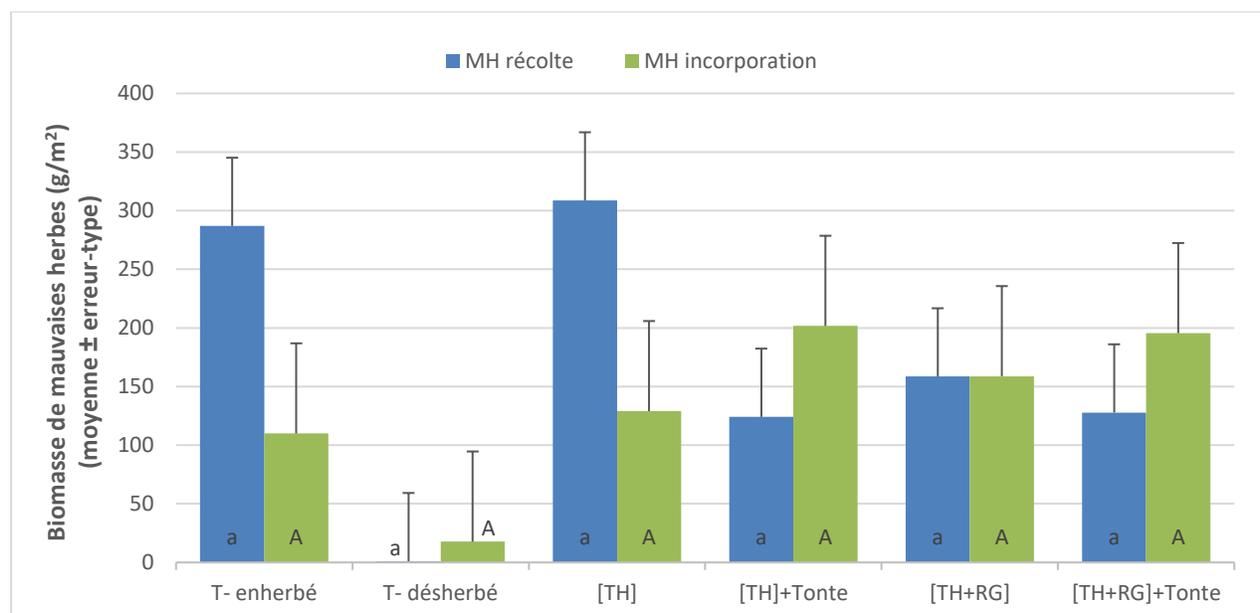


Figure 24. Biomasse des mauvaises herbes (g/m²) (moyenne ± erreur type) par traitement et par période d'échantillonnage (récolte des brocolis et incorporation des intercalaires) en 2018.

En 2017, la biomasse du trèfle Huia à la récolte des brocolis (Figure 25) a été de 92,1 g/m² pour le trèfle sans tonte, 38,1 g/m² pour le trèfle avec tonte, 35,3 g/m² pour le mélange sans tonte et 19,4 g/m² pour le mélange avec tonte. À la récolte, le traitement du trèfle sans tonte avait une biomasse de trèfle de trois à quatre fois plus grosse que tous les autres traitements ($F_{[3,12]} = 4,85$; $p = 0,0196$). La tonte a contribué à diminuer de manière significative la biomasse de trèfle présente au moment de la récolte.

À l'incorporation, la biomasse du trèfle a été significativement plus élevée dans les traitements de trèfle (avec et sans tonte) que les deux traitements avec mélange ($F_{[3,12]} = 4,85$; $p = 0,0196$). Le fauchage après la récolte a favorisé la croissance du trèfle pour les deux traitements d'intercalaires de trèfle Huia seul ainsi que le traitement de trèfle et ray-grass avec tonte. Pour ces trois traitements, il y a une augmentation significative de la biomasse entre la récolte et l'incorporation.

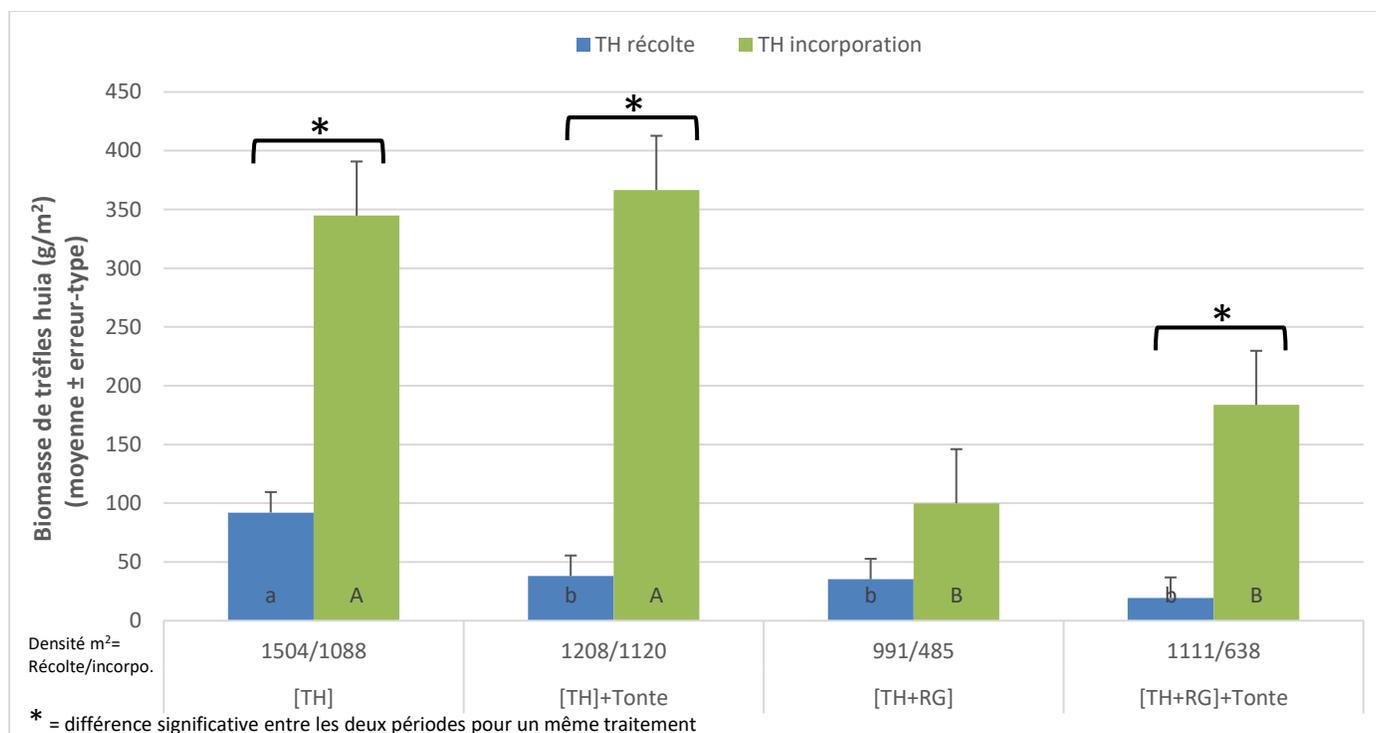


Figure 25. Biomasse de trèfle Huia (g/m²) (moyenne ± erreur type) au moment de la récolte des brocolis et lors de l'incorporation des intercalaires 2017.

En 2018, la levée des intercalaires a été très faible. Les conditions de sécheresse et les précipitations qui ont suivi le semis à la volée, ont entraîné le lessivage d'une partie des semences et ont contribué à ce résultat. Ces conditions combinées à une pression de mauvaises herbes importante ont également eu un impact majeur sur la croissance des intercalaires. À la récolte, la biomasse du trèfle Huia était extrêmement faible dans tous les traitements (Figure 26). Malgré les trois tontes effectuées dans les traitements avec tonte, le trèfle Huia n'a pas réussi à s'implanter.

À l'incorporation, la biomasse du trèfle est demeurée très faible sauf pour les parcelles avec du trèfle seulement et sans tonte (une seule tonte). Aucune différence de la biomasse du trèfle Huia a été observée entre tous les traitements ($F_{[3,12]} = 2,92$; $p = 0,0775$) résultant d'une trop grande variabilité entre les répétitions. Malgré le fauchage après la récolte, la croissance du trèfle est demeurée limitée fort probablement à cause de la pression des mauvaises herbes et la sécheresse. Pour deux répétitions du traitement trèfle sans tonte, des biomasses comparables à celles obtenues en 2017 ont été observées, soit 263,5 g/m² et 135,6 g/m². Sinon, toutes les biomasses sont demeurées inférieures à 76 g/m² avec un minimum allant jusqu'à 0,89 g/m² pour une parcelle.

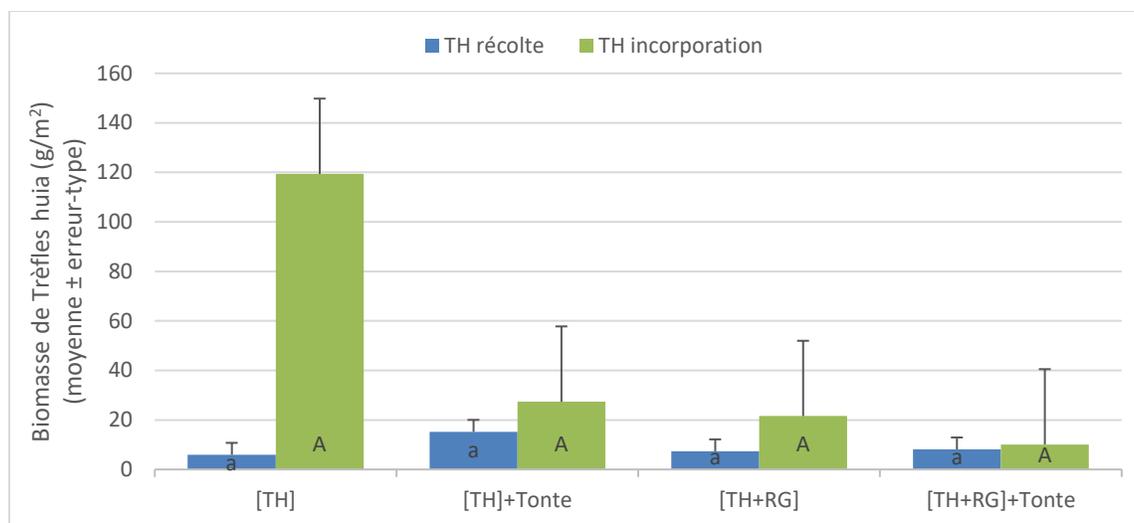


Figure 26. Biomasse de trèfle Huia (g/m^2) (moyenne \pm erreur-type) au moment de la récolte des brocolis et lors de l'incorporation des intercalaires en 2018.

La biomasse de ray-grass en 2017 a été de $83,3 \text{ g/m}^2$ pour le mélange sans tonte et $16,3 \text{ g/m}^2$ pour le mélange avec tonte lors de la récolte. À l'incorporation, la biomasse a été de $229,3 \text{ g/m}^2$ et $211,4 \text{ g/m}^2$ respectivement. Aucune différence n'a été observée entre les deux traitements et les périodes d'échantillonnage ($F_{[1,5,76]} = 0,09$; $p = 0,7754$). La tonte ne semble donc pas avoir influencé la biomasse du ray-grass.

