

LÂCHERS DE DROSOPHILES À AILES TACHETÉES STÉRILES (PHASE I)

IRDA-1-17-1849

DURÉE DU PROJET : AVRIL 2018 / SEPTEMBRE 2022

RAPPORT FINAL

Réalisé par :
Annabelle Firlej, IRDA
Élisabeth Ménard, IRDA
Kim Ostiguy, IRDA
Simon Legault, IRDA

En partenariat avec :
Anne-Marie Fortier, Phytodata
Catherine Thireau, Agr.

30 septembre 2022

Les résultats, opinions et recommandations exprimés dans ce rapport émanent de l'auteur ou des auteurs et n'engagent aucunement le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.

Lâchers de drosophiles à ailes tachetées stériles (Phase I)

IRDA-1-17-1849

RÉSUMÉ DU PROJET

La drosophile à ailes tachetées (DAT) est un ravageur particulièrement problématique pour le secteur des petits fruits étant donné son grand potentiel de ponte et l'explosion de ses populations en fin de saison, au moment de la récolte des petits fruits d'automne. Les insecticides peuvent induire la mortalité des adultes, mais pas des larves qui sont cachées dans les fruits. Pour l'instant, la lutte à la DAT repose essentiellement sur l'application répétée et alternée d'insecticides toxiques pour les pollinisateurs et, pour certains, avec des indices de risque pour l'environnement (IRE) et la santé (IRS) non négligeables. Pour réduire l'impact phytosanitaire de la DAT dans les cultures de petits fruits, l'utilisation de lâchers d'insectes stériles comme méthode de lutte est une avenue prometteuse. Pour poursuivre les efforts de développement entamés depuis 2014 par l'IRDA, les objectifs de ce projet étaient : 1-de déterminer la capacité d'envol et le rythme circadien d'émergence des adultes de DAT stérilisés et 2-d'évaluer chez les producteurs l'efficacité de premiers lâchers sur des parcelles de framboises d'automne. En 2018, pour l'objectif 1, nous avons évalué l'effet de différentes doses d'irradiation sur le délai de déploiement des ailes et sur le patron circadien d'émergence des mâles en conditions de laboratoire. Nos résultats montrent que, quelle que soit la dose d'irradiation testée, celle-ci n'a pas d'impact significatif sur le temps de déploiement des ailes et le moment d'émergence des mâles. En 2019 et 2021, pour l'objectif 2, nous avons réalisé des lâchers hebdomadaires de DAT stériles chez trois producteurs de framboises ayant chacun une parcelle témoin à distance raisonnable d'une parcelle traitée. Durant la saison de production, nous avons effectué un suivi des DAT sauvages/stériles dans les champs (piégeage) et un suivi des infestations (incubation de fruits) chaque semaine. À la suite de ces deux années d'essai, nous avons observé certains résultats encourageants : les DAT stériles se dispersent peu entre les parcelles, et le nombre de larves par fruit en 2019 était inférieur dans les parcelles traitées aux DAT stériles en comparaison aux témoins. Cependant, la grande variabilité entre les champs choisis pour l'expérience, la difficulté à produire suffisamment de pupes et un pourcentage d'émergence des pupes au champ très variable ont probablement contribué à l'obtention de résultats moins probants qu'attendus. Des pistes d'amélioration sont donc proposées pour la poursuite de la recherche.

OBJECTIFS ET APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE

Objectif 1) Déterminer la capacité d'envol et le rythme circadien d'émergence des adultes de DAT stérilisés

En 2018, nous avons 1) évalué l'effet de quatre doses d'irradiation (80, 90, 100 et 120 grays) sur la capacité de déploiement des ailes des mâles stériles et 2) évalué l'effet de deux doses d'irradiation (80 et 120 grays) sur le patron circadien d'émergence des mâles stériles. Pour les deux expériences, des pupes de cinq jours ont été irradiées dans un 137Cs Gamma Cell 3000 (Best Theratronics, Canada) au Centre de Recherche du Centre Hospitalier de l'Université de Montréal (CRCHUM). Les pupes provenaient d'une souche de DAT maintenue en élevage à l'IRDA depuis 2014, aux conditions d'élevage de 22°C et 55% HR avec un cycle de lumière 16L:8O. Pour la 1^{re} expérience, les quatre doses d'irradiation ont été comparées à un témoin non irradié pour observer leur effet sur la

capacité de déploiement des ailes des mâles. Pour chaque traitement, cent pupes, isolées en pétris, étaient observées en continu à partir de l'ouverture des lumières et l'heure d'émergence, le délai nécessaire pour le déploiement des ailes (défroissées) et le sexe des individus ont été notés. Pour la 2^e expérience, nous avons observé le patron circadien d'émergence des mâles selon deux doses d'irradiations (80 et 120 grays) comparés à un témoin non irradié. De 350 à 450 pupes par répétition ont été placées en boîte de 15x15x15 cm avec un coton imbibé d'eau distillée et le décompte des émergents a été réalisé dès le lendemain à toutes les 2 heures de 8h00 à 16h00, avec une dernière observation à 20h00. Des courbes de type courbes de survie ont été générées selon la méthode Kaplan-Meier afin de modéliser à quel moment les mâles avaient leurs ailes déployées et les heures de la journée où ils émergeaient. Un test logarithmique par rangs (Log-rank test) a été réalisé sur ces courbes de survies, afin de vérifier s'il y a des différences significatives entre les doses d'irradiation. L'ensemble des analyses ont été réalisées avec R 3.5.1 (R core team 2018) et le package « survival » (Therneau 2015). Les graphiques de courbes de survie ont été réalisés grâce au package « survminer » (Kassambara et Kosinski 2018). Seuls les mâles ont été considérés pour les analyses statistiques.

Objectif 2) Évaluer l'efficacité de premiers lâchers sur des parcelles de framboises à la ferme

Cultures pleins champs et sous grands tunnels

En 2019 et 2021, des lâchers sur le terrain ont été complétés afin d'évaluer l'efficacité des DAT stériles en conditions commerciales. En 2019, les lâchers ont été réalisés dans deux cultures de framboises d'automne et une de framboise d'été tardive : au Potager Gauvin (PG) à l'Ange-Gardien (Pathfinder), Chez Mario (CM) à Ste Madeleine (Eden) et au Père de la Fraise (PF) à St-Paul d'Abbotsford (Autumn Britten, Polana et Caroline) (Annexe1). Les cultures de framboises du Potager Gauvin étant les seules placées sous un grand tunnel. En 2021, les lâchers ont été réalisés au Potager Gauvin (PG) et au Père de la Fraise (PF), mais le champ Chez Mario a été remplacé par un champ aux Serres et Jardins Girouard (SJG) à Ste-Madeleine (Nova) (Annexe 2). Tous les champs étaient sous régie conventionnelle, mais avec l'indication de ne pas utiliser des traitements insecticides dommageables pouvant tuer les drosophiles stériles. Deux parcelles d'au moins 0,1 acre chacune étaient installées dans chaque champ et définies «Témoin» (TEM) et «DAT stérile» (DAT). Au Potager Gauvin, un filet Proteknet 70gr/m² a été fixé entre les deux tunnels pour isoler les deux parcelles contiguës (Annexe 3).

Suivi des populations de DAT sauvages et stériles

Le suivi des populations de DAT a été effectué par l'installation de six pièges de type JPTrap modifié (Annexe 4) et espacé de 15 mètres dans chacune des deux parcelles, pour un total de 12 pièges par champ. Les pièges ont été modifiés pour que les adultes soient capturés sur une surface collante plutôt que dans l'appât liquide afin de préserver leur coloration. La modification du piège a fait l'objet de tests en laboratoire au préalable. Les pièges étaient positionnés sur piquet de bois au niveau de la végétation, avec 350 ml d'appât à base de levure et sucre, et munis d'un piège collant. La fréquence de relevé des pièges prévue au projet était hebdomadaire. Toutefois, en 2019 l'appât des pièges était changé deux fois par semaine pour bien comprendre la dynamique des populations de DAT sauvages pour le début du projet terrain. En 2021, les pièges étaient relevés une fois par semaine tel que prévu initialement. Les relevés ont été effectués jusqu'à la fin des récoltes de framboises pour chaque champ. En 2019, dû à l'arrivée très rapide des populations sauvages sur le terrain, les lâchers de DAT stériles ont été réalisés environ une semaine après la 1^{re} capture (9 juillet 2019). En 2021, les lâchers de DAT stériles ont débuté de manière préventive le 22 juin, avant la 1^{re} capture (6 juillet 2021), et se sont poursuivis de façon hebdomadaire jusqu'à la fin de la saison de production.

