

**LÂCHERS À GRANDE ÉCHELLE DE TRICHOGRAMMES POUR LUTTER  
BIOLOGIQUEMENT CONTRE LA TORDEUSE DES CANNEBERGES**

**CETAQ-1-17-1871**

DURÉE DU PROJET : AVRIL 2018 / FÉVRIER 2022

**RAPPORT FINAL**

Réalisé par :  
Didier Labarre, APCQ  
François Gervais, CETAQ  
Daniel Cormier, IRDA  
Éric Lucas, UQAM

1<sup>er</sup> mars 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 À GRANDE ÉCHELLE DE TRICHOGRAMMES POUR LUTTER BIOLOGIQUEMENT CONTRE LA TORDEUSE DES CANNEBERGES

## CETAQ-1-17-1871

### RÉSUMÉ

La tordeuse des canneberges, *Rhopobota naevana* (Hübner) (Lepidoptera: Tortricidae) est un ravageur majeur de la culture de la canneberge. Les dommages occasionnés par cette espèce peuvent engendrer une perte de rendement atteignant jusqu'à 95% de la récolte annuelle, en plus d'entraîner des répercussions sur la productivité des années subséquentes. La lutte contre ce ravageur sous gestion biologique est limitée aux deux seuls bio-insecticides homologués au Canada. En réponse à cette problématique, un projet réalisé en 2016-2017 a identifié le parasitoïde indigène *Trichogramma minutum* Riley (Hymenoptera : Trichogrammatidae) comme un agent de lutte biologique prometteur pour lutter contre la tordeuse des canneberges. Le présent projet avait donc comme objectif de développer une méthode de lâchers inondatifs, mécanisée et applicable à grande échelle pour effectuer des lâchers de trichogrammes pour lutter contre la tordeuse des canneberges. Deux méthodes, soit la pulvérisation en solution aqueuse et l'épandage dans un substrat de perlite humide, furent développées, optimisées et mises à l'essai en cannebergière biologique. Les résultats suggèrent que la pulvérisation en solution aqueuse n'entraîne qu'une faible diminution de l'émergence des parasitoïdes ( $\approx 10\%$ ) alors que pour l'épandage dans de la perlite humide la diminution d'émergence est plus considérable ( $\approx 25-45\%$ ). Cependant, les trichogrammes pulvérisés se retrouvent sur le feuillage alors que ceux épandus au sol, sous la canopée. Cette dernière offre vraisemblablement une protection aux parasitoïdes, puisqu'à partir d'une incubation de 48h en champ, l'émergence des individus sur le feuillage connaît une diminution significative. Les lâchers inondatifs en champs ont permis d'augmenter significativement le taux de parasitisme des œufs de tordeuse des canneberges et les résultats suggèrent que des lâchers pendant la période de ponte des œufs de 2<sup>e</sup> génération du ravageur entraîne de plus hauts taux de parasitisme. Cependant, parmi les deux taux d'application mis à l'essai, aucune différence significative n'a été notée tant au niveau du parasitisme des œufs de la tordeuse des canneberges. Pour optimiser l'efficacité de la méthode, il serait judicieux de diminuer la variabilité au niveau de la période d'émergence et synchroniser celle-ci pour avoir lieu moins de 48h suivant l'application. Se faisant, la pulvérisation en solution aqueuse s'avèrerait une méthode d'application plus prometteuse, mais des progrès technologiques au niveau de l'appareil de pulvérisation seraient souhaitables afin de le rendre plus convivial à l'utilisation; ce qui permettrait de favoriser l'adoption de la méthode.

## OBJECTIFS

### Objectif général

Développer (A), optimiser (B) et évaluer l'efficacité (C) de méthodes de lâchers inondatifs et mécanisés de trichogrammes pour lutter la tordeuse des canneberges.

### Objectifs spécifiques

#### A) Phase de développement

- Développer des systèmes de pulvérisation en solution aqueuse et épandage dans un substrat de perlite humide permettant l'application des trichogrammes ;

#### B) Phase d'optimisation

- Identifier le type de buse et pression permettant la pulvérisation des trichogrammes en affectant le moins possible leur taux d'émergence ;
- Décomposer les étapes d'application du système d'épandage afin d'évaluer l'effet de chacune d'elles sur le taux d'émergence des trichogrammes et, si possible, apporter des modifications aux étapes entraînant une diminution de l'émergence.

#### C) Phase d'évaluation

- Évaluer la performance en termes d'émergence des trichogrammes pour les deux systèmes développés au moment des lâchers inondatifs ;
- Évaluer l'effet du temps d'incubation en champs (période entre l'application et l'émergence prévue des trichogrammes) sur le taux d'émergence selon la méthode d'application ;
- Évaluer le taux de parasitisme sur des œufs sentinelles d'*Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera : Pyralidae) à la suite de lâchers inondatifs de trichogrammes en cannebergière ;
- Évaluer le taux de parasitisme sur les œufs de la tordeuse des canneberges à la suite de lâchers inondatifs de trichogrammes ;
- Évaluer les taux de dommages et rendements en fin de saison de la tordeuse des canneberges à la suite de lâchers inondatifs de trichogrammes.

## MÉTHODOLOGIE

Pour tous les essais réalisés dans le cadre de ce projet, les trichogrammes étaient élevés sur l'hôte factice *E. kuehniella* et c'est parasitant les œufs de cette espèce qu'ils étaient appliqués. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R version 4.1.1 (R Core Team, 2021) et les résultats furent considérés significatifs à un seuil  $\alpha = 0,05$ . Les représentations graphiques ont été générées grâce à la bibliothèque *ggplot2* (Wickham, 2016).

#### A) Phase de développement

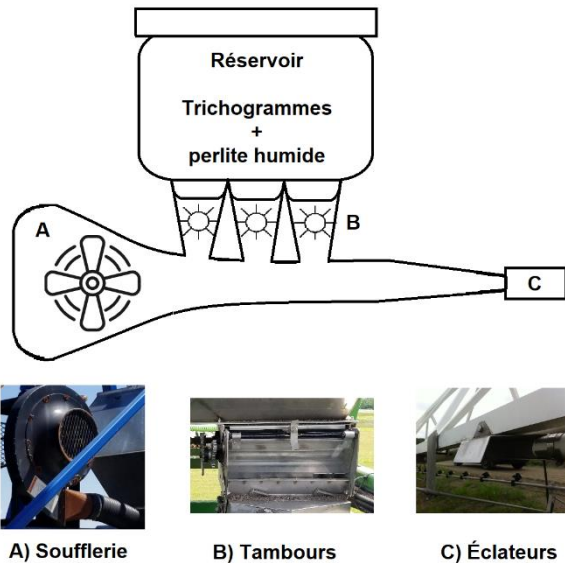
Les deux systèmes imaginés dans le cadre du projet se sont inspirés à la fois de projets antérieurs portant sur les lâchers mécanisés d'agent de lutte biologique ainsi que des équipements que possèdent déjà les producteurs de canneberges du Québec. Les critères recherchés lors du développement étaient que la méthode soit peu dispendieuse, facile à mettre en place, compatible avec les pratiques culturales actuelles et demandant un minimum de compétences supplémentaires de la part des producteurs, le tout visant de favoriser l'adoption. Ces critères ont donc mené au développement d'un système de pulvérisation en solution aqueuse par injection directe et un système d'épandage dans un substrat de perlite humidifiée présentés en Annexe 1 pour le reste du projet.

#### B) Phase d'optimisation

Dans un premier temps, des essais visant à identifier le type de buse et la pression maximale de pulvérisation furent réalisés. Pour se faire, un pulvérisateur à air comprimé muni de 4 buses fut utilisé afin d'exclure l'effet potentiel d'une pompe sur l'émergence des trichogrammes. Deux types de buses, soit les TeeJet® XRC110-04 et XRC110-06 (TeeJet® Technologies, Glendale Heights, Illinois, États-Unis) et trois pressions, soit 15, 30 et 45psi ont été mises à l'essai. Étant l'espèce identifiée comme étant la plus prometteuse pour lutter contre la tordeuse des canneberges (Labarre et al., 2018), *T. minutum* fut utilisée pour tous les essais. Pour chacun des couples de pression et type de buse quatre répétitions comprenant chacune 4 sous échantillons (1 par buse) ont été réalisés alors 10 témoins ont été réalisés. Les témoins étaient divisés en deux groupes, soit les témoins positifs (œufs d'*E. kuehniella* parasités et mis en solution pendant 2 min, sans être pulvérisés) et les témoins négatifs (œufs d'*E. kuehniella* parasités tels que reçus du fournisseur). Lors des essais, les œufs parasités étaient pulvérisés sur des papiers filtres récupérés ont été placés dans une boîte de Petri ventilée disposée en chambre de croissance à 24°C, 16L: 8O, 70% R.H jusqu'à leur émergence. Le nombre d'individus ayant émergé et non émergé fut par la suite noté. Les données furent analysées à l'aide d'un modèle généralisé logistique à effets mixtes utilisant la fonction *glmer* de la bibliothèque *lme4* (Bates et al., 2014). Une matrice comprenant le nombre d'individus ayant émergés (œufs désoperculés) et n'ayant pas émergé (œufs non désoperculés) fut utilisée en tant que variable indépendante alors que la pression et le type de buse en tant que variables dépendantes à effets fixes et la répétition du test en tant que variable indépendante à effet aléatoire. Le modèle fut épuré par éliminations régressives (*backwards eliminations*) et des

comparaisons multiples de Tukey entre groupes ont été réalisées à l'aide de la fonction *glht* de la bibliothèque *multcomp* (Hothorn et al., 2008).

