

Méthodes de lutte intégrée contre la tipule des prairies

IA113082

Écrit par :

Alexis Latraverse, B.Sc.

Geneviève Labrie, Ph.D.

Sébastien Boquel, Ph.D.



ÉQUIPE

Geneviève Labrie, (ex CÉROM)

Sébastien Boquel, CÉROM

Jennifer De Almeida, CÉROM

Bernard Brillant, MAPAQ

Line Bilodeau, MAPAQ

Ermin Menkovic, MAPAQ

Salah Zoglami, PGQ

FICHE DE PROJET

Titre du projet : Méthodes de lutte intégrée contre la tipule des prairies.

Problématique : La tipule des prairies, *Tipula paludosa* Meigen, est un insecte ravageur observé pour la première fois au Québec en 2002 dans les terrains de golf de la région de la Chaudière-Appalaches. Au printemps 2008, de nombreux champs de céréales, canola et plantes fourragères ont été ravagés par les larves de tipules dans les régions de la Chaudière-Appalaches et de l'Estrie. Au cours des années suivantes, des enquêtes effectuées par le CÉROM et le Réseau d'Alertes Phytosanitaires ont permis de découvrir cet insecte dans trois autres régions du Québec, soit le Bas-Saint-Laurent, la Capitale-Nationale et le Centre-du-Québec. Les dommages aux cultures causés par la tipule des prairies dépendent des conditions climatiques durant l'automne et au printemps, ceux-ci étant plus importants après un automne pluvieux et/ou un printemps plus frais. Aucune méthode de lutte n'est actuellement disponible pour contrôler ce ravageur, qui cause régulièrement des dommages importants. Des essais préliminaires ont permis de montrer que le hersage en surface pourrait être un moyen efficace pour réduire les populations de ce ravageur. Toutefois, le nombre de passages et le moment propice pour effectuer le travail de sol ne sont pas connus. La rotation des cultures pourrait aussi être une méthode efficace, le sarrasin, le maïs et le soya s'étant montrés des cultures moins vulnérables en laboratoire. Ces cultures doivent être maintenant testées en champ. Une combinaison de ces deux méthodes serait aussi à tester.

Objectif : L'objectif de ce projet est de tester deux méthodes de lutte et de déterminer les seuils d'interventions dans plusieurs cultures; (i) l'effet d'une lutte culturale avec des champs semés en sarrasin, maïs ou soya, comparé à une céréale sur les populations et les dommages de tipules; (ii) l'effet de la lutte mécanique avec différents passages de herse en surface en automne et au printemps; (iii) valider les seuils d'intervention dans les quatre cultures à l'étude suite à la réalisation de l'objectif (i).

TABLE DES MATIÈRES

.....	1
Équipe.....	2
Fiche de projet.....	3
Table des matières	4
Liste des figures.....	6
Liste des tableaux.....	7
Introduction.....	8
Distribution	8
Biologie	8
Cultures hôtes.....	9
Seuils d'intervention	9
Régulation des populations	10
Conditions climatiques.....	10
Ennemis naturels.....	10
Densité-dépendance et cannibalisme.....	11
Méthodes de lutte	11
Cultures en rotation	11
Travail de sol	12
Objectifs.....	12
Matériels et méthodes	13
Sélection des champs	13
Dispositifs expérimentaux	13
Essais de rotation de culture.....	13
Essais de hersage.....	14
Échantillonnage	15
Échantillons de terre	15
Peuplement et récolte manuelle	15
Analyses statistiques.....	16
Résultats.....	17

Essais de rotation de culture	17
Essais de hersage de printemps.....	19
Peuplement et rendement.....	20
Essais de hersage d'automne	22
Discussion	24
Conclusion	26
Remerciements	28
Références.....	29

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Dispositif expérimental de l'essai de rotation de culture.	14
Figure 2 : Dispositif expérimental de l'essai de hersage.	15
Figure 3 : Abondance moyenne des larves de <i>T. paludosa</i> par échantillon de sol avant et après le semis d'avoine et de sarrasin au site 101 (Saint-Michel-du-Squatec) réalisé au printemps 2014.	18
Figure 4 : Défoliation par les altises dans l'essai de rotation de culture au site 101 (Saint-Michel-du-Squatec) en 2014. a) Symptômes de défoliation sur plantule de sarrasin, b) Vue générale de la parcelle de sarrasin défoliée.	18
Figure 5 : Abondance moyenne des larves de <i>T. paludosa</i> par échantillon de sol pour les différents traitements avant et après le hersage de printemps.	20
Figure 6 : Peuplement (nombre de plants par mètre linéaire) après un, deux et trois passages de herse dans les sites 102 (avoine) et 201 (soya) des essais de hersage de printemps en 2014 et 2015, respectivement.	21
Figure 7 : Rendement (kg/ha) après un, deux et trois passages de herse dans les sites 102 (avoine) et 201 (soya) des essais de hersage de printemps en 2014 et 2015, respectivement. ..	21
Figure 8 : Abondance moyenne des larves de <i>T. paludosa</i> par échantillon pour les différents traitements avant et après le hersage d'automne.	23

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques du site de l'essai de rotation de cultures en 2014.	17
Tableau 2 : Caractéristiques des sites pour l'essai de hersage de printemps de 2014 à 2017.....	19
Tableau 3 : Abondance des larves de <i>T. paludosa</i> dans les sites avant et après hersage de printemps.	19
Tableau 4 : Caractéristiques des sites de l'essai de hersage d'automne de 2014 à 2017.	22
Tableau 5 : Abondance des larves de <i>T. paludosa</i> dans les sites avant et après le hersage d'automne.	23

INTRODUCTION

DISTRIBUTION

La tipule des prairies, *Tipula paludosa* Meigen [Diptera : Tipulidae], est un insecte originaire du nord-ouest de l'Europe dont la larve est considérée comme un ravageur important des cultures fourragères et céréalières, particulièrement en Grande-Bretagne, en France et en Allemagne (BLACKSHAW & COLL, 1999b). L'espèce a été observée pour la première fois en Amérique du Nord en 1952, à Terre-Neuve (JACKSON & CAMPBELL, 1975), mais ce n'est qu'en 2002 qu'elle a été détectée au Québec, dans des verts de golf de la région de la Chaudière-Appalaches (SIMARD, 2006 ; SIMARD *et al.*, 2006). En 2008, des dommages importants ont été rapportés dans plusieurs champs de grandes cultures en Chaudière-Appalaches et en Estrie (SIMARD *et al.*, 2008 ; COUTURE & PARENT, 2009). D'autres cas ont depuis été rapportés, non seulement dans ces deux régions, mais également au Bas-Saint-Laurent, dans la Capitale-Nationale et au Centre-du-Québec (LABRIE *et al.*, 2011 ; LABRIE *et al.*, 2012 ; LABRIE *et al.*, 2013b). La dispersion de cet insecte au Québec est à prévoir dans les années à venir, car les conditions climatiques et les cultures qui bordent le nord et le sud du fleuve Saint-Laurent semblent propices à l'installation de ce ravageur (PETERSEN, 2013).

BIOLOGIE

La tipule des prairies est univoltine (une seule génération par année) et passe par quatre stades de développement : œuf, larve (4 stades), pupes, et adulte (JACKSON & CAMPBELL, 1975 ; BLACKSHAW & MOORE, 2012). Les adultes émergent du sol de la mi-août à la mi-septembre et ne vivent que quelques jours (JACKSON & CAMPBELL, 1975 ; BLACKSHAW & COLL, 1999b). Comme ils sont sexuellement matures à l'émergence, les adultes s'accouplent aussitôt et les femelles pondent ensuite de 50 à 400 œufs dans le sol parmi les herbes et plus particulièrement les graminées (JACKSON & CAMPBELL, 1975 ; BLACKSHAW & COLL, 1999b). Comme les femelles gravides ne peuvent pas voler sur de longues distances, la majorité des œufs sont pondus près du point d'émergence (COULSON, 1959). Toutefois, les œufs et les larves qui se trouvent dans le sol peuvent être transportés d'un champ à l'autre par la machinerie agricole. En outre, plusieurs scientifiques supposent que l'invasion de cette espèce en Amérique du Nord serait liée au transport de gazon d'un endroit infesté à un autre (PETERSEN, 2013).

Les larves éclosent après 11 à 15 jours et commencent à se nourrir sur les racines et la base des plantes. Elles complètent habituellement leurs deux premiers stades larvaires en moins de deux mois et passent l'hiver au troisième stade larvaire dans le sol. Au printemps, quand le sol se réchauffe, les larves redeviennent actives et recommencent à s'alimenter (JACKSON & CAMPBELL, 1975 ; BLACKSHAW & COLL, 1999b). C'est à ce moment qu'elles sont le plus vorace et qu'elles

causent le plus de dommages. Les larves de quatrième stade accumulent 90% de leur poids entre le mois d'avril et la fin du mois de mai (LABRIE *et al.*, 2013a). Vers la mi-juin, les larves cessent de s'alimenter et restent immobiles dans le sol pour une période de six à huit semaines (JACKSON & CAMPBELL, 1975 ; BLACKSHAW & COLL, 1999b ; BLACKSHAW & MOORE, 2012). Après cette période, les larves entament leur pupaison, généralement au début du mois d'août, et les adultes émergent 10 à 15 jours plus tard (JACKSON & CAMPBELL, 1975).

CULTURES HÔTES

La tipule des prairies est un ravageur polyphage qui peut se nourrir des racines, des tiges et des feuilles d'une grande variété de plantes (JACKSON & CAMPBELL, 1975 ; BLACKSHAW & COLL, 1999b). Blackshaw (1984) a estimé la consommation d'une seule larve dans un pâturage à 0,05 kg de matière sèche, pour des pertes de fourrage atteignant 50 kg/ha lorsque les populations de tipule sont de l'ordre de 125 larves/m². Pour les pâturages d'Irlande du Nord, les pertes annuelles attribuables aux larves de tipule des prairies ont été estimées à plus de 15 millions de livres sterling (environ 30 millions de dollars canadiens) (BLACKSHAW, 1985). Parmi les cultures vulnérables on compte aussi le rutabaga, les pommes de terre, les fraises, les trèfles, les crucifères et les betteraves (BLACKSHAW & COLL, 1999b ; TASCHEREAU, 2007).