Stérilisation des pupes de DAT

Contrairement aux tests réalisés en 2018 pour l'envol et le rythme circadien, l'irradiation des pupes pour les lâchers en 2019 et 2021 a été réalisée à 140 Gy. Ce changement résulte de réunions tenues avec l'Agence internationale d'énergie atomique, qui mène un projet sur la drosophile stérile en partenariat avec l'équipe de l'IRDA. Plusieurs équipes de recherche internationales ont décidé d'utiliser la dose de 140 Gy pour réaliser l'ensemble des prochaines études terrain. Les irradiations ont donc été réalisées à la dose de 140 Gy au CRCHUM à l'aide d'un ¹³⁷Cs Gamma Cell 3000 (Best Theratronics, Canada). Les pupes provenaient d'une souche de DAT maintenue en élevage à l'IRDA. Elles ont été soumises à un régime de froid permettant de stopper leur développement afin d'être en mesure d'en accumuler un nombre suffisant à irradier en vue des lâchers. Les lâchers consistaient à mettre les six pots contenant les pupes irradiées dans chacune des parcelles DAT. Les pots ont été installés et distancés d'au moins 15 mètres entre eux, et cachés dans la végétation pour limiter la prédation des pupes et leur assèchement. La quantité de pupes introduites en champ était déterminée en ciblant un ratio 1 :100 (femelle fertile : individus stériles) selon le niveau d'infestation, mais dépendait également de la superficie du champ et surtout de la production de l'élevage (voir tableau 1).

Test de coloration

En 2019, ces pupes étaient préalablement colorées à l'aide du pigment DayGlo Eco11 AURORA PINK (Debro, Ontario) fourni par Phytodata au laboratoire, dans une enceinte sur coton humidifié à l'eau distillée (Annexe 5a). Le colorant bleu a été utilisé en 2021 pour une meilleure identification des DAT stériles sur les pièges et les pupes ont été disposées dans des contenants avec une ouverture plus grande, permettant une meilleure dispersion (Annexe 5b).

Contrôle qualité

Avant l'introduction au champ, 200 pupes étaient prélevées dans chaque lot pour effectuer un contrôle de qualité, soit l'évaluation des pourcentages d'émergence, de mâles, d'individus malformés et d'envol après 96 h. Afin d'améliorer le protocole, en 2021, ces valeurs ont été comparées à celles obtenues à partir d'un groupe témoin (pupes de DAT non irradiées). En 2021, des données additionnelles ont été prises sur 0,15 gramme de pupes après leur passage au terrain pour vérifier l'émergence des adultes, le nombre de DAT toujours dans le pot et le pourcentage de malformations. Ces données ont été prises sur les trois champs pendant 4 à 5 semaines.

Prise de données sur fruit

Dès que les fruits étaient mûrs et que les premiers individus de DAT étaient capturés, 220 fruits (lorsque possible) étaient récoltés deux fois par semaine au centre de chaque parcelle (TEM et DAT), jusqu'à la fin des récoltes. De ces fruits, 100 étaient utilisés pour un test de sel qui permet d'estimer les densités de larves de drosophiles dans les fruits (*Drosophila* sp.), alors que 120 étaient incubés individuellement pour estimer la proportion des fruits infestés par la DAT et faire le décompte de la progéniture émergente. Pour l'incubation, les fruits ont été placés dans des godets de plastique avec un coton 2 x 2 cm afin d'absorber le jus des framboises et d'éviter de noyer les larves et ainsi permettre le développement jusqu'à l'adulte. Les godets étaient incubés pendant 15 jours dans une chambre de croissance à 23 ± 1 °C et 50% HR pour permettre l'émergence des adultes qui ont ensuite été congelés puis dénombrés, sexés et identifiés à l'espèce.

Pour les deux saisons de récolte, les analyses statistiques des données de dépistage en champs ont été effectuées avec R (version 4.2.1; R Development Core Team, 2021). À l'aide du paquet « *lme4* » (Bates 2019), des modèles linéaires mixtes (MLM) ont été réalisés pour comparer les données de captures de DAT sauvages dans les pièges, les données fournies par les tests de sels et les nombres

moyens de DAT adultes émergeant des fruits incubés. Des modèles linéaires mixtes généralisés (MLMG) suivant une distribution binomiale (fonction de lien logit) ont été réalisés pour comparer les proportions de fruits infestés par la DAT. Pour tous les modèles, les facteurs fixes « Traitement », « Ferme » et « Traitement × ferme », de même que l'effet aléatoire « Date de récolte » étaient considérés. Des matrices de variance-covariance étaient également modélisées pour tenir compte des corrélations entre les mesures répétées. En utilisant le paquet « *emmeans* » (Lenth 2019), des moyennes marginales étaient ensuite estimées (EMM) pour décrire les différences significatives entre les traitements pour chacune des fermes pour un seuil α de 0,05.

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS OBTENUS ET DISCUSSION

Objectif 1) Déterminer la capacité d'envol et le rythme circadien d'émergence des adultes de DAT stérilisés

Effet des doses d'irradiation sur le déploiement des ailes

Initialement, le projet visait à observer la capacité d'envol des mâles stériles selon la dose d'irradiation. Cependant les DAT ne se comportent pas comme d'autres mouches à fruits et adoptent un comportement de marche à l'émergence. L'approche expérimentale utilisée consistant en un tube d'émergence avec des parois collantes pour intercepter les envolées (Annexes 6) n'a pas fonctionné. Nous avons donc décidé de mesurer l'effet de cinq doses d'irradiation sur le temps requis aux adultes pour que leurs ailes deviennent totalement déployées, mesurant ainsi le moment où le vol est biologiquement possible.

Le test logarithmique par rangs n'indique aucune différence significative pour le délai de déploiement des ailes des mâles entre les cinq doses d'irradiation ($p=0,095$) (Figure 1). Parmi les différentes doses, le temps moyen de déploiement des ailes le plus rapide était de 18,7 minutes pour 80 gy et le plus long était de 21,5 minutes pour 100 gy (Figure 2). Toutefois, ces différences ne s'avèrent pas statistiquement significatives ($p = 0,095$). Le temps passé à déployer des ailes est un moment où les mâles stériles sont susceptibles à la prédation et la dessiccation, cette information est donc importante à connaître pour la stratégie de dissémination des pupes lors des lâchers en champs.

Effet des doses d'irradiation sur le patron circadien d'émergence

À la suite des différents essais réalisés à l'IRDA depuis 2014, le patron circadien devait être évalué seulement à la dose choisie pour les lâchers. Cependant nous avons continué à garder la dose 80 gy, qui représente notre limite inférieure de stérilité acceptable. Le test logarithmique par rangs n'indique aucune différence significative pour le moment d'émergence des mâles entre les deux doses d'irradiation ($p = 0,1$) (Figure 3). Les adultes émergent presque en totalité à l'ouverture des lumières le matin, à 8h00, suivant une irradiation deux jours plus tôt (Figure 4).

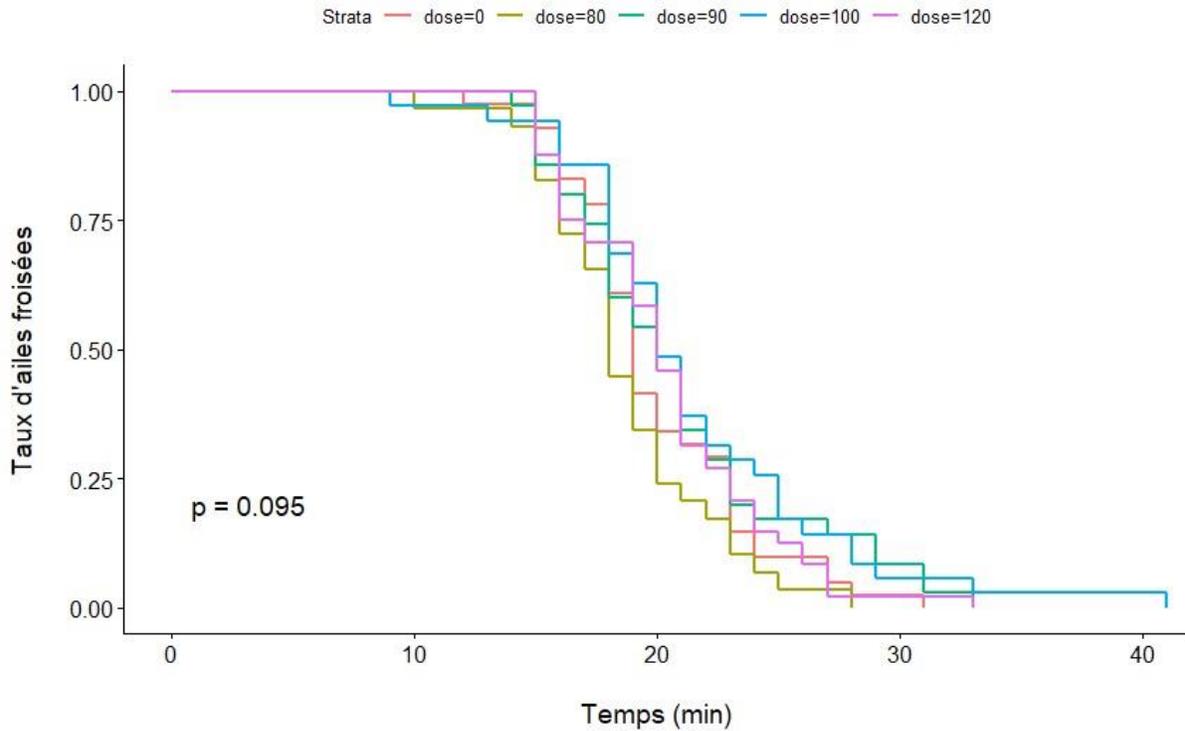


Figure 1 : Courbes de survie, selon la méthode Kaplan-Meier, pour le délai de déploiement des ailes des mâles émergés en fonction des quatre doses d'irradiations comparativement à un témoin (test logarithmique par rangs, $p = 0,095$).