Au niveau du système d'épandage, ce dernier a été segmenté en trois composantes principales par lesquels le substrat doit passer pour se voir appliqué. Ces derniers sont : le tambour, la soufflerie et l'éclateur (Fig. 1).



**Figure 1.** Schéma de fonctionnement du système d'épandage et étapes décomposées pour les essais

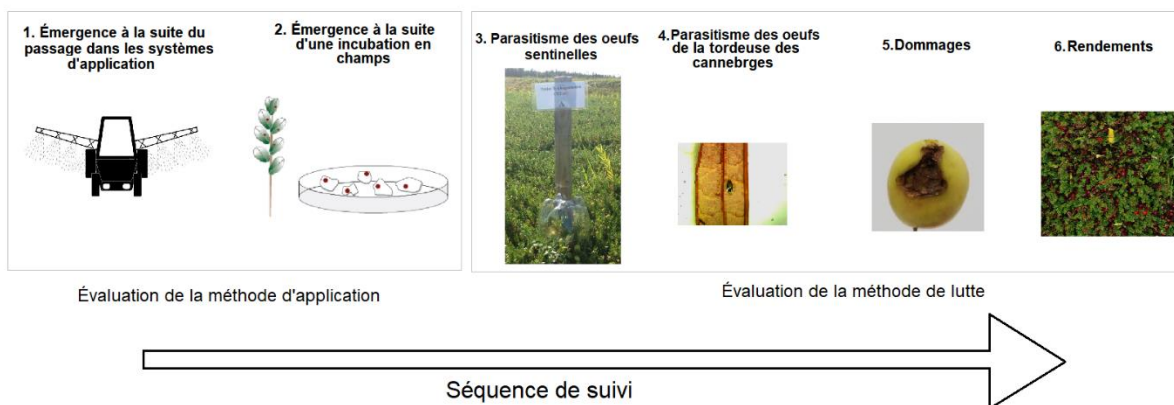
Ainsi, des œufs parasités mélangés avec de la perlite humidifiée ont 1) été déposés dans le réservoir afin de permettre un passage par le tambour, mais récupéré avant leur entrée dans le système de soufflerie, 2) été introduits dans le système de soufflerie sans éclateurs et sans passer par le tambour, 3) été introduits dans le système de soufflerie sans passer par les tambours, mais cette fois en entrant en contact avec l'éclateur et 4) passés l'entièreté du système. Chacun de ces traitements a été répété à trois reprises et

trois échantillons n'ayant passé nulle part dans le système ont été récupérés afin de servir de témoins. Les échantillons récupérés ont été placés dans une boîte de Petri ventilée disposés en chambre de croissance à 24°C, 16L: 8O, 70% R.H jusqu'à leur émergence. Le nombre d'individus ayant émergé et non émergé fut par la suite noté. Les taux d'émergence ont été comparés entre les différentes étapes du système d'épandage à l'aide d'un modèle linéaire généralisé logistique et de la fonction *glm* de la bibliothèque *Stats* (R Core Team, 2021). Une matrice composée du nombre de parasitoïdes ayant émergé et n'ayant pas émergé a été utilisée en tant que variable indépendante alors que le traitement en tant que variable dépendante. Des comparaisons multiples de Tukey entre groupes ont été réalisées à l'aide de la fonction *glht* de la bibliothèque *multcomp* (Hothorn et al., 2008).

### C) Phase d'évaluation

En fonction des résultats des essais de la phase d'optimisation, les modifications possibles permettant d'augmenter le taux d'émergence des trichogrammes furent apportées aux deux systèmes. Ceux-ci furent utilisés pour les lâchers inondatifs réalisés en 2019, 2020 et 2021.

Afin de faire l'évaluation de la méthode proposée, des échantillonnages ciblés ont été réalisés pour évaluer l'efficacité de la méthode d'application et de la méthode de lutte. Ces essais sont présentés selon la séquence de suivi et schématisés dans la figure 2.



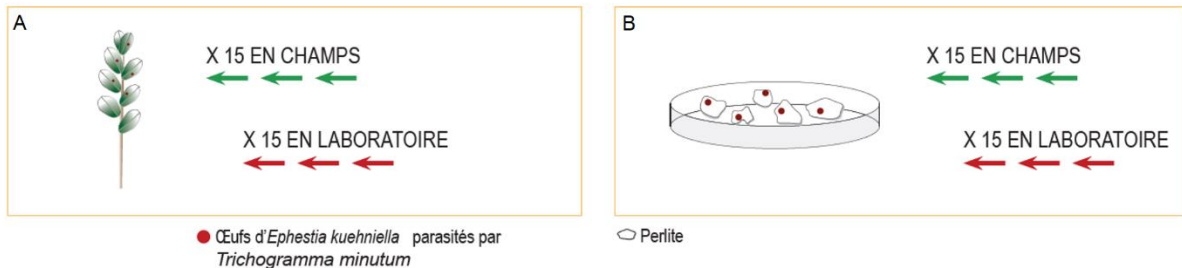
**Figure 2.** Schéma des essais réalisés ciblant l'évaluation de la méthode d'application et de lutte selon la séquence de suivi réalisé dans le cadre du projet.

### *Évaluation des systèmes d'application*

Tout au long du projet, la performance globale des systèmes fut évaluée en récupérant des échantillons au moment des différents lâchers réalisés. Lors de chacun (trois lâchers par année) deux échantillons par parcelle (trois parcelles par traitement, cinq traitements par année) furent récoltés en plaçant un plateau de 65 x 45 cm sur la canopée. Les œufs parasités s'étant déposés sur ce plateau furent récupérés ont été placés dans une boîte de Petri ventilée disposée en chambre de croissance à 24°C, 16L: 8O, 70% R.H jusqu'à leur émergence. Le nombre d'individus ayant émergé et non émergé fut par la suite noté. Les données furent analysées à l'aide d'un modèle généralisé logistique à effets mixtes utilisant la fonction *glmer* de la bibliothèque *lme4* (Bates et al., 2014). Une matrice comprenant le nombre d'individus ayant émergés et n'ayant pas émergé fut utilisée en tant que variable indépendante alors que le système (pulvérisation, épandage ou témoin) en tant que variable dépendante à effet fixe et le lot duquel les trichogrammes provenaient en tant que variable dépendante à effet aléatoire. Des comparaisons multiples de Tukey entre groupes ont été réalisées à l'aide de la fonction *glht* de la bibliothèque *multcomp* (Hothorn et al., 2008).

Alors que l'échantillonnage précédent visait l'évaluation de l'effet du système sur l'émergence des trichogrammes, des essais supplémentaires ont été réalisés afin d'évaluer l'effet d'une incubation en champs sur leur émergence. En effet, puisque les individus doivent être appliqués à leur stade nymphal alors qu'ils parasitent des œufs, ces derniers doivent compléter leur développement en champs avant d'émerger. Cependant, différents facteurs tels que la

chaleur, rayonnement solaire, rayons UV, prédateurs et pathogènes peuvent entraîner une diminution de l'émergence des parasitoïdes pendant cette période. Afin d'évaluer ce paramètre, des œufs d'*E. kuehniella* parasités par *T. minutum* ont été collés manuellement sur des feuilles de canneberges et de la perlite (Fig. 3).



**Figure 3.** Dispositif expérimental des œufs d'*Ephestia kuehniella* parasités par *Trichogramma minutum* sur des tiges de canneberges (A) et sur de la perlite (B) soumis à une incubation temporaire en champs ou chambre de croissance.

Tel qu'indiqué dans la figure, le même dispositif a été mis en place en champs et en chambre de croissance (laboratoire) à 24°C, 16L :8O, 70% R.H, le dispositif mis en place en chambre de croissance étant utilisé en tant que témoin. Les trichogrammes étaient synchronisés pour émerger dans les 24 à 48 h suivant le début de l'expérience, mais celle-ci a été suivie à toutes les 24 h pendant 72 h. À chacune des périodes d'observation, le nombre d'individus ayant émergé et non émergé fut noté. Les œufs collés sur le feuillage simulaient une application à l'aide du système de pulvérisation et ceux sur la perlite simulaient une application avec le système d'épandage. Les taux d'émergences aux différentes périodes d'observation et totaux ont été comparés pour chacun des supports (feuilles ou perlite) entre les traitements, champs et chambre de croissance. Pour ce faire, des modèles linéaires généralisés binomiaux à effets mixtes ont été réalisés à l'aide de la fonction *glmer* de la bibliothèque lme4 (Bates et al., 2014). L'émergence des trichogrammes a été utilisée en tant que variable indépendante binaire alors que le lieu d'incubation (champs ou chambre de croissance) a été utilisé en tant que variable dépendante à effet fixe et l'identité de la tige ou de la boîte de Petri en tant que variable dépendante à effet aléatoire.

### *Évaluation de la méthode de lutte*

Les lâchers inondatifs ont été réalisés en cannebergère commerciale biologique située à Notre-Dame-de-Lourdes au Centre-du-Québec, et ce à l'aide des méthodes développées dans le cadre du projet. Un résumé des applications est présenté dans le tableau 1.

**Tableau 1.** Récapitulatif des lâchers de trichogrammes réalisés dans le cadre du projet selon la génération de la tordeuse des canneberges ciblée, système, taux et espèce de trichogrammes lâchée.