Au Québec, la majorité des champs touchés sont des grandes cultures, incluant les plantes fourragères (graminées, légumineuses), les céréales (blé, orge, avoine, seigle), les crucifères (canola), le maïs, et plus rarement le soya. Des dommages sont aussi observés dans différentes cultures horticoles et maraîchères (*e.g.* chou, fraise) (LABRIE *et al.*, 2013b). Les grandes cultures semées sur un retour de prairie sont particulièrement à risques d'être attaquées par cet insecte (BLACKSHAW & COLL, 1999b). Ailleurs en Amérique du Nord, seuls les gazonnières et les terrains de golfs seraient aux prises avec des dommages importants causés par cette espèce (PETERSEN, 2013).

SEUILS D'INTERVENTION

Le seuil économique d'intervention, c'est-à-dire la densité de population à laquelle un traitement phytosanitaire présente un intérêt économique (coût du traitement inférieur au coût des dégâts estimés), varie en fonction des cultures. En Europe, il est de 25 à 100 larves/m² dans les céréales (BLACKSHAW & PERRY, 1994 ; BLACKSHAW & COLL, 1999b) et de 100 à 300/m² dans les cultures fourragères (BLACKSHAW & NEWBOLD, 1987 ; FRENCH *et al.*, 1990). Le seuil de dommages dans l'orge de printemps serait évalué à 175 larves/m² (BLACKSHAW & PERRY, 1994). En agriculture biologique, les seuils d'intervention établis pour l'utilisation de nématodes prédateurs et de *Bacillus thuringiensis* (Bt) vont de 25 à 103 larves/m² dans différentes cultures comme le chou-fleur, la laitue ou le maïs sucré (BLACKSHAW, 2008).

Au Québec, des populations atteignant 1500 larves/m² à l'automne et 1000 larves/m² au printemps ont déjà été observées (LABRIE *et al.*, 2012 ; LABRIE *et al.*, 2013b). En juin 2012, une

estimation visuelle des dommages causés par les larves de *T. paludosa* dans les champs suivis par le RAP a montré des pertes pouvant atteindre 75 % dans les zones dépistées et les dommages dans les champs affectés touchaient entre 3 et 50 % de la superficie (LABRIE *et al.*, 2013b). Les pertes totales estimées allaient ainsi de 0,2 à 38 % pour l'ensemble des champs, principalement en Estrie et en Chaudière-Appalaches (LABRIE *et al.*, 2013b). Des études en laboratoire ont en outre permis d'établir que des populations entre 75 et 100 larves/m² dans les cultures fourragères et les céréales causaient une perte de 10 % de plantules en début de saison de croissance (LABRIE *et al.*, 2013a). Ces données n'ont cependant pas été vérifiées en champ et une confirmation des seuils d'intervention dans les champs doit être effectuée.

RÉGULATION DES POPULATIONS

CONDITIONS CLIMATIQUES

Les conditions climatiques, et surtout les précipitations, jouent un rôle important dans la survie des larves de *T. paludosa*. Les œufs et les larves sont très sensibles à la dessiccation (MEATS, 1967a ; MEATS, 1967b ; MEATS, 1975) et des précipitations faibles au moment de la ponte et à l'automne entraîneraient une diminution des populations au printemps suivant (MILNE *et al.*, 1965). Ainsi, en Europe, les conditions climatiques observées à l'automne permettraient de prédire l'intensité des infestations au printemps suivant. Les automnes frais et pluvieux favoriseraient des populations plus élevées au cours du printemps suivant et des potentiels de dommages plus importants pour les cultures à risque (MILNE *et al.*, 1965 ; BLACKSHAW & COLL, 1999b).

La température durant l'hiver pourrait aussi affecter les populations de tipule des prairies (MEATS, 1975). En effet, des recherches ont montré que les larves de *T. paludosa* ne survivent pas à des températures inférieures à -7 °C (BLOCK *et al.*, 1993 ; LABRIE, 2012). Par contre, de telles températures ne sont généralement pas atteintes au Québec car la température du sol oscille autour de 0 °C sous un couvert de neige important (LABRIE, 2012). Les régions qui reçoivent une quantité importante de neige tout au long de l'hiver sont donc plus à risque de présenter des populations importantes de larves au printemps, en raison d'une meilleure survie hivernale. Des mortalités hivernales allant de 15 à 90 % ont été observées au Québec (LABRIE *et al.*, 2011 ; LABRIE *et al.*, 2012 ; LABRIE *et al.*, 2013b).

ENNEMIS NATURELS

Plusieurs ennemis naturels, dont des insectes (*e.g.* carabes, parasitoïdes), des vertébrés (*e.g.* oiseaux, musaraignes, taupes), des virus (*e.g.* Nuclear Polyhedrosis Virus, Tipula Iridescent Virus), des bactéries, des nématodes et des champignons, peuvent exercer un certain contrôle sur les populations de larves de *T. paludosa*. Les oiseaux, par exemple, semblent être de grands prédateurs de larves, principalement au printemps où ils s'alimentent sur les grosses larves de quatrième stade (BLACKSHAW & MOORE, 2012). Cependant, l'effet des ennemis naturels sur le

contrôle des populations serait moins important que celui exercé par les conditions climatiques (BARNES, 1937 ; MILNE *et al.*, 1958 ; BLACKSHAW, 2009).

DENSITÉ-DÉPENDANCE ET CANNIBALISME

Les populations seraient aussi régulées par un phénomène de densité-dépendance, avec une chute importante des populations de larves lorsqu'elles deviennent très élevées (BLACKSHAW & PETROVSKII, 2007). Ces baisses soudaines de population lorsque les densités sont élevées pourraient être liées à la présence de champignons entomopathogènes (Gokce et Er 2003) ou au cannibalisme (BLACKSHAW & PETROVSKII, 2007). Bien que le cannibalisme ait été observé chez les larves de *T. paludosa* (BARNES, 1937 ; MILNE *et al.*, 1958 ; BLACKSHAW, 2009), son effet sur les populations n'a pas été quantifié. Des tests en laboratoire suggèrent toutefois qu'il s'agit bien d'un phénomène densité-dépendant qui pourrait jouer un rôle important dans le contrôle des populations (BLACKSHAW & PETROVSKII, 2007).

MÉTHODES DE LUTTE

En Europe, les méthodes de lutte préconisées contre les larves de *T. paludosa* en culture conventionnelle comprennent le dépistage et l'application d'insecticides lorsque les seuils sont atteints (BLACKSHAW, 1985). En agriculture biologique, la lutte culturale et mécanique, ainsi que l'application d'insecticides biologiques sont recommandées (BLACKSHAW, 2008 ; BLACKSHAW, 2009).

CULTURES EN ROTATION

Cette méthode de lutte est préconisée contre de nombreux ravageurs en grandes cultures, tels que la chrysomèle des racines du maïs (OBOPILE *et al.*, 2013), la cécidomyie orangée du blé (ELLIOTT *et al.*, 2011), la cécidomyie du chou-fleur (CHEN *et al.*, 2009), ou encore les vers fil-de-fer (MACKENZIE & HAMMERMEISTER, 2008). Les insectes qui ont hiberné dans le champ sont particulièrement touchés lorsqu'une culture non-hôte est semée. Par exemple, la moutarde libère des glucosinolates dans le sol, des composés secondaires qui repoussent les vers fil-de-fer, tandis que le sarrasin, de par sa croissance rapide, permet d'être incorporé dans le sol quand les taupins sont les plus vulnérables aux dommages mécaniques. Le lin serait également une culture aux pauvres qualités nutritionnelles pour ce ravageur de culture (MACKENZIE & HAMMERMEISTER, 2008).

Bien que les larves de *T. paludosa* soient polyphage (BLACKSHAW & COLL, 1999a), certaines cultures pourraient être moins vulnérables aux dommages, particulièrement celles ayant des grains assez gros ou des plantes à croissance rapide. Une expérience en laboratoire a démontré que le maïs, le soya et le sarrasin étaient des cultures moins affectées par la tipule des prairies en conditions contrôlées, avec des seuils allant de 1500 à 4000 larves/m² pour causer des pertes

de 10 % de plantules (LABRIE *et al.*, 2013a). Ces trois cultures démontrent donc un potentiel intéressant de rotation dans les champs affectés par la tipule.

TRAVAIL DE SOL

Le travail de sol peut réduire les populations d'insectes qui hibernent dans le sol. Par exemple, des études ont montré que l'utilisation du chisel permet de réduire les populations hivernantes de pyrale du maïs (SCHAAFSMA *et al.*, 1996). Dosdall (DOSDALL *et al.*, 1996) a étudié l'effet de différents régimes de labour sur l'émergence de *Delia spp.* (Diptera : Anthomyiidae) dans des champs expérimentaux semés en canola et en navet au cours de l'année précédente. Il a trouvé que les labours avaient entraîné une réduction de 56 à 64 % de *D. radicum* et de 53 à 72 % de *D. floralis*.

La larve de *T. paludosa* peut aussi être affectée par le travail de sol, car elle passe sa vie dans les cinq premiers centimètres de sol. Blackshaw (BLACKSHAW, 1988) a observé une réduction de 70 % des populations de tipules après la préparation du lit de semence dans un champ avec un précédent cultural de prairie de graminées. Au Québec, des données préliminaires ont montré une réduction des populations de tipules de 35 % et 75 % après deux et quatre passages de herse rotative et de herse à disque, respectivement (LABRIE *et al.*, 2013b).

OBJECTIFS

Le Québec est aux prises avec une problématique unique face à la tipule des prairies et il est nécessaire de trouver des moyens de lutte adaptés à nos conditions. Cette espèce exotique envahissante est bien établie au Québec et devrait continuer son invasion ainsi que ses dommages dans différentes cultures (PETERSEN, 2013). Aucun moyen de lutte n'est disponible et aucun insecticide n'est homologué contre cette espèce dans les grandes cultures ou les cultures fourragères. Afin d'éviter l'application d'insecticides non-homologués et de limiter les pertes de rendement pour les nombreux producteurs aux prises avec cet insecte, il est indispensable de développer différentes méthodes de lutte alternative contre ce ravageur.