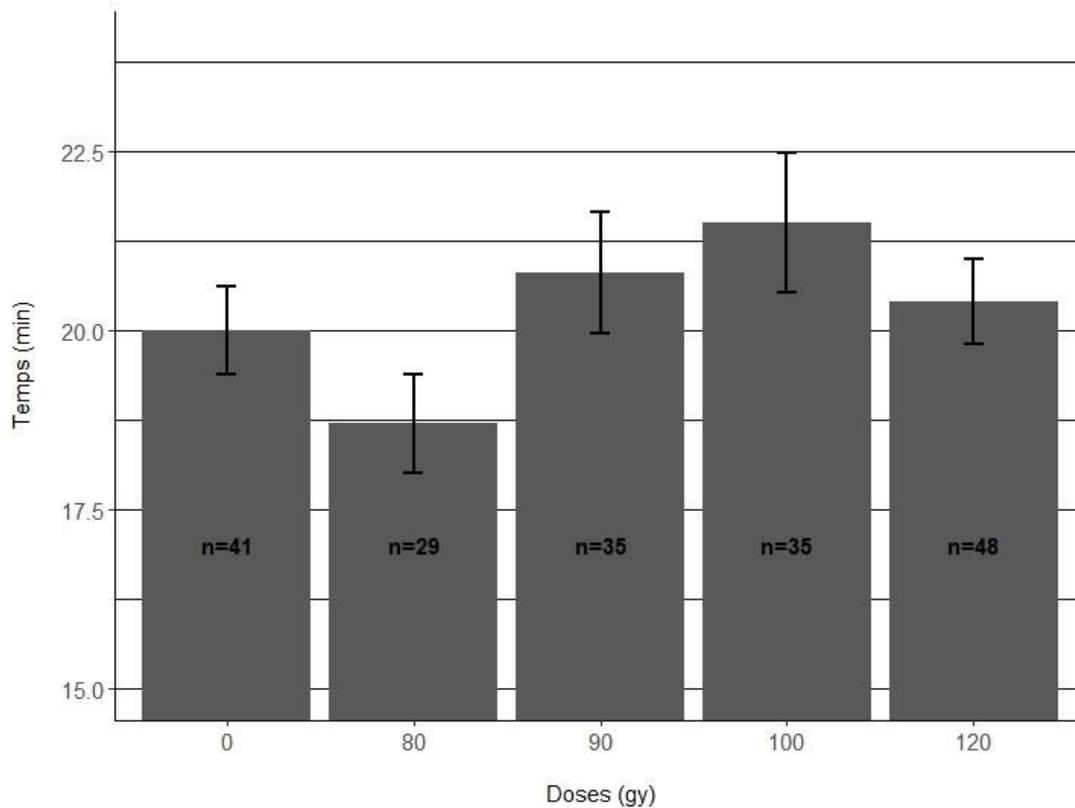


Figure 2 : Temps moyen \pm erreur standard (E.S.) de déploiement des ailes en fonction des doses d'irradiation (gy) (test logarithmique par rangs, $p = 0,095$).

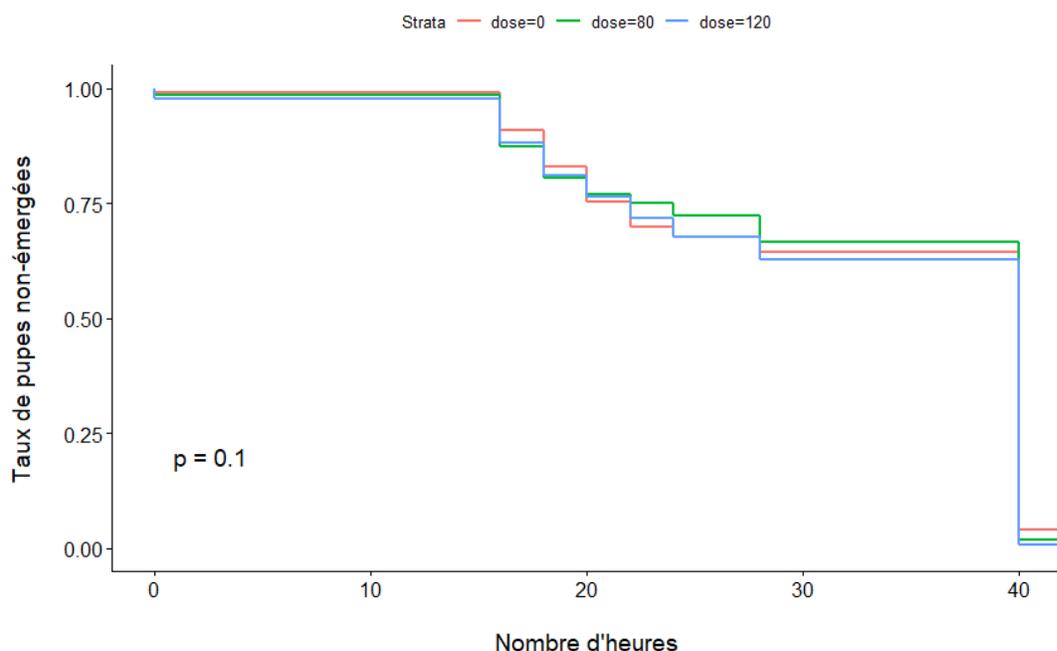


Figure 3 : Courbes de survie, selon la méthode Kaplan-Meier, pour l'évaluation du patron circadien d'émergence des adultes (ici représenté par le taux de pupes non émergées dans le temps) en fonction de deux doses d'irradiations comparées à un témoin (test logarithmique par rangs, $p = 0,1$). Le temps 0 correspond au moment de l'irradiation.

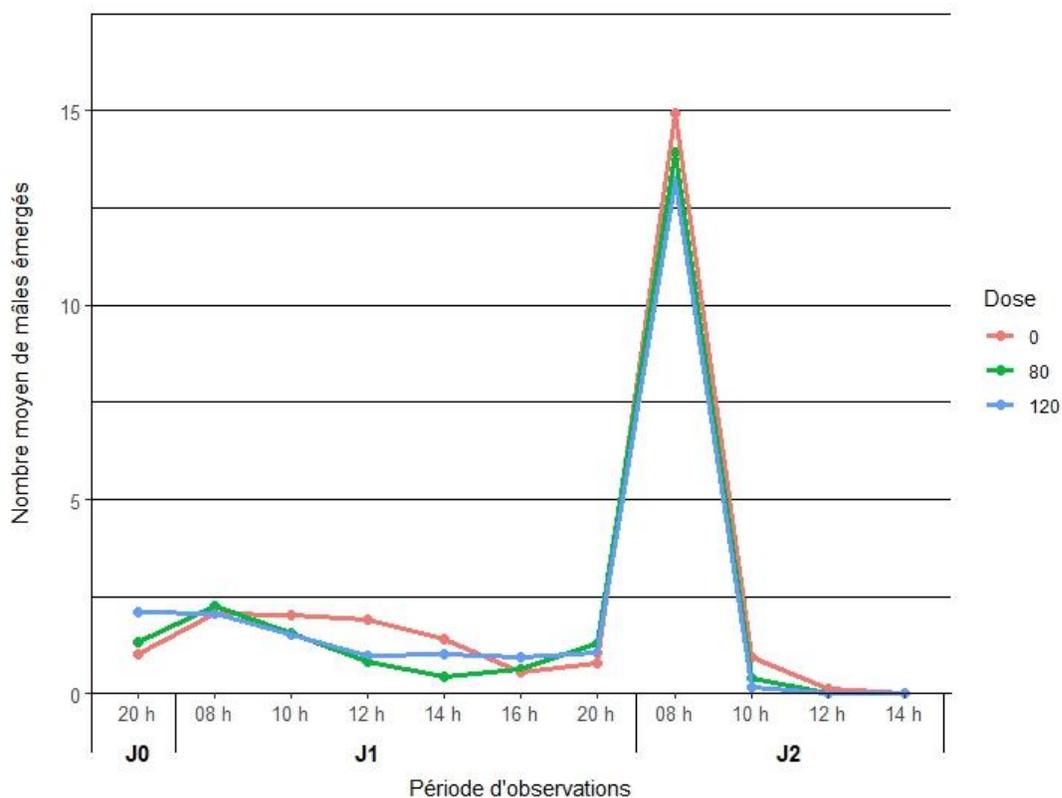


Figure 4 : Nombre moyen de mâles émergés à travers le temps, représentant le patron circadien d'émergence, en fonction des doses d'irradiation (gy) (les irradiations étant effectuées de 12 :00 à 14 :00 le jour J0).

