Cultivons l'avenir 2
Une initiative fédérale-provinciale-territoriale

Canada

Québec

PROGRAMME INNOV'ACTION AGROALIMENTAIRE

Rapport final

IA216615

Évaluation d'indicateurs de risque associés à la cécidomyie du chou-fleur à l'aide d'analyses ROC

Responsable scientifique : Djamel Esselami

Établissement : Compagnie de recherche Phytodata Inc.

Date de remise : Mars 2018

Section 1 - Chercheurs impliqués et responsable autorisé de l'établissement (ces personnes doivent également faire parvenir un courriel pour attester qu'ils ont lu et approuvent le rapport.)

Djamel Esselami, agr., M.Sc.
Compagnie de recherche Phytodata inc.,
291 rue de la Coopérative, Sherrington QC, J0L 2N0
514-977-1897
desselami@prisme.ca

Hervé Van der Heyden, M.Sc.
Phytopathologiste
Compagnie de recherche Phytodata inc.,
291 rue de la Coopérative, Sherrington QC, J0L 2N0

Anne-Marie Fortier, M.Sc.
Entomologiste
Compagnie de recherche Phytodata inc.,
291 rue de la Coopérative, Sherrington QC, J0L 2N0

Section 2 - Partenaires

Isabel Lefebvre, M.Sc.
Professionnelle de recherche et Avertisseure RAP Crucifères
Carrefour industriel et expérimental de Lanaudière (**CIEL**)
801 route 344, L'Assomption, QC, J5W 2H1
450-589-7313 p.239

Les Maraîchers Bec Sucré Inc.
565 St-Régis, St-Isidore, QC

Les Productions Maraîchères Bourget & Frères
410 Rg Marguerite, Mercier, QC

Les Productions Maraîchères Mailhot
182 La Petite Ligne, Saint-Alexis, QC

Les Fermes Guilbault Enr.
425 Rang du Ruisseau Saint-Jean, St-Lin, QC

Section 3 – Fiche de transfert

Évaluation d'indicateurs de risque associés à la cécidomyie du chou-fleur à l'aide d'analyses ROC

Fortier, A.-M. et Van der Heyden, H.

No de projet : IA216615 **Durée :** 04/2016 – 03/2018

FAITS SAILLANTS

La cécidomyie du chou-fleur (CCF) (*Contarinia nasturtii* Kieffer) est un important ravageur des cultures d'importance économique de *Brassica oleracea* L. (brocoli, chou-fleur, chou, chou de Bruxelles, chou vert et chou frisé), *B. rapa* L. (chou-chinois, bok choy, navet) et *B. napus* L. (rutabaga, canola) en Amérique du Nord. Les dommages sont causés par les larves qui se nourrissent aux points de croissance, entrainant une perte de dominance apicale, une déformation des pousses ou la mort de la pousse centrale. La gestion de ce ravageur repose principalement sur la rotation des cultures et l'application au bon moment d'insecticides synthétiques, basée sur la surveillance des populations adultes à l'aide de pièges à phéromones. Toutefois, la variabilité des captures dans un même champ est grande et la majorité des producteurs choisissent d'installer arbitrairement un ou deux pièges par champ. Ce projet visait notamment à déterminer la quantité de pièges requis et leur emplacement optimal pour un suivi réaliste de la cécidomyie du chou-fleur. L'analyse des données de captures provenant de huit sites suivis en 2016 et 2017 dans deux régions administratives, ont permis de conclure que la CCF avait un patron de distribution spatiale fortement agrégé et qu'un minimum de 10 pièges par champ était nécessaire pour un suivi réaliste des populations. Les données obtenues suggèrent également que la CCF a tendance à infester des plantes hôtes d'abord à l'extérieur du champ, et à progresser ensuite vers l'intérieur du champ quelques rangs à la fois. Les résultats des analyses ROC suggèrent que les pièges installés en périphérie des champs ne sont pas de bons indicateurs pour le suivi de la cécidomyie en saison, bien que certains d'entre eux permettent de capturer les premiers individus au début de son cycle. Finalement, une corrélation positive entre les dommages à proximité de chaque piège et les captures a pu être établie.

OBJECTIF(S) ET MÉTHODOLOGIE

Les objectifs de ce projet étaient 1) d'améliorer nos connaissances de la variabilité spatiale de ce ravageur à l'échelle du champ; 2) de raffiner la précision des seuils de détection afin d'améliorer la sensibilité des indicateurs de risque et 3) de déterminer la quantité de pièges requis et leur emplacement optimal pour un suivi réaliste de la cécidomyie du chou-fleur. Pour y arriver, huit champs de brocoli ayant un historique d'infestation par la CCF ont été suivis en 2016 et 2017 dans les régions de la Montérégie-Ouest et de Lanaudière. Dans chacun des sites, 50 pièges à phéromone ont été installés en périphérie (10) et à l'intérieur (40) du champ et relevés deux fois par semaine de la plantation à la récolte. Les données de captures pour chacun des sites ont été traitées à l'aide d'une analyse ROC (Receiver Operating Characteristic), incluant une comparaison de l'aire sous la courbe ROC (AUROC) pour chacun des pièges et chacune des valeurs seuils testées (1, 2, 5, 10, 15, 20 et 25 mâles par piège). Un modèle de puissance de Taylor a été ajusté aux données observées afin de caractériser les patrons de dispersion spatio-temporelle de la CCF, et les paramètres estimés ont servi à déterminer un nombre minimal de pièges nécessaires pour le suivi de la CCF. Finalement, le pourcentage de dommages a été corrélé aux captures à l'aide d'une corrélation de Pearson pour deux sites.

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS POUR L'INDUSTRIE

Les données de piégeage obtenues dans les sites suivis en 2016 et 2017 indiquent que la cécidomyie du chou-fleur a tendance à infester d'abord les plantes hôtes à l'extérieur du champ, puis à progresser ensuite à l'intérieur du champ quelques rangs à la fois (Fig. 1).

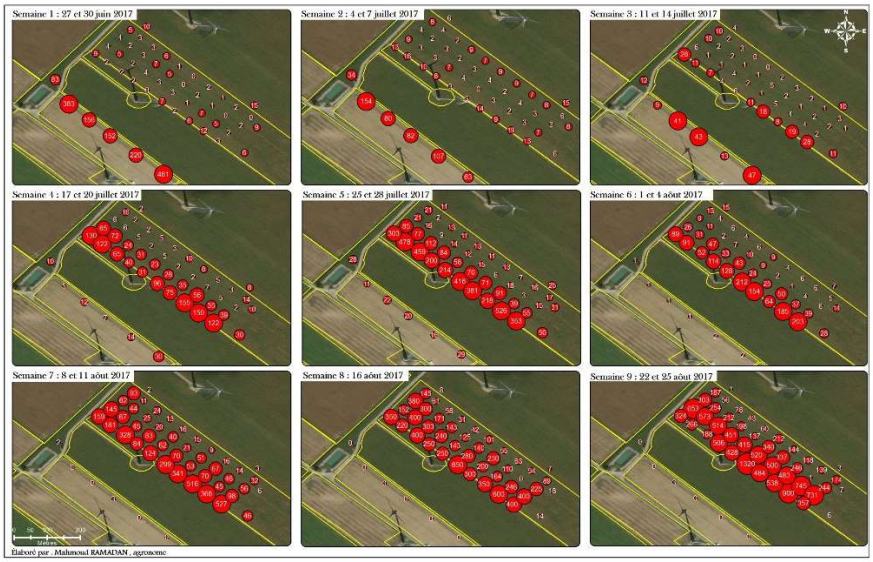


Figure 1. Exemple de la progression de la CCF dans un site suivi en 2017

Les patrons de dispersion spatiale des populations de cécidomyies piégées en 2016 et 2017 peuvent être qualifiés de hautement agrégés, avec des variances observées substantiellement plus élevées que les moyennes observées (Fig. 2a). Pour tous les sites et toutes les années, les régressions de Taylor démontrent également qu'il existe une relation linéaire forte entre moyenne et variance (R^2 entre 0.92 et 0.98) (Fig. 2b). Les valeurs de b_1 obtenues, significativement supérieures à 1 (entre 1.6 à 2.2), révèlent également un degré élevé d'aggrégation (Fig. 2c). Les valeurs moyennes de A (3.06) et b_1 (1.92), calculées à partir de l'ajustement de la régression de Taylor ont été utilisées pour calculer le nombre minimum de pièges permettant d'estimer les populations moyennes présentes sur les pièges pour deux niveaux de précision (Fig. 2d). Les résultats obtenus suggèrent qu'entre 7 (D=0.5) et 19 (D=0.8) pièges à phéromones devraient être utilisés pour le suivi de la cécidomyie au champ pour un seuil de 5 cécidomyies par piège.