En 2018, la biomasse de ray-grass a été de $2,9 \text{ g/m}^2$ pour le mélange sans tonte et $2,6 \text{ g/m}^2$ pour le mélange avec tonte lors de la récolte. À l'incorporation, la biomasse a été de $78,6 \text{ g/m}^2$ et $65,2 \text{ g/m}^2$ respectivement. Aucune différence n'a été observée entre les deux traitements ($F_{[1,6]} = 0,06$; $p = 0,8184$), mais une différence a été observée entre les deux périodes d'échantillonnage ($F_{[1,6]} = 5,99$; $p = 0,0499$). En effet, le ray-grass a pris du temps à s'implanter et à croître. Il était même difficile d'observer des plants de ray-grass dans les entre-rangs. Bien que la biomasse du ray-grass ait été plus faible en 2018, la croissance de ce dernier entre la récolte des brocolis et l'incorporation a été importante.

2.3.4 Rendement de la culture de brocoli

Lors de la récolte des brocolis en 2017, il a été possible d'observer un écart important sur le rendement des parcelles de brocolis pour la répétition située en bordure de champ. En effet, la section de champ où cette répétition (bloc) était située avait une légère inclinaison ayant pu favoriser le lessivage. Avec ces observations, les résultats de rendement de ce bloc n'ont pas été intégrés dans l'analyse des données.

En 2017, le rendement total de brocolis commercialisables a varié de $4\,622 \text{ kg/ha}$ à $8\,539 \text{ kg/ha}$. C'est le témoin désherbé qui a obtenu le plus grand rendement et le mélange avec tonte le rendement le plus faible. Malgré cette grande variabilité entre les traitements, il n'a pas été possible d'observer de différence significative ($F_{[5,12]} = 1,51$; $p = 0,2587$). Le rendement a également été converti en nombre de boîtes/ha (Tableau 12) (10 kg de brocolis), ceci étant l'unité utilisée pour l'analyse économique (voir volet 4). Le poids moyen d'un brocoli dans les parcelles a varié de $270,30$ à $312,03 \text{ g}$ entre les traitements. Le témoin désherbé a obtenu le poids moyen le plus élevé et le

mélange sans tonte avec le plus faible. Par contre, aucune différence significative n'a pu être observée ($F_{[5,12]}=0,72$; $p=0,6226$). Ensuite, le pourcentage de brocolis commercialisables a varié de 64,8 % à 90 % où le témoin désherbé est toujours en tête et le trèfle avec tonte a obtenu le plus faible pourcentage. Il n'a toutefois pas été possible d'observer de différence statistique entre les traitements ($F_{[4,12]}=1,91$; $p=0,1657$). Ces résultats suggèrent que les intercalaires n'auraient pas influencé la compétition avec la culture du brocoli en 2017 bien que le témoin désherbé semble avoir une moyenne de rendement plus élevé.

Tableau 12. Rendement, poids moyens, pourcentage des brocolis commercialisables récoltés et pourcentage des dégâts causé par la CCF (moyenne \pm erreur type) durant la saison 2017 entre les traitements d'intercalaire.

Traitements	Rendement total (kg/ha)	Rendement par boîtes (boîtes/ha)	Poids moyen commercialisable (g)	Pourcentage commercialisable (%)
T- enherbé	6571 \pm 1083	732	284,49 \pm 24,13	78,8 \pm 6,7
T- désherbé	8539 \pm 1083	898	312,03 \pm 24,13	90,0 \pm 6,7
[TH]	5839 \pm 1083	632	261,39 \pm 24,13	74,2 \pm 6,7
[TH]+tonte	7042 \pm 1083	844	270,44 \pm 24,13	64,8 \pm 6,7
[TH+RG]	5400 \pm 1083	619	270,30 \pm 24,13	70,8 \pm 6,7
[TH+RG]+tonte	4622 \pm 1083	567	304,50 \pm 24,13	84,7 \pm 6,7
F =	1,51		0,72	1,91
p =	0,2587		0,6226	0,1657

Pour ce qui est des dégâts de la CCF, il a été possible d'observer de 25 % de brocolis avec présence de cicatrices pour le témoin enherbé à 37 % pour le témoin désherbé. Cela peut sembler important, mais la majorité des dommages de cicatrices étaient inférieurs à 25 % des brocolis laissant le produit commercialisable. Un maximum d'un à deux brocolis ont dû être considérés non-commercialisables en moyenne par répétition. Ceci reflète l'abondance de CCF présentes dans les parcelles en 2017 (Figure 16).

En 2018, la situation a été particulière, plusieurs facteurs biotiques (pression élevée de la CCF et des mauvaises herbes) et abiotiques (sécheresse) n'ont pas permis l'obtention de brocolis commercialisables. Ainsi, le poids moyen des plants en entier a été utilisé pour évaluer la biomasse produite dans chaque parcelle et pour comparer les traitements entre eux (Tableau 13). Les poids moyens ont varié de 736,8 à 1 312,0 g. Le traitement de trèfle avec tonte a eu le poids le plus faible et le témoin désherbé le poids le plus élevé, mais aucune différence significative n'a pu être observée entre les traitements ($F_{[5,18]}=1,63$; $p=0,2037$). Ensuite, il a été possible de comparer l'état de chaque brocoli et vérifier si la présence de plants borgnes a été favorisée à un traitement plus qu'un autre. Le pourcentage de plants borgnes a varié de 20 % à 40 % où le mélange sans tonte a eu le pourcentage le plus élevé et le trèfle Huia sans tonte avec le plus faible. Il n'a cependant pas été possible de déceler de différence entre les traitements ($F_{[5,1]}=0,50$; $p=0,7848$).

Avant la récolte, l'utilisation de l'échelle de dégâts de CCF a démontré que le pourcentage de plants sans dommage de CCF a varié de 44,8 % à 75 %, où le témoin enherbé avait le pourcentage le plus faible et le témoin désherbé avait celui le plus élevé. Aucune différence significative a pas été observée entre les traitements

($F_{[5,15]} = 2,37$; $p = 0,090$). Ces résultats démontrent que la pression liée à la CCF était de même envergure dans tous les traitements.

Tableau 13. Rendement, poids moyens, pourcentage des brocolis commercialisables récoltés et pourcentage des dégâts causés par la CCF (moyenne \pm erreur type) durant la saison 2017 entre les traitements d'intercalaire.

Traitements	Poids moyen des plants de brocoli (g)	Pourcentage de plants borgnes (%)	Pourcentage de plants non affectés par la CCF (%)
T- enherbé	787,7 \pm 175,5	35,0 \pm 10,7	44,8 \pm 9,5
T- désherbé	1312,0 \pm 175,5	25,0 \pm 9,7	75,5 \pm 7,8
[TH]	765,3 \pm 175,5	20,0 \pm 8,9	47,4 \pm 9,6
[TH]+tonte	736,8 \pm 175,5	30,0 \pm 10,2	70,4 \pm 8,5
[TH+RG]	812,7 \pm 175,5	40,0 \pm 11,0	60,2 \pm 9,3
[TH+RG]+tonte	739,7 \pm 175,5	35,0 \pm 10,7	60,2 \pm 9,3
F =	1,63	0,50	2,37
p =	0,2037	0,7848	0,090

2.3.5 Rendement et teneur en azote et carbone des intercalaires de légumineuse

Étant donné que les conditions climatiques sont variables et peuvent fortement influencer la croissance de la légumineuse ciblée (trèfle Huia) et son potentiel de fixation d'azote, l'expérimentation a été effectuée sur deux ans (2017 et 2018). Les résultats de cette section sont présentés dans les Tableau 14 et Tableau 15.

En 2017, les quantités de biomasses produites ont varié de 2 861 à 4 391 kg/ha. Les augmentations de biomasses produites sous les différents traitements du trèfle Huia ont varié de 20 à 53 %, en comparaison avec le témoin enherbé. Elles étaient significativement ($F_{[5,15]} = 3,04$; $p = 0,0432$) plus élevées pour le trèfle Huia semé avec le ray-grass et le trèfle Huia seul, sauf pour le trèfle Huia avec tonte. Le poids sec du témoin désherbé a été similaire aux traitements avec intercalaires. Ce résultat s'explique par l'importante biomasse de mauvaises herbes à l'incorporation (Figure 23). Ces résultats montrent que le trèfle Huia présente un bon potentiel de croissance dans les conditions climatiques du sud du Québec. Dans des études menées dans la même région, des quantités de biomasses produites par la vesce velue (*Vicia villosa* Roth) le trèfle rouge (*Trifolium rubens* L.), le trèfle rouge en mélange avec trèfle ladino (*T. repens* L. 'ladino') ont été inférieures à 3 000 kg/ha (N'Dayegamiye *et al.*, 2015). De façon générale, la tonte de l'intercalaire au cours de la saison semble avoir diminué les quantités de biomasses récoltées et incorporées au sol. Il est probable que les biomasses tondues ont minéralisé et n'ont pas ainsi pu s'accumuler au sol.

Bien qu'elles semblent supérieures, les quantités de carbone apportées au sol par la légumineuse seule ou avec le ray-grass n'étaient significativement pas différentes par rapport au témoin enherbé, sauf pour le mélange sans tonte (Tableau 14). Elles étaient proportionnelles aux quantités de biomasses produites par la légumineuse seule ou avec ray-grass. La culture de trèfle Huia, seul ou avec ray-grass, a apporté au sol entre 73,3 et 115,8 kg N/ha, en comparaison avec le sol enherbé (32 kg N/ha) et désherbé (54,0 kg N/ha). Ces apports en azote étaient deux à trois fois plus élevés avec la légumineuse seule ou avec le ray-grass par rapport au témoin enherbé ou désherbé.

Par ailleurs, les quantités d'azote produites par la légumineuse seule étaient plus élevées en comparaison avec la culture de trèfle Huia associée au ray-grass ($F_{[5,15]} = 12,4$; $p < 0,0001$), sauf pour le trèfle seul sans tonte et le mélange avec tonte où les quantités sont identiques. Le ray-grass est une céréale qui ne fixe pas l'azote de l'atmosphère. Les quantités d'azote apportées par les différentes régies d'intercalaire étudiées sont comparables à celles qui ont été mesurées pour d'autres espèces de légumineuses (trèfle rouge, trèfle blanc et vesce velue) sous des conditions climatiques de la Montérégie (N'Dayegamiye *et al.*, 2015).

Tableau 14. Caractéristiques (moyennes \pm erreur type) des cultures intercalaires cultivées en 2017.

Traitements	Poids sec		Carbone		Azote	
	kg/ha					
Témoin enherbé	2 861,7 \pm 303,4	c	1 005,8 \pm 118,4	b	32,0 \pm 9,1	d
Témoin désherbé	3 845,9 \pm 303,4	ab	1 310,5 \pm 118,4	bc	54,0 \pm 9,1	cd
[TH]	3 907,5 \pm 303,4	ab	1 627,8 \pm 118,4	ab	106,8 \pm 9,1	ab
[TH]+tonte	3 438,3 \pm 303,4	bc	1 391,8 \pm 118,4	bc	115,8 \pm 9,1	a
[TH+RG]	4 391,7 \pm 303,4	a	1 816,8 \pm 118,4	a	73,3 \pm 9,1	c
[TH+RG]+tonte	3 917,5 \pm 303,4	ab	1 602,0 \pm 118,4	ab	76,0 \pm 9,1	bc
F=	3,0		5,8		12,4	
p=	0,0432		0,0023		< 0,0001	

Les résultats de rendements des intercalaires obtenus en 2018 sont présentés dans le Tableau 15. Les quantités de biomasses produites par le trèfle Huia seul ou avec le ray-grass ont varié de 3 280,8 à 4 283,6 kg/ha et ont été de 2 295 kg/ha pour le témoin désherbé. Les effets des intercalaires (enherbés ou avec légumineuse) n'ont pas été significatifs ($F_{[5,15]} = 2,70$; $p = 0,062$) sur ce paramètre de production, en comparaison avec les parcelles désherbées. Toutefois, les quantités de biomasses produites sous ces systèmes d'intercalaires étaient similaires en 2017 et en 2018 (Tableau 14 et Tableau 15).