Année	Génération (tordeuse des canneberges)	Systèmes	Taux d'application (individus/ha)	Espèce de trichogrammes
2019	1	Pulvérisation	9 000 000	<i>Trichogramma minutum</i>
		Épandage	1 250 000	
2020	2	Pulvérisation	9 000 000	<i>Trichogramma pretiosum</i>
		Épandage	1 250 000	
2021	1	Pulvérisation	9 000 000	<i>Trichogramma minutum</i>
			1 250 000	<i>Trichogramma pretiosum</i>

Le projet initial visait des applications en 2019 et 2020 synchronisés avec la ponte de la première génération de la tordeuse des canneberges. Cependant, les essais 2020 ont dû être modifiés en raison des perturbations des services de livraison causés par la pandémie et une contamination des élevages. Ainsi, les applications de cette année ont été faites à l'aide de *T. pretiosum* Riley et pendant la période de ponte des œufs de la deuxième génération de la tordeuse des canneberges. Afin de départager l'effet de la génération de celui de l'espèce, les essais 2021 ont été réalisés seulement à l'aide du système de pulvérisation, mais des parcelles ont été dédiées à une application de *T. minutum* alors que d'autres de *T. pretiosum*.

Pour chacune des années du projet, 15 parcelles (2019-2020 : 2 systèmes x 2 taux d'application x 1 espèce x 3 répétitions + 3 parcelles témoins; 2021 : 1 système x 2 taux d'application x 2 espèces x 3 répétitions + 3 témoins) de 0,40ha (1 acre) ont été mises en place selon un dispositif expérimental complètement aléatoire avec une zone tampon d'un minimum de 100m séparant celles-ci. Un piège à phéromone de type *diamond* équipé d'une capsule à phéromone synthétique BHF (TRECE Inc.) a été installé au centre de chacune des parcelles. Les capsules à phéromone ont été remplacées toutes les 3 semaines et un décompte hebdomadaire du nombre de mâles capturés fut réalisé afin d'évaluer la période de ponte. Trois applications par année ont été réalisées, soit une semaine précédant, la semaine même du pic et la semaine suivant le pic de vol de la tordeuse des canneberges. Les applications étaient synchronisées pour subvenir au moins 48h après tout traitement insecticide et pour éviter des précipitations dans les 48h suivant le lâcher. De plus, aucun évènement d'irrigation n'a eu lieu pendant cette même période.



Pendant les trois semaines de lâchers, une masse d'environ 1000 œufs sentinelles d'*E. kuehniella* a été placée dans chacune des parcelles. Les masses d'œufs étaient récupérées et remplacées par des masses d'œufs frais deux fois par semaine. Les masses d'œufs sentinelles récupérées ont été mises en chambre de croissance à 24°C, 16L :8O, 70% R.H.. Après un minimum de 10 jours d'incubation, le parasitisme sur celles-ci fut évalué et toutes les masses d'œufs présentant au moins un œuf parasité (noircis) furent classées comme étant « parasité » et celles n'en ayant aucun comme « non parasité ». Ce facteur fut codifié en tant que variable binaire et intégré dans un modèle généralisé à effet mixte à l'aide de la fonction *glmer* de la bibliothèque lme4 (Bates et al., 2014). L'espèce de trichogrammes appliquée, la méthode et le taux d'application furent utilisés en tant que variables dépendantes à effet fixe et la date de récolte des masses d'œufs en tant que variable dépendante à effet aléatoire. Le modèle fut épuré par éliminations régressives (backwards) et des comparaisons multiples de Tukey entre groupes ont été réalisées à l'aide de la fonction *glht* de la bibliothèque *multcomp* (Hothorn et al., 2008).

Environ 1 semaine suivant le dernier lâcher, un échantillonnage des œufs de la tordeuse des canneberges a été réalisé au sein de chacune des parcelles. Pour se faire, un échantillonnage systématique composé de quatre transects de 10 arrêts d'observation équidistants a été réalisé. Chacun des arrêts était d'une durée de 5 minutes, pendant lesquelles l'observateur scrutait l'envers du feuillage des plants situés dans un rayon de 1 m, tel que décrit dans Labarre and Piché-Luneau (2020). Tous les œufs de la tordeuse des canneberges ont été récupérés et rapportés en laboratoire afin d'évaluer le parasitisme. Les taux de parasitisme ont été analysés à l'aide d'un modèle linéaire généralisé logistique à effet mixte et de la fonction *glmer* de la bibliothèque lme4 (Bates et al., 2014). Une matrice composée du nombre d'œufs sains et parasités fut utilisée en tant que variable indépendante alors que la méthode et taux d'application ainsi que l'année d'étude, l'espèce appliquée et la génération de la tordeuse des canneberges ciblée par les lâcher furent utilisées en tant que variables dépendantes à effet fixe et l'identité de la parcelle en tant que variable dépendante à effet aléatoire. Le modèle fut épuré à l'aide d'éliminations régressives (backwards). Des comparaisons multiples de Tukey entre groupes ont été réalisées à l'aide de la fonction *glht* de la bibliothèque *multcomp* (Hothorn et al., 2008).

À la fin de la saison en 2019 et 2021, tous les fruits présents au sein de 10 quadras de 929 cm<sup>2</sup> (1pi<sup>2</sup>) ont été récoltés dans chacune des parcelles. Les fruits ont été examinés en laboratoire afin d'évaluer le nombre de fruits endommagés par la tordeuse des canneberges

suivant le guide développé par le Club environnemental et technique atocas Québec (CETAQ) à cet effet (Gervais, 2020). Le nombre de fruits commercialisable a également été pesé et la masse a été extrapolée en livres par acre (lbs/acre) afin d'estimer les rendements. Cet échantillonnage n'a pas été réalisé en 2020 étant donné que les lâchers ont été réalisés sur les œufs de 2<sup>e</sup> génération de la tordeuse des canneberges et que ceux-ci sont diapausants; il aurait donc été impossible d'observer un effet des lâchers de trichogrammes sur ces paramètres. Les dommages ont été analysés à l'aide d'un modèle linéaire généralisé négatif binomial à effets mixtes avec excès de zéros (*zero-inflated generalized linear mixed model*) à l'aide de la fonction *glmmTMB* de la bibliothèque du même nom (Brooks et al., 2017). Le nombre de fruits endommagés par la tordeuse des canneberges a été utilisé en tant que variable indépendante alors que l'année, l'espèce de trichogrammes, la méthode et le taux d'application en tant que variables dépendantes à effets fixes et la parcelle en tant que variable à effet aléatoire. Le modèle a été épuré grâce à des éliminations régressives. Les rendements ont quant à eux été analysés à l'aide d'un modèle linéaire généralisé de Poisson avec la fonction *glmer* de la bibliothèque *lme4* (Bates et al., 2014). Les rendements ont été utilisés en tant que variable indépendante alors que les variables dépendantes et la méthode d'épuration du modèle furent les mêmes que pour les dommages.

## RÉSULTATS

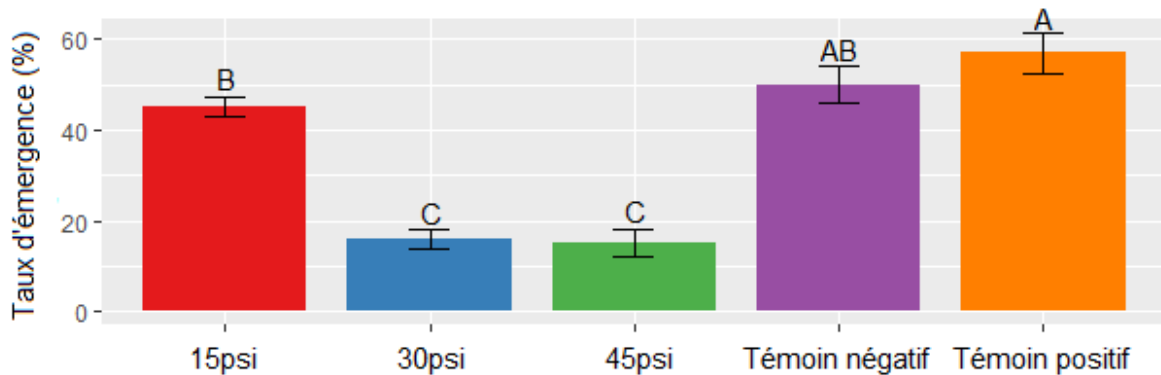
### A) Phase de développement

Le système de pulvérisation en solution aqueuse s'inspire des travaux de Dionne (2019) et Gauthier (2016) au niveau du type de pompe, solution de pulvérisation ainsi qu'au niveau des buses et pressions à mettre à l'essai. Cependant, le système développé par ce dernier offrait un débit trop faible, ne permettant pas son utilisation sur une rampe de pulvérisation commerciale. Un prototype de système d'injection directe propulsé par une pompe à diaphragme fut donc développé afin de mélanger la solution de pulvérisation contenant les trichogrammes avec de l'eau claire propulsée par la pompe centrifuge du pulvérisateur et ainsi obtenir un débit suffisant pour alimenter tout le système. Par ailleurs, Gauthier (2016) suggérait une solution de pulvérisation composée de 2g/L de gomme de xanthane et 2g/L de gomme de guar. Or, des essais préliminaires ont montré qu'à ces concentrations, la dilution des gommes était particulièrement difficile, voire impossible complètement dans une eau froide telle que celle utilisée pour la préparation de bouillies par les producteurs. Ainsi, les concentrations de deux gommes furent réduites à 1g/L chacune, affectant minimalement les propriétés physico-chimiques de la solution. Néanmoins, la dilution demeurait difficile. Quant au système d'épandage dans de la perlite humide, l'épandeur à engrais granulaire standard utilisé en

cannebergière fut simplement utilisé. Des schémas et photos de ces systèmes sont présentés en annexe 1. Pour les deux systèmes, des essais préliminaires ont été réalisés afin d'obtenir des ratios de trichogrammes et substrats acceptables pour l'application des taux de parasitoïdes ciblés.