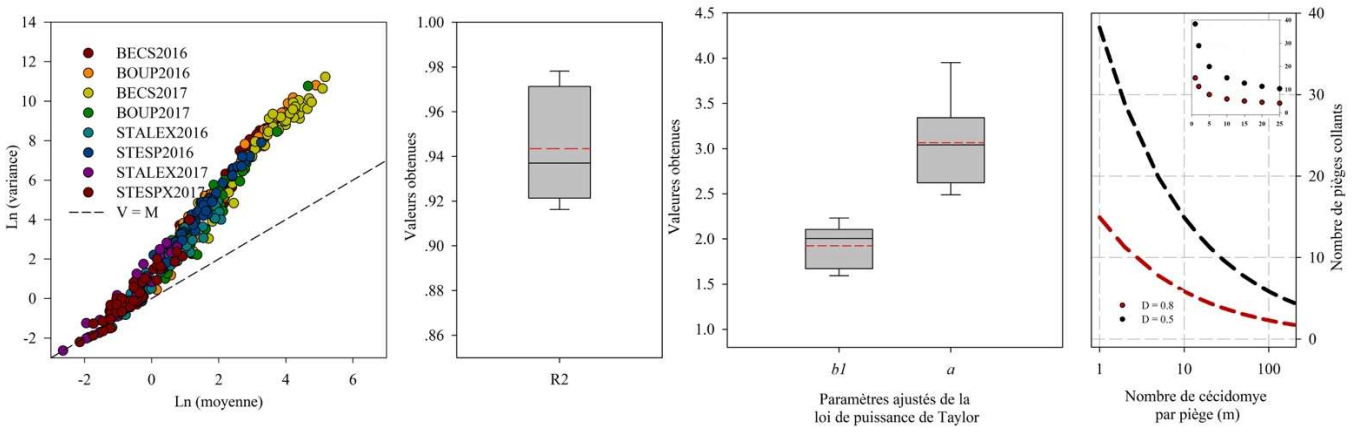


Figure 2. a) *Ajustement de la loi de puissance de Taylor sur les données de tous les sites, b) distribution des valeurs de R^2 pour tous les ajustements, c) distribution des valeurs des paramètres de A et b résultant de l'ajustement de la régression OLS (TPL) et d) courbes d'échantillonnage calculées à partir de l'équation de Karandinos.*

Les résultats des analyses ROC des huit sites réalisés en 2016 et 2017 suggèrent que les pièges installés autour des champs ne sont pas de bons indicateurs pour le suivi de la cécidomyie en saison, bien que certains d'entre eux permettent de capturer les premiers individus au début de son cycle saisonnier. De plus, lorsque les niveaux de population étaient faibles à modérés, une grande proportion (45 à 75%) des 40 pièges installés à l'intérieur n'étaient pas non plus de bons indicateurs, ce qui vient appuyer les résultats obtenus grâce aux courbes d'échantillonnage, à savoir que le nombre de pièges doit être augmenté pour un suivi réaliste de la CCF au champ. La meilleure stratégie consisterait à utiliser un minimum de 10 pièges par champ, ou de déplacer le(s) piège(s) en fonction de la progression de l'infestation.

APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE ET/OU SUIVI À DONNER

Nos connaissances de la variabilité spatiale de la cécidomyie du chou-fleur à l'échelle du champ ont pu être améliorées grâce à ce projet. Il a été démontré que la CCF avait un patron de distribution spatiale fortement agrégé, et qu'elle avait tendance à infester d'abord les plantes hôtes à l'extérieur du champ, puis à progresser ensuite à l'intérieur du champ quelques rangs à la fois. Puisque le contrôle de la CCF repose sur l'application au bon moment d'insecticides synthétiques, basée sur la surveillance des populations adultes à l'aide de pièges à phéromones, un nombre minimum de 10 pièges par champ devra être utilisé afin d'estimer les populations de façon précise, en particulier au début des infestations, lorsque la taille des populations est faible. Des études supplémentaires devront aussi être faites afin de déterminer un ou des seuils d'intervention basé sur les connaissances acquises au cours de ce projet.

Malgré des captures très importantes dans plusieurs des sites, les niveaux de dommages observés à la récolte ont été faibles à nuls, ce qui nous porte à croire que les pièges à phéromones pourraient limiter l'expansion de la CCF dans un champ, en plus de prévenir l'accouplement par la capture des mâles, et donc les dommages de larves. Un projet visant à évaluer l'efficacité du piégeage de masse comme méthode de contrôle de la CCF dans le brocoli est prévu pour les saisons 2018 à 2020.

POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Nom du responsable du projet : Djamel Esselami
Téléphone : 514-977-1897
Télécopieur : 450-454-5216
Courriel : desselami@prisme.ca

REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS

Ces travaux ont été réalisés grâce à une aide financière du Programme de soutien à l'innovation en agroalimentaire, un programme issu de l'accord du cadre Cultivons l'avenir conclu entre le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation et Agriculture et Agroalimentaire Canada. Nous tenons également à remercier les fermes participantes (Les Maraîchers Bec Sucré Inc., Les Productions Maraîchères Bourget & Frères, Les Productions Maraîchères Mailhot et Les Fermes Guilbault Enr.), ainsi que l'équipe du Carrefour industriel et expérimental de Lanaudière (CIEL), en particulier Isabel Lefebvre pour sa précieuse collaboration.

Section 4 - Activité de transfert et de diffusion scientifique (joindre en annexe la documentation en appui)

Aucune activité de transfert et de diffusion scientifique n'était prévue et n'a été effectuée pendant la période de réalisation du projet.

Section 5 - Activités de diffusion et de transfert aux utilisateurs (joindre en annexe la documentation en appui)

Le rapport final du projet et la fiche de transfert seront diffusés sur le site Web de PRISME, sur le site Agri-Réseau du CRAAQ, sur la page Facebook du Réseau d'avertissements phytosanitaires crucifères et sur le site Web du Pôle d'excellence en lutte intégrée (PELI).

Les résultats du projet ont été présentés lors des journées d'information suivantes :

- Journée bilan crucifères (23 novembre 2016, Trois-Rivières) avec les conseillers et intervenants auprès des producteurs de crucifères (clubs d'encadrement techniques, MAPAQ…). (Voir ordre du jour)

- Carnaval d'information du PRISME du 13 et 14 mars 2017 à Sherrington (13 mars à 15h, voir ordre du jour).

- Rencontre de discussion entre les chercheurs du Québec et conseillers terrain sur la cécidomyie du chou-fleur- APMQ et PELI, 17 mars, UPA. (Primeurs maraîchères, no2, mai 2017) http://www.lutteintegree.com/2017/03/17/journeececidomyie17mars2017/

- Portes ouvertes en lutte intégrée (26 juillet 2017) http://www.lutteintegree.com/2017/07/05/pomonteregie260717/

- Journée bilan crucifères (8 novembre 2017, Nicolet) avec les conseillers et intervenants auprès des producteurs de crucifères (clubs d'encadrement techniques, MAPAQ…).

- Journées horticoles de St-Rémi (7 décembre, 14 h Variabilité spatiale de la cécidomyie du chou-fleur et optimisation de son suivi avec les pièges à phéromones) http://cld-jardinsdenapierville.com/wp-content/uploads/2015/11/Programme2017.pdf

- Rencontre d'échanges et de discussions pour une stratégie régionale de lutte à la Cécidomyie du chou-fleur tenue le 19 décembre 2017 (projection vidéo d'un enregistrement de la présentation du 7 décembre, Journées horticoles)

- Journée Laurentides tenue le 19 janvier 2018 (visioconférence dans 20 salles du MAPAQ) : La cécidomyie du chou-fleur sous la loupe www.agrireseau.net/calendrier/96614/la-cecidomyie-du-chou-fleur-sous-la-loupe

Section 6 – Grille de transfert des connaissances

1. Résultats Présentez les faits saillants (maximum de 3) des principaux résultats de votre projet.	**2. Utilisateurs** Pour les résultats identifiés, ciblez les utilisateurs qui bénéficieront des connaissances ou des produits provenant de votre recherche.	**3. Message** Concrètement, quel est le message qui devrait être retenu pour chacune des catégories d'utilisateurs identifiées? Présentez un message concret et vulgarisé. Quels sont les gains possibles en productivité, en rendement, en argent, etc.?	**4. Cheminement des connaissances** a) Une fois le projet terminé, outre les publications scientifiques, quelles sont les activités de transfert les mieux adaptées aux utilisateurs ciblés? (conférences, publications écrites, journées thématiques, formation, etc.) b) Selon vous, quelles pourraient être les étapes à privilégier en vue de maximiser l'adoption des résultats par les utilisateurs.
La cécidomyie du chou-fleur a un patron de distribution spatial hautement agrégé et un minimum de 10 pièges à phéromones devrait être suivis par champ pour une estimation adéquate des populations	Les producteurs maraichers et conseillers de fermes	L'optimisation du suivi des populations à l'aide des pièges à phéromones permettra d'effectuer des traitements ciblés au bon moment et par conséquent réduire le nombre d'applications contre cet insecte. Un seuil d'intervention basé sur les connaissances de la variabilité spatiale de la CCF au champ pourra également être développé.	Les activités de transfert prévues comprennent des présentations aux journées d'information régionales, la production d'une affiche résumant les principaux résultats, ainsi que la diffusion des résultats par l'entremise des sites WEB des organismes de transfert.
Les pièges installés en bordures des champs permettent de capturer les premiers individus mais ne sont pas de bons indicateurs pour le suivi de la CCF en saison	Les producteurs maraichers et conseillers de fermes	Une meilleure compréhension de la distribution des émergences d'adultes dans le temps et l'espace permet d'envisager l'adoption d'un programme de lutte intégrée contre ce ravageur.	Les activités de transfert prévues comprennent des présentations aux journées d'information régionales, la production d'une affiche résumant les principaux résultats, ainsi que la diffusion des résultats par l'entremise des sites WEB des organismes de transfert.

Section 7 - Contribution et participation de l'industrie réalisées

Le projet a été réalisé chez quatre producteurs de brocoli (Les Maraîchers Bec Sucré Inc., Les Productions Maraîchères Bourget & Frères, Les Productions Maraîchères Mailhot et Les Fermes Guilbault Enr.) Ces producteurs ont tous contribué au projet en donnant accès à des champs pour y installer les pièges et procéder aux évaluations. Ils ont aussi assuré les opérations agricoles habituelles associées à la culture de brocoli (préparation du terrain, transplantations, fertilisation, irrigation et traitements phytosanitaires).