Les quantités de carbone apportées au sol par ces cultures en 2018 étaient proportionnelles aux biomasses des intercalaires, variant de 770 à 1 727 kg C/ha. Les quantités d'azote des intercalaires ont varié de 82,6 à 119 kg N/ha, et ont été de 54 kg N/ha pour le témoin désherbé. Bien qu'elles semblent plus élevées pour les parcelles avec intercalaires (sauf pour le trèfle Huia seul) et les parcelles enherbées en comparaison avec les parcelles désherbées, ces différences ne sont pas significatives. En 2018, les régies d'intercalaires avec légumineuse ont fourni des quantités d'azote plus élevées par rapport à celles sans intercalaires (Tableau 14 et Tableau 15). Cependant, ce résultat n'est fort probablement pas seulement attribuable à la présence du trèfle Huia en intercalaire puisque la biomasse de ce dernier était faible à l'incorporation (Figure 26) et la pression des mauvaises herbes était très élevée dans ces parcelles.

Tableau 15. Caractéristiques (moyenne \pm erreur type) des cultures intercalaires cultivées en 2018.

Traitements	Poids sec	Carbone	Azote
	kg/ha		
Témoin enherbé	4 067,4 \pm 576,3	1608,8 \pm 238,9 a	86,4 \pm 14,9 a
Témoin désherbé	2 295,8 \pm 576,3	770,2 \pm 238,9 b	54,2 \pm 14,9 b
[TH]	3 280,8 \pm 576,3	1244,3 \pm 238,9 ab	82,6 \pm 14,9 ab
[TH]+tonte	4 271,6 \pm 576,3	1642,8 \pm 238,9 a	109,8 \pm 14,9 c
[TH+RG]	4 283,6 \pm 576,3	1727,5 \pm 238,9 a	119,0 \pm 14,9 c
[TH+RG]+tonte	3 916,5 \pm 576,3	1558,2 \pm 238,9 a	109,8 \pm 14,9 c
F =	2,7	3,3	5,1
p =	0,0620	0,0318	0,0062

Pendant les deux années d'étude, les quantités d'azote apportées par les intercalaires de la légumineuse (trèfle Huia) ont varié de 73 à 119 kg N/ha. En tenant compte du coefficient moyen d'utilisation de l'azote des légumineuses de 30 % pour la culture subséquente (CRAAQ, 2010), les quantités d'azote pour la culture suivante pourraient varier entre 22 et 36 kg N/ha pour la légumineuse cultivée seule ou semée avec le ray-grass.

2.3.6 Structure du sol

Les effets des cultures de rotation sur la structure du sol dépendent des quantités de biomasses et de carbone incorporées au sol. Celles-ci favorisent la croissance et les activités des microorganismes qui jouent un rôle important dans la formation des agrégats et la stabilisation de la structure. Les résultats obtenus en automne 2017, après la saison de croissance des intercalaires, indiquent que les proportions de macroagrégats du sol (0,25 à 5 mm de diamètre) n'ont pas été significativement augmentées sous les intercalaires avec le trèfle Huia, en comparaison avec les sols témoins sans légumineuse (Tableau 16). De même, le diamètre moyen des agrégats qui constitue l'indice d'une bonne structure du sol n'était pas significativement plus élevé sous ces systèmes avec légumineuses par rapport au témoin désherbé. Pendant la saison de croissance, les effets des cultures sur la structure ont été moins marqués parce qu'ils dépendaient uniquement des racines et des exsudats racinaires. Cependant, l'action bénéfique sur la structure pourrait survenir à la suite de l'incorporation au sol des biomasses produites par les intercalaires et à la stimulation de la microflore du sol. En effet, les microorganismes (bactéries et champignons) jouent en général un rôle très important dans la formation des agrégats du sol.

Tableau 16. Effet des cultures intercalaires sur les dimensions des agrégats du sol et la stabilité de la structure (DMP) en 2017.

Traitements	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	DMP
	%					mm
T —enherbé	2,1	2,0	4,2	14,5	25,9	2,3
T —désherbé	2,4	2,4	4,0	19,5	23,0	2,3
[TH]	2,4	2,9	5,4	16,9	25,9	2,4
[TH]+tonte	2,7	3,2	6,0	16,4	29,9	2,7
[TH+RG]	2,3	4,1	4,9	14,3	34,2	2,8
[TH+RG]+tonte	2,3	2,5	4,9	15,6	31,3	2,7
<i>F</i> =	0,22	0,86	0,71	0,67	0,64	0,76
<i>p</i> =	0,949	0,5275	0,623	0,6504	0,6757	0,5918

Les résultats obtenus en automne 2018 montrent que les intercalaires n'ont pas significativement augmenté les proportions des macroagrégats du sol (0,25 à 5 mm) en comparaison avec le témoin désherbé (Tableau 17). Les cultures intercalaires n'ont pas amélioré la structure du sol exprimé par le diamètre moyen pondéré des agrégats (DMP). Les résultats obtenus dans cette étude sont en accord avec les autres études qui ont démontré que les effets positifs sur la structure du sol sont obtenus seulement après un plus long cycle de rotation avec les engrais verts ou après plusieurs applications de fumier ou d'autres amendements organiques. Ce faible effet des cultures intercalaires sur la structure pourrait être attribuable à la texture du sol sous étude (sable loameux et loam sableux) qui se structure très peu.

Tableau 17. Effet des cultures intercalaires sur les dimensions des agrégats du sol et la stabilité de la structure (DMP) en 2018.

Traitements	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	DMP
	%					mm
T —enherbé	8,3	5,1	4,4	9,8	14,7	1,3
T —désherbé	9,7	6,4	4,6	9,5	10,1	1,0
[TH]	7,0	4,2	4,8	10,0	14,5	1,3
[TH]+tonte	6,9	4,5	3,7	7,8	8,5	0,9
[TH+RG]	7,9	5,9	5,6	10,3	11,9	1,2
[TH+RG]+tonte	6,2	5,0	3,7	7,8	7,7	0,8
<i>F</i> =	1,85	2,11	0,78	0,76	1,59	1,29
<i>p</i> =	0,1626	0,1203	0,5787	0,5919	0,2240	0,3180

2.4 CONCLUSION

L'utilisation d'intercalaires n'a pas eu l'effet confondant visé concernant la recherche de plantes hôtes par les insectes nuisibles, tant pour la CCF que pour les chenilles nuisibles aux crucifères. En 2017, la pression de la CCF en 2017 a été faible pour toute la saison. Par contre, en 2018, il y a eu une forte pression de ce ravageur à partir du début de la formation des boutons floraux ce qui a grandement influencé le développement de la culture et les rendements commercialisables. La présence de PC et de FAC a été négligeable et la FTC a été la chenille nuisible la plus abondante durant les deux années d'expérimentation. La présence d'intercalaires de trèfle Huia et du mélange de trèfle Huia et de ray-grass n'a pas influencé les populations de FTC dans les parcelles.

La présence d'intercalaires semble avoir favorisé certains taxons de parasitoïdes des chenilles des crucifères. En effet, l'abondance de parasitoïdes a été plus élevée dans les parcelles avec présence d'intercalaires. Une plus grande abondance a aussi été observée pour les parcelles enherbées. Il semble donc que dès qu'il y a présence de végétation dans les entre-rangs, les parasitoïdes soient plus abondants. Ceci a été observé chez les taxons suivants : Braconidae, Microgastrinae et les Ichneumonidae. Par contre, le taux de parasitisme de la FTC n'a pas été influencé par la présence d'intercalaires. Toutefois, le taux de FTC non parasitées a été plus élevé dans les parcelles désherbées en 2018 laissant croire à nouveau que la présence de végétation peut favoriser la présence de parasitoïdes et indirectement favoriser le parasitisme. Des taux de parasitisme allant de 50 à un peu plus de 70 % ont été observés, ce qui correspond à ceux de Godin et Boivin (1998) où une moyenne de 65 % de parasitisme a été observée chez la FTC.

L'abondance des carabes a été très variable entre les traitements et les deux années d'expérimentation. L'espèce la plus abondante a été *H. rufipes*, un omnivore, mais favorise un régime granivore (appréciant les graines de mauvaises herbes). Cette espèce a été observée dans l'ensemble du dispositif, mais en plus faible abondance dans les parcelles désherbées. De manière générale, les carabes étaient moins abondants dans les parcelles désherbées. Les résultats démontrent qu'un couvert végétal fourni par la présence d'intercalaires ou encore de mauvaises herbes (témoin enherbé) favorise l'activité des carabes comparé au témoin désherbé. Cependant, aucune différence n'a pu être observée entre le traitement enherbé et tous les traitements avec intercalaires. Des études plus approfondies incluant l'utilisation de capture-marquage-recapture permettraient de mieux comprendre l'activité des carabes et de son impact lorsqu'il y a présence de cultures intercalaires.

À la récolte, l'évaluation de la pression des mauvaises herbes n'a pas permis de démontrer que l'utilisation d'intercalaires avait contribué à minimiser la compétition avec les mauvaises herbes. La tonte n'a pas également permis une meilleure répression de mauvaises herbes au moment de la récolte de brocolis, mais elle tend à réduire la biomasse des mauvaises herbes. L'ajout de ray-grass à la légumineuse de trèfle Huia n'a pas influencé la biomasse de mauvaises herbes contrairement à ce qui avait été énoncé dans nos hypothèses. À l'incorporation, la situation était différente en 2017. La pression de mauvaises herbes à l'incorporation était nettement plus faible dans toutes les parcelles avec intercalaires comparé aux parcelles témoins, enherbées et désherbées. Les résultats de 2018 sont très peu représentatifs dû à la piètre levée des intercalaires, à la sécheresse et à la forte pression des mauvaises herbes.

Les résultats très variables de ces deux années d'expérimentation démontrent que les conditions édaphiques et météorologiques de même que la pression de mauvaises herbes sur un site ont un impact majeur sur

l'implantation et la croissance des intercalaires. Par exemple, la biomasse de mauvaises herbes du site en 2018 était près de trois fois plus élevée qu'en 2017; pour ce qui est des intercalaires la biomasse du trèfle Huia a été de deux à trois fois plus faible qu'en 2017. En effet, ces facteurs doivent être pris en considération pour faire un choix judicieux du site afin de favoriser l'implantation de l'intercalaire pour qu'elle puisse bien se développer pour compétitionner contre les mauvaises herbes.

Les espèces d'intercalaires utilisées n'ont pas semblé exercer de compétition avec les brocolis sachant que les rendements n'ont pas été statistiquement différents entre les traitements. Les résultats indiquent que la tonte de l'intercalaire n'aurait pas minimisé la compétition entre l'intercalaire et la culture principale et aurait permis d'obtenir des rendements équivalents à ceux provenant des parcelles de brocolis seuls (témoins désherbés) ou avec intercalaires, mais sans tonte.

Cependant, le témoin désherbé a obtenu une plus grande moyenne autant dans le rendement par hectare, le poids moyen du brocoli et le pourcentage de brocoli commercialisable. Par contre, l'expérimentation de 2018 n'a pas permis de vérifier l'effet de l'utilisation d'intercalaires étant donné que des facteurs de stress abiotiques et biotiques ont grandement influencé la croissance des intercalaires et des plants de brocoli.