Le projet avait pour objectifs de (i) déterminer l'efficacité de cultures de rotation moins vulnérables (maïs, soya et sarrasin) pour réduire les populations et les dommages causés par la tipule des prairies, (ii) déterminer l'efficacité du travail de sol (différents passages de herse) à l'automne et au printemps pour réduire les populations et les dommages causés par la tipule des prairies, et (iii) valider les seuils d'intervention contre la tipule des prairies dans les céréales, le maïs, le soya, et le sarrasin en fonction des résultats obtenus lors de la réalisation de l'objectif (i).

MATÉRIELS ET MÉTHODES

SÉLECTION DES CHAMPS

Pour les essais de printemps, les champs recherchés devaient être des retours de céréale ou de prairie brûlée à l'automne précédant. Pour les essais d'automne, il s'agissait de céréales venant juste d'être récoltées ou de prairies venant juste d'être brûlées. En outre, le travail de sol précédent devait préférablement être en labour conventionnel.

La recherche des champs a été effectuée par les responsables régionaux en phytoprotection du MAPAQ et des clubs conseils en agroenvironnement. Leur mandat était de sonder les producteurs aux prises avec des problèmes de tipule des prairies dans leur région, afin de trouver ceux qui étaient intéressés à participer au projet et qui avaient des champs répondant aux critères recherchés.

Une fois les champs candidats trouvés, un échantillonnage préliminaire était effectué afin d'identifier ceux qui présentaient une population de larves adéquate. Les populations visées étaient de 700 larves/m² au printemps et de 300 larves/m² à l'automne. Pour ce faire, les dépisteurs devaient récolter une quinzaine d'échantillons de sol dans chacun des champs candidats à l'aide d'une tarière de 10 cm de diamètre et sur une profondeur de 10 à 15 cm. Les échantillons étaient ensuite placés dans des sacs de plastique et envoyés au CÉROM où ils étaient conservés à 4 °C jusqu'à ce qu'ils soient traités. Les échantillons étaient ensuite placés dans des entonnoirs de Berlese équipés de lampes (40 W) pour une période de 24 h, afin d'en extraire les larves. Ces dernières étaient ensuite dénombrées pour calculer la densité de population moyenne du champ. Une centaine de champs ont ainsi été testés en Estrie, au Bas-Saint-Laurent et en Chaudière-Appalaches.

DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX

ESSAIS DE ROTATION DE CULTURE

Chaque site d'essai était constitué de trois blocs contigus de deux traitements (non-randomisés), soit une parcelle de l'une des trois cultures moins vulnérables (CMV) mentionnées plus haut (sarrasin, maïs et soya) et une parcelle de céréale faisant office de témoin (**Figure 1**). Les parcelles étaient semées sur une longueur de 50 à 100 m. La CMV a été semée sur deux largeurs de semoir, alors que la céréale a été semée sur trois largeurs si elle était semée avec du maïs ou du soya (pour limiter la dérive d'herbicides vers les parcelles de céréales) ou deux largeurs si elle était semée avec du sarrasin. Les semis devaient être effectués aux dates adéquates pour les différentes cultures, soit au début mai pour les céréales, en mai pour le maïs et le soya, et début ou mi-juin pour le sarrasin. Avant le semis, huit stations d'échantillonnage ont été identifiées dans chaque parcelle et géoréférencées (**Figure 1**).

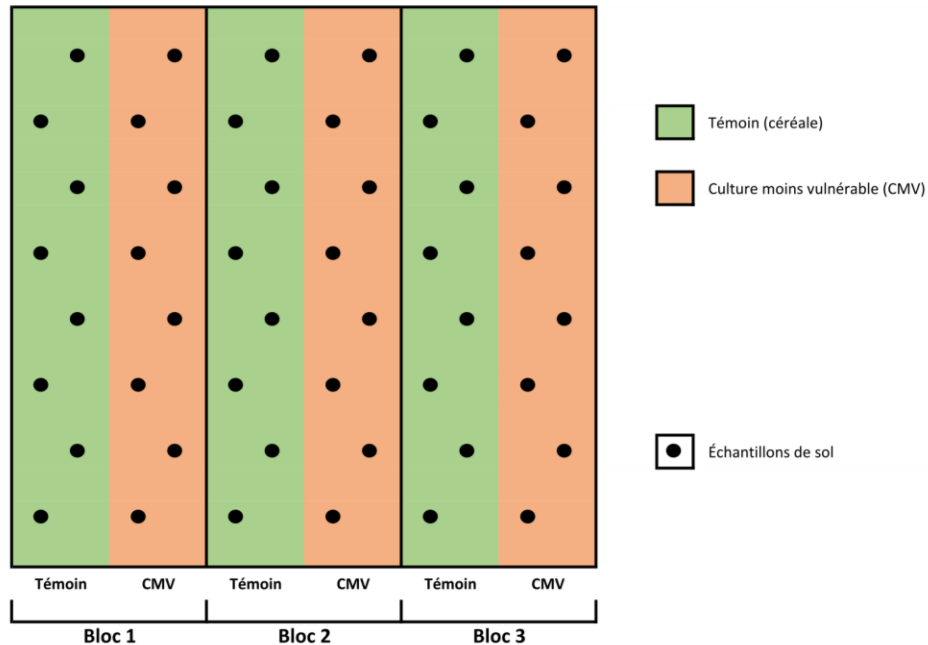


Figure 1 : Dispositif expérimental de l’essai de rotation de culture.

ESSAIS DE HERSAGE

Chaque site d’essai était constitué de trois blocs contigus de trois traitements (non-randomisés) incluant un, deux et trois passages de herse (**Figure 2**). Les parcelles avaient une longueur de 50 à 100 m sur une ou deux largeurs de herse, en fonction de la machinerie utilisée par le producteur. Le travail de sol devait être effectué à l’aide d’une herse à disque ou d’une herse à dents, dans les deux premiers cm de sol et à une vitesse d’environ 10 km/h, afin que la terre soit bien soulevée. Tous les passages de herse étaient effectués le même jour. Avant le hersage, huit stations d’échantillonnage ont été identifiées dans chaque parcelle et géoréférencées (**Figure 2**). À partir de l’automne 2014, des stations d’échantillonnage ont aussi été identifiées sur le pourtour de l’essai afin d’avoir un témoin sans travail de sol (Sections A, B et C; **Figure 2**). Dans la majorité des cas, le hersage a été effectué au moment où les larves sont les plus actives, soit du début mai au début juin pour les essais de printemps, et du début octobre au début novembre pour les essais d’automne. Pour les essais de printemps, la culture semée et la régie de culture étaient laissées à la discrétion du producteur.

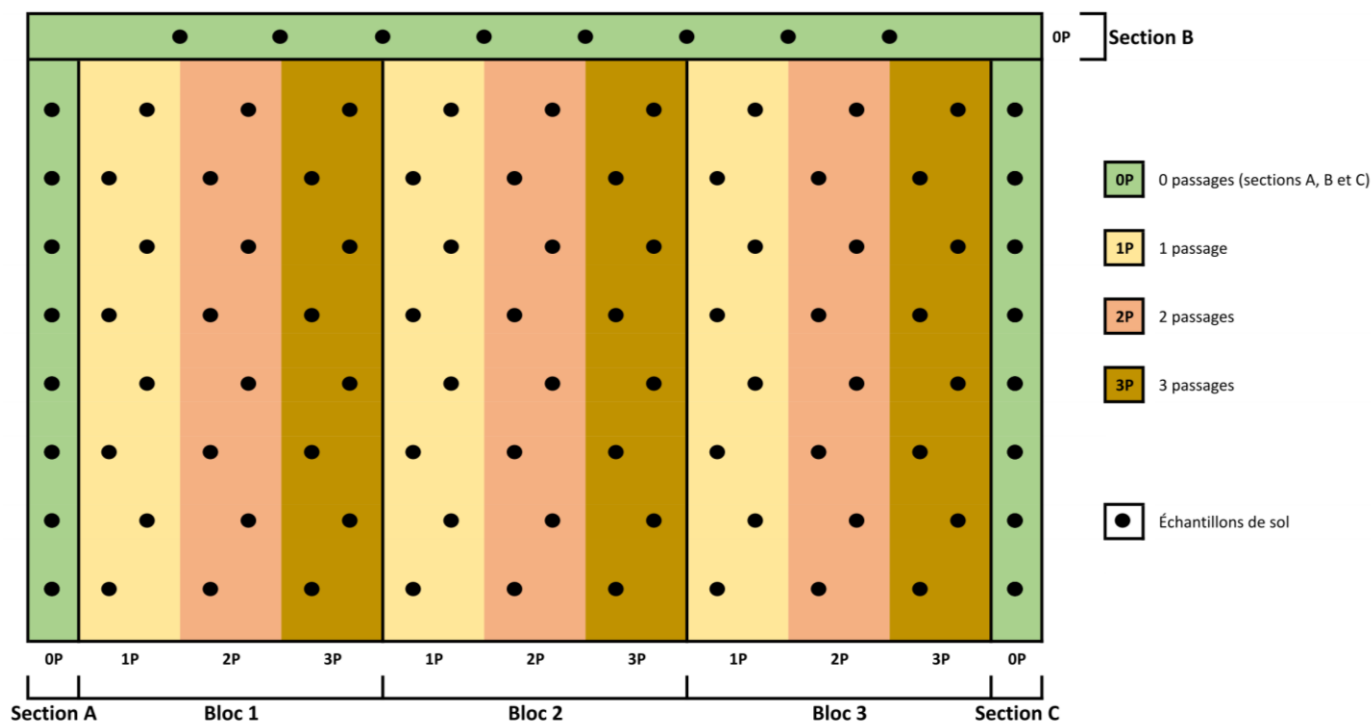


Figure 2 : Dispositif expérimental de l'essai de hersage.