Section 8 - Rapport scientifique et/ou technique (format libre réalisé selon les normes propres au domaine d'étude)

Introduction

La cécidomyie du chou-fleur (CCF) (*Contarinia nasturtii* Kieffer) est une cécidomyie à galle originaire d'Europe et d'Asie, qui est récemment devenue un important ravageur des cultures d'importance économique de *Brassica oleracea* L. (brocoli, chou-fleur, chou, chou de Bruxelles, chou vert et chou frisé), *B. rapa* L. (chou chinois, bok choy, navet) et *B. napus* L. (rutabaga, canola) en Amérique du Nord (Stokes, 1953; Hallett et Heal, 2001; Chen et al., 2009; Abram et al., 2012; Hallett et Sears, 2013). Peu après sa première détection en 2000, des pertes de récolte atteignant 85% à 100% ont été signalées dans le sud de l'Ontario (Hallett et Heal, 2001) et depuis, l'espèce s'est largement répandue en Ontario et au Québec. Elle a également été retrouvée en Nouvelle Écosse, à l'Île-du-Prince-Édouard, au Manitoba, en Saskatchewan et dans plusieurs États américains. En 2017, la CCF était retrouvée dans 80% des champs de crucifères (brocoli, chou et chou-fleur) dépistés par PRISME, avec des pertes variant de 8 à 60% par foyers.

Entre trois et cinq générations de *C. nasturtii* se chevauchent entre mai et octobre dépendamment de la température et de l'humidité du sol (Hallett et al., 2007; Corlay et Boivin, 2008). Pendant les périodes de sécheresse les pupes restent en dormance dans le sol et reprennent leur développement après une pluie ou une irrigation. Les premiers adultes émergent dans la deuxième moitié du mois de mai à partir des pupes hivernantes (Kikkert et al., 2006), et s'accouplent peu après l'émergence (les adultes vivent seulement 1 à 4 jours). Les femelles pondent leurs œufs en masses de 2 à 50 sur les tissus de leur plante hôte, le plus souvent au cœur des feuilles près du méristème apical (Readshaw, 1966). Les larves éclosent un à trois jours plus tard et se nourrissent pendant 7 à 21 jours par digestion extra-orale, c'est-à-dire que leurs sécrétions salivaires liquéfient les tissus hôte, entraînant des altérations physiologiques comme la déformation des feuilles et des tiges, la formation de cicatrices liégeuses et la destruction de la pousse centrale, ce qui empêche la formation de la tête ou entraine le développement de plusieurs pousses secondaires (Kikkert et al., 2006; Hallett, 2007). La CCF peut également se nourrir de plusieurs espèces communes de mauvaises herbes de la famille des Brassicacées, notamment la moutarde (*Brassica* spp.), le radis sauvage (*Raphanus raphanistrum*), la bourse à pasteur (*Capsella bursa-pastoris*), la lépidie des champs (*Lepidium campestre*) et la barbarée vulgaire (*Barbarea vulgaris*) (Hallett, 2007; Chen et al., 2009).

La large gamme d'hôtes, le haut potentiel reproducteur des adultes et le comportement cryptique des larves de ce ravageur rendent son dépistage et son contrôle très difficiles. Selon la période d'échantillonnage, les larves peuvent être absentes des plantes présentant des dommages, ce qui peut rendre difficile la confirmation de l'infestation, puisque les symptômes peuvent être facilement confondus, notamment avec ceux causés par des problèmes physiologiques (stress dû au gel ou à la chaleur) ou nutritionnels communs (carence en bore ou en molybdène). La découverte de la phéromone sexuelle permettant d'attirer les mâles de *C. nasturtii* avec une très grande spécificité (Hillbur et al., 2005) et sa commercialisation en 2005 ont considérablement augmenté la facilité et l'efficacité de la détection et du dénombrement des adultes de la CCF aux champs.

Depuis sa première identification en Ontario, plusieurs essais d'efficacité d'insecticides ont été réalisés en Ontario et au Québec. Ces travaux ont mené à l'homologation de plusieurs molécules pour le contrôle de la CCF. Cependant, malgré une grande efficacité des produits en laboratoire (Wu et al., 2006), les résultats sur le terrain étaient très variables et les pertes de plants de crucifères pouvaient dépasser les 85% malgré des traitements hebdomadaires (Hallet et al., 2009a; Chen et al., 2007). En parallèle à ces travaux et dans l'objectif d'améliorer l'efficacité des traitements, des projets de recherche ont été réalisés sur la méthode de

dépistage (Boivin et Corlay, 2006), l'efficacité des ennemis naturels (Corlay et al., 2007), les stades phénologiques qui nécessitent des traitements (Tremblay et al., 2014), les seuils de déclenchement des régies hebdomadaires ou selon les captures (Lafontaine et al., 2004 à 2015; Hallet et al., 2009a), les modèles prédictifs des émergences des adultes de la cécidomyies (Hallet et al., 2009b; Esselami, 2012), les choix des insecticides en fonction de l'intensité des captures (Martinez et Tremblay, 2015) l'impact de différents travaux de sol sur l'émergence des populations de cécidomyie (Lefebvre et al., 2016). Malgré l'apport important de ces projets dans la lutte intégrée contre la cécidomyie du chou-fleur, les producteurs de crucifères subissent toujours des pertes considérables suite aux attaques de ce ravageur.

Bien que l'efficacité des traitements visant le contrôle de la CCF soient variables, la gestion de ce ravageur dans la production de crucifères en Amérique du Nord repose principalement sur la rotation des cultures et l'application au bon moment d'insecticides synthétiques, basée sur la surveillance des populations adultes à l'aide de pièges à phéromones. Dans les dernières années, des seuils d'intervention ont été testés et comparés à des régies insecticides basées sur la méthode du calendrier, et il semble que l'utilisation de ces seuils n'ait pas permis de réduire les dommages à des niveaux acceptables dans la culture du brocoli (Hallett et Sears, 2013; Martinez et al., 2015). La mise en place de réseaux de surveillance dans différentes régions a permis de constater que le nombre de mâles capturés varie énormément d'une ferme à l'autre, mais également d'un champ à l'autre sur une même ferme (RAP crucifères, données PRISME, Estorguez, 2007). De plus, des essais préliminaires réalisés en 2006 sur la variabilité entre les captures de quelques pièges dans un champ de brocoli ont aussi confirmé la présence d'une grande variabilité entre les captures d'adultes de cécidomyie dans le même champ (distance de 200 m entre les pièges) et entre les pièges placés dans différents champs de la même ferme (données PRISME, 2006). L'OMAFRA recommande de placer de trois à quatre pièges par champ, vers le milieu ou dans les quelques premiers rangs pour en faciliter la surveillance. Toutefois, la majorité des producteurs choisissent d'installer seulement un ou deux pièges par champ, et la détermination de l'emplacement des pièges demeure arbitraire.

L'objectif général de ce projet était donc d'évaluer l'impact de plusieurs indicateurs de risque de la cécidomyie du chou-fleur. Plus spécifiquement, ce projet visait à 1) améliorer nos connaissances de la variabilité spatiale de ce ravageur à l'échelle du champ; 2) raffiner la précision des seuils de détection afin d'améliorer la sensibilité des indicateurs de risque; 3) déterminer la quantité de pièges requis et leur emplacement optimal pour un suivi réaliste de la cécidomyie du chou-fleur.

Matériel et Méthode

Au total, huit champs de brocoli ayant un historique d'infestation par la cécidomyie du chou-fleur ont été suivis en 2016 et 2017 en Montérégie-Ouest et dans Lanaudière. Dans chacun des sites, 50 pièges à phéromone ont été installés en périphérie (10) et à l'intérieur (40) du champ et relevés deux fois par semaine de la plantation à la récolte. Une distance de 25 mètres a été respectée entre chacun des 40 pièges placés à l'intérieur des champs, et l'emplacement des 10 pièges à l'extérieur a été déterminé en fonction de la présence de différents facteurs de risque tels que les vents dominants, les champs voisins contaminés, la présence de mauvaises herbes ou d'un bassin d'eau.

Les données de captures pour chacun des sites ont tout d'abord été traitées à l'aide d'une analyse des courbes ROC (Receiver Operating Characteristic). Cette approche est utilisée en médecine pour évaluer la performance de différents tests de diagnostic, mais c'est plus récemment qu'elle a été introduite en agriculture pour évaluer la performance d'indicateurs de risque, afin d'aider la prise de décision dans un contexte de gestion des maladies (Hugues et al., 1999; Makowski et al., 2005). Les analyses ROC indiquent

à quelle fréquence les prédictions d'un indicateur sont correctes et fournit une méthode graphique pour évaluer et discriminer différents indicateurs. Pour chaque site expérimental, chaque piège à cécidomyie était considéré comme un indicateur indépendant et la prédiction de chacun de ces indicateurs a été comparée à une valeur de référence (i.e. la moyenne des captures pour les 50 pièges). Les données ont été divisées en sous-groupes selon que le nombre de cécidomyies capturées était égal ou supérieur à la valeur de référence, ou inférieure à celle-ci. Ainsi, pour chaque date d'évaluation, la prédiction de chaque indicateur (piège) a été comparée à la moyenne réelle et la précision de chacun des indicateurs a été calculée pour chacun des sept seuils testés (1, 2, 5, 10, 15, 20 et 25 mâles par piège). Les résultats ont été utilisés pour calculer la proportion de vrais positifs (PVP), où l'indicateur et la valeur de référence ont atteint le seuil (sensibilité) et la proportion de vrais négatifs (PVN), où l'indicateur et la valeur de référence n'ont pas atteint le seuil (spécificité). Les valeurs de précision moyennes pour chaque seuil de détection utilisé ont ensuite été comparées entre elles afin de déterminer le(s) seuil(s) obtenant la plus grande valeur de précision.