Objectif 2) Évaluer l'efficacité de premiers lâchers sur des parcelles de framboises à la ferme

Contrôles-qualité des pupes de DAT irradiées

Les lots de pupes de DAT irradiées ont montré de grandes différences entre les semaines quant aux pourcentages d'émergence, de mâles, d'individus malformés et d'individus ayant pris leur envol (Figure 5). Cependant, les valeurs de ces paramètres étaient généralement comparables avec celles des lots de pupes témoins non-irradiées (2021). En 2019 et 2021, certains lots de pupes avaient des malformations supérieures à 10%, niveau habituellement observé pour des doses de 120 à 140 Gy (Lanouette et al. 2017; Sassu et al. 2019). Ceci peut s'expliquer par l'âge des pupes au moment de l'irradiation; l'irradiation à un stade trop jeune peut provoquer des malformations des ailes et des pattes.

Également au niveau du processus d'élevage et d'irradiation, nous avons éprouvé quelques difficultés à accumuler les pupes au frigo pour l'irradiation afin d'avoir les quantités suffisantes à relâcher chaque semaine. Nous avons pris les précautions d'utiliser un régime de froid fluctuant qui permet d'avoir des pupes de qualités pour l'irradiation (Enriquez et al. 2019). Nous avons ciblé un ratio de 1 :100, qui a été difficile à atteindre en 2019. Il est nécessaire de mettre en place un élevage de masse pour améliorer le processus du lâcher.

Recapture aux champs des DAT mâles irradiés

Malgré les grandes variations au niveau des pourcentages d'envol en laboratoire des individus émergeant des pupes irradiées (Figure 5G-H), il a été possible de recapter des mâles stériles dans toutes les parcelles DAT en 2019 et 2021 (Figure 6C-D). Les taux de recapture étaient les plus élevés vers la fin de la saison 2019 au champ PF (Figure 6C). Cependant, ceux-ci étaient beaucoup plus faibles en 2021 dans les trois champs, malgré des taux d'introduction souvent supérieurs (Figure 6B). Il n'y a eu aucune capture de mâles stériles dans les parcelles TEM en 2019 et 2021. Ces résultats sont intéressants, car ils indiquent que 1) les JP trap modifiés attirent les DAT stériles et 2) les DAT stériles n'ont pas été mobiles au point de se retrouver dans les parcelles TEM; elles restent donc relativement à proximité du lieu de lâcher.

Contrôle qualité des pupes post-relâcher

En 2021, la récupération des boîtes contenant les pupes relâchées au champ la semaine précédente montre que les pourcentages d'émergence variaient de 16% à 80%. Jusqu'à la mi-juillet, les conditions climatiques ont été très chaudes et sèches et cela a influencé négativement l'émergence au champ (Figure 7). Cependant, les contrôles qualité laboratoire des pupes témoins et irradiées montraient aussi des pourcentages très faibles dans les premiers lâchers (Figure 6B), ce qui suppose un problème au niveau des conditions d'entreposage des pupes avant les lâchers sur le terrain. Après le 13 juillet 2021, les pourcentages d'émergence avoisinaient des résultats acceptables, entre 50 et 80% (Figure 7), mais inférieurs aux émergences en laboratoire (Figure 6B). De la prédation par les fourmis a également été observée régulièrement sur le terrain, au point où certaines boîtes pouvaient être vides de pupes la semaine suivante. Cette information devra servir à améliorer le dispositif de lâcher dans le futur.

Dépistage et dommages aux champs

Afin d'ajuster les quantités de DAT à lâcher, il est important de dépister les individus sauvages présents sur la parcelle. Nous avons opté pour lâcher 100 individus irradiés pour un individu sauvage (ratio 1 :100). La figure 8 indique le nombre de DAT sauvages (non irradiées) observées au champ durant la saison 2019. À partir du 19 août, nous avons doublé les quantités de pupes lâchées pour s'ajuster aux décomptes d'individus sauvages observés (Tableau 1).

En 2019, nous avons observé que les niveaux de population de DAT sauvages estimés à partir des pièges suivaient des patrons temporels similaires entre les parcelles DAT et TEM (Figure 8A). Sur l'ensemble de la saison, il n'y avait pas de différences significatives entre les parcelles DAT et TEM pour les nombres moyens d'individus récoltés par piège (Figure 8B). Le dépistage des fruits en 2019 pour le champ PF a posé problème durant la saison puisque les plants de framboisiers de la parcelle TEM n'ont pas produit de fruits, au point de ne pas avoir de données à comparer avec la parcelle DAT (Figure 8C-H). Pour les deux autres fermes (CM et PG), nous n'avons pas observé de différences significatives sur la saison entre les parcelles DAT et TEM pour la proportion des fruits infestés par la DAT (Figure 8EF) et le nombre moyen de DAT par fruits (Figure 8GH).

Cependant, nous avons observé des différences significatives au niveau des estimations des densités de larves de DAT via les tests de sels en 2019: il y avait significativement plus de larves dans les fruits des parcelles TEM que dans les fruits des parcelles DAT pour les champs CM et PG. Il apparaît que ces champs ont reçu des ratios plus élevés de DAT stériles que le champ PF (Tableau 1).

En 2021, nous avons observé un décalage temporel entre les parcelles DAT et TEM pour le champ PF (Figure 9A), probablement dû à un début de mûrissement différent des variétés dans les deux parcelles. Ce décalage a également été observé pour le nombre de larves récoltées par fruits via les tests de sel (Figure 9C) et pour le nombre moyen de DAT par fruit (Figure 9G). Pour les trois champs échantillonnés en 2021, nous n'avons pas observé de différences significatives durant la saison entre les parcelles DAT et TEM pour la proportion des fruits infestés par la DAT (Figure 9EF) et le nombre moyen de DAT par fruit (Figure 9GH). Pourtant, les introductions de DAT stériles se faisaient à des ratios plus élevés en 2021 qu'en 2019.

Également, en 2021, les différences significatives au niveau des estimations des densités de larves de DAT via les tests de sels étaient contraires à 2019 : il y avait en moyenne un peu plus de larves dans les fruits des parcelles DAT que dans les fruits des parcelles TEM (Figure 9CD).

Finalement, autant en 2019 qu'en 2021, nous avons observé des corrélations positives et significatives entre les mesures de densité de DAT sauvages fournies par les tests de sels et l'incubation des fruits (Figure 10).