ÉCHANTILLONNAGE

ÉCHANTILLONS DE TERRE

Pour les deux essais, les densités de population de larves de *T. paludosa* ont été évaluées avant et après le traitement (semis de la culture de rotation ou hersage). Des échantillons de sol ont été récoltés à chacune des stations d'échantillonnage juste avant le semis/hersage et trois semaines après dans le cas de l'essai de rotation, ou une à deux semaines après dans le cas de l'essai de hersage. Les échantillons de sol ont été récoltés et traités à l'aide de la méthode décrite plus haut (voir la section Sélection des champs).

PEUPEMENT ET RÉCOLTE MANUELLE

Pour les essais de rotation et de hersage de printemps, des évaluations de peuplement et de rendement ont aussi été effectuées.

La densité de peuplement a été évaluée lors de la seconde prise d'échantillons en comptant le nombre de plants sur deux rangs de trois mètres (pour le maïs) ou un mètre (autres cultures) à chacune des stations d'échantillonnage.

L'évaluation du rendement a été faite en récoltant manuellement des échantillons de culture à trois stations choisies au hasard parmi les huit de chaque parcelle. À chacune de ces stations,

tous les plants sur deux rangs de trois mètres (pour le maïs) ou un mètre (autres cultures) étaient récoltés et mis dans des sacs de coton, puis envoyés au CÉROM afin d'être traités (poids frais et secs, rendement corrigé à l'hectare).

ANALYSES STATISTIQUES

Pour tous les essais, l'abondance des larves de *T. paludosa* et le peuplement a été analysé avec un modèle linéaire mixte généralisé (*Generalized Linear Mixed Model* ou GLMM) avec distribution binomiale négative. Les facteurs Site et Bloc (niché dans Site) ont été utilisés comme effets aléatoires, et les facteurs Période (avant ou après semis ou hersage) et Traitement (CMV ou céréale pour l'essai de rotation de culture, ou zéro, un, deux, et trois passages pour l'essai de hersage) comme effets fixes, ainsi que leur interaction. Dans le cas de l'abondance des larves, la variable réponse était le nombre total de larves capturées dans chaque parcelle avec le nombre d'échantillons en « *offset* ». Pour le peuplement, la variable réponse était le nombre de plants à chaque station. Les analyses de rendement ont été effectuées à l'aide d'un modèle linéaire mixte (*Linear Mixed Model* ou LMM) avec les mêmes effets aléatoires et fixes que précédemment décrits. Les effets fixes ont été testés par un test du rapport de vraisemblance (*Likelihood Ratio Test* ou LRT) avec un seul degré de liberté. Le seuil de significativité était de $\alpha = 0,05$.

Dans cette étude, une interaction Période*Traitement significative suggérait qu'au moins un des traitements avait eu un effet sur les populations de *T. paludosa*. Dans ce cas, un test post-hoc était effectué pour examiner la direction et l'amplitude de l'effet des différents traitements.

Toutes les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel R (R CORE TEAM, 2017). Les modèles linéaires mixtes généralisés (GLMM) et linéaires mixtes (LMM) ont été faits à l'aide de la bibliothèque lme4 (BATES *et al.*, 2015). Les tests post-hoc ont été effectués à l'aide de la bibliothèque lsmeans.

RÉSULTATS

ESSAIS DE ROTATION DE CULTURE

Un seul site a été trouvé pour l'essai de rotation de culture en 2014 et aucun les années suivantes (**Tableau 1**).

Tableau 1 : Caractéristiques du site de l'essai de rotation de cultures en 2014.

Année	Site	Région	Municipalité	Cultures		Parcelles		Dates		
				Année précédente	Année de l'essai	Largeur (m)	Longueur (m)	1er échantillonnage	Semis	2e échantillonnage
2014	101	Bas-St-Laurent	St-Michel-du-Squatec	Prairie	Avoine-Sarrasin	9,00	100	2014-06-02	2014-06-04	2014-07-02

Le seul site testé en 2014, avait une population initiale avant le semis de 286 larves/m² (2,25 ± 1,66 larves par échantillon de sol).

Les populations de larves après le semis étaient significativement plus faibles qu'avant le semis (LRT; $\chi^2_{(1)} = 26,728$; $p < 0,001$; **Figure 3**), et cette différence variait entre les cultures (LRT; $\chi^2_{(1)} = 4,932$; $p = 0,026$). Ainsi, la diminution de population observée dans le sarrasin (73 %; $z = 4,726$; $p < 0,001$) était significativement plus importante que pour l'avoine (39 %; $z = 1,973$; $p = 0,05$).

Le peuplement moyen dans l'avoine était de 7,85 plants par mètre linéaire, tandis que pour le sarrasin, le nombre de plants était de 0,63 plants/m². Des problèmes de défoliation par les altises ayant gravement affecté le sarrasin (**Figure 4**), aucune analyse de peuplement et de rendement n'a pu être effectuée.

En raison des faibles populations de *T. paludosa* et de la difficulté à trouver des producteurs intéressés à mettre en place l'essai de rotations de culture, celui-ci n'a pas été reconduit pour la suite du projet.

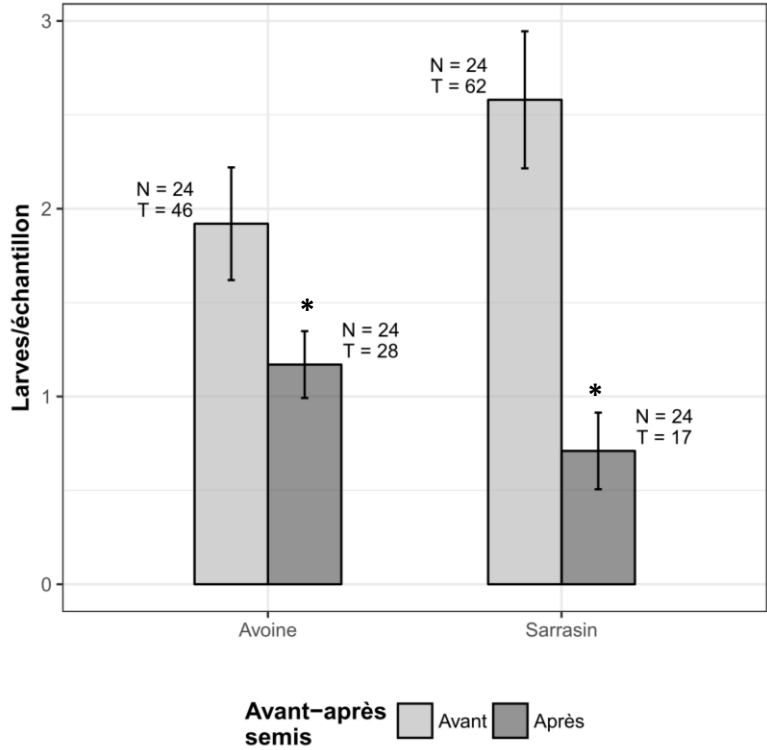


Figure 3 : Abondance moyenne des larves de *T. paludosa* par échantillon de sol avant et après le semis d'avoine et de sarrasin au site 101 (Saint-Michel-du-Squatec) réalisé au printemps 2014.
Note : les astérisques représentent une différence statistique significative au seuil de 0,05. N = Nombre total d'échantillons; T = Nombre total de tipules.

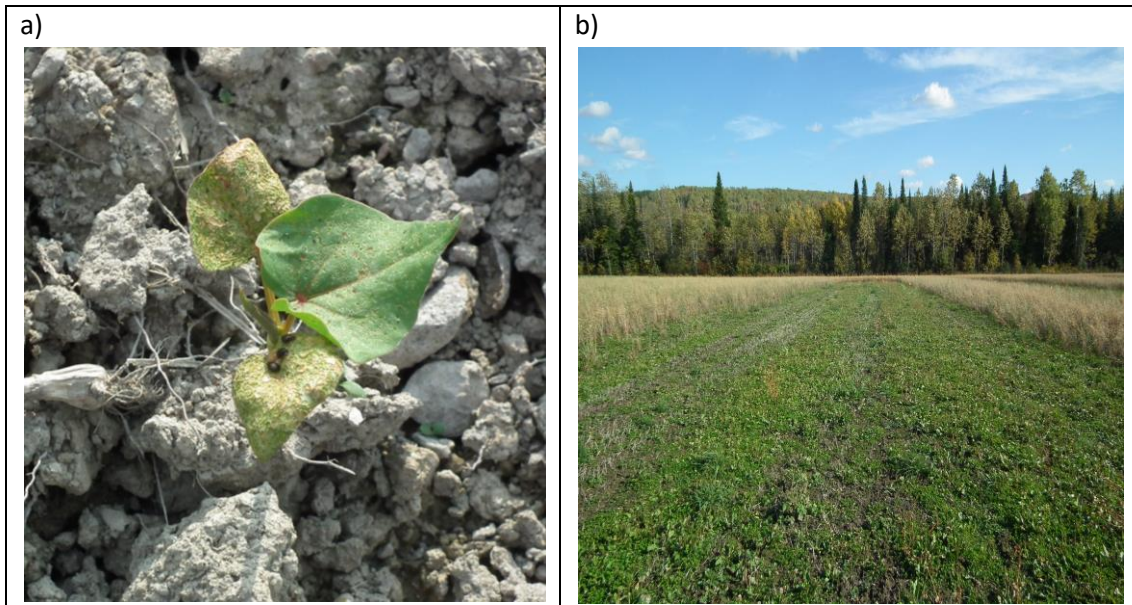


Figure 4 : Défoliation par les altises dans l'essai de rotation de culture au site 101 (Saint-Michel-du-Squatec) en 2014. a) Symptômes de défoliation sur plantule de sarrasin, b) Vue générale de la parcelle de sarrasin défoliée.

ESSAIS DE HERSAGE DE PRINTEMPS

De 2014 à 2017, 14 essais de hersage de printemps ont été effectués (un au Bas-St-Laurent et treize en Chaudière-Appalaches; **Tableau 2**).

Tableau 2 : Caractéristiques des sites pour l'essai de hersage de printemps de 2014 à 2017.