La précision globale d'un indicateur peut également être obtenue grâce au calcul de l'aire sous la courbe ROC (AUROC), qui devrait être égale à 0,5 pour un indicateur non-informatif et à 1 pour un indicateur parfait (Murtaugh, 1996). La courbe ROC d'un indicateur est un graphique de la PVP (sensibilité) en Y et la proportion de faux négatifs (1-spécificité) en X obtenues pour un seuil donné. Une courbe ROC qui passe près du point (0,1) montre que l'indicateur donne des résultats satisfaisants en termes de sensibilité et spécificité. L'AUROC a été calculée pour chacun des indicateurs pour toutes les valeurs seuils afin de vérifier que la prédiction des indicateurs ne soit pas due au hasard, et donc que l'AUROC est différente de 0.5.

Ensuite, afin de caractériser les patrons de dispersion spatio-temporelle, un modèle de puissance de Taylor a été ajusté aux données observées. La loi de Taylor considère que la variance spatiale est proportionnelle à une puissance fractionnelle de la densité moyenne d'une population selon l'équation suivante : $S^2 = AY^{b1}$, où S^2 est la variance spatiale, A et b_1 sont des constantes, A un paramètre de proportionnalité et b un indice de dispersion ou d'agrégation (Taylor, 1978). La loi de puissance de Taylor (TPL) est généralement exprimée sous sa forme log-log ($\mathrm{Log}(S^2) = \log(A) + b_1\log(Y)$), afin d'obtenir une représentation linéaire de celle-ci. Une valeur de b_1 significativement supérieure à 1 est un indicateur d'un patron de distribution hétérogène (agrégé) et plus la valeur de b_1 est élevée, plus le patron de distribution s'éloigne d'une distribution complètement aléatoire.

En plus de permettre une caractérisation de la distribution des populations biologiques, les paramètres estimés peuvent également servir à déterminer un nombre minimum d'échantillons nécessaires pour estimer une population en fonction de son patron de distribution (Karandinos, 1976). Le nombre minimum d'échantillons est calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$N = \left(\frac{Z_{\alpha/2}}{D}\right)^2 Am^{b1-2}$$

Où N est le nombre minimum d'échantillons, A et b sont les paramètres de la loi de Taylor, m est la moyenne estimée, $Z_{\alpha/2}$ est une constante fixée à 1.96 et D le niveau de précision. La valeur de D définit la moitié de l'intervalle de confiance à 95% comme proportion fixe de la moyenne. Pour ce projet, les valeurs de D ont été fixées à 0.5 et 0.8. Ces valeurs de D sont considérées comme des niveaux de précision acceptables en entomologie (Cyr et al. 1992; Mouillot et al. 1999).

L'effet du nombre de pièges sur la variabilité de la réponse (intervalles de confiance) a été étudié à l'aide d'une approche de simulation (Shvydka et al., 2018). Pour y arriver, trois jeux de données empiriques

correspondant à trois dates d'échantillonnage ont été utilisés (BOUP-25 juillet 2017, BOUP-4 août 2017 et BOUP-22 août 2017). Les données ont été soumises à une procédure de ré-échantillonnage sans remise avec 100 simulations. Chaque simulation a été réalisée pour 1, 5, 10, 15, 20, 25 et 50 pièges.

Le pourcentage de pertes liées aux dommages de CCF a été évalué dans les deux sites de la Montérégie en 2017 (le 16 août pour BECS et le 28 août pour BOUP). Pour chacun des 40 pièges placés à l'intérieur du champ, 24 plants consécutifs ont été observés (12 de chaque côté du piège) pour la présence de dommages. Le pourcentage de dommages a ensuite été corrélé aux captures pour chaque date de relevé, ainsi qu'au nombre total de cécidomyies capturées à l'aide d'une corrélation de Pearson. Presqu'aucun dommage de cécidomyie n'a été observé dans les sites de 2016, ainsi que ceux de Lanaudière en 2017, donc l'évaluation des dommages par piège n'a pas été réalisée pour ces sites.

Résultats

Objectif 1 : Améliorer nos connaissances de la variabilité spatiale de ce ravageur à l'échelle du champ

De façon générale, les sites suivis en Montérégie-Ouest étaient fortement infestés, alors que très peu de cécidomyies ont été capturées dans les sites suivis à Lanaudière en 2017 (Figure 1). Les données obtenues indiquent que la cécidomyie du chou-fleur a tendance à infester d'abord des plantes hôtes à l'extérieur du champ (mauvaises herbes, autres cultures de crucifères), se reproduire, puis à entrer dans le champ du ou des côtés où se trouvent les hôtes alternatifs et à infester les premiers rangs de crucifères en bord de champ. L'infestation progresse ensuite vers l'intérieur du champ, quelques rangs à la fois (Annexe 1). La cécidomyie semble favoriser les plants hôtes non-infestés adjacents aux plants précédemment infestés ; la progression de l'infestation est généralement facilement prévisible à partir du point d'entrée du ravageur.

Les patrons de dispersion spatiale des populations de cécidomyies piégées en 2016 et 2017 peuvent être qualifiés de hautement agrégés, avec des variances observées substantiellement plus élevées que les moyennes observées (Figure 2a). Pour tous les sites et toutes les années, la régression OLS (TPL) démontre également qu'il existe une relation linéaire forte entre moyenne et variance (R^2 entre 0.92 et 0.98) (Figure 2b). Les valeurs de b_1 obtenues, significativement supérieures à 1 (entre 1.6 à 2.2), révèlent également un haut degré d'aggrégation (Figure 2c).

Une corrélation positive significative entre le pourcentage de dommages et le nombre de captures a été obtenue pour presque toutes les dates de relevé des pièges dans le site de BECS en 2017 (Tableau 1). Les corrélations les plus fortes ont été obtenues pour les captures faites entre le 20 juillet et le 16 août (Tableau 1), ainsi que pour le nombre total de cécidomyies capturées par piège (R^2 = 0,883, Figure 3a). Dans le site de BOUP, très peu de dommages ont été observés à la récolte. Les captures dans ce site ont été beaucoup plus faibles que dans celui de BECS, et une grande proportion d'entre elles ont été faites la semaine précédent l'évaluation des dommages pour les pièges situés à l'intérieur du champ. Toutefois, une corrélation positive significative a été obtenue pour le 17 juillet, ainsi que les 11, 16, 25 et 28 août (Tableau 1). Le pourcentage de dommages était également corrélé (p=0,023) avec le nombre total de cécidomyies capturées, bien que le coefficient de détermination (R^2 = 0,129) soit beaucoup plus faible que dans le premier site (Figure 3b).

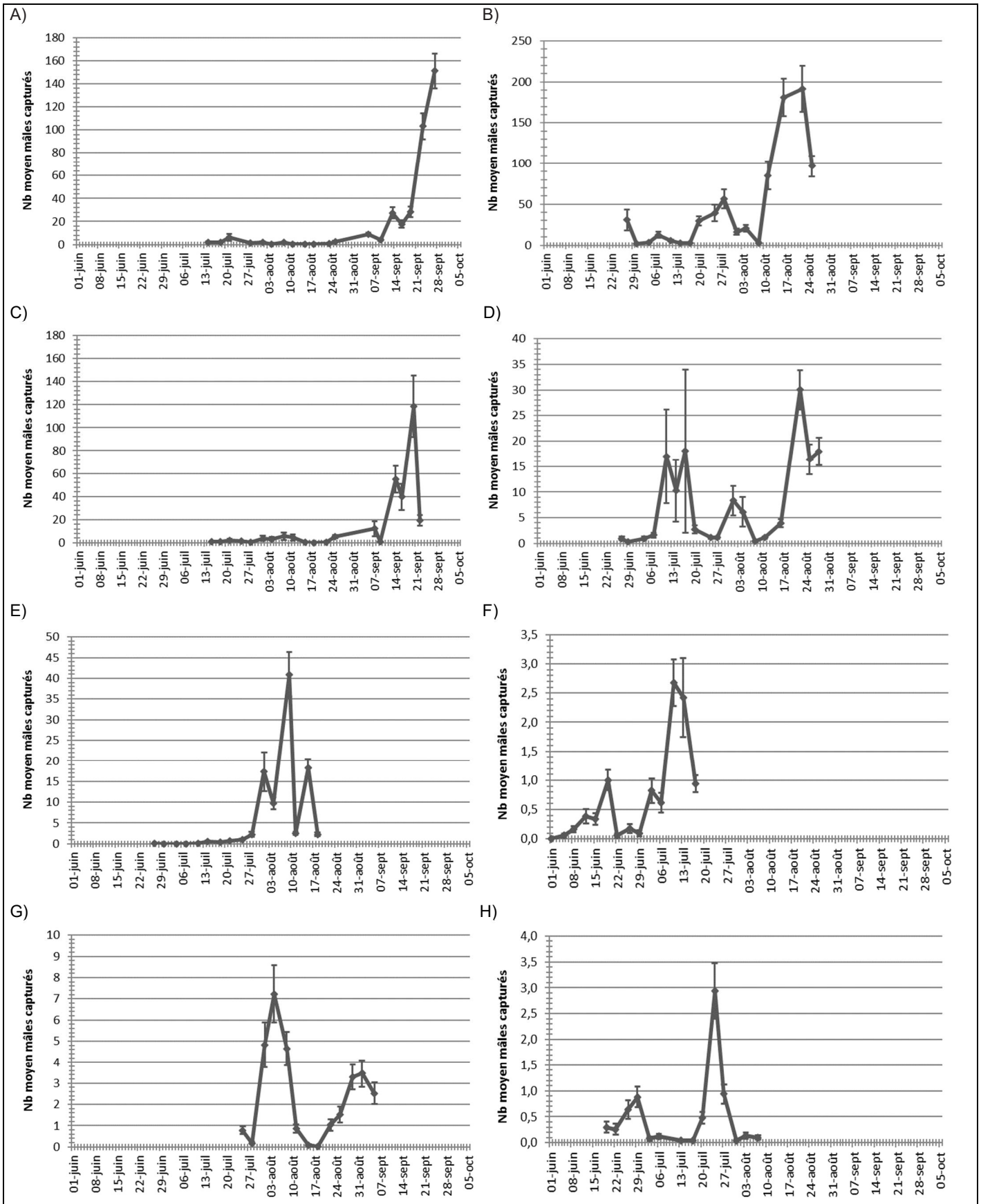


Figure 1. *Nombre moyen (± erreur-type) de cécidomyies mâles capturées par piège pendant les saisons 2016 (gauche) et 2017 (droite) sur les quatre sites expérimentaux ; A-B) Site BECS (Montérégie), C-D) Site BOUP (Montérégie), E-F) Site St-Esprit (Lanaudière), G-H) Site St-Alexis (Lanaudière)*