En 2017, le type d'intercalaire, trèfle Huia seul ou en mélange avec du ray-grass, et l'emploi de la tonte ne semblent pas avoir influencé la quantité de biomasse. Par contre, il y a eu une augmentation en comparaison avec le témoin enherbé sauf pour le trèfle Huia avec tonte. Les quantités d'azote ont été plus élevées dans le trèfle Huia seul. Contrairement à l'hypothèse de départ, la tonte ne semble pas non plus avoir influencé la biomasse et les quantités de carbone et d'azote. L'expérimentation de 2018 met en évidence l'importance d'une bonne implantation de l'intercalaire. La faible biomasse des intercalaires ne permet pas de tirer des conclusions valables.

Finalement, l'utilisation d'intercalaires de trèfle et d'un mélange de ray-grass et trèfle avec ou sans tonte n'a pas permis de changer la structure du sol sur une saison. En effet, des effets positifs de cette pratique culturale sur ce paramètre de sol peuvent seulement être obtenus à moyen terme, après quelques cycles de rotation avec des engrais verts ou des intercalaires.

3 VOLET 3 : INCIDENCE D'UN INTERCALAIRE DE LÉGUMINEUSE DANS UNE CULTURE DE BROCOLI ET DE SA STRATÉGIE DE GESTION SUR LA NUTRITION AZOTÉE DE LA CULTURE DE MAÏS SUCRÉ (2018)

3.1 OBJECTIF

Le type d'intercalaire (trèfle Huia seul ou avec ray-grass) et le mode de gestion de l'intercalaire (tonte, aucune intervention) de l'expérimentation 2017) peuvent avoir influencé les quantités des biomasses produites et incorporées au sol, leur décomposition et leurs effets sur les propriétés du sol, ainsi que sur la croissance et la nutrition azotée de la culture suivante (maïs sucré en 2018).

L'objectif de ce volet est de mesurer l'effet de la composition de l'intercalaire de légumineuse (avec ou sans ray-grass) et le mode de régie (avec tonte ou sans tonte) sur la nutrition azotée et le rendement de la culture suivante : le maïs sucré.

3.2 MÉTHODOLOGIE

3.2.1 Dispositif expérimental

Un semis de maïs sucré (*Zea mays* L. 'Luscious') a été effectué en 2018 sur le dispositif de 2017 comportant les six traitements précédents (voir section 2.2.0). Chaque parcelle comportait huit rangs de maïs sucré. Les rangs étaient espacés de 30 pouces (76,2 cm) et sur le rang, les plants étaient espacés d'environ 8 pouces (20 cm). La collecte des données a été réalisée uniquement dans la zone centrale de la parcelle.

Au printemps 2018, la repousse des intercalaires a été détruite au printemps à l'aide d'un déchaumeur (Kristall) et toutes les parcelles ont été préparées pour le semis du maïs sucré en utilisant une herse de type vibroculteur. La dose minimale de 95 kg N/ha recommandée par le Guide de référence en fertilisation (CRAAQ, 2010) a été utilisée pour s'assurer que la culture n'ait pas de carence en azote. Le dispositif a été préparé pour le semis du maïs sucré en utilisant une herse de type vibroculteur. Pour faciliter l'opération de semis et minimiser l'effet de bordure des parcelles, le champ complet a été semé en maïs à 130 000 semences à l'hectare. Le double du taux de semis recommandé a été utilisé afin d'assurer une bonne levée. Les rangs de maïs ont été enlignés sur les anciens rangs de brocolis de 2017.

La répression des mauvaises herbes dans le maïs sucré a été effectuée à l'aide d'une houe rotative en post-levée, puis avec des unités de sarclage pour l'entre-rangs couplé à des unités de sarcleurs à doigts pour le rang montés sur un porte-outil Mazzotti à partir du stade 3-4 feuilles. Lorsque les plants de maïs ont atteint 7-8 feuilles, un sarclage à maïs (Vicon RT2100) a été utilisé. Deux sarclages manuels sur le rang ont également été effectués. Les dates des interventions sont précisées dans le Tableau 18.

Au stade de deux à quatre feuilles, les plants des parcelles ont été éclaircis de manière à obtenir un peuplement similaire entre les rangs et les parcelles. Le peuplement désiré dans les parcelles était de 65 000 plants/ha avec une distance entre les plants d'environ 20 cm.



Figure 27. Installation de filets entourant les plants de maïs sur les deux rangs du centre afin de limiter les dégâts sur les épis de maïs contre les animaux.

Pour limiter les dégâts causés par les rats laveurs (*Procyon lotor* L.) et les cerfs de Virginie (*Odocoileus virginianus* Zimmermann), une clôture électrique a été installée autour du champ de maïs et les plants de maïs des deux rangs du centre de chaque parcelle ont été couverts de filets (Figure 27).

Tableau 18. Dates et opérations culturales réalisées dans les parcelles de maïs sucré en 2018.

Type d'opération	Date de réalisation
Destruction de la repousse des intercalaires	10 mai
Fertilisation du champ	30 mai
Semis mécanique	31 mai
Passage de la houe rotative	11 juin
Éclaircissage et repiquage des plants de maïs	13 juin
Sarclage des rangs et entre rangs	Mécanique : 13 et 23 juin, 4 juillet
	Manuel (sur le rang seulement): 20 juin, 11 juillet
Installation des clôtures électriques	2 août
Installation des filets sur les plants	10 et 13 août
Récolte du maïs	20 et 21 août

3.2.2 Effets des cultures intercalaires sur le sol et le maïs sucré

3.2.2.1 Effets des cultures intercalaires sur les teneurs du sol en carbone, azote et nitrates.

Des échantillons de sol ont été prélevés avant la fertilisation et le semis pour mesurer la teneur en azote et carbone total et en nitrates de chaque parcelle. Quatre carottes de sol d'une profondeur de zéro à 30 cm ont été prélevées et mélangées en retirant les résidus de végétaux. Les analyses ont été réalisées au LAA.

3.2.2.2 Effets des cultures intercalaires sur les teneurs du sol en nitrates, les activités biologiques et la teneur du maïs sucré en azote.

Au stade cinq à six feuilles déployées du maïs, le taux de minéralisation, la teneur en nitrates, en azote ammoniacal et les activités de la déshydrogénase, de l'uréase et de la phosphatase alcaline ont été analysés afin de mesurer l'activité microbienne et la productivité du sol des parcelles. Quatre carottes de sol d'une profondeur de zéro à 30 cm ont été prélevées et mélangées en retirant les résidus de végétaux. Les analyses ont été réalisées au LAA.

Toujours au stade cinq à six feuilles déployées du maïs, la teneur en azote des feuilles a été analysée pour chaque parcelle. La plus jeune feuille étalée de cinq plants sélectionnés au hasard sur chacun des quatre rangs du milieu de chaque parcelle (pour un total de 20 feuilles) a été récoltée à l'aide de ciseaux. Ces feuilles ont été séchées avant d'être envoyées au LAA pour analyses. Le pourcentage de matière sèche a été évalué en pesant la matière humide et sèche.

3.2.3 Rendement et prélèvement en azote et carbone du maïs sucré à maturité

La récolte du maïs sucré s'est faite manuellement sur un mètre positionné aléatoirement sur les quatre rangs du centre de chaque parcelle en évitant les plants affectés par les rats laveurs. Tous les plants ont été coupés à la base à l'aide d'un sécateur et rapportés au laboratoire. Les plants étaient pesés et dénombrés afin de déterminer la biomasse des plants de maïs et la quantité d'azote prélevée. Chaque épi principal de chaque plant a été récolté pour évaluer le rendement. Les feuilles des épis principaux ont été retirées et conservées avec les plants. Les épis principaux ont été dénombrés et examinés pour la présence de dommages de chenilles, autres insectes, de rats laveurs, champignons [charbon], mauvaise pollinisation, etc.) et le stade de l'épi (immature). Dû aux conditions de sécheresse, plusieurs épis étaient courbés, mais tout de même développés et matures et ils ont donc été comptés parmi les épis commercialisables. Le nombre d'épis commercialisables (sans dégât) et non commercialisables (avec dégât et désordres) a été évalué et tous les épis récoltés ont été pesés.

Les plants et les épis ont été broyés à l'aide d'une broyeuse-déchiqeteuse (Yard Machines, modèle 24B-464M500). Les résidus ont ensuite été mélangés et un sous-échantillon de 0,5 kg a été récupéré, séché, puis envoyé au LAA afin d'analyser les teneurs en azote. La biomasse sèche a également été évaluée.

3.2.4 Analyses statistiques

Un modèle mixte pour données normales (Proc MIXED) a été appliqué pour les variables des caractéristiques du sol, de la biomasse de carbone/azote des feuilles de maïs et du rendement en maïs. Le traitement est le seul effet fixe dans le modèle. Les blocs et l'erreur résiduelle sont les effets aléatoires. Les degrés de liberté sont estimés

par la méthode d'approximation de Satterthwaite. Lorsque l'effet de traitement est significatif selon le test de F, les tests de t des comparaisons deux à deux entre les traitements ont été effectués avec des tests de t. Les moyennes par traitement ajustées au modèle d'ANOVA et les erreurs types sont calculées.

3.3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.3.1 Effets des cultures intercalaires sur le sol et le maïs sucré

3.3.1.1 Effets des cultures intercalaires sur les teneurs du sol en carbone, azote et nitrates.

Comme pour le fumier, les applications au sol des biomasses d'intercalaires visaient à améliorer les propriétés du sol étudié. La décomposition de ces matières organiques pourrait augmenter les teneurs du sol en carbone et en azote. En stimulant la croissance et les activités des microorganismes dans le sol, elles pourraient aussi améliorer la structure du sol.

Les biomasses des intercalaires ont été incorporées au sol en automne 2017 et leurs effets sur les teneurs du sol en C, N et en nitrates ont été déterminés en mai 2018. Les teneurs du sol en nitrates ont varié de 7 à 12 mg/kg, selon les traitements (Tableau 19). Celles-ci étaient significativement plus élevées dans les sols avec le trèfle Huia seul par rapport aux autres régies. Les quantités de nitrates du sol étaient plus faibles dans les sols semés de trèfle Huia en association avec le ray-grass, étant donné que cette céréale ne fixe pas l'azote de l'atmosphère.

Tableau 19. Effet des cultures intercalaires incorporées en automne 2017 sur les teneurs du sol en nitrates, en carbone et en azote en début d'été 2018.

Traitements	N-NO ₃ ⁻		C	N
	mg/kg			%
Témoin enherbé	6,7 ± 1,2	a	1,1 ± 0,2	0,09 ± 0,01
Témoin désherbé	6,9 ± 1,2	ab	1,2 ± 0,2	0,09 ± 0,01
[TH]	11,9 ± 1,2	c	1,3 ± 0,2	0,11 ± 0,01
[TH]+tonte	10,9 ± 1,2	c	1,3 ± 0,2	0,11 ± 0,01
[TH+RG]	6,5 ± 1,2	ab	1,2 ± 0,2	0,09 ± 0,01
[TH+RG]+tonte	8,3 ± 1,2	b	1,2 ± 0,2	0,10 ± 0,01
F=	29,77		0,99	1,36
p=	< 0,0001		0,4584	0,2937

Malgré les apports plus importants en carbone et azote, les cultures d'intercalaires n'ont pas significativement augmenté les teneurs de ces éléments dans le sol par rapport au témoin enherbé et désherbé (Tableau 19). Ces résultats sont en accord avec d'autres recherches qui ont montré que seules des applications répétées de fumier ou d'autres matières organiques (engrais verts) peuvent augmenter les niveaux de C et de N dans les sols à moyen terme (N'Dayegamiye, 2006).

3.3.1.2 Effets des cultures intercalaires sur les teneurs du sol en nitrates, les activités biologiques et la teneur du maïs sucré en azote.