Année	Site	Région	Municipalité	Cultures		Type de machinerie	Dates		
				Année précédente	Année de l'essai		1er échantillonnage	Hersage	2e échantillonnage
2014	102	Bas-St-Laurent	St-Michel-du-Squatec	Prairie	Avoine	Herse à disques	2014-06-02	2014-06-03	2014-07-02
2015	201	Chaudière-Appalaches	St-Joseph-de-Beauce	Prairie	Soya	Déchaumeuse	2015-05-06	2015-05-06	2015-06-04
2015	202	Chaudière-Appalaches	East-Broughton_1	Avoine	Prairie	Herse à disques	2015-05-20	2015-05-20	2015-06-04
2015	203	Chaudière-Appalaches	St-Pierre-de-Broughton_2	Prairie	Prairie	Herse à pacage	2015-05-20	2015-05-20	2015-06-04
2015	204	Chaudière-Appalaches	St-Pierre-de-Broughton_3	Prairie	Prairie	Herse à pacage	2015-05-20	2015-05-20	2015-06-04
2016	301	Chaudière-Appalaches	St-Pierre-de-Broughton_6	Prairie	Prairie	Herse à disques	2016-06-08	2016-06-08	2016-06-21
2016	302	Chaudière-Appalaches	Ste-Clotilde-de-Beauce_2	Prairie	Prairie	Herse à disques	2016-06-20	2016-06-20	2016-06-27
2016	303	Chaudière-Appalaches	Sacré-Cœur-de-Jésus_1	Prairie	Prairie	Herse à disques	2016-06-21	2016-06-21	2016-06-27
2017	401	Chaudière-Appalaches	Theftord Mines	Orge	Prairie	Herse à disques	2017-05-25	2017-05-25	2017-06-08
2017	402	Chaudière-Appalaches	St-Victor_1	Prairie	Mais	Herse à disques	2017-05-24	2017-05-24	2017-06-07
2017	403	Chaudière-Appalaches	St-Victor_2	Prairie	Mais	Herse à disques	2017-05-24	2017-05-24	2017-06-07
2017	404	Chaudière-Appalaches	St-Pierre-de-Broughton_7	Prairie	Prairie	Herse à disques	2017-05-29	2017-05-29	2017-06-12
2017	405	Chaudière-Appalaches	Sacré-Cœur-de-Jésus_2	Prairie	Avoine	Herse à disques	2017-06-18	2017-06-18	2017-06-26
2017	406	Chaudière-Appalaches	Sacré-Cœur-de-Jésus_3	Prairie	Avoine	Herse à disques	2017-06-18	2017-06-18	2017-06-26

De ces 14 sites, les neuf sites possédant les plus fortes populations de tipule (> 30 larves/m²) ont été conservés pour les analyses (**Tableau 3**). Les populations moyennes de larves de *T. paludosa* dans les sites d'essai avant le hersage variaient de 37 à 116 larves/m² (**Tableau 3**).

Tableau 3 : Abondance des larves de *T. paludosa* dans les sites avant et après hersage de printemps.

Année	Site	Période	Nombre d'échantillons	Abondance totale de tipules	Moyenne de tipules/éch.	Écart-type	Tipules/m ²
2015	203	Avant	93	28	0,30	0,53	38
		Après	95	10	0,11	0,34	14
	204	Avant	88	52	0,59	0,85	75
		Après	85	27	0,32	0,60	41
2016	301	Avant	95	29	0,31	0,55	39
		Après	96	19	0,20	0,43	25
	303	Avant	96	28	0,29	0,56	37
		Après	96	23	0,24	0,52	31
2017	401	Avant	95	33	0,35	0,63	45
		Après	96	13	0,14	0,43	18
	402	Avant	95	60	0,63	0,97	80
		Après	95	42	0,44	0,75	56
	403	Avant	89	78	0,88	1,15	112
		Après	96	28	0,29	0,54	37
	405	Avant	96	86	0,90	0,91	115
		Après	93	41	0,44	0,65	56
406	Avant	95	73	0,77	1,03	98	
	Après	93	36	0,39	0,66	50	

De manière générale, les populations de larves au printemps étaient significativement plus faibles une à deux semaines après le hersage (LRT; $\chi^2_{(1)} = 57,692$; $p < 0,001$; **Figure 5**), avec une diminution de 49 % en moyenne. Il n’y avait toutefois pas de différence entre les traitements ($\chi^2_{(1)} = 3,589$; $p = 0,310$).

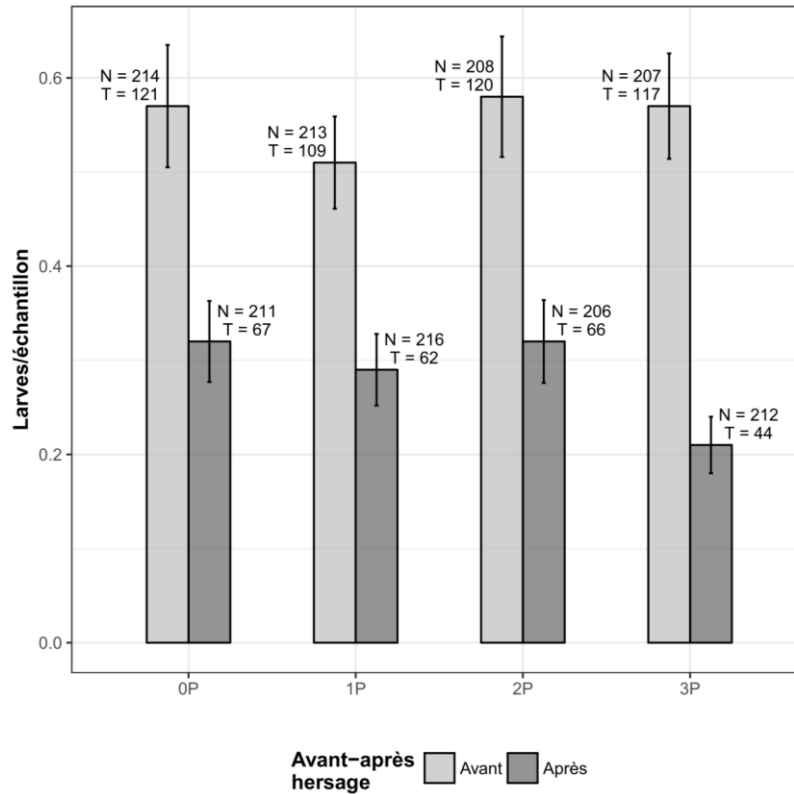


Figure 5 : Abondance moyenne des larves de *T. paludosa* par échantillon de sol pour les différents traitements avant et après le hersage de printemps.
Notes : N = Nombre total d'échantillons; T = Nombre total de tipules.

PEUPELEMENT ET RENDEMENT

Bien que six des 14 sites de hersage de printemps aient été semés (autre qu'une prairie), seul deux ont fait l'objet d'une évaluation de peuplement et de rendement (site 102 en avoine et site 201 en soya). Il est à noter, toutefois, que ces deux sites présentaient des populations très faibles et n'ont pas été retenus pour les analyses de l'effet du hersage sur l'abondance des larves de *T. paludosa*.

Dans ces deux sites, aucune différence significative n'a été observée entre les traitements un, deux et trois passages de herse pour le peuplement (LRT; Site 102; $\chi^2_{(1)} = 0,5822$; $p = 0,748$; Site 201 : $\chi^2_{(1)} = 0,1437$; $p = 0,931$; **Figure 6**) et le rendement (LRT; Site 102 : $\chi^2_{(1)} = 341156$; $p = 0,689$; Site 201 : $\chi^2_{(1)} = 476603$; $p = 0,524$; **Figure 7**).

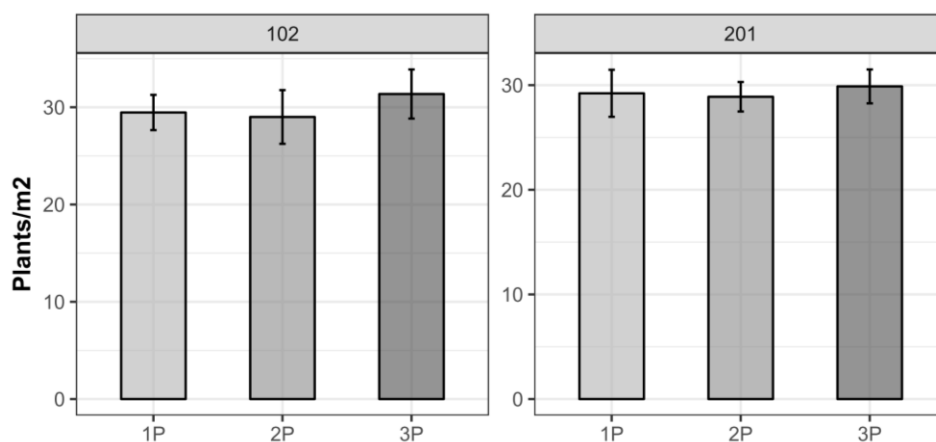


Figure 6 : Peuplement (nombre de plants par mètre linéaire) après un, deux et trois passages de herse dans les sites 102 (avoine) et 201 (soya) des essais de hersage de printemps en 2014 et 2015, respectivement.

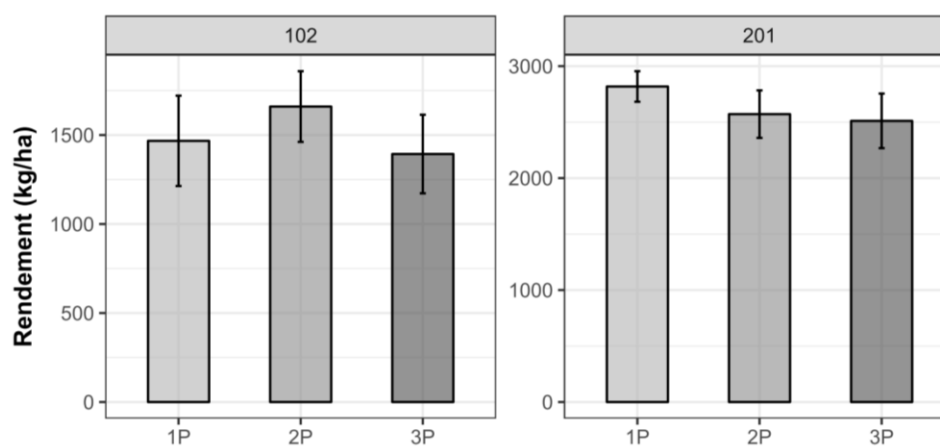


Figure 7 : Rendement (kg/ha) après un, deux et trois passages de herse dans les sites 102 (avoine) et 201 (soya) des essais de hersage de printemps en 2014 et 2015, respectivement.