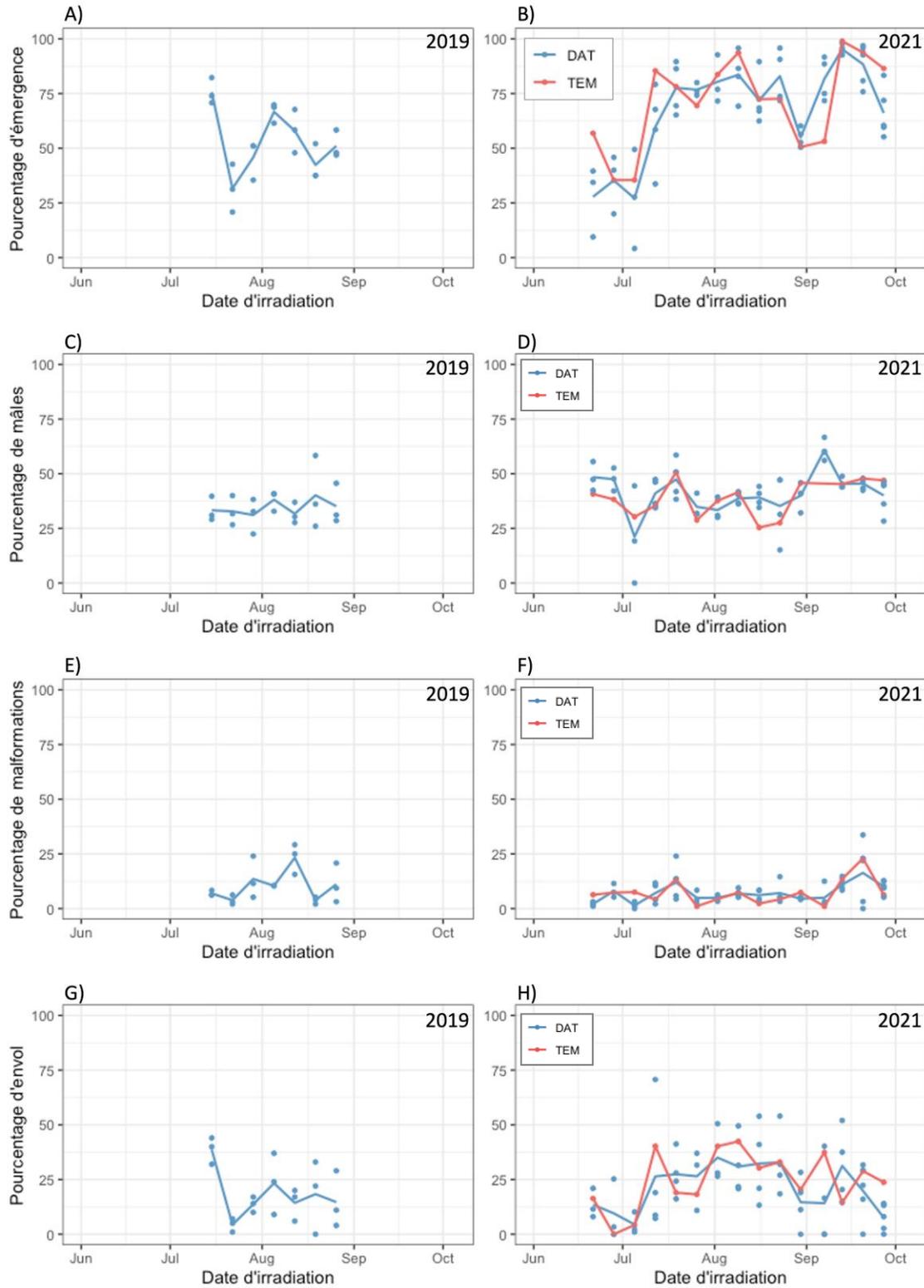


Figure 5. Contrôles-qualité des pupes de DAT irradiées. **A-B)** Pourcentages d'émergences en 2019 et 2021, respectivement. **C-D)** Pourcentage de mâles parmi les individus émergés. **E-F)** Pourcentages de malformations. **G-H)** Pourcentages d'individus ayant pris leur envol. Chaque point représente un lot de pupes. Les points bleus représentent les lots de pupes irradiées et les points rouges représentent les lots de pupes témoins.

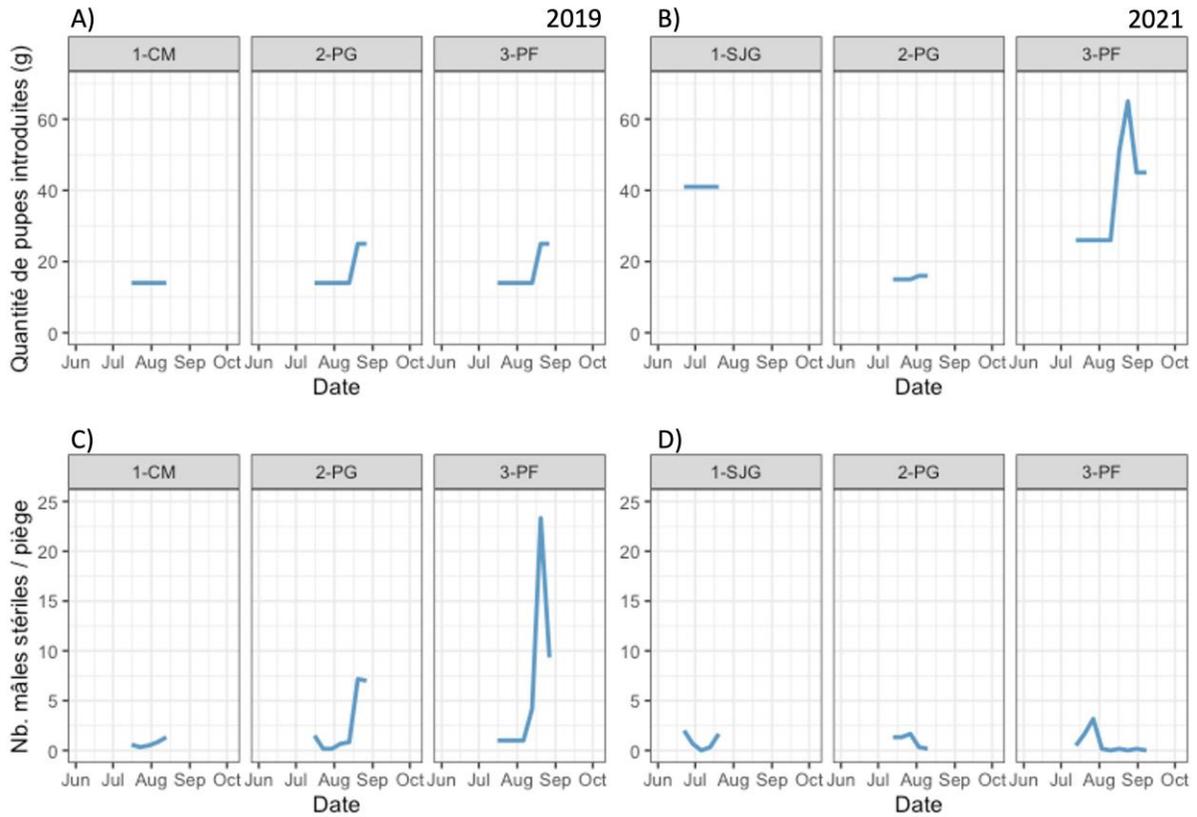


Figure 6. A-B) Quantité de pupes irradiées introduites (en gramme) en 2019 et 2021, respectivement. **C-D)** Nombre moyen d'individus mâles stériles (colorés) récoltés par piège.

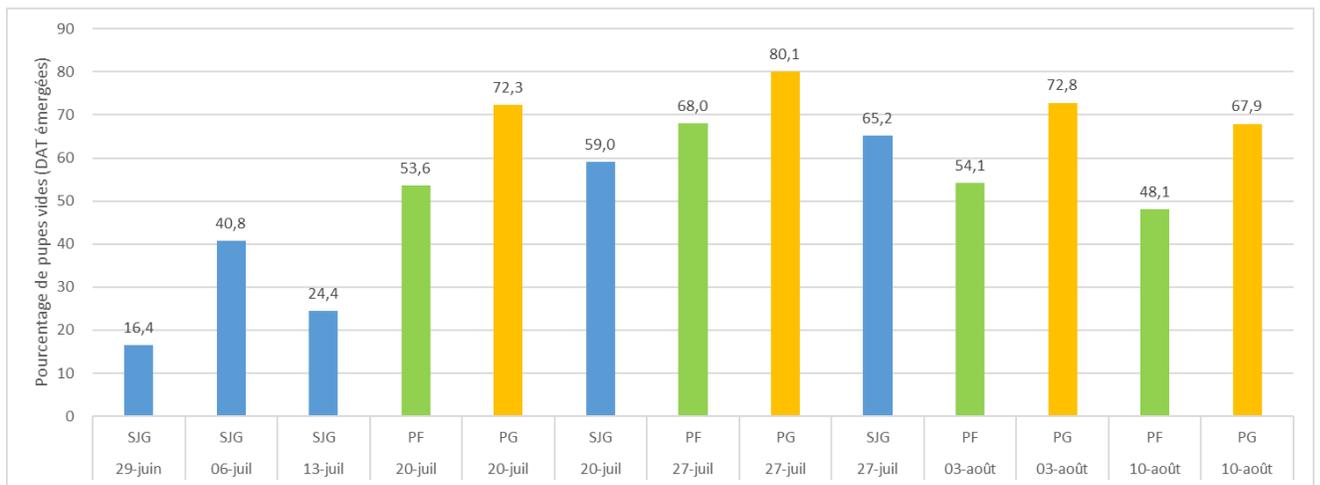


Figure 7 : Pourcentage de pupes dont les adultes ont émergé au champ en 2021.