Au stade de 5 à 6 feuilles du maïs en 2018, les sols ont de nouveau été échantillonnés afin de déterminer les effets des cultures intercalaires avec légumineuse sur les nitrates du sol, l'azote minéralisable et l'activité de la phosphatase alcaline, ainsi que sur la teneur en N des feuilles de maïs (Tableau 20). Ces paramètres du sol sont fortement reliés à l'activité des microorganismes du sol et à la disponibilité de l'azote pour la culture subséquente, à la suite de l'application au sol des matières organiques l'automne précédent.

La phosphatase alcaline est un enzyme intracellulaire qui est relié au nombre de microorganismes dans le sol. Les résultats obtenus indiquent que les cultures intercalaires avec le trèfle Huia ont accru cette activité enzymatique par rapport au sol sans légumineuse, cependant cet effet n'est pas significatif ($F_{[5,15]} = 1,52$; $p = 0,2432$). Toutefois, ces résultats montrent que les importants apports de biomasse, de C et de N par ces systèmes avec légumineuse ont stimulé la croissance des microorganismes, ce qui est relié à l'activité plus élevée de cet enzyme dans le sol (108 - 117 ng PNP/g par rapport à 82 ng PNP/g pour le sol sans légumineuse).

Tableau 20. Effet des cultures intercalaires sur les teneurs du sol en nitrates, l'activité de la phosphatase et l'azote dans les feuilles de maïs au stade 5-6 feuilles (moyenne \pm erreur type).

Traitements	Phosphatase alcaline	N-NO ₃ ⁻ 0 jour	N-NO ₃ ⁻ N minéralisé	N-NH ₄ ⁺	N maïs (stade 5-6 feuilles)
	ug PNP/g	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%
T —enherbé	82,4 \pm 13,6	32,9 \pm 5,7 ab	42,8 \pm 7,5	0,5 \pm 0,1	4,4 \pm 0,08 a
T —désherbé	82,6 \pm 13,6	28,4 \pm 5,7 a	35,0 \pm 7,5	0,6 \pm 0,1	4,1 \pm 0,08 b
[TH]	117,3 \pm 13,6	41,7 \pm 5,7 b	50,7 \pm 7,5	0,6 \pm 0,1	4,5 \pm 0,08 a
[TH]+tonte	110,3 \pm 13,6	49,2 \pm 5,7 b	59,0 \pm 7,5	0,6 \pm 0,1	4,6 \pm 0,08 a
[TH+RG]	117,1 \pm 13,6	30,6 \pm 5,7 b	39,4 \pm 7,5	0,7 \pm 0,1	4,5 \pm 0,08 a
[TH+RG]+tonte	108,4 \pm 13,6	39,5 \pm 5,7 b	47,8 \pm 7,5	0,5 \pm 0,1	4,6 \pm 0,08 a
F=	1,52	3,26	2,35	0,54	5,73
p=	0,2432	0,0344	0,0911	0,7459	0,0038

Les quantités de nitrates mesurées au stade de 5-6 feuilles du maïs étaient significativement plus élevées ($F_{[5,15]} = 3,26$; $p = 0,0344$) dans les sols avec les intercalaires avec trèfle Huia par rapport au sol sans légumineuse. Ce résultat est en rapport avec les quantités plus élevées d'azote produites et incorporées sous ces systèmes d'intercalaires (Tableau 1 Tableau 2). Les quantités de nitrates mesurées au mois de mai 2018 et en juillet, au stade de 5-6 feuilles, étaient élevées dans ces traitements, montrant ainsi qu'une partie de l'azote incorporé au sol a pu être minéralisée et devenir disponible au maïs cultivé en 2018.

Les résultats obtenus montrent également que les cultures intercalaires avec légumineuse ont accru les quantités d'azote minéralisé en conditions de laboratoire, bien que ces augmentations ne soient pas significatives ($F_{[5,15]} = 2,35$; $p = 0,0911$). Ceci montre que la quantité d'azote organique minéralisable des biomasses incorporées avait déjà diminué au cours de l'été. Les matières fraîches incorporées au sol en automne se sont décomposées

durant l'automne 2017 et au printemps 2018, ce qui justifie les teneurs élevées du sol en nitrates au printemps et au stade de 5 à 6 feuilles.

Les contenus en nitrates du sol et la teneur en azote des feuilles de maïs au stade de 5 à 6 feuilles constituent l'indice de disponibilité de l'azote du sol et des biomasses enfouies pour la culture subséquente. Comme pour les nitrates, les teneurs en azote des feuilles étaient significativement élevées ($F_{[5,15]} = 5,73$; $p = 0,0038$) dans les sols avec les intercalaires de trèfle Huia, en comparaison avec le sol du témoin désherbé.

Les cultures d'intercalaire avec légumineuse n'ont pas significativement accru les teneurs en azote ammoniacal du sol ($F_{[5,18]} = 0,54$; $p = 0,7459$), car l'azote passe rapidement de cette forme pour se transformer en nitrates. Il existe peu d'études ayant mesuré des effets significatifs des pratiques culturales sur ce paramètre transitoire.

3.3.2 Rendement et prélèvement en azote et carbone du maïs sucré à maturité

Le poids total en maïs (commercialisables et non commercialisables) obtenus en 2018 a varié de 10 537 à 13 783 kg/ha (Tableau 21). Les cultures intercalaires ont augmenté de 13 à 31 % le poids total des maïs récoltés, par rapport au témoin enherbé. Cependant, cette augmentation n'a pas été significative ($F_{[5,12]} = 1,14$; $p = 0,3934$). Cette tendance peut être attribuable à l'apport plus important en azote par le trèfle Huia incorporé la saison précédente (Tableau 14 et Tableau 15) et sur son effet significatif sur les nitrates et l'azote minéralisable du sol (Tableau 20). Les concentrations en N du maïs ont varié de 1,77 à 1,85 % et semblent être plus élevées dans les sols avec le trèfle Huia seul, en comparaison avec la même légumineuse semée avec le ray-grass qui apporte peu d'azote au sol, mais ces différences n'ont pas été significatives ($F_{[5,12]} = 0,67$; $p = 0,6523$).

Pour le rendement en douzaines d'épis commercialisable par hectare, il a varié de 3 746 à 5 299 douzaines/ha. Les rendements des traitements avec intercalaires de légumineuses sont sensiblement plus élevés que les témoins enherbés et désherbés, sauf pour le trèfle Huia seul. Par contre, la variabilité entre les traitements (erreur type élevée) n'a pas permis d'observer une différence significative ($F_{[5,12]} = 0,68$; $p = 0,6499$). L'évaluation des rendements a été réalisée sur de petites surfaces et d'autres facteurs dont la sécheresse et les dégâts causés par les rats laveurs sur les épis ont grandement influencé la sélection de plants dans les dispositifs et par le fait même ont fait varier les résultats de rendement dans chacun des traitements.

Tableau 21. Poids total des épis récoltés et rendement en épis commercialisables en douzaines par hectare et du pourcentage en azote des plants de maïs matures (moyenne \pm erreur type) en 2018.

Traitements	Poids total des épis récoltés	Rendement en épis commercialisables	N plants, maïs
	Kg/ha	Douzaines/ha	%
Témoin enherbé	10 537,3 \pm 1280	4020,3 \pm 763,5	1,79 \pm 0,04
Témoin désherbé	10 636,0 \pm 1280	4020,7 \pm 763,5	1,79 \pm 0,04
[TH]	11 940,8 \pm 1280	3746,3 \pm 763,5	1,82 \pm 0,04
[TH]+tonte	13 179,8 \pm 1280	4934,0 \pm 763,5	1,85 \pm 0,04
[TH+RG]	13 782,9 \pm 1280	5299,7 \pm 763,5	1,77 \pm 0,04
[TH+RG]+tonte	12 960,5 \pm 1280	4843,0 \pm 763,5	1,77 \pm 0,04
F=	1,14	0,68	0,67
p=	0,3934	0,6499	0,6523

3.4 CONCLUSION

L'utilisation du trèfle Huia en intercalaire dans une culture de brocoli a permis d'influencer les apports en azote dans le sol pour la culture subséquente, mais ce, seulement en début de saison. Les teneurs en nitrates au printemps 2018 ont été plus élevées dans les parcelles avec trèfle Huia seul avec et sans tonte. Les teneurs du sol en nitrates en juillet et les teneurs des feuilles en azote étaient plus élevées avec un intercalaire de trèfle et un mélange de ray-grass que les parcelles sarclées dans les précédents de culture, mais n'étaient pas différentes des parcelles enherbées. Toutefois, les résultats tendent à démontrer une meilleure activité biologique et un apport en nitrates dans les parcelles avec trèfle Huia plus élevés que les témoins enherbés, mais ceci n'a pas été démontré statistiquement. Ainsi, à court terme, les intercalaires avec le trèfle Huia peuvent enrichir le sol en azote et augmenter la nutrition en azote de la culture subséquente, mais ces apports n'ont pas influencé l'apport en azote dans les feuilles de maïs lors de leur croissance ainsi que sur le rendement de maïs de manière significative. Aussi, la gestion des intercalaires par tonte n'a pas influencé les apports des intercalaires ni les autres propriétés du sol étudiées dans ce volet. Bref, l'utilisation de trèfle Huia en intercalaire de culture de brocoli a rapidement accru la disponibilité de l'azote, mais n'a pas démontré de bénéfices sur le rendement, la qualité des sols et l'apport d'azote à long terme. Une étude similaire sur un plus long terme permettrait de vérifier l'ampleur de tels bénéfices.

4 VOLET 4 : ANALYSE ÉCONOMIQUE (2017-2018)

4.1 OBJECTIF

Ce projet visait à évaluer le potentiel de l'utilisation d'intercalaires de légumineuses pour minimiser les problèmes phytosanitaires et augmenter la productivité dans les cultures maraîchères et à améliorer l'apport en azote pour une culture subséquente. L'objectif de l'analyse économique est de comparer les différents traitements afin d'identifier le plus rentable.

4.2 MÉTHODOLOGIE

Pour comparer le potentiel de rentabilité des six différents traitements, ceux-ci ont été évalués sur la base de la marge sur coûts variables (MCV). La MCV est le résultat de la différence entre les revenus de production et les coûts variables. Le revenu a été calculé pour chacune des deux cultures (brocoli et maïs sucré frais). Les revenus sont les ventes des légumes, soit le rendement obtenu multiplié par le prix de vente unitaire du légume sur le marché. Le prix de vente unitaire du brocoli biologique (\$/boite) provient du budget à l'hectare du brocoli biologique des *Références économiques* du CRAAQ (2017). Le prix du maïs sucré frais biologique (7,7 \$/douzaine) est la moyenne du prix de la douzaine pour des fermes offrant des paniers biologiques pour l'année 2017 (Équiterre, 2019). Une validation auprès d'un producteur a montré que ce prix n'a pas substantiellement changé en 2018.

Les coûts variables quant à eux sont regroupés en :

- Coût de la destruction des engrais verts (EV) précédents¹;
- Coûts d'implantation des intercalaires (approvisionnement en semences, opérations culturales propres aux intercalaires);
- Coûts variables associés à chaque culture² : approvisionnement en semences, fertilisation, opérations culturales et mise en marché³.

¹ La destruction a été réalisée avant la transplantation du brocoli, car il y avait un engrais vert.

² Nous ne tenons pas compte de certains coûts variables tels que l'ASREC (Assurance-récolte individuelle), la main d'œuvre salariée pour la récolte ou l'emballage, l'intérêt à court terme. Par conséquent les résultats obtenus ne sont pas comparables à la MCV des *Références économiques*.