ESSAIS DE HERSAGE D'AUTOMNE

De 2014 à 2017, 15 essais de hersage ont été effectués à l'automne (six au Bas-St-Laurent et neuf en Chaudière-Appalaches; **Tableau 4**).

Tableau 4 : Caractéristiques des sites de l'essai de hersage d'automne de 2014 à 2017.

Année	Site	Région	Municipalité	Cultures		Type de machinerie	Dates		
				Année précédente	Année de l'essai		1er échantillonnage	Hersage	2e échantillonnage
2014	103	Bas-St-Laurent	Pohénégamook	Prairie	Prairie	Herse à disques	2014-10-13	2014-10-13	2014-10-28
2014	104	Bas-St-Laurent	St-Elzéar-de-Témiscouata	Avoine	Orge	Herse à dents	2014-10-28	2014-10-28	2014-11-14
2014	105	Chaudière-Appalaches	St-Pierre-de-Broughton_1	Prairie	Prairie	Herse à pacage	2014-10-30	2014-10-30	2014-11-14
2014	106	Chaudière-Appalaches	Ste-Clotilde-de-Beauce_1	Prairie	Prairie	Herse à disques	2014-11-04	2014-11-04	2014-11-14
2015	205	Chaudière-Appalaches	St-Pierre-de-Broughton_4	Prairie	Prairie	Herse à disques	2015-10-21	2015-10-23	2015-11-04
2015	206	Chaudière-Appalaches	St-Pierre-de-Broughton_5	Prairie	Prairie	Herse à disques	2015-10-21	2015-10-23	2015-11-04
2015	207	Chaudière-Appalaches	St-Méthode	Prairie	Prairie	Herse à pacage	2015-10-21	2015-10-24	2015-11-04
2016	304	Bas-St-Laurent	Squatec	Prairie	Orge	Herse à disques	2016-10-17	2016-10-17	2016-11-01
2017	501	Bas-St-Laurent	St-Moïse_1	Prairie	Prairie	Herse rotative	2017-10-24	2017-10-24	2017-11-07
2017	502	Bas-St-Laurent	St-Moïse_2	Prairie	Prairie	Herse rotative	2017-10-24	2017-10-24	2017-11-07
2017	503	Bas-St-Laurent	Amqui	Prairie	Orge	Herse rotative	2017-10-18	2017-10-18	2017-11-01
2017	504	Chaudière-Appalaches	Kinnear's Mills_1	Prairie	Prairie	Herse à disques	2017-10-25	2017-11-06	2017-11-22
2017	505	Chaudière-Appalaches	Kinnear's Mills_2	Prairie	Prairie	Herse à disques	2017-10-25	2017-11-06	2017-11-22
2017	506	Chaudière-Appalaches	East-Broughton_2	Prairie	Prairie	Herse à disques	2017-10-11	2017-10-11	2017-10-24
2017	507	Chaudière-Appalaches	St-Pierre-de-Broughton_8	Prairie	Prairie	Herse à disques	2017-10-23	2017-10-26	2017-11-01

De ces 15 sites, les 13 sites possédant les plus fortes populations de *T. paludosa* (> 30 larves/m²) ont été conservés pour les analyses (

Tableau 5). Les populations moyennes de larves de *T. paludosa* dans les sites d'essai avant le hersage variaient de 42 à 876 larves/m² (

Tableau 5).

Un effet significatif du hersage sur les populations de larves a été observé ($\chi^2_{(1)} = 13,903$; $p = 0,003$). Une diminution significative des populations a été observée pour deux passages (31 %; $z = 3,184$, $p = 0,002$) et trois passages de herse (21 %; $z = 1,973$, $p = 0,05$), mais pas pour zéro et un passage (**Figure 8**).

Tableau 5 : Abondance des larves de *T. paludosa* dans les sites avant et après le hersage d'automne.

Année	Site	Période	Nombre d'échantillons	Abondance totale de tipules	Moyenne de tipules/éch.	Écart-type	Tipules/m ²
2014	103	Avant	72	495	6,88	8,18	876
		Après	70	378	5,40	4,77	688
	104	Avant	72	109	1,51	1,85	192
		Après	61	41	0,67	1,46	85
	105	Avant	72	199	2,76	2,96	351
		Après	96	201	2,09	2,34	266
106	Avant	72	24	0,33	0,58	42	
	Après	96	22	0,23	0,51	29	
2015	207	Avant	95	103	1,08	1,42	138
		Après	96	78	0,81	1,19	103
2016	304	Avant	96	71	0,74	1,24	94
		Après	96	76	0,79	1,01	101
2017	501	Avant	96	234	2,44	3,87	311
		Après	96	280	2,92	3,31	372
	502	Avant	95	174	1,83	2,85	233
		Après	96	204	2,12	2,25	270
	503	Avant	96	131	1,36	3,73	173
		Après	96	122	1,27	2,20	162
	504	Avant	96	82	0,85	1,34	108
		Après	96	111	1,16	1,78	148
	505	Avant	95	112	1,18	1,60	150
		Après	96	155	1,61	2,08	205
	506	Avant	96	250	2,60	2,18	331
		Après	96	217	2,26	2,18	288
	507	Avant	96	116	1,21	1,58	154
		Après	95	73	0,77	1,05	98

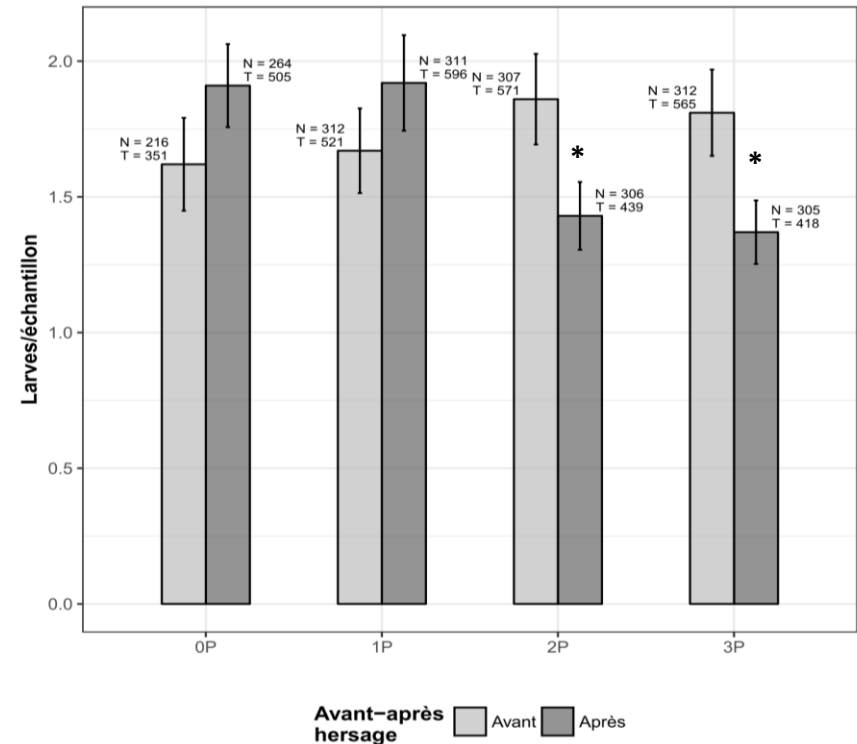


Figure 8 : Abondance moyenne des larves de *T. paludosa* par échantillon pour les différents traitements avant et après le hersage d'automne.

Note : les astérisques représentent une différence statistique significative au seuil de 0,05. N = Nombre total d'échantillons; T = Nombre total de tipules.

DISCUSSION

Le premier volet de ce projet visait à évaluer l'efficacité d'une culture moins vulnérable comme moyen de réduire les populations et les dommages causés par *T. paludosa*. Dans le seul champ où l'essai a été effectué, la culture du sarrasin a permis de réduire les populations de larves de *T. paludosa* en comparaison à l'implantation d'une céréale (une avoine dans ce cas-ci). Ces résultats appuient les conclusions de Labrie et al. (LABRIE *et al.*, 2013a) qui ont observé en laboratoire que le sarrasin était peu consommé par les larves de *T. paludosa* comparativement à d'autres cultures telles que les cultures fourragères, la majorité des céréales et le canola. Les autres cultures identifiées comme moins vulnérables au cours de cette expérience (*i.e.* le maïs et le canola) n'ont toutefois pas été testées en champs au cours de la présente étude. Labrie et al. (LABRIE *et al.*, 2013a) ont également déterminé des seuils d'intervention pour ces cultures allant de 1500 à 4000 larves/m² pour causer des pertes de 10 % des plantules, soulignant le caractère dissuasif et/ou répulsif de ces cultures. Le sarrasin pourrait donc être une culture intéressante à inclure dans une rotation pour limiter le développement des populations de *T. paludosa* dans les champs affectés par ce ravageur.