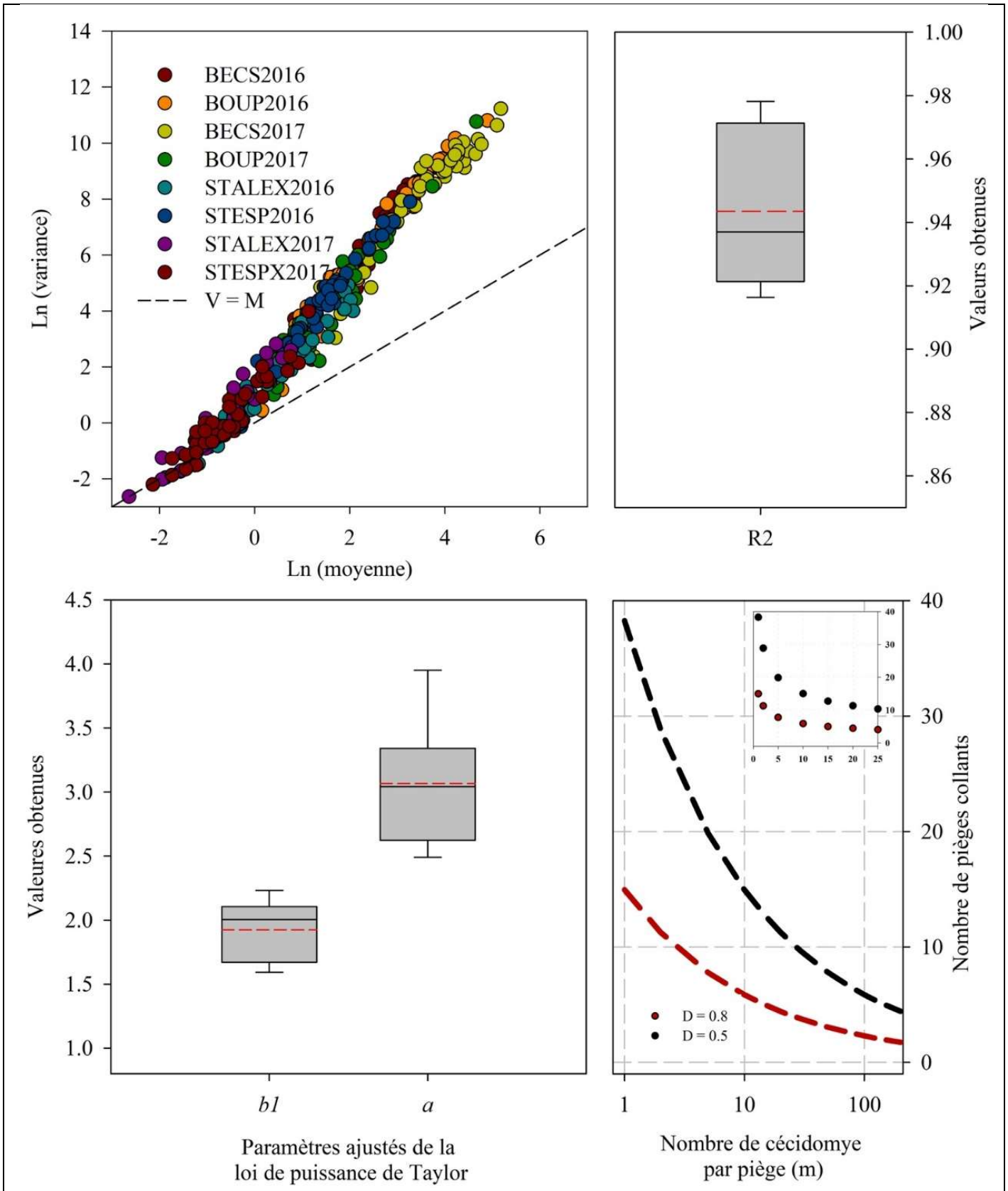


Figure 2. a) *Ajustement de la loi de puissance de Taylor sur les données de tous les sites, b) distribution des valeurs de R^2 pour tous les ajustements, b) distribution des valeurs des paramètres de A et b résultant de l'ajustement de la régression OLS (TPL) et D) courbes d'échantillonnage calculées à partir de l'équation de Karandinos.*

Tableau 1. Coefficient de corrélation de Pearson et valeur de *p* calculées pour chacune des dates de relevé des pièges pour les deux sites suivis en Montérégie en 2017 (n=40).

Date de relevé	BECS		BOUP	
	Coefficient corrélation (Pearson)	*p*-value	Coefficient corrélation (Pearson)	*p*-value
27 juin	0,383	0,016	-0,143	0,379
29-30 juin	0,182	0,268	-0,057	0,727
4 juillet	0,399	0,012	0,208	0,197
7 juillet	0,633	<0,0001	-0,031	0,847
11 juillet	0,597	<0,0001	0,195	0,228
14 juillet	0,654	<0,0001	0,039	0,813
17 juillet	0,575	<0,0001	0,499	0,001
20 juillet	0,897	<0,0001	0,082	0,615
25 juillet	0,810	<0,0001	0,190	0,240
27-28 juillet	0,867	<0,0001	0,044	0,785
1 août	0,792	<0,0001	0,255	0,113
4 août	0,824	<0,0001	0,265	0,098
8 août	0,763	<0,0001	0,196	0,227
11 août	0,868	<0,0001	0,352	0,026
16 août	0,720	<0,0001	0,335	0,034
22 août	.	.	0,121	0,456
25 août	.	.	0,376	0,017
28 août	.	.	0,453	0,003

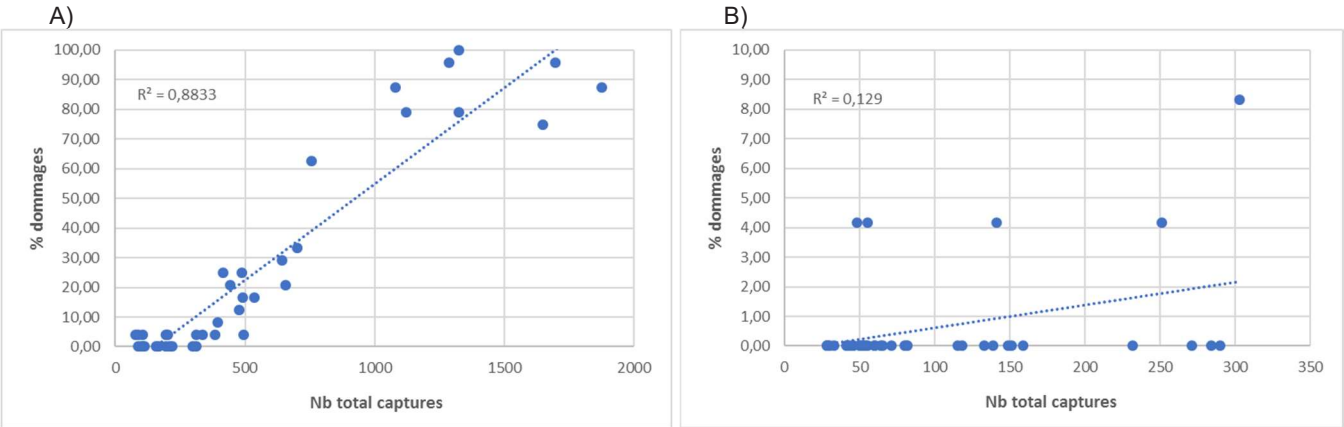


Figure 3. *Corrélation entre le pourcentage de dommages de cécidomyies et le nombre total de mâles capturés pour le site a) BECS et b) BOUP en 2017.*

Objectif 2 : Raffiner la précision des seuils de détection afin d'améliorer la sensibilité des indicateurs de risque

De façon générale, la précision des indicateurs était plus faible pour les seuils de détection de 1 et 2 cécidomyies par piège (Figure 4), puisque pour plusieurs dates de relevé, la moyenne des captures atteignait le seuil alors qu'un grand nombre de pièges ne comptaient aucune capture. Par contre l'inverse a été observé dans le site de BECS en 2017, qui avait une population très élevée et où la majorité des pièges capturaient au moins une cécidomyie à chacune des dates de relevé. Pour la plupart des sites, nous avons observé que certains pièges capturaient davantage lors des premières dates de relevés, notamment ceux en bordure de champs infestés l'année précédente ou en bordure d'un boisé, et très peu par la suite puisque l'infestation avait tendance à progresser vers l'intérieur du champ (Annexe 1). Il ne serait donc pas judicieux de se fier aux données de capture d'un seul piège fixe pour suivre les populations de cécidomyie dans un champ. Dans le cas où un seul ou quelques pièges seulement sont installés, la meilleure stratégie serait probablement de les déplacer en cours de saison en fonction de la progression de l'infestation.