#### B) Phase d'optimisation

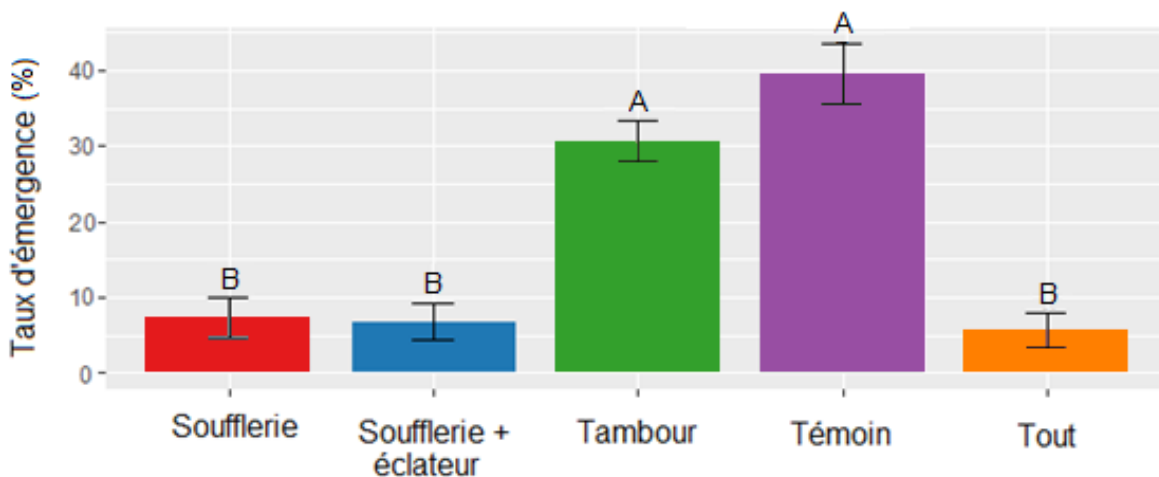
La régression logistique a révélé que le type de buse, parmi celles testées dans le projet, n'avait aucun effet significatif sur l'émergence de *T. minutum* ( $z = -1.371$ ;  $P = 0.170$ ). Cependant, des différences significatives entre certains niveaux de pression. L'émergence des trichogrammes aux pressions 30 psi ( $\mu = 15,96$ ;  $\sigma = 12,08$ ) et 45psi ( $\mu = 15,20$ ;  $\sigma = 17,60$ ) étaient significativement plus faibles qu'à la pression 15 psi ( $\mu = 45,04$ ;  $\sigma = 12,69$ ;  $z = -10,950$   $P < 0,05$  et  $z = -11,125$   $P < 0,05$ , respectivement), que le témoin négatif ( $\mu = 50,00$ ;  $\sigma = 13,33$ ;  $z = -9,334$ ;  $P < 0,05$  et  $z = -9,508$ ;  $P < 0,05$ , respectivement) et que le témoin positif ( $\mu = 57,00$ ;  $\sigma = 13,98$ ;  $z = -10,850$ ;  $P < 0,05$  et  $z = -11,011$ ;  $P < 0,05$ , respectivement). L'émergence des trichogrammes pulvérisés à une pression de 15psi n'était toutefois pas significativement différente que le témoin négatif ( $z = -1,195$ ;  $P = 0,749$ ), mais significativement plus bas que le témoin positif ( $z = -2,911$  ;  $P < 0,05$ ). L'émergence entre les deux témoins n'était pas significativement différente ( $z = 1,402$ ;  $P = 0,620$ ), tout comme l'émergence entre les pressions 30 et 45psi ( $z = 0,289$ ;  $P = 0,998$ ; Fig. 4).



**Figure 4.** Taux d'émergence de *Trichogramma minutum* Riley pulvérisés en solution aqueuse à différentes pressions à l'aide d'un pulvérisateur à air comprimé. Le témoin négatif représente l'émergence des œufs tels que reçu du fournisseur alors que le témoin positif des œufs plongés en solution sans être pulvérisés. Les barres d'erreurs représentent les erreurs types et les lettres différentes représentent des différences significatives à  $P < 0,05$ .

Les analyses décomposant les différentes étapes du système d'épandage ont révélé des différences significatives au niveau des taux d'émergence des œufs parasités selon l'étape à laquelle ils ont été soumis. En effet, les taux d'émergence des trichogrammes étaient significativement plus élevés pour les échantillons témoins ( $\mu = 0,396$ ;  $\sigma = 0,067$ ) par rapport

à ceux ayant passés uniquement par le système de soufflerie ( $\mu = 0,073$ ;  $\sigma = 0,047$ ;  $z = 5,993$  ;  $P < 0,05$ ), ceux ayant passés par le système de soufflerie et l'éclateur ( $\mu = 0,067$ ;  $\sigma = 0,042$ ;  $z = 5,985$  ;  $P < 0,05$ ) ainsi que ceux ayant passés par le système en entier ( $\mu = 0,057$ ;  $\sigma = 0,040$ ;  $z = 5,918$  ;  $P < 0,05$ ). De manière similaire, les taux d'émergence des trichogrammes étaient significativement plus élevés pour les échantillons ayant passés uniquement par le tambour par rapport à ceux ayant passés uniquement par le système de soufflerie ( $z = 4,824$  ;  $P < 0,05$ ), ceux ayant passés par le système de soufflerie et l'éclateur ( $z = 4,859$  ;  $P < 0,05$ ) ainsi que ceux ayant passés par le système en entier ( $z = 4,890$  ;  $P < 0,05$ ). Cependant, aucune différence significative au niveau des taux d'émergence n'a été notée entre les œufs parasités ayant passé dans le système de soufflerie seul et ceux ayant passé dans le système de soufflerie et les éclateurs ( $z = -0,163$  ;  $P = 1,000$ ) ni avec ceux ayant passé dans tout le système ( $z = -0,510$  ;  $P = 0,986$ ). De plus, aucune différence significative au niveau des taux d'émergence n'a été notée entre les œufs parasités ayant passé dans le système de soufflerie et les éclateurs et ceux ayant passé dans tout le système ( $z = -0,349$  ;  $P = 0,997$ ). Enfin, aucune différence n'a été notée au niveau du taux d'émergence entre les individus ayant passé par les tambours et les témoins ( $z = 1,600$  ;  $P = 0,497$ ; Fig.5).



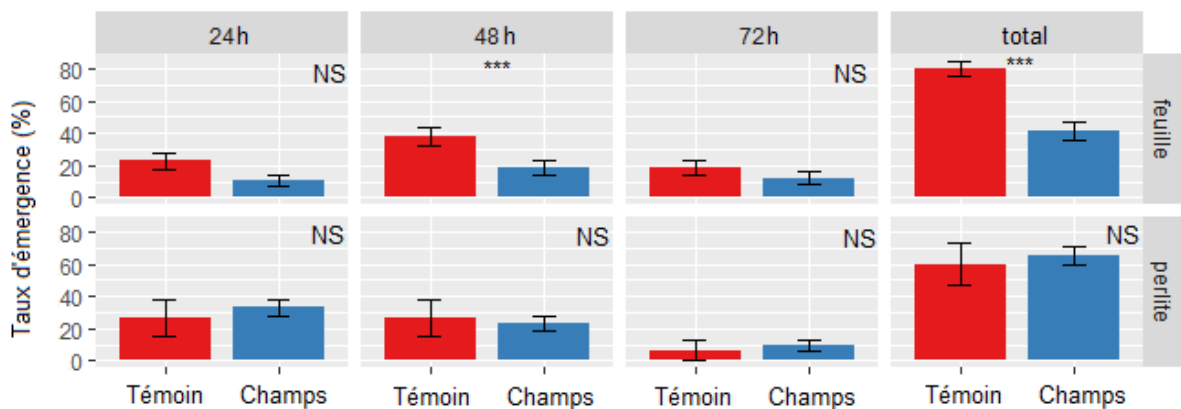
**Figure 5.** Taux d'émergence de *Trichogramma pretiosum* Riley à la suite du passage d'œufs d'*Ephesttia khueniella* Zeller parasités par cette espèce au sein des différentes étapes composant le système d'épandage à l'étude. Les barres d'erreur représentent les erreurs types et les lettres différentes représentent des différences significatives.

L'émergence des trichogrammes ayant été collés sur des feuilles afin de simuler une pulvérisation s'est avérée être significativement plus faible en champs qu'en chambre de croissance pour la période 48h après l'introduction ( $z = 2,511$ ;  $P < 0,05$ ) et pour l'émergence totale (somme des 3 périodes) du test ( $z = 4,549$ ;  $P < 0,05$ ). Toutefois, aucune différence d'émergence entre les lieux d'incubation n'a été notée pour les périodes 24h après l'introduction ( $z = 1,949$ ;  $P = 0,051$ ) et 72h après l'introduction ( $z = 1,127$ ;  $P = 0,260$ ; Tableau

2; Fig. 6). Au niveau de trichogrammes collés sur de la perlite afin de simuler un épandage, aucune différence d'émergence des trichogrammes n'a été notée entre ceux incubés en champs et en chambre de croissance, et ce pour toutes les périodes ( $z = 0.118$ ;  $P = 906$ ; Tableau 2; Fig. 6).

**Tableau 2.** Taux d'émergence de *Trichogramma minutum* et écart type en fonction du support sur lequel les œufs parasités ont été collés, le lieu d'incubation et le temps suivant l'introduction sur le support.