Le deuxième volet de ce projet visait à évaluer l'efficacité de différents passages de herse au printemps et à l'automne sur la réduction des populations et les dommages causés par *T. paludosa*. Au printemps, le travail du sol (zéro, un, deux et trois passages de herse) n'a eu aucun effet sur l'abondance des populations de *T. paludosa*. Inversement, les essais de hersage d'automne ont démontré que deux ou trois passages de herse diminuaient le nombre de larves de *T. paludosa*, alors qu'aucune diminution n'a été observée après zéro ou un seul passage de herse. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les œufs, ainsi que les larves de premier et deuxième stade sont plus sensibles à la dessiccation (MEATS, 1967a ; MEATS, 1967b ; MEATS, 1975). Des passages répétés de herse à l'automne pourraient donc avoir un effet, d'une part, en favorisant l'assèchement de la surface du sol, et d'autre part, en exposant les œufs et les jeunes larves à l'air libre. Une autre explication pourrait être un effet direct de la machinerie qui blesserait, ou tuerait, les larves au moment du travail de sol. D'autre part, il est important de noter qu'il n'y avait aucune différence significative entre deux et trois passages de herse. Il est possible qu'un troisième passage de herse réenfouisse partiellement les larves qui auraient pu être exposées au deuxième passage, celles-ci se trouvant alors en partie protégées de la dessiccation. L'ensemble des résultats, ainsi que les observations reportées dans la littérature suggèrent donc qu'il serait important d'effectuer un travail du sol à l'automne, lors de journées ensoleillées et sans précipitations. Bien que des passages répétés de machinerie puissent avoir des impacts négatifs sur la structure des sols et occasionner des problèmes de drainage et d'érosion, cette méthode pourrait tout de même être utilisée dans les cas de fortes infestations.

Pour tous les essais réalisés au printemps (rotation de culture et hersage), une diminution significative des populations de larves de *T. paludosa* une à deux semaines après le début des essais par rapport aux populations initiales a été observée. Ce phénomène n'a toutefois pas été constaté à l'automne. Des diminutions moyennes de 49 % et 58 % ont ainsi été observées dans

les essais de rotation de culture et de hersage de printemps, respectivement. Une des causes possibles serait l'enfouissement en profondeur des larves afin d'échapper à l'assèchement ou à l'augmentation de la température du sol au début de l'été, ces dernières étant sensibles à la dessiccation (MEATS, 1967a ; MEATS, 1967b ; MEATS, 1975). Pour certains des sites d'essais, il est aussi possible que le deuxième échantillonnage ait été fait au début de la période de diapause estivale, un moment où les larves sont inactives. Durant cette période, les larves ont tendance à rester dans les échantillons de terre placés en entonnoirs de Berlese plutôt que d'en sortir (observation personnelle).

En développant un modèle permettant d'évaluer les différentes méthodes de lutte potentielles contre *T. paludosa* en agriculture biologique, Blackshaw (2009) a démontré que plus de deux années consécutives de cultures fourragères permettaient aux populations de larves de *T. paludosa* d'augmenter de 500 à 1000 larves/m², soit une densité dommageable pour la plupart des cultures hôtes qui seraient semées l'année suivante. Dans son étude, l'utilisation d'une culture non-hôte dans un système de prairie de plus de deux ans a réduit les risques de dommages de 50 %. Un passage additionnel de rotoculteur a réduit les dommages par la tipule d'un 7 % supplémentaire. L'utilisation d'un insecticide biologique serait la méthode de lutte la plus efficace (80 % de réduction de dommages), à condition que le produit soit appliqué en automne. Les conclusions de ce modèle n'ont toutefois pas été évaluées en champ mais notre étude appuie les résultats de Blackshaw (2009) puisque une culture de sarrasin ou deux à trois passages de herse ont diminués les populations de *T. paludosa*.

Même si ce projet contribue à de nouvelles connaissances scientifiques dans le domaine de la lutte intégrée contre la tipule des prairies, il a fait face à de nombreux obstacles qui ont affecté certains des objectifs du projet. Bien que toutes les expérimentations de ce projet aient été réalisées chez des producteurs situés dans les régions les plus affectées (Bas-Saint-Laurent et Chaudière-Appalaches), les faibles populations de *T. paludosa* présentes lors du projet ont grandement diminué le nombre de sites avec lesquels il était possible de travailler. De ce fait, peu de champs ont atteint les critères requis au printemps (700 larves/m²) et à l'automne (300 larves/m²). Les expérimentations de ce projet ont donc été réalisées aux sites ayant les niveaux populations les plus élevés (Printemps : 37 à 286 larves/m², médiane = 77,5; Automne : 42 à 780 larves/m², médiane = 154). Des études ont montré que les populations de tipules présentaient des oscillations avec des pics tous les cinq à neuf ans (BLACKSHAW & COLL, 1999; MILNE *et al.*, 1965). Les suivis du RAP ont observé des niveaux de population élevés en 2008, mais ceux-ci n'ont cessé de diminuer par la suite, possiblement en raison d'une succession d'hiver plus rigoureux que la moyenne (*i.e.* hivers 2012-2013 et 2013-2014). Ainsi, seulement 18 %, 27 % et 0 % des champs en 2013, 2014 et 2015 présentaient des populations de plus de 50 larves/m². En comparaison, ces taux atteignaient 86 % et 77 % en 2011 et 2012, respectivement (COLTON-GAGNON *et al.*, 2015). Les populations étaient donc basses en 2014 au début du projet et le sont restées jusqu'en 2016. Elles ont commencé à remonter en 2017, ce qui concorde avec l'oscillation naturelle des populations décrites précédemment (BLACKSHAW & COLL, 1999; MILNE *et al.*, 1965), soulignant que le projet s'est déroulé dans une période présentant de faibles populations de *T. paludosa*.

Un autre facteur de difficulté était de trouver des producteurs prêts à suivre toutes les conditions d'implantation des essais. Par exemple, dans l'essai de rotation de cultures, les producteurs n'étaient pas toujours favorables à semer un essai avec des cultures qui n'étaient pas les mêmes que celles semées dans le reste du champ. De tels essais nécessitent généralement une régie différente en fonction des cultures implantées. Les producteurs appréhendaient que les essais nuisent au déplacement de la machinerie dans le champ lors de la gestion de leur culture (semis, application d'intrants, récolte) et aussi de multiplier le nombre de passage dans un même champ. En outre, les producteurs ne possédaient pas toujours la machinerie nécessaire pour semer les différentes cultures ciblées par le projet. Enfin, dans le seul champ où il a été possible de faire l'essai de rotation, le sarrasin a été presque entièrement défolié par des altises (Coleoptera : Chrysomelidae), limitant l'analyse des résultats.

Pour l'essai de hersage de printemps, les prairies en place devaient être brûlées et semées avec une autre culture afin d'effectuer des évaluations de peuplement et de rendement. Peu de producteurs ont accepté de brûler leur prairie et la plupart des essais de hersage ont donc été effectués directement sur des prairies toujours en place ne permettant aucune évaluation de peuplement et de rendement. Pour le seul champ qui a été semé au printemps 2015 (site 201, en soya), le peuplement et le rendement ont été réalisés, mais la population de larve de *T. paludosa* au début de l'essai était très faible (1 larve/m²) et aucun effet n'a pu être observé.

Finalement, le troisième objectif du projet visant à valider les seuils d'intervention contre *T. paludosa* dans les céréales, le maïs, le soya, et le sarrasin, trop peu de données de rendement étaient disponibles pour répondre de manière concluante. Toutefois, une étude de laboratoire conduite par Labrie et al. (LABRIE *et al.*, 2013a) a déterminé des seuils d'alerte théoriques de 100 larves/m² dans les céréales, et de plus de 1000 larves/m² dans le maïs, le soya et le sarrasin.

CONCLUSION

Dans nos conditions d'expérimentation, cette étude suggère qu'une culture de sarrasin serait potentiellement efficace pour limiter ou diminuer le développement des populations de larves de *T. paludosa*, en comparaison à l'implantation d'une céréale. L'étude démontre également qu'un hersage d'automne serait efficace pour diminuer les populations de larves. Il semble donc important de préférer le travail du sol à l'automne lors de journées bien ensoleillées et peu pluvieuses au moment où les larves sont les plus vulnérables dans le but de maximiser l'effet de la lutte mécanique. L'utilisation d'une lutte mécanique combinée à une rotation avec une culture moins vulnérable pourrait permettre de réduire significativement les populations de *T. paludosa* et les dommages causés par ce ravageur. La combinaison de ces deux méthodes de lutte permettrait de réduire les impacts environnementaux associés à l'application d'insecticides. Toutefois, il resterait à tester l'applicabilité et l'efficacité de ces deux méthodes de lutte utilisées en combinaison en conditions de champ avec de fortes pressions de *T. paludosa* ainsi que la rentabilité de l'utilisation de telles méthodes de luttés. Une technique de chauffage du sol appliquée immédiatement après le passage de herse serait également un

moyen qui pourrait améliorer l'effet de la lutte mécanique en augmentant la mortalité des larves de *T. paludosa*.

REMERCIEMENTS

Ces travaux ont été réalisés grâce à une aide financière du Programme de soutien à l'innovation en agroalimentaire (Innov'Action), 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 du Québec (MAPAQ), et Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC).

Nous remercions également Mélanie Bédard, Mireille Nault, Valérie Morin, et Caroline Leclerc du Club Agro-Champ, Lise Dubé et Céline Georlette du Club Ferti-Conseil, Charles Fournier-Marcotte du Club de Fertilisation de la Beauce, Manon D'Amour du Club Action-Sol de la Matapédia, ainsi que Nancie Bélanger et Andrée Roy de l'entreprise JMP Consultants pour leur participation à la recherche, la mise en place et le suivi des parcelles d'essais.

Nous remercions l'aide technique sur le terrain et au laboratoire composée de Alexis Latraverse, Laurence Cadotte, Simon Chaussé, Virginie Faucher, Carolane Audette, Thierry Boilard, Mélisane Lafrenaye, Isabelle Lévesque-Dorion, Félix Prévereault-Tremblay, Simon-Pierre Tchang, Guillaume Trépanier, Matthieu Toullec, Mathieu Neau, Jade Legros, Yesenia Margarita Alvis, Amelina Guillon, Jennifer De Almeida et Patrice Hamelin.

Nous remercions également Dr. Julien Saguez et Jennifer De Almeida pour leurs révisions scientifiques.

RÉFÉRENCES

BARNES H. F., 1937. – Methods of Investigating the Bionomics of the Common Crane-Fly, *Tipula paludosa* Meigen, Together with Some Results. *Annals of Applied Biology*, **24** (2) : 356- 368 doi : 10.1111/j.1744-7348.1937.tb05038.x.