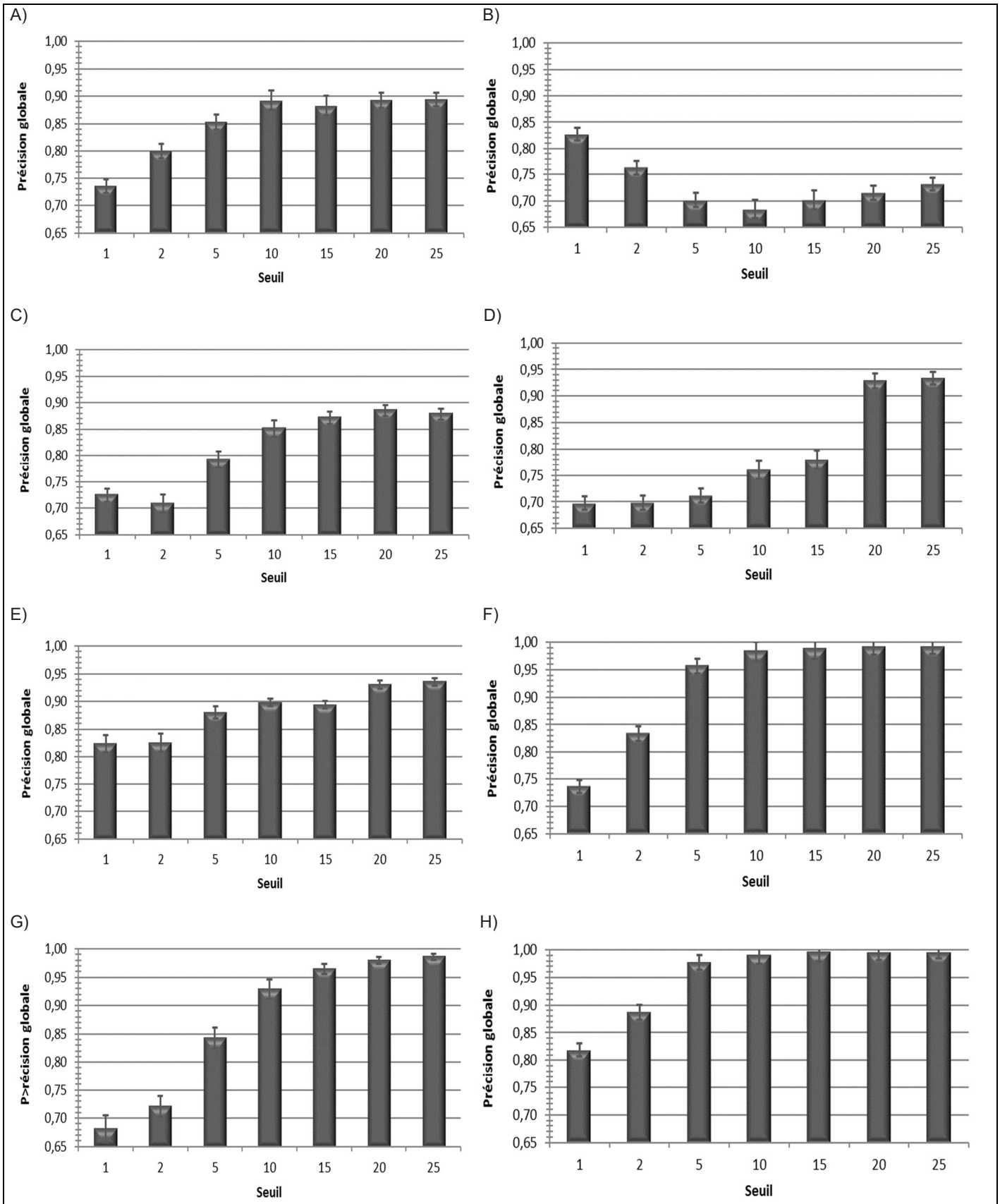


***Figure 4**. Précision moyenne (± erreur-type) obtenue pour l'ensemble des pièges, pour chacun des seuils de détection pendant les saisons 2016 (gauche) et 2017 (droite) sur les quatre sites expérimentaux ; A-B) Site BECS (Montérégie), C-D) Site BOUP (Montérégie), E-F) Site St-Esprit (Lanaudière), G-H) Site St-Alexis (Lanaudière)*

Objectif 3 : Déterminer la quantité de pièges requis et leur emplacement optimal pour un suivi réaliste de la cécidomyie du chou-fleur.

Afin de déterminer le nombre optimal de pièges à utiliser pour estimer précisément les populations, il était d'abord nécessaire de caractériser les patrons de distribution spatiale (C.f. Objectif 1). Les valeurs de *A* (3.06) et b_1 (1.92) moyennes calculées à partir de l'ajustement de la loi de puissance de Taylor ont été utilisées pour calculer le nombre minimum de pièges permettant d'estimer les populations moyennes présentes sur les pièges pour deux niveaux de précision. Selon les courbes calculées, entre 14 (D=0.5) et 38 (D=0.8) pièges seraient nécessaires pour un seuil de 1 cécidomyie par piège, entre 7 (D=0.5) et 19 (D=0.8) pièges pour un seuil de 5 cécidomyies par piège et entre 4 (D=0.5) et 10 (D=0.8) pièges pour un seuil de 25 cécidomyies par piège (Figure 2d).

Les résultats obtenus grâce à l'approche de simulation confirment les résultats des analyses de distribution. Pour les moyennes de 1.12 et 6.1 cécidomyies par piège, les valeurs moyennes et médianes obtenues par simulation étaient toujours sous-estimées lorsque le ré-échantillonnage était réalisé avec 1, 5 et 10 pièges collants (Figure 5). Pour la moyenne de 30 cécidomyies par piège, les résultats obtenus par simulation semblent suggérer une légère sur-estimation par rapport aux valeurs moyennes observées (Figure 5). Dans tous les cas, les valeurs moyennes et médianes obtenues par simulations convergent à partir de 15 pièges. Ces résultats, combinés à ceux obtenus grâce à l'approche des distributions, suggèrent qu'un minimum de 10 pièges collants devraient être utilisés pour le suivi de la cécidomyie au champ.

Le Tableau 2 présente les valeurs d'AUROC calculées pour chacun des pièges des huit sites pour le seuil de détection de 2 cécidomyies par piège. Ce seuil a été choisi puisqu'il a été démontré que les seuils de 2 ou 5 captures par piège par jour ne permettaient pas de contrôler les dommages dans la culture de brocoli lorsque les pièges étaient relevés aux 2 ou 3 jours (Martinez et al., 2015 ; Hallett et Sears, 2013) et les valeurs d'AUROC n'ont pu être calculées au seuil de 1 pour le site de BECS en 2017 car la moyenne des 50 pièges dépassait le seuil pour chacune des dates d'évaluation.

Lorsqu'elle est supérieure à 0.5, la valeur d'AUROC permet de vérifier que la prédiction du piège n'est pas due au hasard et permet de déterminer l'emplacement optimal pour un suivi réaliste des populations de cécidomyie du chou-fleur. Les résultats des huit sites réalisés en 2016 et 2017 suggèrent que les pièges installés autour des sites (pièges 41 à 50 pour les sites BECS et BOUP et pièges 1 à 10 pour les sites St-Esprit et St-Alexis) ne sont pas de bons indicateurs pour le suivi de la cécidomyie en saison, bien que certains d'entre eux permettent de capturer les premiers individus au début de son cycle saisonnier. De plus, lorsque les niveaux de population étaient de faibles à modérés (St-Alexis 2016-2017, BOUP 2017 et St-Esprit 2017), une grande proportion (45 à 75%) des 40 pièges installés à l'intérieur n'étaient pas non plus de bons indicateurs (Tableau 2). Comme mentionné précédemment, la meilleure stratégie consisterait à utiliser un minimum de 10 pièges par champ, ou de déplacer le(s) piège(s) en fonction de la progression de l'infestation.