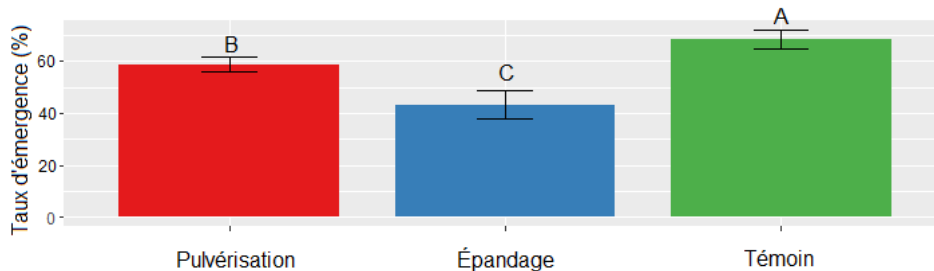
Support	Lieu d'incubation	Temps suivant l'introduction	Taux d'émergence	Écart-type
Feuille	Chambre de croissance (témoin)	24	0,229	0,424
		48	0,378	0,488
		72	0,189	0,394
		<b>Total</b>	<b>0,796</b>	<b>0,435</b>
	Champ	24	0,108	0,313
		48	0,189	0,394
		72	0,122	0,329
		<b>Total</b>	<b>0,419</b>	<b>0,345</b>
Perlite	Chambre de croissance (témoin)	24	0,267	0,458
		48	0,267	0,458
		72	0,066	0,258
		<b>Total</b>	<b>0,600</b>	<b>0,391</b>
	Champ	24	0,329	0,473
		48	0,233	0,258
		72	0,096	0,296
		<b>Total</b>	<b>0,658</b>	<b>0,342</b>



**Figure 6.** Taux d'émergence de *Trichogramma minutum* Riley à 24, 48 et 72h suivant leur introduction en champs et en chambre de croissance (témoin) pour des œufs parasités collés sur des feuilles (simulation de pulvérisation) et ceux collés sur de la perlite (simulation d'épandage). Les barres d'erreur indiquent les erreurs types. \*\*\*  $P < 0,001$

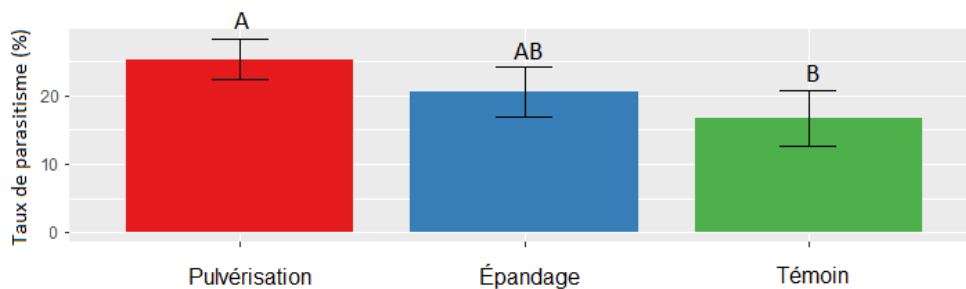
### C) Phase d'évaluation

Le taux d'émergence des trichogrammes appliqués par pulvérisation ( $\mu = 58,81$ ;  $\sigma = 28,45$ ) et par épandage ( $\mu = 43,21$ ;  $\sigma = 36,35$ ) à l'aide des systèmes développés dans le cadre du projet est significativement plus faible que celui des témoins ( $\mu = 68,42$ ;  $\sigma = 22,41$ ;  $z = -4,580$ ;  $P < 0,05$  et  $z = -6,720$ ;  $P < 0,05$ , respectivement). Le taux d'émergence des trichogrammes appliqués par épandage est également plus faible que celui des trichogrammes appliqués par pulvérisation ( $z = -4,264$ ;  $P < 0,05$ ; Fig. 7). Globalement, la pulvérisation semble entraîner une diminution de l'émergence des trichogrammes d'environ 10% alors que l'épandage 25%.



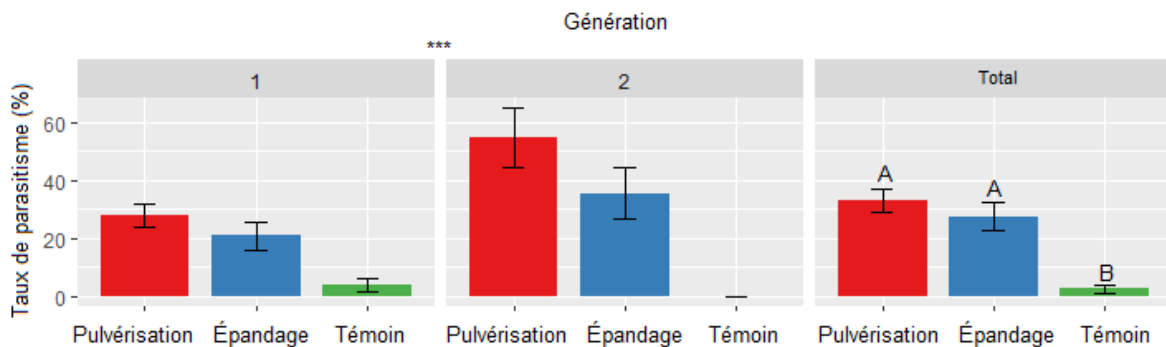
**Figure 7.** Taux d'émergence de *Trichogramma minutum* Riley et *T. pretiosum* Riley appliqués à l'aide des systèmes de pulvérisation en solution aqueuse et d'épandage dans un substrat de perlite humide. Les barres d'erreur indiquent les erreurs types et les lettres différentes des différences significatives à  $P < 0,05$ .

L'espèce de trichogrammes appliquée ( $z = -0,161$ ;  $P = 0,872$ ) et le taux d'application ( $z = -0,739$ ;  $P = 0,460$ ) n'affectent pas significativement le parasitisme des œufs sentinelles d'*E. kuehniella* appliqués en champs. L'occurrence de parasitisme était néanmoins significativement plus élevée au sein des parcelles où les trichogrammes ont été appliqués ( $\mu = 0,25$ ;  $\sigma = 0,44$ ) par rapport aux parcelles témoins ( $\mu = 0,17$ ;  $\sigma = 0,38$ ;  $z = -1,991$ ;  $P < 0,05$ ). Cependant, le parasitisme sur les œufs sentinelles n'était pas significativement différent dans les parcelles où l'application a été faite par épandage ( $\mu = 0,21$ ;  $\sigma = 0,41$ ) par rapport aux parcelles témoins ( $z = -0,344$ ;  $P = 0,731$ ) ni par rapport aux parcelles où l'application a été faite par pulvérisation ( $z = 1,863$ ;  $P = 0,624$ ; Fig. 8).



**Figure 8.** Taux de parasitisme sur des masses d'œufs sentinelles d'*Ephestia kuehniella* Zeller disposées en cannebergières au sein de parcelles où des trichogrammes ont été lâchés par pulvérisation en solution aqueuse et épandage dans un substrat de perlite humide. Les barres d'erreur indiquent les erreurs types et les lettres différentes des différences significatives à  $P < 0,05$ .

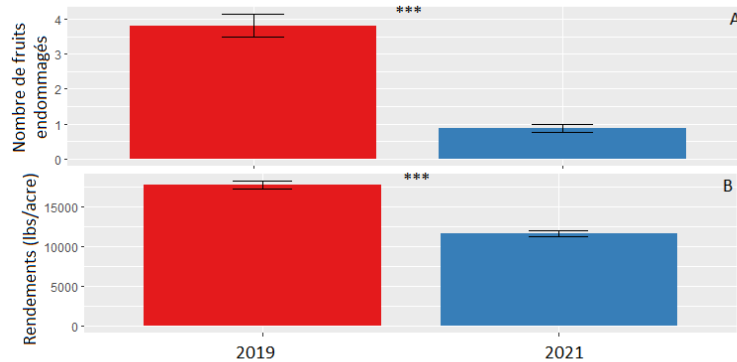
Aucun d'effet significatif du taux d'application ( $z = 0,470$ ;  $P = 0,639$ ), de l'espèce de trichogrammes ( $z = 1,015$ ;  $P = 0,310$ ) et de l'année d'étude ( $z = 1,895$ ;  $P = 0,058$ ) n'a été observé sur le taux de parasitisme des œufs de la tordeuse des canneberges. Cependant, le taux de parasitisme était significativement plus élevé pour lâchers ciblant les œufs de deuxième génération du ravageur ( $\mu = 34,85$ ;  $\sigma = 40,54$ ) que pour les lâchers ciblant la première génération ( $\mu = 21,28$ ;  $\sigma = 28,78$ ;  $z = 2,581$ ;  $P < 0,05$ ). De plus, le taux de parasitisme des œufs de la tordeuse des canneberges était significativement plus élevé au sein des parcelles où des trichogrammes ont été appliqués par pulvérisation ( $\mu = 33,24$ ;  $\sigma = 36,14$ ) et par épandage ( $\mu = 33,24$ ;  $\sigma = 36,14$ ) par rapport aux parcelles témoins ( $\mu = 2,63$ ;  $\sigma = 9,09$ ;  $z = 2,286$ ;  $P < 0,05$  et  $z = 2,720$ ;  $P < 0,05$ , respectivement). Cependant, aucune différence significative au niveau du taux de parasitisme des œufs de tordeuse des canneberges n'a été observée entre les deux méthodes d'application ( $z = 1,112$ ;  $P = 0,492$ ; Fig.9). Ainsi, le meilleur taux de parasitisme observé dans le cadre du projet était lors des applications effectuées par pulvérisation en seconde génération, où celui-ci était de 54, 59%.