³ Les coûts de mise en marché varient en fonction du volume produit, donc en fonction du rendement. Pour le brocoli, les coûts de la mise en marché prennent en compte le transport pour les quatre récoltes, le glaçage des boîtes et les frais de mise en marché. Pour le maïs sucré frais, il s'agit du transport et du prérefroidissement.

Sur la base de tous ces éléments, le calcul de la marge sur coûts variables a été fait pour les deux cultures :

$$\begin{aligned}
 MCV_{totale} = & Revenu_{brocoli} + Revenu_{maïs-sucré} - (coûts\ d'implantation_{trèfle} \\
 & + coûts\ d'implantation_{trèfle-raygrass} + coût\ destruction_{EV\ précédents} + coûts_{brocoli} \\
 & + coûts_{maïs-sucré})
 \end{aligned}$$

Le coût unitaire de l'Acti-Sol® (pour la fertilisation) et des semences des cultures maraîchères sont des données du projet. Pour le coût unitaire des semences des engrais verts, les références économiques du CRAAQ sur le prix des grains de semences ont été exploitées (CRAAQ, 2018c). Pour les opérations culturales, en plus des budgets à l'hectare des cultures (CRAAQ, 2011, 2017), les références économiques du CRAAQ sur les coûts d'utilisation de la machinerie et le budget à l'hectare du maïs grain biologique ont été utilisées (CRAAQ, 2018a, 2018b). Étant donné que le budget à l'hectare du maïs sucré frais remonte à 2011, nous avons indexé les valeurs utilisées pour 2018.

4.3 RÉSULTATS

Le résultat détaillé par traitement est mis en annexe D. Le Tableau 22 présente le revenu total, les coûts variables et la MCV pour la séquence culturale (brocoli-maïs sucré frais) pour chacun des traitements expérimentés. Les valeurs obtenues sont comparées au témoin enherbé (valeurs en pourcentage dans le Tableau 22). On constate que le traitement trèfle Huia avec tonte donne la meilleure rentabilité économique avec une MCV supérieure de 22 % à la MCV du témoin enherbé. Il est suivi par le traitement trèfle Huia-ray-grass sans tonte qui, quant à lui, offre une MCV supérieure de 13 % au témoin enherbé. Le traitement trèfle Huia sans tonte serait l'option la moins rentable, sa MCV est inférieure de 12 % à celle du témoin enherbé (Tableau 22).

Tableau 22. Marge sur coûts variables totale pour la séquence culturale brocoli- maïs sucré biologique.

Intercalaire	Témoin		Trèfle Huia		Trèfle Huia-Raygrass	
	Enherbé	Désherbé	Sans tonte	Avec tonte	Sans tonte	Avec tonte
Stratégie						
Revenu (\$/ha)	55 422,25 \$	60 951,50 \$	49 953,86 \$	66 202,49 \$	61 489,04 \$	56 230,57 \$
Revenu relatif au témoin enherbé	---	10%	-10%	19%	11%	1%
Coûts variables (\$/ha)	10 930,46 \$	12 635,93 \$	11 020,14 \$	11 720,68 \$	11 197,39 \$	11 008,55 \$
CV relatifs au témoin enherbé	---	16%	1%	7%	2%	1%
Marge sur coûts variables (S/ha)	44 491,78 \$	48 315,57 \$	38 933,72 \$	54 481,81 \$	50 291,65 \$	45 222,02 \$
MCV relative au témoin enherbé	---	9%	-12%	22%	13%	2%

4.4 DISCUSSION

Aux vues des résultats économiques, il n'est pas possible d'affirmer que la culture de légumineuses en intercalaire donne systématiquement une meilleure MCV, encore moins que la gestion de la tonte pour les intercalaires donne des tendances précises.

Toutefois, il semble plus rentable de faire du brocoli avec le trèfle Huia en intercalaire, de tondre le trèfle, puis de semer par la suite le maïs sucré sur ces parcelles. En effet, un tel résultat ressort parce que le revenu total des parcelles avec du trèfle Huia tondu en intercalaire est très élevé (entre 4 713 \$ et 16 249 \$ de plus à l'hectare) comparativement aux autres parcelles, alors que la différence des coûts variables entre les parcelles est beaucoup moindre (moins de 920 \$/ha). Les résultats économiques dépendent donc principalement des rendements obtenus.

De façon générale, le revenu du brocoli biologique représente moins de 50% du revenu total de la séquence culturale (Tableau 23) et ses coûts comptent pour plus de 70% des coûts variables totaux (Tableau 23). On comprend donc que le portrait économique obtenu pour la séquence culturale repose essentiellement sur les performances du maïs sucré frais biologique.

Le traitement trèfle Huia sans tonte est le moins rentable, car il a le revenu total le plus faible. En effet, le rendement de brocoli pour ce traitement est le 2^{ème} plus faible rendement obtenu parmi les six traitements et le rendement du maïs sucré frais obtenu est le plus faible.

Tableau 23. Part du revenu, des coûts variables et de la MCV associés au Brocoli dans le revenu, les coûts totaux et la MCV totale de la séquence culturale.

	Part du revenu du brocoli	Part des coûts variables du brocoli	Part de la MCV du brocoli
Témoin enherbé	44%	74%	37%
Témoin désherbé	49%	78%	42%
Trèfle Huia-sans tonte	42%	73%	34%
Trèfle Huia-tonte	43%	73%	36%
Trèfle Huia-Ray-grass-sans tonte	34%	71%	25%
Trèfle Huia-Ray-grass-tonte	34%	72%	24%

4.5 CONCLUSION

Les résultats économiques obtenus ne permettent pas de conclure que la culture de légumineuses de trèfle Huia en intercalaire dans le brocoli permet systématiquement d'avoir une meilleure MCV pour la séquence culturale brocoli-maïs sucré frais biologique. Il semble tout même plus rentable d'opter pour la tonte du trèfle Huia en intercalaire de la culture de brocoli.

CONCLUSION

Les résultats très variables de ces deux années d'expérimentation démontrent que les conditions édaphiques et météorologiques de même que la pression de mauvaises herbes sur un site ont un impact majeur sur l'implantation et la croissance des intercalaires. Par exemple, la biomasse de mauvaises herbes du site en 2018 était près de trois fois plus élevée qu'en 2017. En effet, ces facteurs doivent être pris en considération pour faire un choix judicieux du site pour favoriser l'implantation de l'intercalaire afin qu'elle puisse bien se développer pour compétitionner contre les mauvaises herbes. L'utilisation d'intercalaires requiert une bonne connaissance du terrain. Son implantation doit inclure une bonne connaissance afin de faire un choix judicieux et doit considérer ces facteurs pour qu'elle puisse atteindre ses objectifs, entre autres de compétition contre les mauvaises herbes.

Les travaux réalisés dans ce projet ont démontré que la présence de végétation dans les entre-rangs peut avoir un effet favorable sur l'abondance des insectes bénéfiques comme les carabes et les parasitoïdes.

- Végétation peut avoir un effet favorable sur l'abondance d'insectes bénéfiques comme les carabes et les parasitoïdes, par contre des intercalaires de légumineuses comme le trèfle Huia qui ne fleurit pas ne peut être favorisé par un milieu simplement enherbé.
- Importance du type de sol et de la pression de banque de graines de mauvaises herbes sur l'implantation d'intercalaires
 - Importance d'irrigation en cas de sécheresse (viable?)
 -
- Lacunes dans cette étude, voulait répondre à beaucoup de questions;
 - Manque de répétitions
 - Petits dispositifs expérimentaux, influence sur les populations et dynamiques des populations d'insectes entre les traitements.
 - Perte d'une année d'expérimentation pour vérifier l'effet des intercalaires causé par les facteurs de sécheresse et perte de rendement par la CCF.
 - Étudier des effets sur le sol ne peut se faire sur une seule année. :
 - Structure du sol
 - Apport d'azote d'intercalaires
 - Etc.
- Points positifs : Ce projet suscite beaucoup de questions sans réponses (ouverture) laissant l'opportunité d'étudier plusieurs aspects l'utilisation d'intercalaires de légumineuse en culture maraîchères
 - Compétitions entre les cultures et les intercalaires (évaluation sur le rendement) sur de plus grandes surfaces
 - Influence des insectes (plus d'études sur les carabes et la CCF)
 - Étudier l'influence des espèces d'intercalaires couramment utilisés sur la faune auxiliaire (avoir un projet d'étude axé simplement sur cet aspect!)
 - Apport d'azote et structure du sol a long terme sur des cultures de rotation avec intercalaires (plutôt que d'utiliser uniquement des engrais vers?)

RÉFÉRENCES

Bennett, A., J. L. Fernandez-Triana et J. Huber. Communication personnelle, 2017.

Bugg, R.L., Ellis, R.T. et Carlson, R.W. 1989. Ichneumonidae (Hymenoptera) using extrafloral nectar of faba bean (*Vicia faba* L., Fabaceae) in Massachusetts. *Biological Agriculture and Horticulture*. 6 (2): 107-114.

CRAAQ (Centre de références en agriculture et agroalimentaire du Québec) :

- 2010. Guide de référence en fertilisation. 2e édition. Québec. 473 pages
- 2011. Maïs sucre- Budget-terre minérale (AGDEX 253/821a). CRAAQ, 7 pages
- 2017. Brocoli biologique – Budget à l’hectare (AGDEX 252.19/821). CRAAQ, 8 pages.
- 2018a. Machinerie, Coûts d’utilisation et taux à forfait suggérés (AGDEX 740/825). CRAAQ, 25 pages.
- 2018b. Maïs-grain biologique-Budget à l’hectare (AGDEX 111.19/821a). CRAAQ. 5 pages
- 2018c. Prix des grains de semences (AGDEX 100.45/855). CRAAQ, 3 pages.

Équiterre, Rigaud, A. Communication personnelle, mars 2019.

Fédération québécoise des producteurs de fruits et légumes de transformation (FQPFLT). 2018. Convention de mise en marché- Annexe 3- Maïs sucré, Dispositions particulières. FQPFLT, 15 pages (<https://www.legumes-transformation.qc.ca/producteurs/convention-de-mise-en-marche/>).

Fernandez-Triana, J., Mark R. Shaw, Sophie Cardinal. Lloyd Dosdall et Peter Mason. 2014. First Nearctic record of *Diolcogaster claritibia* (Hymenoptera: Braconidae: Microgastrinae), with notes on taxonomic status and natural history. *The Canadian Entomologist*. 146 (6): 609-620.

Gaines, D. N. 1997. Studies on *Conura torvina* (Hymenoptera: Chalcididae) Reproduction and Biology in Relation to Hosts in Brassica Crops. (Thèse de doctorat, Virginia Polytechnic Institute). Repéré à <https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/30496>.

Godin, C. et G. Boivin. 1998. Lepidopterous Pests of *Brassica* Crops and Their Parasitoids in Southwestern Quebec. *Environmental Entomology*. 27 (5): 1157-1165.

Hallett, R.H. 2007. Host plant susceptibility to the swede midge (Diptera: Cecidomyiidae). *Journal of Economic Entomology*. 100 (4): 1335–1343.

Harrison, Sara et Eric R. Gallandt. 2012. Behavioural Studies of *Harpalus rufipes* De Geer: an Important Weed Seed Predator in Northeastern US Agroecosystems. *International Journal of Ecology*. 2012: 6p.

Hector, A. C. et J. R. Spence. 1994. Crop Type Effects on the Activity and Distribution of Ground Beetles (Coleoptera: Carabidae), *Environmental Entomology*. 23 (3): 684–692.