BATES D., MÄCHLER M., BOLKER B. & WALKER S., 2015. – Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, **67** (1) : 1–48 doi : 10.18637/jss.v067.i01.

BLACKSHAW R. & COLL C., 1999a. – *Economically Important Leatherjackets of Grassland and Cereals: Biology, Impact and Control.*, 145 p. doi : 10.1023/A:1009625724013.

BLACKSHAW R. P., 1984. – The impact of low numbers of leatherjackets on grass yield. *Grass and Forage Science*, **39** (4) : 339- 343 doi : 10.1111/j.1365-2494.1984.tb01705.x.

—., 1985. – A preliminary comparison of some management options for reducing grass losses caused by leatherjackets in Northern Ireland. *Annals of Applied Biology*, **107** (2) : 279- 285 doi : 10.1111/j.1744-7348.1985.tb01571.x.

—., 1988. – Effects of cultivations and previous cropping on leatherjacket populations in spring barley. *Research and Development in Agriculture*, **5** (1) : 35- 37.

—., 2008. – *Using population models to develop management tactics for Tipula paludosa in organic systems.* La Grande-Motte, France.

—., 2009. – A comparison of management options for leatherjacket populations in organic crop rotations using mathematical models. *Agricultural and Forest Entomology*, **11** (2) : 197- 203 doi : 10.1111/j.1461-9563.2008.00426.x.

BLACKSHAW R. P. & COLL C., 1999b. – Economically Important Leatherjackets of Grassland and Cereals: Biology, Impact and Control. *Integrated Pest Management Reviews*, **4** (2) : 145- 162 doi : 10.1023/A:1009625724013.

BLACKSHAW R. P. & MOORE J. P., 2012. – Within-generation dynamics of leatherjackets (*Tipula paludosa* Meig.). *Journal of Applied Entomology*, **136** (8) : 605- 613 doi : 10.1111/j.1439-0418.2011.01696.x.

BLACKSHAW R. P. & NEWBOLD J. W., 1987. – Interactions between fertilizer use and leatherjacket control in grassland. *Grass and Forage Science*, **42** (4) : 343- 346 doi : 10.1111/j.1365-2494.1987.tb02123.x.

BLACKSHAW R. P. & PERRY J. N., 1994. – Predicting leatherjacket population frequencies in Northern Ireland. *Annals of Applied Biology*, **124** (2) : 213- 219 doi : 10.1111/j.1744-7348.1994.tb04129.x.

BLACKSHAW R. P. & PETROVSKII S. V., 2007. – Limitation and Regulation of Ecological Populations: a Meta-analysis of *Tipula paludosa* Field Data. *Mathematical Modelling of Natural Phenomena*, **2** (4) : 46- 62 doi : 10.1051/mmnp:2008025.

BLOCK W., GRUBOR-LAJŠIĆ G. & WORLAND M. R., 1993. – Cold tolerance of a larval tipulid from an upland habitat. *CryoLetters*, **14** : 185- 192.

CHEN M., LI W. & SHELTON A. M., 2009. – Simulated crop rotation systems control swede midge, *Contarinia nasturtii*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **133** (1) : 84-91 doi : 10.1111/j.1570-7458.2009.00907.x.

COULSON J. C., 1959. – Observations on the Tipulidae (diptera) of the Moor House Nature Reserve, Westmorland. *Transactions of the Royal Entomological Society of London*, **111** (7) : 157- 174 doi : 10.1111/j.1365-2311.1959.tb02280.x.

COUTURE J.-N. & PARENT C., 2009. – La tipule des prairies cause à nouveau des dommages en Chaudière-Appalaches. .

DOSDALL L. M., HERBUT M. J., COWLE N. T. & MICKLICH T. M., 1996. – THE EFFECT OF TILLAGE REGIME ON EMERGENCE OF ROOT MAGGOTS (*DELIA* SPP.) (DIPTERA: ANTHOMYIIDAE) FROM CANOLA. *The Canadian Entomologist*, **128** (6) : 1157- 1165 doi : 10.4039/Ent1281157-6.

ELLIOTT B., OLFERT O. & HARTLEY S., 2011. – Management practices for wheat midge, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin). *Prairie Soils & Crops Journal*, **4** : 8- 13.

FRENCH N., NICHOLS D. B. R. & WRIGHT A. J., 1990. – Yield response of improved upland pasture to the control of leatherjackets under increasing rates of nitrogen. *Grass and Forage Science*, **45** (1) : 99- 102 doi : 10.1111/j.1365-2494.1990.tb02187.x.

JACKSON D. M. & CAMPBELL R. L., 1975. – Biology of the European crane fly, *Tipula paludosa* Meigen, in western Washington (Tipulidae; Diptera). .

LABRIE G., 2012. – *STRATÉGIE DE LUTTE INTÉGRÉE CONTRE LA TIPULE DES PRAIRIES*. Centre de Recherche sur les Grains inc. (CÉROM).

LABRIE G., BERNARD R. & LALONDE O., 2013a. – *Évaluation de différentes cultures de rotation pour lutter contre la tipule des prairies*. Centre de Recherche sur les Grains inc.

LABRIE G., DE ALMEIDA J., PARENT C., DUVAL B., BILODEAU L., MENKOVIC E. & BRILLANT B., 2012. – BILAN DU RÉSEAU DE DÉPISTAGE DE LA TIPULE DES PRAIRIES AU QUÉBEC EN 2011. https://www.agrireseau.net/rap/documents/83182/bulletin-d_information-no-02-9-mai-2012?s=2609&page=2.

LABRIE G., DE ALMEIDA J., PARENT C., COUTURE J.-N., BILODEAU L., DUVAL B., MENKOVIC E., TANGUAY M.-È., PETRAUSKAS P. & DELAGE J.-M., 2011. – BILAN DU DÉPISTAGE DE LA TIPULE DES PRAIRIES (*TIPULA PALUDOSA*) AU QUÉBEC EN 2010. https://www.agrireseau.net/rap/documents/80861/bulletin-d_information-no-04-17-mai-2011?s=2609&page=3 Consulté le 11/12/2017.

LABRIE G., LATRAVERSE A., BILODEAU L., BRILLANT B., DUVAL B., LÉGARÉ J.-P., MENKOVIC E., PARENT C. & COLTON-GAGNON K., 2013b. – BILAN DU RÉSEAU DE DÉPISTAGE DE LA TIPULE DES PRAIRIES AU QUÉBEC EN 2012. https://www.agrireseau.net/rap/documents/85417/bulletin-d_information-no-03-15-mai-2013?s=2609&page=2.

MACKENZIE J. N. & HAMMERMEISTER A., 2008. – *Management practices for control of european wireworms in canada*. OACC.

MEATS A., 1967a. – The Relation Between Soil Water Tension and Growth Rate of Larvae of *Tipula Oleracea* and *T. Paludosa* (diptera) in Turf. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **10** (3- 4) : 312- 320 doi : 10.1111/j.1570-7458.1967.tb02450.x.

—., 1967b. – The Relation Between Soil Water Tension and Rate of Development of the Eggs of *Tipula Oleracea* and *T. Paludosa* (diptera, Nematocera). *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **10** (3- 4) : 394- 400 doi : 10.1111/j.1570-7458.1967.tb02460.x.

—., 1975. – The developmental dynamics of *Tipula paludosa* and the relation of climate to its growth pattern, flight season and geographical distribution. *Oecologia*, **19** (2) : 117- 128 doi : 10.1007/BF00369096.

MILNE A., COGGINS R. E. & LAUGHLIN R., 1958. – The Determination of Numbers of Leatherjackets in Sample Turves. *Journal of Animal Ecology*, **27** (1) : 125- 145 doi : 10.2307/2178.

MILNE A., LAUGHLIN R. & COGGINS R. E., 1965. – The 1955 and 1959 Population Crashes in the Leatherjacket, *Tipula paludosa* Meigen, in Northumberland. *Journal of Animal Ecology*, **34** (3) : 529- 544 doi : 10.2307/2447.

OBOPILE M., HAMMOND R. B. & THOMISON P. R., 2013. – Interaction among planting dates, transgenic maize, seed treatment, corn rootworm damage and grain yield. *Journal of Applied Entomology*, **137** (1- 2) : 45- 55 doi : 10.1111/j.1439-0418.2012.01716.x.

PETERSEN M. J., 2013. – Evidence of a climatic niche shift following North American introductions of two crane flies (Diptera; genus *Tipula*). *Biological Invasions*, **15** (4) : 885- 897 doi : 10.1007/s10530-012-0337-3.

R CORE TEAM., 2017. – *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria : R Foundation for Statistical Computing.

SCHAAFSMA A. W., MELOCHE F. & PITBLADO R. E., 1996. – Effect of Mowing Corn Stalks and Tillage on Overwintering Mortality of European Corn Borer (Lepidoptera: Pyralidae) in Field Corn. *Journal of Economic Entomology*, **89** (6) : 1587- 1592 doi : 10.1093/jee/89.6.1587.

SIMARD L., 2006. – *Distribution, abondance et écologie saisonnière des principaux insectes ravageurs du gazon sur les terrains de golf du Québec et évaluation du potentiel de contrôle des nématodes entomopathogènes indigènes /*.

SIMARD L., BRODEUR J., GELHAUS J., TASCHEREAU É. & DIONNE J., 2006. – Emergence of a new turfgrass insect pest on golf courses in Quebec, the European crane fly [Diptera: Tipulidae]. *Phytoprotection*, **87** (1) : 43- 45 doi : 10.7202/013969ar.

SIMARD L., ROY M., COUTURE J.-N. & BÉLAIR G., 2008. – La tipule européenne : un nouveau ravageur des grandes cultures au Québec. *Phytoprotection*, **89** (2-3) : 204 doi : 10.7202/038253ar.

TASCHEREAU É., 2007. – *Écologie saisonnière de la tipule européenne, insecte ravageur des graminées à gazon sur les terrains de golf de la région de Québec*. Québec : Université Laval, 78 p.