**Figure 9.** Taux de parasitisme des œufs de la tordeuse des canneberges, *Rhopobota naevana* (Hübner) par génération au sein de parcelles où il y a eu des lâchers par pulvérisation en solution aqueuse et épandage dans un substrat de perlite humide. Les barres d'erreur indiquent les erreurs types et les lettres différentes des différences significatives à  $P < 0,05$ . \*\*\*  $P < 0,001$

Aucune différence significative n'a été observée au niveau du nombre de fruits endommagés par la tordeuse des canneberges en fin de saison en fonction de l'espèce de trichogrammes appliquée ( $z = 0,193$ ;  $P = 0,845$ ), de la méthode d'application ( $z = 0,799$ ;  $P = 0,424$ ) ni du taux d'application ( $z = 1,819$ ;  $P = 0,068$ ). Cependant, le nombre de fruits endommagés étaient significativement plus élevés en 2019 ( $\mu = 3,8$ ;  $\sigma = 4,04$ ) par rapport à 2021 ( $\mu = 0,87$ ;  $\sigma = 1,56$ ;  $z = 3,085$ ;  $P < 0,05$ ; Fig.10A).

Aucune différence significative n'a été observée au niveau des rendements en fonction de la méthode d'application ( $z = 0,125$ ;  $P = 0,900$ ) de l'espèce de trichogrammes appliquée ( $z = 0,366$ ;  $P = 0,714$ ), ni du taux d'application ( $z = 1,404$ ;  $P = 0,160$ ). Cependant, les rendements (lbs/acre) étaient significativement plus élevés en 2019 ( $\mu = 17\ 757,92$ ;  $\sigma = 5778,03$ ) par rapport à 2021 ( $\mu = 11\ 609,43$ ;  $\sigma = 4749,49$ ;  $z = -5,339$ ;  $P < 0,05$ ; Fig.10B).



**Figure 10.** Nombre de fruits moyen endommagés par la tordeuse des canneberges, *Rhopobota naevana* (Hübner) dans un quadrat de 1pi<sup>2</sup> (A) et rendement moyens (B) au sein des parcelles utilisées dans le cadre du projet en 2019 et 2021. Les barres d'erreur indiquent les erreurs types. \*\*\*  $P < 0,001$

## DISCUSSION

Le système de lâcher par épandage dans un substrat de perlite humidifiée utilisé dans le cadre du projet s'apparente fortement à plusieurs autres systèmes d'application d'agents de lutte biologique utilisés par le passé. Certains équipements étaient munis de doseurs à engrais ou pesticides granulaires (Ables et al., 1979; Kinzer, 1977; Reeves, 1975) projetés par des équipements rotatifs (Daane et al., 1993; Giles et al., 1995), d'autre part des systèmes de soufflerie (Opit et al., 2005), comme ce fut le cas dans ce projet. Des distributeurs fonctionnant avec ce système ont d'ailleurs été commercialisés dans le passé sous les noms AgAttack® (AgAttack inc., Visalia, Californie, États-Unis) et BugGun® (Koppert Biological Systems, Berkel en Rodenrijs, Pays-Bas). Au niveau, des systèmes de pulvérisation en solution aqueuse, plusieurs systèmes ont été développés et mis à l'essai. Ces derniers utilisaient soit un principe de gaz comprimé (Gardner & Giles, 1997; Giles & Wunderlich, 1998; Hussein, 1984; Kienzle et al., 2012; Mills et al., 1996; Nagarkatti et al., 2003; Shands et al., 1972) ou des pompes (Gantt et al., 1974, 1976; Gardner & Giles, 1997; Gauthier & Khelifi, 2016; Gauthier et al., 2019). Un appareil a d'ailleurs été commercialisé à cet effet sous le nom de BioSprayer™ (Smucker Manufacturing Inc., Harrisburg, OR 97446). Cependant, à notre connaissance, aucun système par injection directe n'avait été mis à l'essai.

Les essais portant sur les paramètres de pulvérisation ont révélé que le type de buse, parmi celles testées, n'affectait pas l'émergence des trichogrammes. Ces résultats concordent avec ceux de (Gauthier & Khelifi, 2016). D'autres essais ont montré que des buses TeeJet® XRC110-15 n'affectent pas non plus l'émergence des parasitoïdes (Kienzle et al., 2012). Ce qui caractérise le type de buse est la forme du jet et l'ouverture. Dans le cas des buses XRC, soit celles utilisées dans le cadre de ce projet et des autres études mentionnées, il s'agit d'un



jet simple et plat. Il en existe aujourd'hui une multitude d'autres types, mais ceux-ci devraient être testés pour la pulvérisation de trichogrammes avant d'en faire usage à cet effet. Au niveau de la taille, les 04 sont celles qui présentent la plus petite ouverture. Il est possible que réduire davantage la taille de l'ouverture affecte l'émergence à un certain point, mais nos essais ne permettent pas de statuer sur cette taille minimale à ne pas dépasser. Pour la culture de la canneberge, le type et taille mis à l'essai représente globalement un type d'équipement que les producteurs possèdent tous et ont l'habitude de travailler. Au niveau de la pression, nos essais ont montré une diminution significative de l'émergence à partir de 30psi, mais qu'une pulvérisation à 15psi n'affectait pas ce paramètre significativement (Fig. 4). À cette pression le taux d'émergence des trichogrammes était de 84,11% par rapport aux témoins. Ces résultats concordent avec ceux de Gauthier and Khelifi (2016) qui avaient obtenu des taux d'émergence de 85% pour cette même pression. D'autres études ont observé un effet jugé négligeable sur l'émergence des trichogrammes pour des pressions supérieures, soit environ 69% à près de 45 psi (Kienzle et al., 2012). Néanmoins, puisque l'effet à une pression de 15psi n'affecte pas significativement l'émergence des trichogrammes et que grâce au système d'injection directe, il est possible d'augmenter le volume de pulvérisation permettant d'alimenter une rampe commerciale, il serait avantageux de ne pas dépasser cette pression.

Dans le cadre des applications à grande échelle effectuée dans ce projet, la pression a dû être augmentée à environ 20-25psi. Cette petite augmentation fut justifiée par la présence d'un mécanisme dit « anti-goutte », mécanisme présent sur la plupart des pulvérisateurs commerciaux modernes. Ce système fait en sorte qu'en deçà d'une certaine pression, aucune bouillie n'est appliquée. Ce seuil est d'environ 15psi sur l'appareil utilisé, justifiant ainsi la hausse de pression apportée. Cette dernière explique probablement la diminution significative des trichogrammes observée avec le système de pulvérisation pendant les lâchers inondatifs en champs (Fig. 7). Cette diminution d'environ 10%, bien que significativement différente du témoin, est tout de même plus faible que celle observée dans les essais de la phase d'optimisation. Cette incohérence peut simplement s'expliquer par la taille d'échantillonnage. Dans la phase d'optimisation, 4 répétitions par couple de buse et pression étaient réalisées alors que dans la phase d'évaluation, ce sont des données sur 102 répétitions qui ont été cumulées pendant les trois années du projet. Cette petite diminution d'émergence peut toutefois être contrebalancée par le gain d'efficacité et rapidité effectué utilisant une application mécanisée plutôt que manuelle. Cependant, cette diminution est nettement plus importante au niveau de l'épandage, soit environ 25% (Fig.7). Cette différence peut s'expliquer par la force d'impact subi par les œufs parasités lors de leur propulsion dans le système de soufflerie. Bien

que certains systèmes d'application dans un substrat de vermiculite aient montré un effet négligeable sur l'émergence des trichogrammes (Gardner & Giles, 1997), la force d'impact était probablement plus petite. Dans le cas des rampes à épandages utilisés par les producteurs de canneberges, le substrat doit parcourir jusqu'à 25m dans le système de tuyauterie de l'appareil et pour ce faire, la vitesse de la soufflerie se doit être excessivement élevée, engendrant probablement une succession de collisions à haute vitesse tout au long de la tuyauterie de l'épandeur. Cette hypothèse est cohérente avec les essais portant sur l'émergence des trichogrammes à la suite du passage dans les différentes étapes du système. En effet, alors qu'aucun effet sur l'émergence des parasitoïdes n'est observable par le passage simple du tambour et que l'émergence avec ou sans éclateur n'est pas significativement différente (Fig. 5), il est possible de conclure que la diminution de l'émergence survient par le système de soufflerie et tuyauterie qui s'en suit. Cependant, bien qu'il aurait été possible d'apporter des modifications au niveau des tambours et éclateurs, le système de soufflerie est à la base même du système et n'a donc pu être optimisé pour la suite du projet.

Bien qu'au niveau de la performance des deux systèmes en termes d'effet sur l'émergence des trichogrammes, le système de pulvérisation soit jugé préférable, une diminution subséquente d'émergence survient lors de l'incubation en champs des œufs parasités appliqués avec cette méthode. En effet, à partir de 48h d'incubation en champ, sur le feuillage, une diminution significative de l'émergence des trichogrammes survient par rapport à des individus incubés en chambre de croissance (Fig. 6). Inversement, les œufs parasités sur de la perlite au sol, et donc sous la canopée de la canneberge, ne subissent aucune diminution de l'émergence par rapport aux témoins en chambre de croissance (Fig. 6). Étant dense et ayant une couverture de 100% du sol, la canopée offre probablement un effet protecteur. Des auteurs ont déjà observé une diminution du parasitisme de trichogrammes liée avec une augmentation du rayonnement solaire (Smith et al., 1986), ce qui pourrait expliquer la différence d'émergence entre l'incubation sur le feuillage et sous la canopée. Il est également important de noter que la température est généralement plus élevée au-dessous qu'en dessous de la canopée, ce qui pourrait également expliquer la différence observée. Dans une optique d'optimisation de la pulvérisation de trichogrammes, il pourrait être envisagé de compléter leur incubation dans le noir. Ceci permettrait de mieux synchroniser tous les individus d'une même cohorte étant donné que les trichogrammes suivent un rythme d'émergence selon lequel la majorité des individus vont émerger à l'apparition de la lumière (Dahiya et al., 1993). Se faisant, il serait possible de s'assurer que la majorité des individus

émergent dans les 24h suivant leur application en champ, évitant ainsi la diminution d'émergence observée à partir de 48h d'incubation sur les feuilles.