Jørgensen, Helene et Søren Toft. 1997. Food preference, diet dependent fecundity and larval development in *Harpalus rufipes* (Coleoptera: Carabidae). *Pedobiologia*. 41 (4): 307-315.

Tremblay, J., V. Myrand, S. Martinez, A. Bouchard et P. Lafontaine. 2014. Détermination du stade phénologique approprié pour l’arrêt des traitements insecticides contre la cécidomyie du chou-fleur (*Contarinia nasturtii*) dans

le brocoli et le chou-fleur. Rapport final réalisé dans le cadre du Programme Prime-Vert, sous-volet 11.1- Appui à la Stratégie phytosanitaire québécoise en agriculture, 13 pages.

https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Agroenvironnement/1557_Rapport.pdf

Littell, R. C., G. A. Milliken, W. W. Stroup, R. D. Wolfinger et O. Schabenberger. 2006. SAS ® for Mixed Models. Second Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc. 828 pages.

N'Dayegamiye, A. 2006. Mixed paper mill sludge effects on corn yield, nitrogen efficiency, and soil properties. *Agronomy Journal*. 98 (6): 1471–1478.

N'Dayegamiye, Adrien, Joann K. Whalen, Gilles Tremblay, Judith Nyiraneza, Michèle Grenier, Anne Drapeau et Marie Bipfubusa. 2015. The Benefits of Legume Crops on Corn and Wheat Yield, Nitrogen Nutrition, and Soil Properties Improvement. *Agronomy Journal*. 107 (5): 1653-1665.

Allen. J., H. Fraser et R. Hallett. 2008. La cécidomyie du chou-fleur, ennemi des cultures de crucifères. <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/08-008.htm> (Consultée le 16 novembre 2018).

SAS/STAT, version 9.4 de SAS System pour Windows 7 x64. Copyright 2002-2012 SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

Thomas, C.F.G., L. Parkinson, et E. Marshall. 1998. Isolating the components of activity-density for the carabid beetle *Pterostichus melanarius* in farmland. *Oecologia*. 116 (1-2): 103-112.

Zhang, J., F.A. Drummond, M. Liebman et A. Hartke. 1997. Phenology and dispersal of *Harpalus rufipes* DeGeer (Coleoptera: Carabidae) in agroecosystems in Maine. *Journal of Agricultural and Urban Entomology*. 14 (2): 171-186.

ANNEXE A

Tableau 24. Liste des parasitoïdes et des hyperparasitoïdes associés aux chenilles nuisibles des crucifères et observés lors de cette étude de 2016 à 2018.

No.	Parasitoïdes	Hôtes	Stade
Braconidae			
1	<i>Cotesia rubecula</i>	<i>P. rapae</i>	Larve
2	<i>Cotesia glomerata</i>	<i>P. rapae</i>	Larve
3	<i>Cotesia</i> spp.	<i>P. rapae</i> , <i>P. xylostella</i> et <i>T. ni</i>	Larve
4	<i>Microplitis plutellae</i>	<i>P. xylostella</i>	Larve
5	<i>Diologaster claritibia</i>	<i>P. xylostella</i>	Larve
Ichneumonidae			
6	<i>Diadegma insulare</i>	<i>P. xylostella</i>	Larve
7	<i>Diadromus subtilicornis</i>	<i>P. xylostella</i>	Nymphe*
8	<i>Ictoplectis conquisitor</i>	<i>P. xylostella</i> et hyperparasitoïde (6-7)	Nymphe*
9	<i>Gelis</i> sp.	Hyperparasitoïde (1-4-6-7)	Nymphe
10	<i>Mesochorus</i> sp.	Hyperparasitoïde (1-2-3-6-7)	Nymphe
Chalcididae			
11	<i>Conura torvina</i>	<i>P. xylostella</i> et hyperparasitoïde (1-2-3-4-6-7)	Nymphe
Encyrtidae			
12	<i>Copidosoma floridanum</i>	<i>T. ni</i>	Oeuf et larve
Eulophidae			
13	<i>Oomyzus sokolowskii</i>	<i>P. xylostella</i>	Larve
14	<i>Baryscapus galactopus</i>	Hyperparasitoïde (1-2-3)	Larve et nymphe
Pteromalidae			
15	<i>Pteromalus phycidis</i>	<i>P. xylostella</i>	N.D.
16	<i>Pteromalus puparum</i>	<i>P. rapae</i>	Nymphe
	<i>Trichomalopsis</i> sp.	Hyperparasitoïde (4-6)	Nymphe
Trichogrammatidae			
17	<i>Trichogramma</i> sp.	<i>P. rapae</i> , <i>P. xylostella</i> et <i>T. ni</i>	Oeuf
Diptera			
18	<i>Phryxe vulgaris</i>	<i>P. rapae</i>	Larve et nymphe
19	<i>Compsilura concinnata</i>	<i>P. rapae</i> et <i>T. ni</i>	Larve et nymphe

*Oviposition au stade prénymphe et nymphe

Sources : Godin et Bovin, 1998; Gaines, 1997; Bennett *et al.*, 2017; Fernandez-Triana *et al.*, 2014.

Annexe B

Tableau 25. Grille d'évaluation des brocolis à la récolte en fonction du degré de dégâts (0 à 5) (R. Hallett et J. Heal (Adapté du protocole de E. Hodgson))

#	Description de l'état des têtes de brocolis à la récolte
0	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de dommages de CCF • Commercialisable de 1^{ère} qualité, ou non commercialisable pour d'autres raisons que des dommages de CCF
1	<ul style="list-style-type: none"> • Dommages légers de CCF • Commercialisable 2^{ième} qualité • 0-25% cicatrices sur les pédicelles • Irrégularité mineure de la tête
2	<ul style="list-style-type: none"> • Non commercialisable à cause de la CCF • 26-50% cicatrices sur les pédicelles (Dans une inflorescence, le petit axe portant à son sommet une seule fleur) • Irrégularité moyenne de la tête
3	<ul style="list-style-type: none"> • Non commercialisable à cause de la CCF • 51-75% cicatrices sur les pédicelles • Irrégularité moyenne à sévère de la tête
4	<ul style="list-style-type: none"> • Non commercialisable à cause de la CCF • 75-100% cicatrices sur les pédicelles • Déformation sévère de la tête
5	<ul style="list-style-type: none"> • Mort du méristème apical • Pas de tête principale, plant borgne, production de tiges latérales



0
Pas de
dommage

1
Cicatrices
mineures,
tête
légèrement
irrégulière

2
Cicatrices
moyennes,
tête
irrégulière

3
Cicatrices
moyennes à
sévères, tête
irrégulière

4
Cicatrices
sévères, tête
très irrégulière

5
Mort du
méristème,
pas de
formation
de tête

ANNEXE C

Tableau 26. Abondance et pourcentage des espèces de parasitoïdes émergés de larves ou de chrysalides de la fausse-teigne des crucifères récoltées en 2016.

Espèce de parasitoïde émergé	Témoin	Trèfle Huia	Trèfle blanc nain	Vesce commune	Total (%)
<i>Conura torvina</i>	1	1	0	2	4 (3,1)
<i>Diadegma insulare</i>	21	23	27	32	103 (78,6)
<i>Diadromus subtilicornis</i>	6	0	4	2	12 (9,2)
<i>Microplitis plutellae</i>	1	0	0	0	1 (0,8)
<i>Pteromalus phycidis</i>	2	0	2	0	4 (3,1)
<i>Oomyzus sokolowski</i>	0	5	1	1	7 (5,3)

Il est intéressant de noter que sur la totalité des émergences de parasitoïdes d'élevage de FTC récoltés en champ, 78,6 % étaient *D. insulare*, suivi de *D. subtilicornis* à 9,2 % (Tableau 26). Les parasitoïdes *P. phycidis* et *M. plutellae* ont été observés en plus faible proportion soit 3,4 % et 0,8 % respectivement. Le seul hyperparasitoïde observé dans l'élevage de la FTC est *C. torvina* qui est considéré comme un parasitoïde primaire et secondaire de FTC, puisqu'il parasite également *D. insulare* et *Cotesia* spp. (Gaines, 1997; voir Annexe A). Dans les travaux de Godin et Boivin (1998), le principal parasitoïde de la FTC qui avait observé était *D. insulare* suivi de *M. plutellae*.

Tableau 27. Abondance et pourcentage des espèces de parasitoïdes émergés de larves ou chrysalides de fausse-teigne des crucifères récoltées en 2017.

	T- enherbé	T- désherbé	[TH]	[TH] +Tonte	[TH+RG]	[TH+RG] +Tonte	Total (%)
<i>C. torvina</i>	0	0	1	1	1	2	5 (4 %)
<i>C. spp</i>	1	0	1	0	0	0	1 (1 %)
<i>D. insulare</i>	13	5	9	15	13	12	49 (42 %)
<i>D. subtilicornis</i>	9	0	4	1	4	5	14 (12%)
<i>D. claritibia</i>	8	4	6	8	5	3	22 (19%)
<i>Gelis sp.</i>	1	0	0	0	0	1	1 (1 %)
<i>I. conquisitor</i>	0	0	1	1	0	0	2 (2 %)
<i>Mesochorus sp.</i>	2	0	3	0	1	1	5 (4 %)
<i>M. plutellae</i>	3	1	4	1	1	4	10 (9 %)
<i>O. sokolowskii</i>	0	1	3	0	0	2	5 (4 %)
<i>P. phycidis</i>	0	0	1	0	1	1	3 (3 %)

Tableau 28. Abondance et pourcentage des espèces de parasitoïdes émergés de larves ou de chrysalides de fausse-teigne des crucifères récoltées en 2018.

Traitement	T- enherbé	T- désherbé	[TH]	[TH] +tonte	[TH+RG]	[TH+RG] +tonte	Total %
<i>C. torvina</i>	2	1	0	6	2	3	14 (2,4 %)
<i>Cotesia spp.</i>	6	3	9	4	4	1	27 (4,7 %)
<i>D. insulare</i>	44	72	61	52	69	64	362 (62,6%)
<i>D. subtilicornis</i>	2	11	3	3	2	4	25 (4,3%)
<i>D. claritibia</i>	24	14	11	9	8	10	76 (13,1%)
<i>I. conquisitor</i>	0	0	0	1	0	0	1 (0,2%)
<i>Mesochorus sp.</i>	0	0	2	2	1	0	5 (0,9 %)
<i>Microgastrinae sp.</i>	0	1	0	0	1	1	3 (0,5 %)
<i>M. plutellae</i>	3	9	5	10	9	10	46 (8,0 %)
<i>O. sokolowskii</i>	4	1	4	1	4	4	18 (3,1 %)
<i>P. phycidis</i>	0	0	0	0	1	0	1 (0,2 %)

En comparant le pourcentage des espèces entre 2016 (Tableau 26) et 2017 (0), le profil des parasitoïdes semblent être différent. En 2016, *D. insulare* prédominait avec 78,6 %, suivi de *D. subtilicornis*. En 2017, *D. insulare* représente 42 % des parasitoïdes émergés, suivi de *D. claritibia* à 19 %, *D. subtilicornis* à 12 % et *M. plutellae* à 9 %. En 2018, le profil est légèrement différent : pour *D. insulare* avec 62,6 % des observations suivi de *D. claritibia* à 13,1 %, *M. plutellae* à 8,0 % et *Cotesia spp.* à 4,7 %.

ANNEXE D

Tableau 29. Évaluation du revenu, des coûts variables et de la marge par traitement.