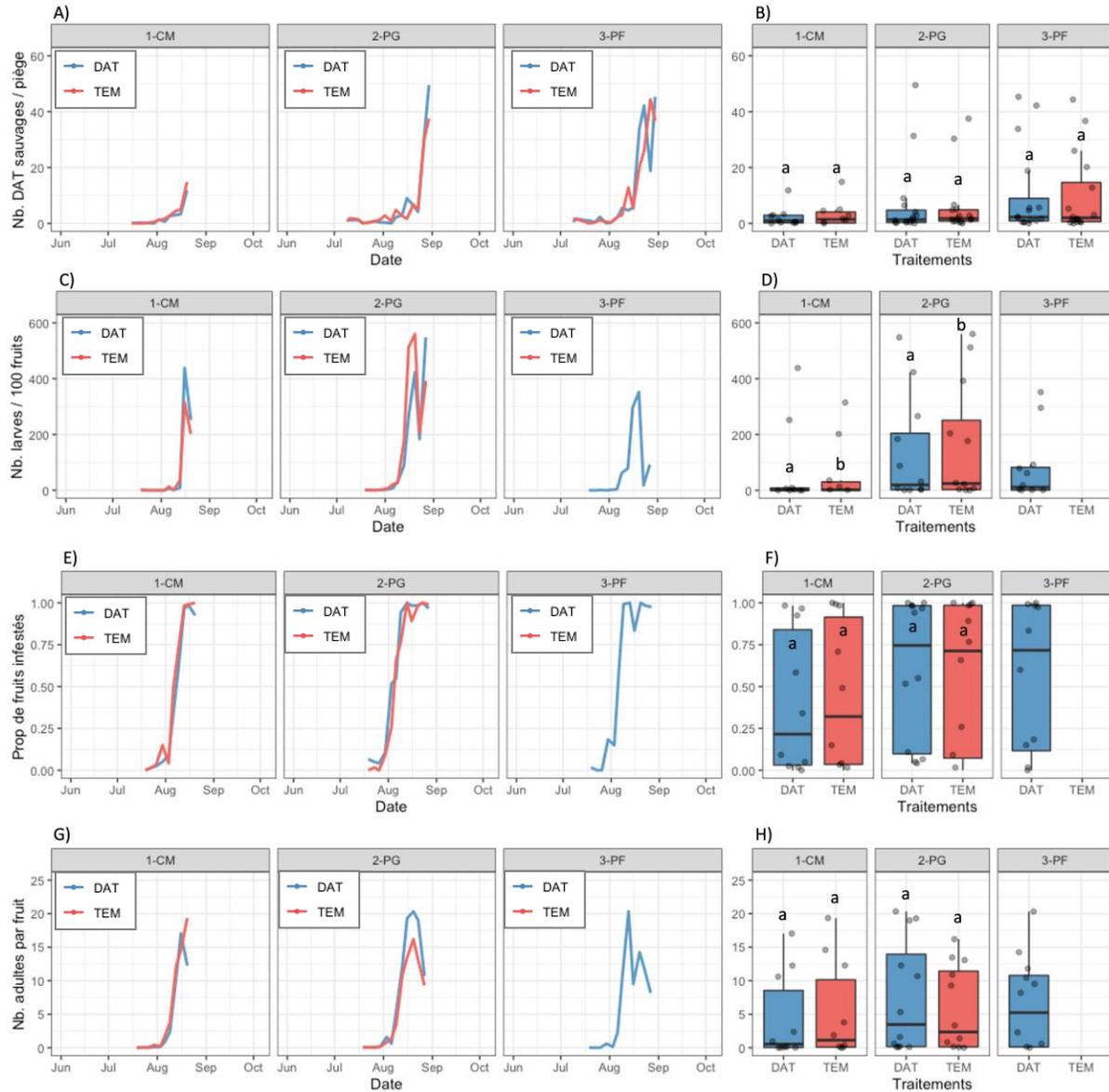


Figure 8. Dépistage des DAT sauvages en 2019 pour les trois champs en fonction des dates d'échantillonnage (A, C, E et G) et pour l'ensemble de la saison de récolte (B, D, F et H). **A-B)** Nombres moyens de DAT sauvages récoltées par piège. **C-D)** Nombres de larves récoltés pour 100 fruits soumis à un test de sel. **E-F)** Proportions des fruits incubés infestés par la DAT. **G-H)** Nombres moyens d'adultes de la DAT ayant émergé des fruits incubés. Pour chaque comparaison entre les traitements (TEM : témoins; DAT : introduction de DAT stériles), des lettres différentes indiquent une différence significative pour un seuil α de 0,05.

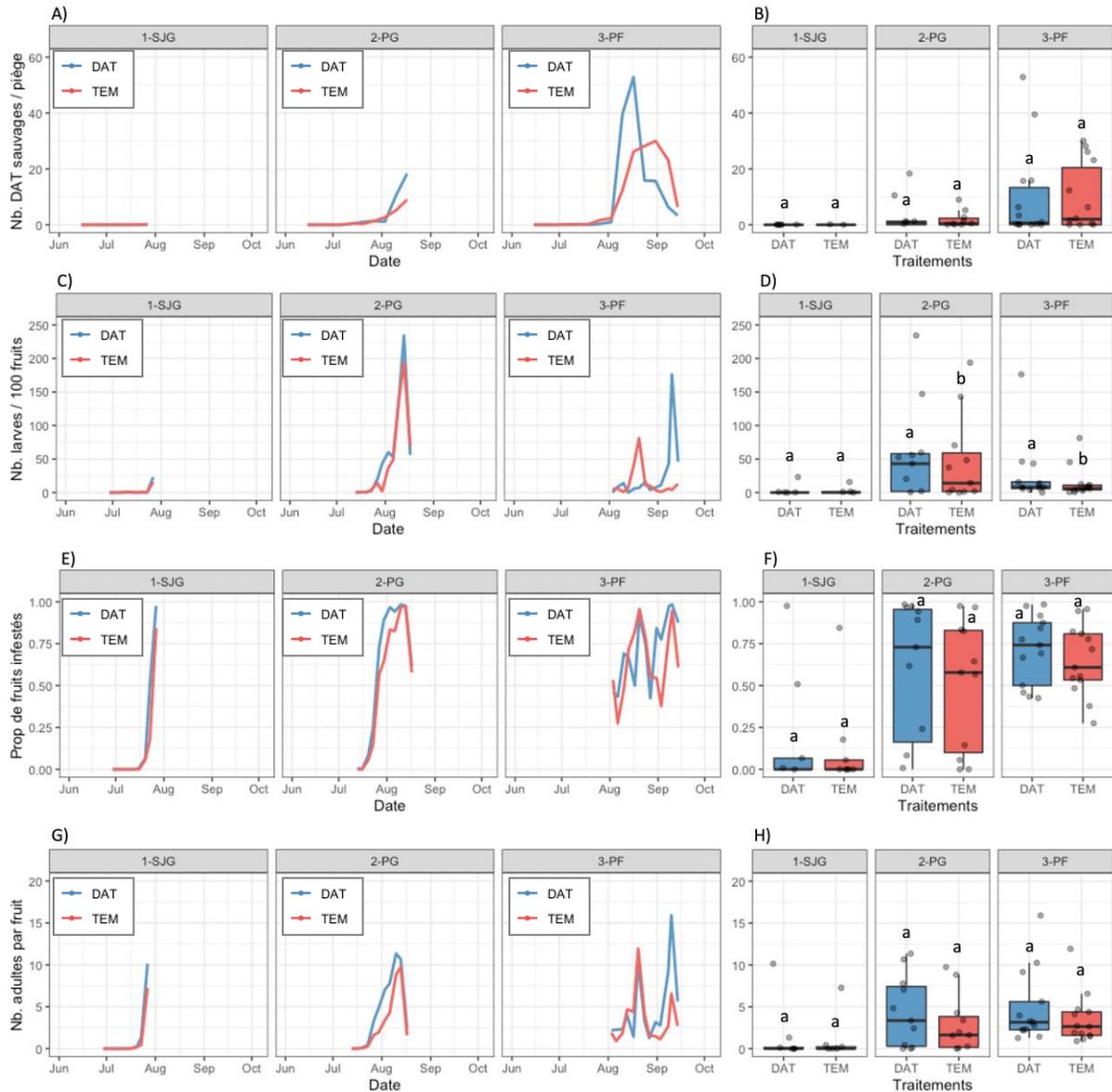


Figure 9. Dépistage des DAT sauvages en 2021 pour les trois champs en fonction des dates d'échantillonnage (A, C, E et G) et pour l'ensemble de la saison de récolte (B, D, F et H). **A-B)** Nombres moyens de DAT sauvages récoltées par piège. **C-D)** Nombres de larves récoltés pour 100 fruits soumis à un test de sel. **E-F)** Proportions des fruits incubés infestés par la DAT. **G-H)** Nombres moyens d'adultes de la DAT ayant émergé des fruits incubés. Pour chaque comparaison entre les traitements (TEM : témoins; DAT : introduction de DAT stériles), des lettres différentes indiquent une différence significative pour un seuil α de 0,05.

Tableau 1 : Nombre d'individus et ratio DAT sauvage : DAT stérile obtenu lors des lâchers dans les trois champs en 2019 et 2021.