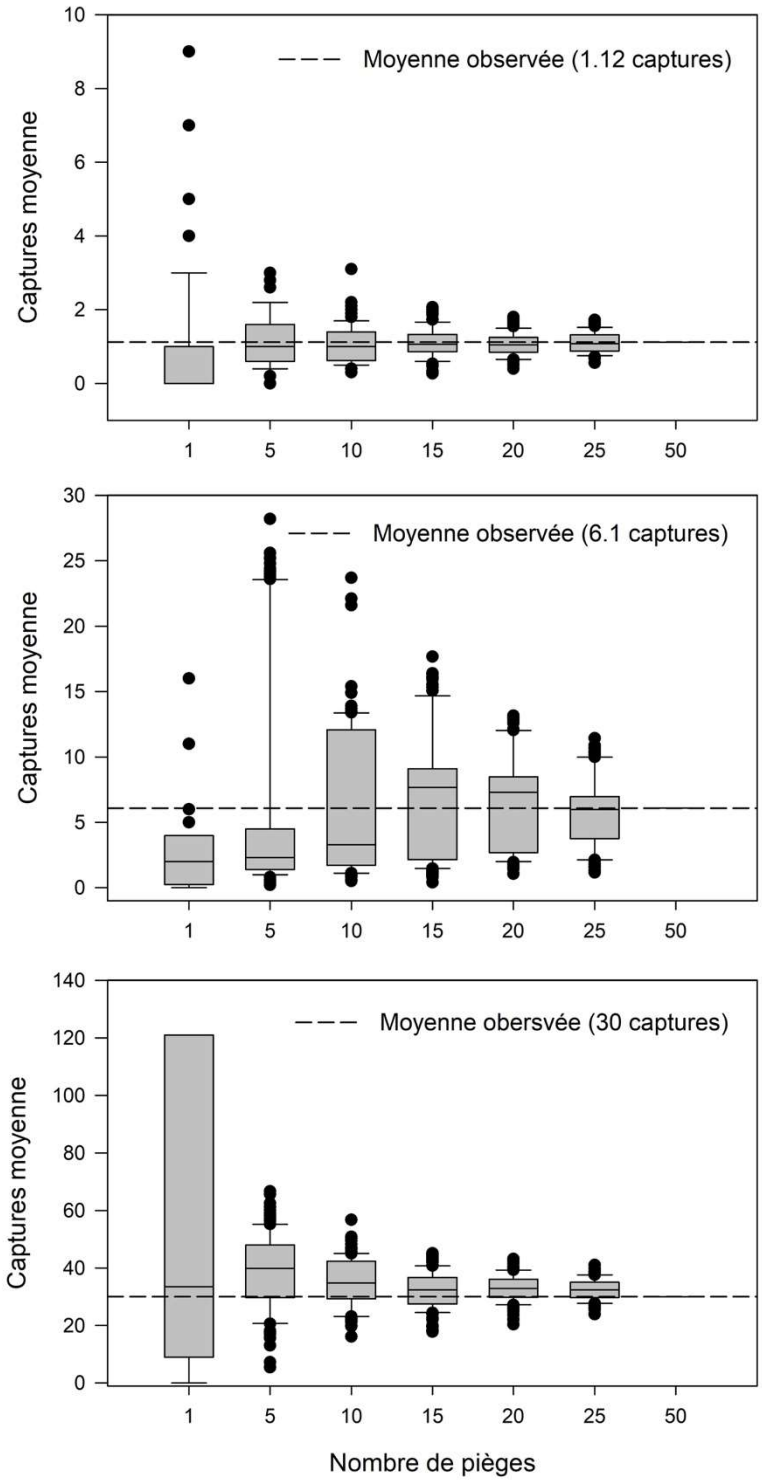


Figure 5 : Distribution des captures moyennes obtenues par une approche de simulation réalisée à partir de trois dates d'échantillonnage ayant des moyennes observées de A) 1.12 captures par piège, B) 6.1 captures par piège et C) 30 captures par piège.

Tableau 2. Aire sous la courbe ROC (AUROC) calculée pour chacun des indicateurs de risque et chacun des sites pour le seuil de détection de 2 cécidomyies par piège. Les cellules en gris ne diffèrent pas de 0.5. *

Piège	BECS 2016	BECS 2017	BOUP 2016	BOUP 2017	St-Esprit 2016	St-Esprit 2017	St-Alexis 2016	St-Alexis 2017
1	0,944	1,000	0,773	0,750	0,587	0,467	0,583	0,423
2	0,900	1,000	0,801	0,950	0,817	0,800	0,512	0,923
3	0,789	1,000	0,909	0,668	0,690	0,683	0,679	0,923
4	0,894	0,906	0,909	0,638	0,675	0,500	0,429	0,846
5	0,844	0,938	0,830	0,575	0,532	0,400	0,750	0,346
6	0,789	1,000	0,784	0,800	0,516	0,717	0,500	0,500
7	0,900	1,000	0,909	0,800	0,587	0,433	0,750	0,385
8	0,839	0,938	0,847	0,750	0,571	0,500	0,774	0,385
9	0,900	0,500	0,909	0,700	0,714	0,467	0,440	0,500
10	0,794	1,000	0,619	0,875	0,714	0,500	0,429	0,500
11	0,789	0,875	0,818	0,888	0,929	0,717	0,667	0,962
12	0,950	0,906	0,727	0,788	0,714	0,933	0,667	0,962
13	0,844	0,938	0,727	0,700	0,873	0,617	0,667	1,000
14	0,900	0,844	0,773	0,700	0,929	0,733	0,833	0,500
15	0,744	0,875	0,727	0,700	0,857	0,933	0,595	0,923
16	0,850	0,844	0,727	0,750	0,857	0,867	0,595	0,423
17	0,850	0,969	0,727	0,638	0,802	0,283	0,500	1,000
18	0,950	0,875	0,773	0,688	0,603	0,683	0,429	0,692
19	0,894	0,906	0,909	0,750	0,786	0,717	0,595	0,885
20	0,794	1,000	0,727	0,825	0,857	0,867	0,679	0,962
21	0,900	0,906	0,818	0,825	0,786	0,750	0,750	0,462
22	0,850	0,813	0,727	0,775	0,857	0,683	0,583	0,500
23	0,844	0,844	0,632	0,800	0,929	1,000	0,667	0,462
24	0,850	0,844	0,574	0,750	0,730	0,967	0,583	0,423
25	0,739	0,875	0,727	0,650	0,929	0,683	0,833	0,500
26	0,850	0,844	0,727	0,750	0,929	0,717	0,667	0,500
27	0,800	0,781	0,727	0,800	0,857	0,683	0,750	1,000
28	0,800	0,813	0,773	0,700	0,500	0,717	0,583	0,500
29	0,800	0,750	0,773	0,800	0,929	0,467	0,833	0,885
30	0,900	0,813	0,727	0,813	0,873	0,750	0,750	0,923
31	0,894	0,875	0,710	0,700	1	0,717	0,845	0,462
32	0,850	0,844	0,773	0,675	0,857	0,500	0,917	0,500
33	0,800	0,813	0,727	0,750	0,857	0,500	0,857	1,000
34	0,950	0,875	0,727	0,638	0,802	0,750	0,774	0,962
35	0,694	0,844	0,682	0,788	0,929	0,467	0,607	0,962
36	0,750	0,750	0,818	0,675	0,929	0,500	0,762	0,462
37	0,750	0,844	0,727	0,725	0,873	0,967	0,702	0,500
38	0,739	0,813	0,801	0,613	0,857	0,500	0,857	0,962
39	0,744	0,781	0,585	0,938	0,746	0,500	0,786	1,000
40	0,744	0,969	0,767	0,688	0,857	0,500	0,929	0,962
41	0,678	0,969	0,475	0,525	0,873	0,933	0,845	1,000
42	0,589	0,906	0,500	0,675	0,929	0,683	0,750	0,500
43	0,539	0,938	0,563	0,650	0,873	0,967	1,000	0,500
44	0,764	0,875	0,650	0,600	0,833	0,683	0,774	1,000
45	0,783	0,281	0,450	0,463	0,929	1,000	0,690	0,462
46	0,778	0,250	0,525	0,475	0,929	0,433	0,774	0,500
47	0,728	0,313	0,710	0,463	0,873	0,650	0,857	0,462
48	0,678	0,281	0,818	0,450	0,786	0,717	0,857	0,500
49	0,678	0,313	0,838	0,625	1,000	0,717	0,857	1,000
50	0,583	0,313	0,688	0,725	0,817	0,717	0,929	0,962

*Dans les sites BECS et BOUP les pièges installés en périphérie des champs étaient les pièges 41 à 50, alors que dans les sites St-Esprit et St-Alexis c'étaient les pièges 1 à 10.

Conclusion

Nos connaissances de la variabilité spatiale de la cécidomyie du chou-fleur à l'échelle du champ ont pu être améliorées grâce à ce projet. Il a été démontré que la CCF avait un patron de distribution spatiale fortement agrégé, et qu'elle avait tendance à infester d'abord les plantes hôtes à l'extérieur du champ, puis à progresser ensuite à l'intérieur du champ quelques rangs à la fois. Puisque le contrôle de la CCF repose sur l'application au bon moment d'insecticides synthétiques, basée sur la surveillance des populations adultes à l'aide de pièges à phéromones, un nombre minimum de 10 pièges par champ devra être suivi afin d'estimer les populations de façon précise. Des études supplémentaires devront aussi être faites afin d'établir un seuil d'intervention basé sur les connaissances acquises dans ce projet.

Malgré des captures importantes dans plusieurs des sites, les niveaux de dommages observés à la récolte ont été faibles, ce qui nous porte à croire que les pièges à phéromones pourraient limiter l'expansion de la CCF dans un champ, en plus de prévenir l'accouplement par la capture des mâles, et donc les dommages de larves. Par exemple, dans le site BECS 2017, des captures allant jusqu'à 100 cécidomyies par piège par jour ont pu être observées en août, portant le cumulatif saisonnier à 39 550 cécidomyies capturées. Très peu de traitements ayant été effectués (régie biologique), les pertes auraient pu être de 100% à ce niveau de captures mais ont été en réalité de 5% à travers le champ. Un projet visant à évaluer l'efficacité du piégeage de masse comme méthode de contrôle de la CCF dans le brocoli est prévu pour les saisons 2018 à 2020.

Références

Abram, P.K., Haye, T., Mason, P.G., Cappuccino, N., Boivin, G. et Kuhlmann, U. 2012. Identity, distribution, and seasonal phenology of parasitoids of the swede midge, *Contarinia nasturtii* (Kieffer) (Diptera: Cecidomyiidae) in Europe. Biological Control 62: 197–205.

Boivin, G. et Corlay, F. 2006. Lutte intégrée en culture de crucifères : mise au point d'une méthode de dépistage pour la cécidomyie du chou-fleur. Projet PSIH04-2-02.

Chen, M., Zhao, J.Z. et Shelton, A.M. 2007. Control of *Contarinia nasturtii* (Diptera: Cecidomyiidae) by foliar sprays of acetamiprid on cauliflower transplants. Crop Protection 26: 1574-1578.

Chen, M., Shelton, A.M., Wang, P., Hoepting, C.A., Kain, W.C. et Brainard, D.C. 2009. Occurrence of the new invasive insect, *Contarinia nasturtii,* on cruciferous weeds. J. Econ. Entomol. 102: 115-120.

Corlay, F., Boivin, G. et Belair, G. 2007. Effciency of natural enemies against the swede midge *Contarinia nasturtii* (Diptera: Cecidomyiidae), a new invasive species in North America. Biological Control 43: 195-201.

Corlay, F. et Boivin, G. 2008. Seasonal development of an invasive exotic species, *Contarinia nasturtii* (Diptera: Cecidomyiidae), in Quebec. Environ. Entomol. 37: 907-913.