		Traitements						6
		1	2	3	4	5		
		Intercalaire	Témoin	Témoin	Trèfle huia	Trèfle huia	Trèfle huia-Raygrass	Trèfle huia-Raygrass
		Dés herbé sans						
		Stratégie	Enherbé	Intercalaire	Sans tonte	Tonte	Sans tonte	Tonte
Produits								
Vente Brocoli (2017)	Rendement (boites/ha)		732	898	632	844	619	567
	Prix unitaire (\$/boite)	33,41 \$						
Revenu brocoli 2017 (\$/ha)			24 464,64 \$	29 993,90 \$	21 107,01 \$	28 209,07 \$	20 681,29 \$	18 940,73 \$
Vente maïs sucré (2018)	Rendement (douzaines/ha)		4 020	4 020	3 746	4 934	5 300	4 843
	Rendement (poches/ha)		804	804	749	987	1 060	969
	Prix unitaire (\$/douzaine)	7,70 \$						
Revenu maïs sucré 2018 (\$/ha)			30 957,60 \$	30 957,60 \$	28 846,86 \$	37 993,42 \$	40 807,75 \$	37 289,84 \$
Coûts d'implantation des Engrais verts								
Coûts d'approvisionnement en semences								
Trèfle huia (2017)	Quantité (kg/ha)	30	0	0	30	30	0	0
	Prix (\$/kg)	11,59 \$	11,59 \$	11,59 \$	11,59 \$	11,59 \$	11,59 \$	11,59 \$
Coût semence (\$/ha)			- \$	- \$	347,57 \$	347,57 \$	- \$	- \$
Trèfle huia-Raygrass (2017)								
Trèfle huia	Quantité (kg/ha)	21	0	0	0	0	21	21
	Prix (\$/kg)	11,59 \$	11,59 \$	11,59 \$	11,59 \$	11,59 \$	11,59 \$	11,59 \$
	Coût (\$/ha)		- \$	- \$	- \$	- \$	243,30 \$	243,30 \$
Raygrass	Quantité (kg/ha)	9	0	0	0	0	9	9
	Prix (\$/kg)	3,64 \$	3,64 \$	3,64 \$	3,64 \$	3,64 \$	3,64 \$	3,64 \$
	Coût (\$/ha)		- \$	- \$	- \$	- \$	32,77 \$	32,77 \$
Coût semence (\$/ha)			- \$	- \$	- \$	- \$	276,07 \$	276,07 \$
Opérations culturales liées aux EV								
	Semis à la volée (\$/ha)	20,2	20,20 \$	20,20 \$	20,20 \$	20,20 \$	20,20 \$	20,20 \$
	Fauche avec f. à fléau (\$/ha)	17,24 \$	- \$	- \$	17,24 \$	17,24 \$	17,24 \$	17,24 \$
	Incorporation résidus/intercalaires (offset) (\$/ha)	25,04 \$	25,04 \$	25,04 \$	25,04 \$	25,04 \$	25,04 \$	25,04 \$
Coût opérations culturales			45,24 \$	45,24 \$	62,48 \$	62,48 \$	62,48 \$	62,48 \$
Total Coûts d'implantation des Engrais verts (2017) \$/ha			45,24 \$	45,24 \$	410,05 \$	410,05 \$	338,55 \$	338,55 \$

		Traitements		1	2	3	4	5	6
		Intercalaire	Témoin	Témoin	Trèfle huia	Trèfle huia	Trèfle huia-Raygrass	Trèfle huia-Raygrass	
		Dés herbé sans							
		Stratégie	Enherbé	Intercalaire	Sans tonte	Tonte	Sans tonte	Tonte	
Coût spécial	Destruction EV précédent (2 passages)	19,35 \$	38,70 \$	38,70 \$	38,70 \$	38,70 \$	38,70 \$	38,70 \$	38,70 \$
Coûts associés au brocoli (2017)									
Approvisionnement en transplants brocoli	Quantité (Nbre plateaux/ha)	198	198	198	198	198	198	198	198
	Prix (\$/plateau)	10,50 \$	10,50 \$	10,50 \$	10,50 \$	10,50 \$	10,50 \$	10,50 \$	10,50 \$
Coût semence brocoli (\$/ha)		2 079,00 \$		2 079,00 \$	2 079,00 \$	2 079,00 \$	2 079,00 \$	2 079,00 \$	2 079,00 \$
Fertilisation du brocoli	Achat actisol (4504 kg/ha)	0,44 \$	1 981,76 \$	1 981,76 \$	1 981,76 \$	1 981,76 \$	1 981,76 \$	1 981,76 \$	1 981,76 \$
	Épandage (\$/ha)	3,64 \$	3,64 \$	3,64 \$	3,64 \$	3,64 \$	3,64 \$	3,64 \$	3,64 \$
	Incorporation au vibro	9,87 \$	9,87 \$	9,87 \$	9,87 \$	9,87 \$	9,87 \$	9,87 \$	9,87 \$
Tôtal fertilisation du brocoli		1 995,27 \$		1 995,27	1 995,27	1 995,27	1 995,27	1 995,27	1 995,27
Opérations culturales pour le brocoli	Vibroculteur (\$/ha)	9,87 \$	9,87 \$	9,87 \$	9,87 \$	9,87 \$	9,87 \$	9,87 \$	9,87 \$
	Semis (\$/ha) transplantation	41,66 \$	41,66 \$	41,66 \$	41,66 \$	41,66 \$	41,66 \$	41,66 \$	41,66 \$
	Sarclage mécanique Terra nova (\$/ha)	14,34 \$	14,34 \$	14,34 \$	14,34 \$	14,34 \$	14,34 \$	14,34 \$	14,34 \$
	3 Sarclages mécaniques (mazotti) (\$/ha)	14,34 \$	- \$	43,02 \$	- \$	- \$	- \$	- \$	- \$
	2 Tontes	5,00 \$	- \$	- \$	- \$	10,00 \$	- \$	10,00 \$	- \$
	Main d'œuvre avant récolte (h)	15,00 \$	810,00 \$	2 100,00 \$	810,00 \$	810,00 \$	810,00 \$	810,00 \$	810,00 \$
	Récolte manuelle (\$/passage) 4passages/ha	68,59 \$	274,36 \$	274,36 \$	274,36 \$	274,36 \$	274,36 \$	274,36 \$	274,36 \$
Total Opérations culturales pour le brocoli(\$/ha)		1 150,23 \$		2 483,25 \$	1 150,23 \$	1 160,23 \$	1 150,23 \$	1 160,23 \$	1 160,23 \$
Mise en marché	Transport (520 km)	2,28 \$	1 185,60 \$	1 185,60 \$	1 185,60 \$	1 185,60 \$	1 185,60 \$	1 185,60 \$	1 185,60 \$
	Glaçage (boîtes)	0,58 \$	424,71 \$	520,70 \$	366,42 \$	489,71 \$	359,03 \$	328,81 \$	328,81 \$
	Frais de mise en marché 5%	1 223,23 \$	1 499,70 \$	1 055,35 \$	1 410,45 \$	1 034,06 \$	947,04 \$	947,04 \$	947,04 \$
Total frais de mise en marché		2 833,54 \$		3 205,99 \$	2 607,37 \$	3 085,77 \$	2 578,69 \$	2 461,45 \$	2 461,45 \$
Total des coûts associés au brocoli (2017)		8 058,04 \$		9 763,51 \$	7 831,87 \$	8 320,27 \$	7 803,19 \$	7 695,95 \$	7 695,95 \$

		Traitements		1	2	3	4	5	6
		Intercalaire	Témoin	Témoin	Trèfle huia	Trèfle huia	Trèfle huia-Raygrass	Trèfle huia-Raygrass	
		Dés herbé sans							
		Stratégie	Enherbé	Intercalaire	Sans tonte	Tonte	Sans tonte	Tonte	
Coûts associés au maïs-sucré									
Approvisionnement en semences maïs-sucré	Quantité (kg/ha)		26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2
	Prix (\$/kg)		39,65 \$	39,65 \$	39,65 \$	39,65 \$	39,65 \$	39,65 \$	39,65 \$
Coût semence maïs sucré (\$/ha)			1 038,46 \$	1 038,46 \$	1 038,46 \$				
Fertilisation du maïs-sucré									
	Achat actisol (2163 kg/ha)		0,44 \$	951,72 \$	951,72 \$	951,72 \$	951,72 \$	951,72 \$	951,72 \$
	Épandage (\$/ha)		3,64 \$	3,64 \$	3,64 \$	3,64 \$	3,64 \$	3,64 \$	3,64 \$
	Incorporation au vibro		9,87 \$	9,87 \$	9,87 \$	9,87 \$	9,87 \$	9,87 \$	9,87 \$
Tôtal fertilisation du maïs-sucré			965,23 \$	965,23 \$	965,23 \$				
Opérations culturales pour le maïs sucré	Vibroculteur (\$/ha)		9,87 \$	9,87 \$	9,87 \$	9,87 \$	9,87 \$	9,87 \$	9,87 \$
	Semis (\$/ha)		17,78 \$	17,78 \$	17,78 \$	17,78 \$	17,78 \$	17,78 \$	17,78 \$
	Sarclage mécanique (houe rotative) (\$/ha)		4,63 \$	4,63 \$	4,63 \$	4,63 \$	4,63 \$	4,63 \$	4,63 \$
	Sarclage mécanique (mazzotti) (\$/ha)		14,34 \$	14,34 \$	14,34 \$	14,34 \$	14,34 \$	14,34 \$	14,34 \$
	Sarclage mécanique (sarcleur) (\$/ha)		4,63 \$	4,63 \$	4,63 \$	4,63 \$	4,63 \$	4,63 \$	4,63 \$
	Récolte (1 passage /ha)		15,52 \$	15,52 \$	15,52 \$	15,52 \$	15,52 \$	15,52 \$	15,52 \$
Total Opérations culturales pour le maïs sucré(\$/ha)			66,77 \$	66,77 \$	66,77 \$				
Mise en marché	Transport (poches) (\$/ha)		0,71 \$	568,96 \$	568,96 \$	530,17 \$	698,27 \$	750,00 \$	685,34 \$
	Prérefroidissement (poches) (\$/ha)		0,19 \$	149,06 \$	149,06 \$	138,90 \$	182,94 \$	196,49 \$	179,55 \$
Total mise en marché (\$/ha)			718,02 \$	718,02 \$	669,07 \$	881,21 \$	946,48 \$	864,89 \$	
Total des coûts associés au maïs sucré (2017)			2 788,48 \$	2 788,48 \$	2 739,53 \$	2 951,67 \$	3 016,94 \$	2 935,35 \$	
Total coûts variables associés au brocoli (\$/ha)			8 100,01 \$	9 805,48 \$	8 056,24 \$	8 544,64 \$	7 991,82 \$	7 884,57 \$	
Total coûts variables associés au maïs sucré (\$/ha)			2 830,45 \$	2 830,45 \$	2 963,90 \$	3 176,04 \$	3 205,57 \$	3 123,98 \$	
Marge sur coûts variables Brocoli (\$/ha)			16 364,63 \$	20 188,42 \$	13 050,76 \$	19 664,43 \$	12 689,47 \$	11 056,15 \$	
Marge sur coûts variables maïs sucré (\$/ha)			28 127,15 \$	28 127,15 \$	25 882,96 \$	34 817,38 \$	37 602,18 \$	34 165,86 \$	
Total produits (\$/ha)			55 422,25 \$	60 951,50 \$	49 953,86 \$	66 202,49 \$	61 489,04 \$	56 230,57 \$	
Total coûts variables (\$/ha)			10 930,46 \$	12 635,93 \$	11 020,14 \$	11 720,68 \$	11 197,39 \$	11 008,55 \$	
Total Marge sur coûts variables (\$/ha)			44 491,78 \$	48 315,57 \$	38 933,72 \$	54 481,81 \$	50 291,65 \$	45 222,02 \$	