Au niveau du parasitisme des masses d'œufs sentinelles, seules les parcelles où les trichogrammes étaient pulvérisés ont montré un plus haut de parasitisme que les parcelles témoins (Fig. 8). Ce résultat est en accord avec les résultats d'émergence suivant l'application dans les deux méthodes d'applications mises à l'essai (Fig. 7). En effet, étant donné qu'une plus faible proportion des individus émergeant à la suite d'une pulvérisation par rapport à un épandage, il est cohérent que cela résulte en un plus haut taux de parasitisme des œufs sentinelles. Il peut paraître surprenant que les œufs sentinelles au sein des parcelles présentent un taux de parasitisme de 17%, mais ce résultat est comparable à ceux obtenus par Labarre (2021) où 10% des masses d'œufs sentinelles appliquées en cannebergières étaient parasitées, et ce en absence de lâchers de trichogrammes. Dans le cadre de ce projet, le taux de parasitisme sur des masses d'œufs sentinelles atteignant même plus de 30% (Labarre, données non publiées); confirmant qu'il existe des populations naturelles, parfois relativement conséquentes, en cannebergières.

Malgré la présence de ces populations naturelles de trichogrammes en cannebergières, le taux de parasitisme aux œufs de la tordeuse des canneberges demeure relativement faible au sein des parcelles témoins (Fig. 9). Cependant, une application de trichogrammes, que ce soit *T. minutum* ou *T. pretiosum*, et peu importe le taux parmi ceux testés, contribue à une augmentation significative du parasitisme des œufs du ravageur (Fig. 8). Les essais de 2021 ont justement permis de démystifier que la hausse apparente de parasitisme entre 2019 et 2020 n'était pas en fait causé par le changement d'espèce, mais plutôt la génération ciblée par les lâchers. Nos résultats concordent avec ceux de Li et al. (1994) qui suggéraient que, peu importe la souche et l'espèce de trichogrammes, le taux de parasitisme est toujours significativement plus élevé sur des œufs de deuxième génération de la tordeuse des canneberges. Cette dernière devrait donc être priorisée pour le futur. De plus, dans le cadre de nos essais, le taux de 900 000 individus par hectare semblait entraîner un taux de parasitisme similaire à celui entraîné par taux de 1 250 000 individus par hectare. Il est toutefois important de noter que les populations de tordeuse des canneberges au sein de la ferme partenaire sont considérées comme n'étant pas particulièrement élevées. Cependant, en présence de populations très élevées, il pourrait être possible que ce taux doive être revu à la hausse pour assurer un niveau de lutte similaire. Néanmoins, le parasitisme de près de 55% pour *T. pretiosum* ciblant la deuxième génération de la tordeuse des canneberges

appliquées par pulvérisation se compare à d'autres bio-insecticides tels que l'Entrust® (spinosad), le Pyganic® (pyréthrines) et le Trounce® (pyréthrines et acides gras) qui se situent tous dans les environs de 50 à 60% (Labarre, 2022; Labarre & Gervais, 2021). Par ailleurs, il est important de noter que le taux de parasitisme est évalué sur la totalité des individus d'une génération alors que le taux de mortalité associé aux insecticides biologiques uniquement sur les individus vulnérables au moment de l'application étant donné l'effet résiduel négligeable de ceux-ci. La proportion de la population vulnérable à une application d'insecticide est très difficile à évaluer étant donné que différents facteurs (i. e. stade de développement des insectes, leur comportement, l'étalement temporel de la population) affectent ce paramètre. Néanmoins, il apparaît clair que cette proportion est inférieure à 100%. Ainsi, l'utilisation de trichogrammes selon les paramètres permettant d'optimiser leur efficacité s'avérerait plus efficace qu'une application des insecticides mentionnés précédemment.

Enfin, aucun effet sur les dommages en fin de saison et les rendements n'a été observé dans le cadre du projet (Fig. 10). Ce résultat est peu surprenant étant donné qu'une gestion commerciale à l'aide de bio-insecticides a été faite en supplément des applications de trichogrammes pendant tout le projet. Étant donné l'importance des superficies, la valeur de la culture et les dommages potentiels que peut causer ce ravageur, il n'était pas envisageable d'exclure complètement toute intervention phytosanitaire. Néanmoins, il est intéressant de noter que les dommages étaient significativement moins élevés en 2021 qu'en 2019 (Fig. 10). Lors de la saison 2021, une inondation printanière pour lutter contre la tordeuse des canneberges a été effectuée sur la ferme partenaire du projet; ce qui a probablement contribué à fortement diminuer les populations du ravageur. Cette technique de lutte fait d'ailleurs l'objet d'un projet de recherche en cours et s'est montrée très prometteuse jusqu'à présent (Labarre et al., 2021) et est compatible avec l'utilisation de trichogrammes dans une approche de lutte intégrée contre la tordeuse les canneberges.

Afin de continuer les efforts de recherche et transfert de l'utilisation de trichogrammes pour lutter contre la tordeuse des canneberges, les travaux futurs devraient se pencher sur la validation des résultats obtenus dans le cadre de ce projet, l'optimisation du synchronisme d'émergence, de la période, nombre, taux d'application des trichogrammes, la confirmation de l'espèce et souche à privilégier et l'automatisation du prototype d'injection. Dans sa forme actuelle, bien que fonctionnel pour le projet, l'appareil ne permet pas d'ajuster son taux d'application à la vitesse d'avancement du tracteur, paramètre qui peut s'avérer important pour une utilisation à l'échelle commerciale. Par ailleurs, ayant désormais une méthode d'application des trichogrammes à grande échelle en cannebergère, il serait intéressant

d'entamer des travaux de recherche pour cibler une espèce efficace pour lutter contre la pyrale des atocas, *Acrobasis vaccinii* Riley (Lepidoptera : Pyralidae) un autre ravageur majeur de la culture (Drolet et al., 2018).

## **REMERCIEMENTS**

Ce projet a été réalisé dans le cadre du sous-volet 4 du programme Prime-vert 2013-2018 et il a bénéficié d'une aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) par l'entremise de la Stratégie phytosanitaire québécoise en agriculture 2011-2021.

Merci à l'Association des producteurs de canneberges du Québec (APCQ) et le Club environnemental et technique atocas Québec (CETAQ) pour leur implication financière et en nature dans le projet. Merci également à toute l'équipe de recherche de l'APCQ et du CETAQ ainsi que le laboratoire de lutte biologique de l'UQAM pour la participation au projet. Les auteurs tiennent à souligner et remercier plus spécialement, M. Patrick Riendeau et Mme Catherine Ouellet, de l'entreprise Canneberges Sakota pour leurs énorme implication, appui et soutien tout au long de ce projet.

## **DIFFUSION DES RÉSULTATS**

Les résultats de ce projet ont été présentés à l'occasion des réunions annuelles 2018 et 2021 de la société d'entomologie du Québec ainsi qu'au congrès Nord-Américain de la canneberge de 2022.

## **POINT DE CONTACT POUR INFORMATION**

Didier Labarre  
Association des producteurs de canneberges du Québec (APCQ)  
859, ancienne route de l'église,  
Notre-Dame-de-Lourdes, Qc, Canada, G0S 1T0  
581-996-6492  
[dlabarre@notrecanneberge.com](mailto:dlabarre@notrecanneberge.com)