Cyr, H., Downing, J.A., Lalonde, S., Baines, S.B. et Pace, M.L. 1992. Sampling larval fish populations: choice of sample number and size. Trans. Am. Fish. Soc. 121: 356 – 368.

Esselami, D. 2012. Modèle prévisionnel du développement de la cécidomyie du chou-fleur (*Contarinia nasturtii*). Programme Prime-Vert, Volet 11, projet PHYD-4-12-1511.

Estorgues, V., 2007. Cécidomyie du chou-fleur, un ravageur des brocolis sous surveillance en Bretagne. Chambre d'agriculture du Finistère, Unilet Informations n°127: 13-15.

Hallett, R. H. et Heal, J.D. 2001. First Nearctic record of the swede midge, *Contarinia nasturtii* (Kieffer) (Diptera: Cecidomyiidae), a pest of cruciferous crops in Europe. Can. Entomol. 133: 713-715.

Hallett, R. H. 2007. Host plant susceptibility to the Swede midge, *Contarinia nasturtii* (Diptera: Cecidomyiidae). J. Econ. Entomol. 100: 1335-1343.

Hallett, R. H., Goodfellow, S.A. et Heal, J.D. 2007. Monitoring and detection of the swede midge (Diptera: Cecidomyiidae). Can. Entomol. 139: 700-712.

Hallett, R. H., Chen, M., Sears, M.K. et Shelton, A.M. 2009a. Insecticide management strategies for control of swede midge (Diptera: Cecidomyiidae) on cole crops. J. Econ. Entomol. 102: 2241-2254.

Hallett, R. H., Goodfellow, S.A., Weiss, R.M. et Olfert, O. 2009b. MidgEmerge, a new predictive tool, indicates the presence of multiple emergence phenotypes of the overwintered generation of swede midge. Entomol. Exp. Appl. 130: 81-97.

Hallet, R.H. et Sears, M.K. 2013. Pheromone-Based Action Thresholds for Control of the Swede Midge, *Contarinia nasturtii* (Diptera: Cecidomyiidae), and Residual Insecticide Efficacy in Cole Crops. J. Econ. Entomol. 106(1): 267-276

Hillbur, Y., M. Celander, R. Baur, S. Rauscher, J. Haftmann, S. Franke, and W. Francke. 2005. Identification of the sex pheromone of the swede midge, *Contarinia nasturtii.* J. Chem. Ecol. 31: 1807-1828.

Hughes, G., McRoberts, N., et Burnett, F.J. 1999. Decision-making and diagnosis in disease management. Plant Pathol. 48: 147–153.

Karandinos, M.G. 1976. Optimum sample size and comments on some published formulae. Bulletin of the Entomological Society of America 22(4) : 417-421.

Kikkert, J. R., Hoepting, C.A., Wu, Q.J., Wang, P., Baur, R. et Shelton, A.M. 2006. Detection of *Contarinia nasturti* (Diptera; Cecidomyiidae) in New York, a new pest of cruciferous plants in the United States. J. Econ. Entomol. 99: 1310-1315.

Lefebvre, I., Bouchard, A., Martinez, S., Collyer, D. et Lafontaine, P. 2016. Étude de l'impact de différents travaux de sol effectués à l'automne sur l'émergence des populations de cécidomyie du chou-fleur (*Contarinia nasturtii* Kieffer) au printemps suivant. Programme Prime-Vert, Volet 11, projet CIEL-1-11-1556.

Makowski, D., Taverne, M., Bolomier, J. et Ducarne, M. 2005. Comparison of risk indicators for sclerotinia control in oilseed rape. Crop Protection 24: 527-531.

Martinez, S. et Tremblay, J. 2015. Évaluation du choix d'insecticides à utiliser en fonction de l'intensité des captures pour lutter de façon optimale contre la cécidomyie du chou-fleur (*Contarinia nasturtii* Kieffer). Programme Innov'Action, projet IA213050.

Martinez, S., Tremblay, J. et Lafontaine, P. 2015. Détermination de seuils d'intervention ainsi que de la fréquence de dépistage optimale afin d'améliorer la lutte à la cécidomyie du chou-fleur (*Contarinia nasturtii* Kieffer) au Québec dans la culture du brocoli. Programme Innov'Action, projet IA213051.

Mouillot, D., Culioli, J.-M., Lepretre, A. et Tomasini, J.-A. 1999. Dispersion statistics and sample size estimates for three fish species (*Symphodus ocellatus, Serranus scriba* and *Diplodus annularis*) in the Lavezzi Islands Marine Reserve (South Corsica, Mediterranean Sea). Mar. Ecol. 20(1): 19 – 34.

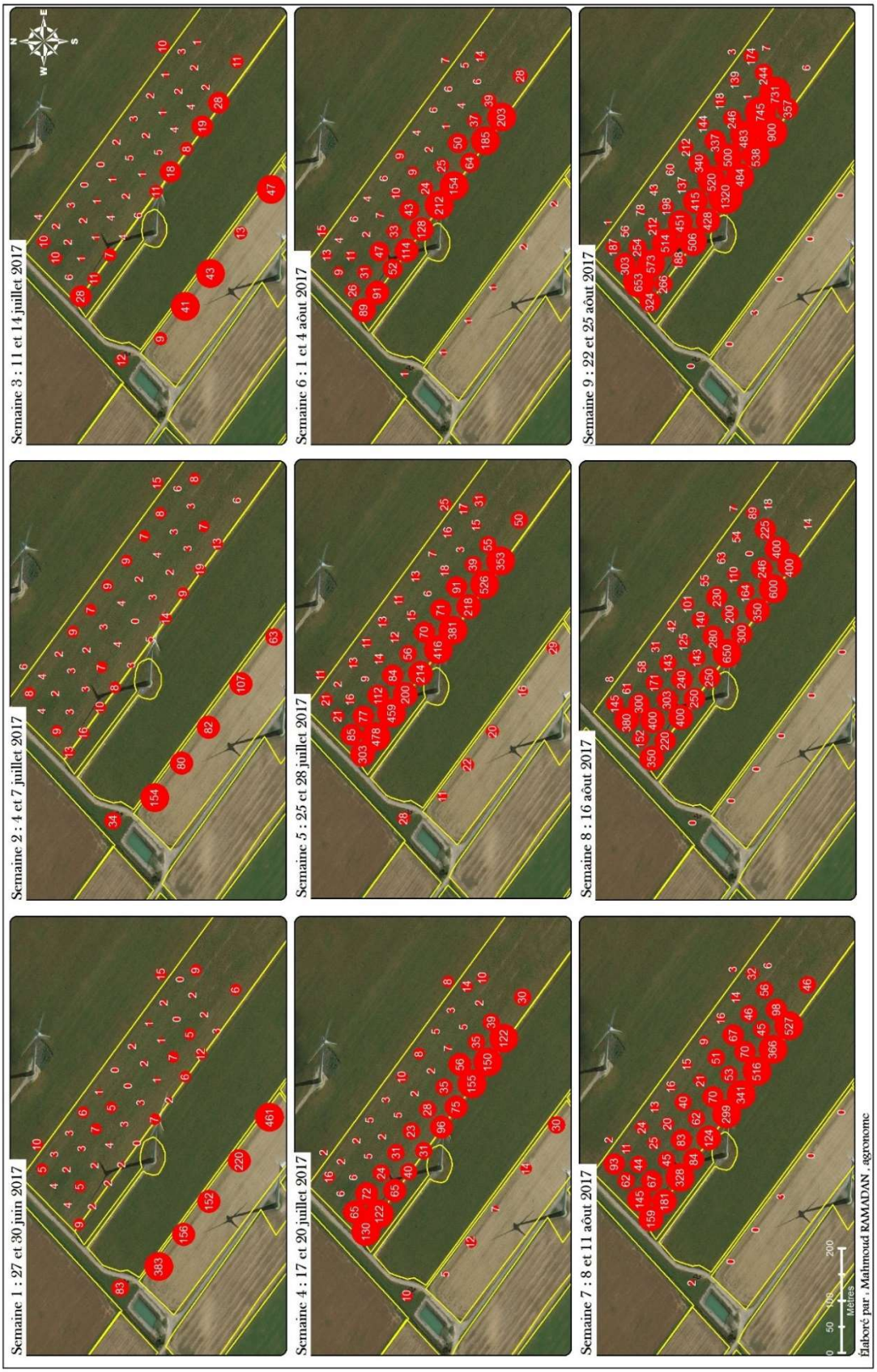
Murtaugh, P. A. 1996. The Statistical Evaluation of Ecological Indicators. Ecological Applications 6: 132-139.

Readshaw, J. L. 1966. The ecology of the swede midge, *Contarinia nasturtii* (Kieffer) (Diptera: Cecidomyiidae). I. Life-history and influence of temperature and moisture on development. Bull. Entomol. Res. 56: 685-700.

Shvydka, S., Sarabeev, V., Estruch, V., et Cadarso-Suarez, C. 2018. Optimum sample size to estimate mean parasite abundance in fish parasite surveys. Helminthologia, 55(1) : 52-59.

Taylor, L.R., Woiwod, I.P. et Perry, J.N. 1978. The Density Dependence of Spatial Behavior and the Rarity of Randomness. Journal of Animal Ecology, 47: 383.

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. Projet CIEL-1-11-1557.

Wu, Q. J., Zhao, J.Z., Taylor, A.G. et Shelton, A.M. 2006. Evaluation of insecticides and application methods against *Contarinia nasturtii* (Diptera: Cecidomyiidae), a new invasive insect pest in the United States. J. Econ. Entomol. 99: 117-122.

Annexe 1 : Progression de l'infestation par la CCF dans le site de BECS 2017