Dates	2019								
	Champs CM			Champs PG			Champs PF		
	Qté pupes (g)	Qté ind	Ratio sauvage : stérile	Qté pupes (g)	Qté ind	Ratio sauvage : stérile	Qté pupes (g)	Qté ind	Ratio sauvage : stérile
2019-07-16	14	10 000	1 :10 000	14	10 000	1 :714	14	10 000	1 :588
2019-07-23	14	10 000	1 :2 500	14	10 000	1 :3 333	14	10 000	1 :1 111
2019-07-30	14	10 000	1 :10 000	14	10 000	1 :1 428	14	10 000	1 :714
2019-08-06	14	10 000	1 :833	14	10 000	1 :5 000	14	10 000	1 :666
2019-08-13	14	10 000	1 :294	14	10 000	1 :322	14	10 000	1 :158
2019-08-20	-	-		25	17 860	1 :192	25	17 860	1 :75
2019-08-27	-	-		25	17 860	1 :83	25	17 860	1 :48
Dates	2021								
	Champs SJG			Champs PG			Champs PF		
	Qté pupes (g)	Qté ind	Ratio sauvage : stérile	Qté pupes (g)	Qté ind	Ratio sauvage : stérile	Qté pupes (g)	Qté ind	Ratio sauvage : stérile
2021-06-22	41	29 285	1 :29 285	-	-		-	-	
2021-06-29	41	29 285	1 : 29 285	-	-		-	-	
2021-07-06	41	29 285	1 : 29 285	-	-		-	-	
2021-07-13	41	29 285	1 : 29 285	15	10 714	1 :5 357	26	18 572	1 :18 572
2021-07-20	41	29 285	1 : 29 285	15	10 714	1 : 1 785	26	18 572	1 :18572
2021-07-27	-	-		15	10 714	1 :1 339	26	18 572	1 :9 286
2021-08-03	-	-		16	11 428	1 :1 632	26	18 572	1 :3 095
2021-08-10	-	-		16	11 428	1 :181	26	18 572	1 :78
2021-08-17	-	-		-	-		51	36 428	1 :115
2021-08-24	-	-		-	-		65	46 428	1 :488
2021-08-31	-	-		-	-		45	32 142	1 :341
2021-09-08	-	-		-	-		45	32 142	1 :845

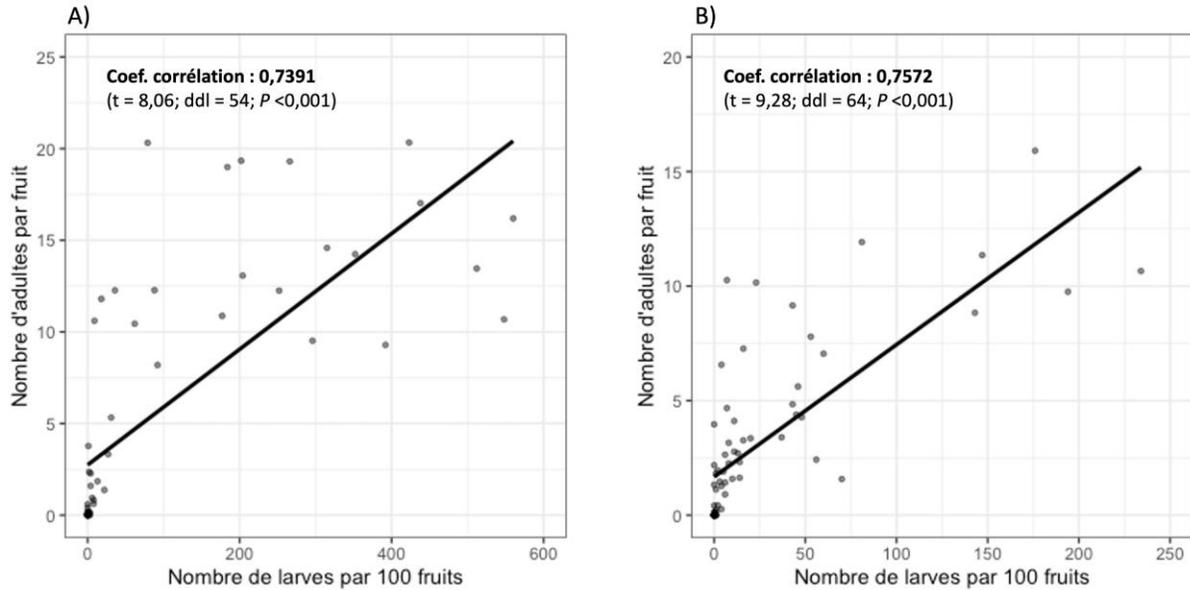


Figure 10. Corrélations de Pearson entre les mesures de densité de DAT sauvages fournies par les tests de sels (nombre de larves par 100 fruits) et l'incubation des fruits pendant 15 jours pour faire le décompte de la progéniture émergente (nombre moyen d'adultes par fruit) en 2019 (A) et 2021 (B).

Les résultats de cette étude montrent donc des résultats intéressants. Nous avons observé que :

- La dose d'irradiation n'influence pas le déploiement des ailes des mâles irradiés.
- Les drosophiles émergent majoritairement à l'ouverture des lumières 2 jours après l'irradiation (pour des pupes âgées de 5 jours).
- En 2019 et 2021, la qualité des pupes irradiées était similaire aux pupes témoins au niveau de l'émergence des adultes, des malformations et des pourcentages d'envols.
- Les JP trap modifiés peuvent capturer les adultes sauvages et irradiés au champ; pour optimiser le temps de dépistage, un autre type de piège plus attractif et plus rapide à manipuler devra cependant être développé.
- Les quantités de larves par fruit trouvées par test de sel sont corrélées positivement aux quantités d'individus obtenus par les incubations en solo-cup.
- Les DAT stériles ne semblent pas se disperser beaucoup et restent sur la parcelle d'introduction.
- Le nombre de larves dans les fruits était moindre seulement en 2019 dans les parcelles avec lâchers de DAT stériles.

Des éléments ont également limité l'obtention de résultats positifs et seraient à améliorer pour une suite au projet :

- L'obtention de champs avec des variétés, des périodes de fructification et des configurations de parcelles identiques a été impossible les deux années et a probablement induit beaucoup de variabilité au sein des données.
- L'élevage de DAT au laboratoire de l'IRDA n'étant pas un élevage de masse, il ne nous a pas permis d'obtenir les ratios adéquats pour les lâchers en fin de saison notamment en 2019.
- La prédation des pupes par des fourmis a pu être observée de manière importante au champ et l'émergence peut être très variable suivant les conditions extérieures, avec un maximum de 80% observé en 2021. Il serait intéressant d'explorer d'autres techniques de lâchers (Drone, cage d'émergence, etc.)

- Les émergences aux champs sont plus faibles qu'en laboratoire et des techniques seraient à trouver pour les améliorer. Il serait intéressant d'explorer la possibilité d'introduire des adultes plutôt que des pupes stériles pour maximiser l'efficacité de la technique.

DIFFUSION DES RÉSULTATS

Estimer le nombre d'entreprises touchées par les résultats du projet	400 entreprises
--	-----------------

Les présentations suivantes ont été réalisées pendant la durée du projet :

- Firlej, A., Ménard, E., Ostiguy, K. et A.-M. Fortier. 2019. Les avancées de la technique des insectes stériles pour *Drosophila suzukii*. Journées horticoles de St-Rémi. 5 décembre, St-Rémi (Canada).
- Firlej, A. 2018. Current advances on Sterile Insect Technique for *Drosophila suzukii*. Réunion annuelle conjointe ESA, SEC et SECB, Vancouver (Canada).
- Dieni, A., et A. Firlej. 2018. Impact de la dose d'irradiation sur le patron circadien et sur le délai de déploiement des ailes à l'émergence de la drosophile à ailes tachetées. Congrès de la société d'entomologie du Québec, Québec (Canada).

APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE

Ce projet nous a permis de réaliser les premiers essais en parcelles commerciales de la technique des insectes stériles pour la DAT. Une étape de plus a été franchie sur les connaissances quant aux performances des individus stérilisés, des processus d'irradiation de grandes quantités de pupes, des limitations de l'élevage actuel, des techniques de lâcher, et de suivi aux champs. Actuellement, certaines pistes d'améliorations sont proposées pour améliorer l'efficacité au champ afin de viser une utilisation plus importante de la technologie.

RÉFÉRENCES

- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., Walker, S., Bojesen Christensen, R. H., Singmann, H., Dai, B., Scheipl, F., Grothendieck, G., Green, P. et Fox, J. 2019. Package lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and S4 (Version 1.1-21)
- Enriquez, T., Ruel, D., Charrier, M. et Colinet, H. 2020. Effects of fluctuating thermal regimes on cold survival and life history traits of the spotted wing *Drosophila (Drosophila suzukii, Matsumara)*. *Insect Science*. 27, 317–335.
- Kassambara, A., Kosinski, M., Biecek, P. et Fabian, S. 2017. Package 'survminer'. Drawing Survival Curves using 'ggplot2'(R package version 03 1).
- Lanouette, G., J. Brodeur, F. Fournier, V. Martel, M. Vreysen, C. Cáceres et A. Firlej. 2017. The sterile insect technique for the management of the spotted wing *Drosophila, Drosophila suzukii*: Establishing the optimum irradiation dose. *Plos One* 12(9): e0180821.
- Lenth, R. 2019. Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R Package version 1.3.4.
- Sassù, F., K. Nikolouli, R. Pereira, M.J. Vreysen, C. Stauffer et C. Cáceres. 2019. Irradiation dose response under hypoxia for the application of the sterile insect technique in *Drosophila suzukii*. *PloS One* 14(12): e0226582.
- Therneau, T.M. 2015. Mixed Effects Cox Models. *BMC Genetics*, 6, S127.