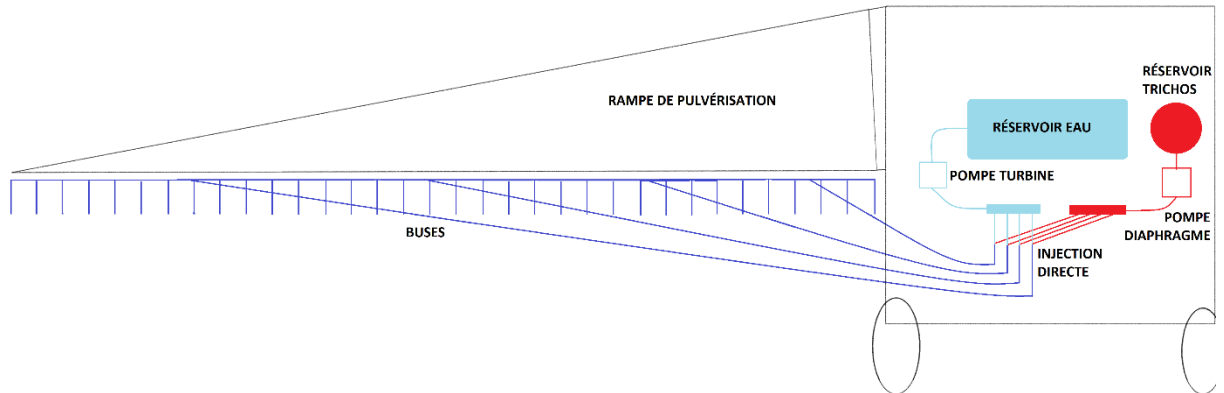
## RÉFÉRENCES

- Ables, J., Reeves, B., Morrison, R., Kinzer, R., Jones, S., Ridgway, R., & Bull, D. (1979). Methods for the field release of insect parasites and predators. *Transactions of the ASAE*, 22(1), 59-0062.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2014). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *arXiv preprint arXiv:1406.5823*.
- Brooks, M. E., Kristensen, K., Van Benthem, K. J., Magnusson, A., Berg, C. W., Nielsen, A., Skaug, H. J., Machler, M., & Bolker, B. M. (2017). glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. *The R journal*, 9(2), 378-400.
- Daane, K., Yokota, G., Rasmussen, Y., Zheng, Y., & Hagen, K. (1993). Effectiveness of leafhopper control varies with lacewing release methods. *California Agriculture*, 47(6), 19-23.
- Dahiya, A., Tshernyshev, W., & Afonina, V. (1993). Diurnal rhythm of emergence from pupae in parasitic wasp *Trichogramma evanescens* Westw. (Insecta: Hymenoptera). *Biological Rhythm Research*, 24(3), 162-170.
- Drolet, I., Landry, J.-F., & Moisan-De Serres, J. (2018). *Insectes ravageurs de la canneberge au Québec: Guide d'identification*. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ).
- Gantt, C., King, E., & Martin, D. (1974). A device for dispensing larvae of *Lixophaga diatraeae*. *Journal of economic entomology*, 67(6), 795-797.
- Gantt, C., King, E., & Martin, D. (1976). New machines for use in a biological insect-control program. *Transactions of the ASAE*, 19(2), 242-0243.
- Gardner, J., & Giles, K. (1997). Mechanical Distribution of *Chrysoperla rufilabris* and *Trichogramma pretiosum*: Survival and Uniformity of Discharge after Spray Dispersal in an Aqueous Suspension. *Biological control*, 8(2), 138-142.
- Gauthier, P. (2016). Mise au point d'une technique de pulvérisation des pupes de trichogramme pour la lutte biologique contre la pyrale dans la culture du maïs sucré.
- Gauthier, P., & Khelifi, M. (2016). *Trichogramma* pupae spraying technique development for biocontrol of the European corn borer in sweet corn crops.
- Gauthier, P., Khelifi, M., Dionne, A., & Todorova, S. (2019). Technical feasibility of spraying *Trichogramma ostriniae* pupae to control the European corn borer in sweet corn crops. *Applied Engineering in Agriculture*, 35(2), 185-192.
- Gervais, F. (2020). Guide photo des dommages. In CETAQ (Ed.), (pp. 23).
- Giles, D., Gardner, J., & Studer, H. (1995). Mechanical release of predacious mites for biological pest control in strawberries. *Transactions of the ASAE*, 38(5), 1289-1296.
- Giles, D., & Wunderlich, L. (1998). Electronically controlled delivery system for beneficial insect eggs in liquid suspensions. *Transactions of the ASAE*, 41(3), 839.
- Hothorn, T., Bretz, F., & Westfall, P. (2008). Simultaneous inference in general parametric models. *Biometrical Journal: Journal of Mathematical Methods in Biosciences*, 50(3), 346-363.
- Hussein, M. Y. (1984). A spray technique for mass release of eggs of *Micromus tasmaniae* Walker (Neuroptera: Hemerobiidae). *Crop Protection*, 3(3), 369-378.
- Kienzle, J., Zimmermann, O., Wührer, B., Triloff, P., Morhard, J., Landsgesell, E., & Zebitz, C. (2012). New species and new methods of application—A new chance for *Trichogramma* in codling moth control. Proceedings of the Ecofruit. 15th International Conference on Organic Fruit-Growing, Hohenheim, Germany,

- Kinzer, R. E. (1977). *Development and evaluation of techniques for using Chrysopa carnea Stephens to control Heliothis spp. on cotton* Texas A&M University. Libraries].
- Labarre, D. (2021). *Sélection d'une espèce de trichogrammes pour lutter biologiquement contre la tordeuse des canneberges* Université du Québec à Montréal]. Montréal.
- Labarre, D. (2022). *Élaboration d'un outil interactif de prédiction du développement et de dépistage automatisé pour le suivi des populations de tordeuse des canneberges au sein de cannebergières commerciales* [Rapport d'Étape](PHYTO-010).
- Labarre, D., Drolet, I., Fournier, M., Cormier, D., & Lucas, E. (2018). *Sélection d'une espèce potentielle de trichogrammes pour lutter biologiquement contre la tordeuse des canneberges* (CETAQ-1-15-1753).
- Labarre, D., & Gervais, F. (2021). *Tamisage d'insecticides et bio insecticides pour lutter contre la tordeuse des canneberges et l'anthonome des atocas* [Rapport d'Étape](20-AD-006-APCQ).
- Labarre, D., Horth, S., & Gervais, F. (2021). *Inondation printanière pour lutter contre la tordeuse des canneberges* Webinaire sur les projets de recherches effectués à l'APCQ, En ligne.
- Labarre, D., & Piché-Luneau, S. (2020). *Guide de dépistage Insectes ravageurs de la canneberge*. CRAAQ.
- Li, S., Henderson, D., & Myers, J. (1994). Selection of Suitable Trichogramma Species for Potential Control of the Blackheaded Fireworm Infesting Cranberries. *Biological control*, 4(3), 244-248.
- Mills, N., Dixon, L., Welter, S., Weddle, P., & Wiseman, T. (1996). Trichogramma augmentation as a component of the management of codling moth in pears. *1995 reports on research projects for California Bartlett Pears. Sacramento: California Pear Advisory Board*.
- Nagarkatti, S., Tobin, P. C., Saunders, M. C., & Muza, A. J. (2003). Release of native Trichogramma minutum to control grape berry moth. *The Canadian Entomologist*, 135(4), 589-598.
- Opit, G. P., Nechols, J. R., Margolies, D. C., & Williams, K. A. (2005). Survival, horizontal distribution, and economics of releasing predatory mites (Acari: Phytoseiidae) using mechanical blowers. *Biological control*, 33(3), 344-351.
- R Core Team. (2021). R: A Language and Environment for Statistical Computing v4. 1.1 (Version 4.1. 1).
- Reeves, B. G. (1975). *Design and evaluation of facilities and equipment for mass production and field release of an insect parasite and an insect predator* Texas A&M University. Libraries].
- Shands, W., Gordon, C. C., & Simpson, G. W. (1972). Insect predators for controlling aphids on potatoes. 6. Development of a spray technique for applying eggs in the field. *Journal of economic entomology*, 65(4), 1099-1103.
- Smith, S., Hubbes, M., & Carrow, J. (1986). Factors affecting inundative releases of Trichogramma minutum Ril. against the Spruce Budworm 1. *Journal of Applied Entomology*, 101(1-5), 29-39.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: elegant graphics for data analysis*. springer.

## ANNEXE 1.

Systemes de pulvérisation et d'épandage utilisés dans le cadre du projet.



A) Schéma du pulvérisateur à injection directe développé dans le cadre du projet.

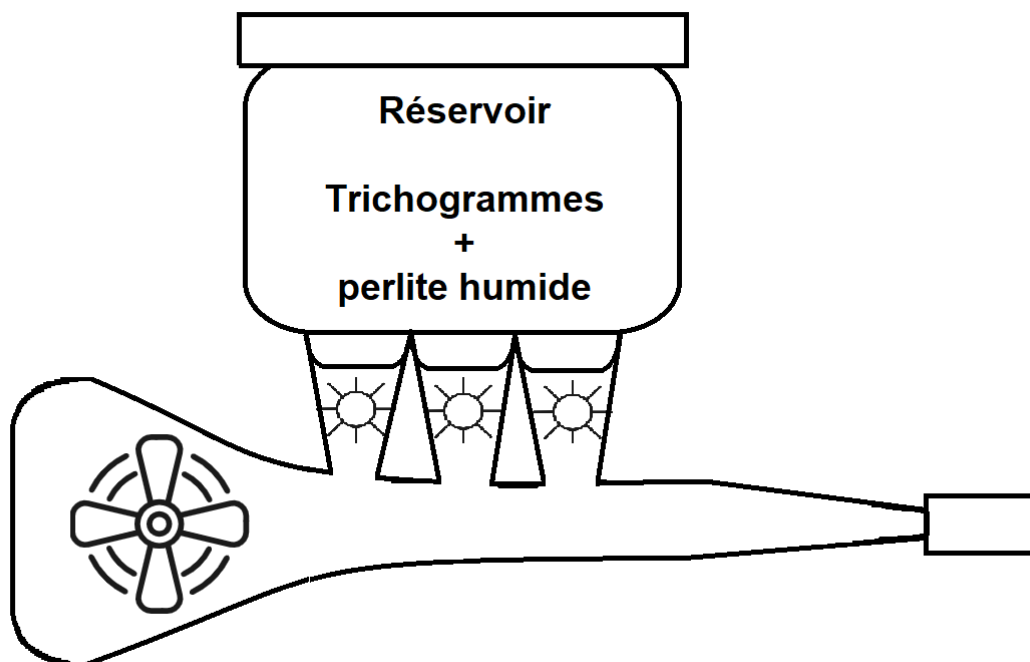




B) Réservoir à trichogrammes et pompe à diaphragme.



C) Injection directe des trichogrammes à de l'eau dans les 4 lignes principales de pulvérisation.



D) Schéma de l'épandeur utilisé dans le cadre du projet.



E) Réservoir à engrais et tambours utilisés pour l'épandage de perlite humidifiée avec les trichogrammes et tambours.