PERSONNE-RESSOURCE POUR INFORMATION

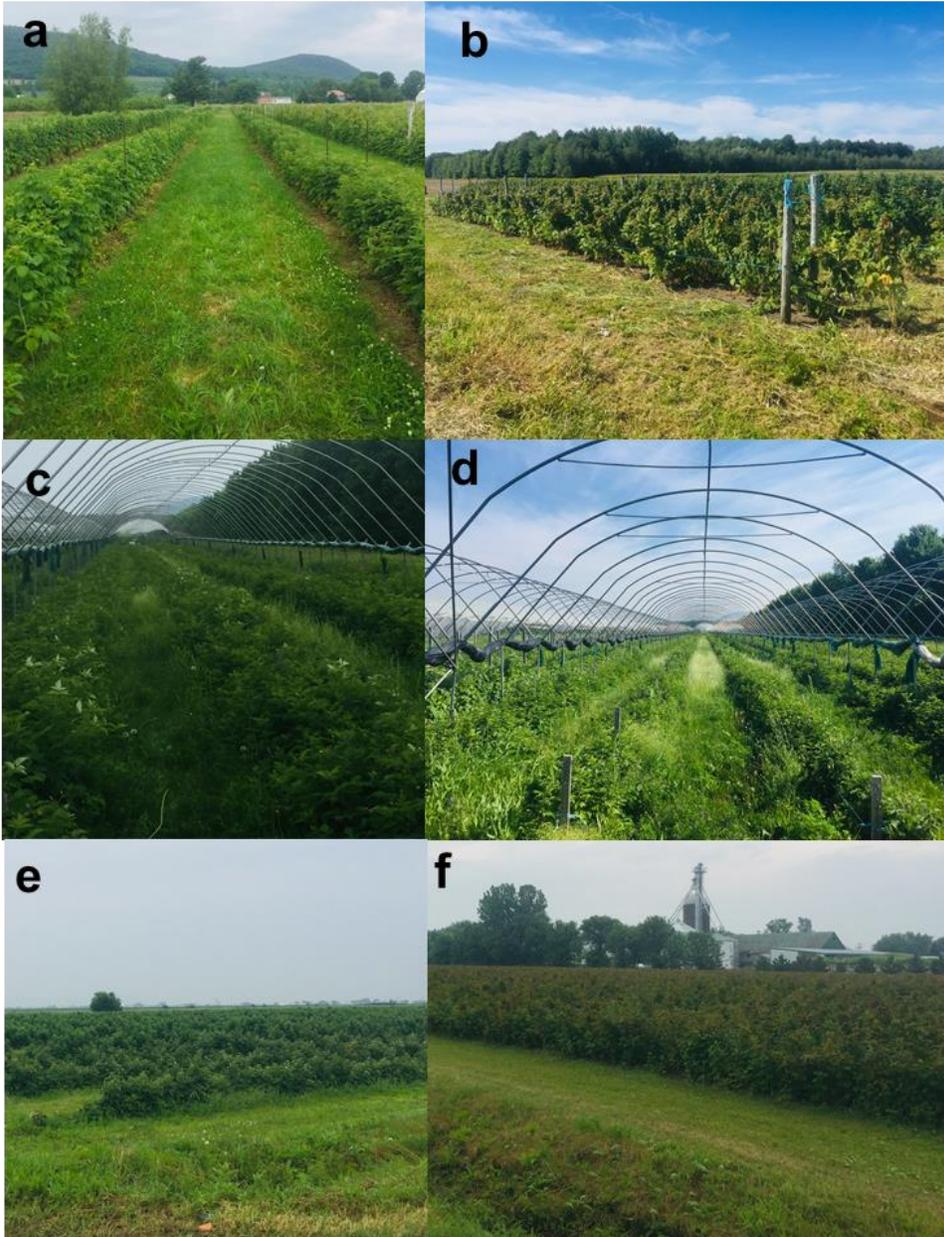
Annabelle Firlej, Ph. D.
Directrice adjointe - Phytoprotection
Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)
335, rang des Vingt-Cinq Est, Saint-Bruno-de-Montarville (Québec) J3V 0G7
Tél. : 450 653-7368, poste 363 | Cell. : 438 862-8153
Courriel : annabelle.firlej@irda.qc.ca

REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS

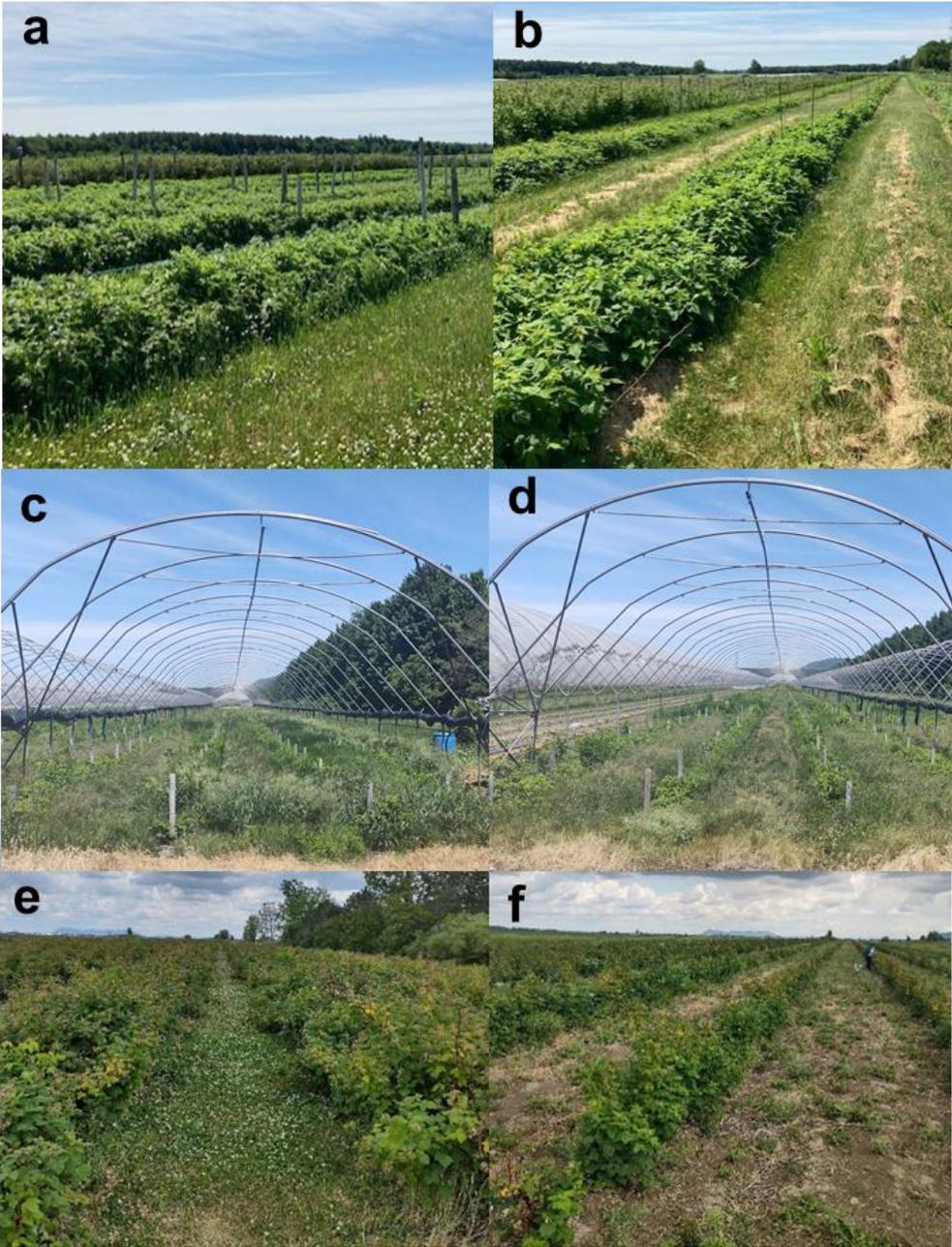
Ce projet a été réalisé dans le cadre du volet 4 du programme Prime-Vert – Appui au développement et au transfert de connaissances en agroenvironnement avec une aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation par l'entremise de la Stratégie phytosanitaire québécoise en agriculture 2011-2021. Nous tenons également à remercier tous les producteurs participants au projet ainsi que les étudiants de l'IRDA.

ANNEXE(S)

Annexe 1 : Champs expérimentaux en 2019 au Père de la fraise (a : DAT stérile, b : témoin), au Potager Gauvin (c : DAT stérile, d : témoin) et Chez Mario (e : DAT stérile, f : témoin).



Annexe 2 : Champs expérimentaux en 2021 au Père de la fraise (a : DAT stérile, b : témoin), au Potager Gauvin (c : DAT stérile, d : témoin) et Chez Mario (e : DAT stérile, f : témoin).



Annexe 3 : Filet Proteknet 70gr/m² installé entre deux parcelles tunnels au Potager Gauvin.



Annexe 4 : (A) Piège JP-Trap modifié pour permettre de placer une plaque collante dans la partie supérieure sans qu'elle touche l'appât liquide et (B) piège placé au champ en 2021.



Annexe 5 : Dispositif pour relâcher les pupes au champ et favoriser l'émergence des DAT stériles en 2019 (a) et 2021 (b).



Annexe 6 : Photo du tube utilisé pour l'envol des DAT.

