

Évaluation de l'efficacité des insecticides biologiques azadirachtine et *B. thuringiensis* var. *kurstaki* pour lutter contre la tordeuse des canneberges dans la production de canneberges

Rapport final projet 10-INNO1-14

Rédigé par :

Jean-Pierre Deland agr. M.Sc. CETAQ/Ocean Spray
Franz Vanoosthuyse, attaché de recherche, M.Sc. IRDA
Daniel Cormier, chercheur, Ph.D. IRDA

21 mars 2014

Ce projet a été réalisé grâce à une aide financière du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, dans le cadre du Programme Innovbio. Nous remercions également les propriétaires des entreprises de canneberges qui ont participé à cette étude : Atocas St-François, Canneberges Sakota et Ferme les Quatre Épinettes.

Table des matières

Introduction	4
1. Méthodologie.....	5
1.1. Bioessais en laboratoire.....	6
1.1.1. Élevage de la tordeuse des canneberges.....	6
1.1.2. Substrat végétal	7
1.1.3. Dates de réalisations.....	7
1.1.4. Méthodologie retenue pour les bioessais.....	8
1.1.5. Analyses statistiques.....	9
1.2. Essais en champs	10
1.2.1. Protocole expérimentale	10
1.2.2. Périodes et conditions d'application des traitements.....	10
1.2.3. Évaluation des populations de tordeuses des canneberges avant les traitements et évaluation de l'efficacité des traitements insecticides	13
1.2.4. Analyses statistiques.....	13
2. Résultats	14
2.1. Bioessais en laboratoire.....	14
2.1.1. Année 2011.....	14
2.1.2. Année 2012.....	16
2.2. Essais en champs	20
2.2.1. Périodes et conditions d'application des traitements.....	20
2.2.2. Évaluation des populations de tordeuses des canneberges avant les traitements et évaluation de l'efficacité des traitements insecticides	21
3. Discussion	32
3.1. Bioessais en laboratoire.....	32
3.2. Essais en champs	33
3.2.1. Tordeuse des canneberges	33
3.2.2. Pyrale des atocas	34
3.2.3. Rendement de fruits sains.....	35
4. Conclusion.....	36
Bibliographie.....	37
Annexe 1. Dispositif expérimental utilisé au site 1 en 2012.	38
Annexe 2. Pluviométrie et irrigations.....	39

Introduction

Le Québec est la plus importante région de production de canneberges biologiques au monde. Près de 570 ha de canneberges sont sous régie biologique, représentant 15% de la superficie totale cultivée en ce petit fruit au Québec (superficie totale de 3691 ha). L'un des facteurs pouvant limiter le développement de cette culture sous régie biologique est la présence d'insectes ravageurs. Le ravageur le plus important pour cette culture est la tordeuse des canneberges, *Rhopobota naevana* (Hbn) (Lepidoptera : Tortricidae) qui peut occasionner des pertes pouvant atteindre 95% de la récolte. En production biologique la lutte contre cet insecte repose principalement sur l'utilisation de l'insecticide Entrust (spinosad). Afin d'offrir aux producteurs de canneberges des insecticides alternatifs à l'Entrust, qui auront pour effet de limiter le développement de la résistance, nous avons évalué l'efficacité de trois nouveaux insecticides biologiques soit un produit à base d'azadirachtine (AEF-11-03), le Bioprotec CAF (*Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*) (*Btk*) et le Pyganic (pyréthrines). Les données générées par ce projet pourront être utilisées pour permettre l'homologation de ces produits dans la culture de la canneberge. Ce projet a été réalisé au cours de trois années, de 2011 à 2013.

1. Méthodologie

Sept à huit traitements, à chacune des trois années, ont été comparés à un témoin non traité (sans application d'eau) pour évaluer leur efficacité à diminuer les populations de tordeuses des canneberges (Tableau 1). Les différents produits testés ont été l'Entrust 80 (spinosad 80%) utilisé comme témoin positif, l'azadirachtine (AEF-11-03), le Bioprotec CAF (*Bacillus thuringiensis kurstaki*, 12,7 MUI/l), le Pyganic EC 1,4 (pyréthrine 1,4%) et une huile d'été (AEF-1208). Les traitements ont été modifiés d'année en année en réponse aux résultats obtenus précédemment. La dose testée d'Entrust a été celle homologuée pour lutter contre la tordeuse des canneberges alors que celles du Pyganic et du Bioprotec CAF ont été des doses homologuées au Canada pour lutter contre des insectes similaires à la tordeuse sur d'autres cultures que la canneberge. Les doses de 24 et 48 g m.a. d'azadirachtine sont parmi la fenêtre de doses recommandées pour lutter contre les tordeuses sur les étiquettes des deux produits homologués dans la canneberge aux États-Unis soit l'Aza-Direct et le Neemix. En 2011, une dose inférieure (12 g m.a.) et en 2012 une dose supérieure (72 g m.a.) ont également été testées. En 2013, différents produits ayant le potentiel d'augmenter l'efficacité du Bioprotec CAF et de l'azadirachtine ont été ajoutés aux solutions de ces insecticides. De la levure alimentaire, agissant comme phagostimulant a été ajoutée au Bioprotec CAF et de l'huile d'été (AEF-1208) a été ajoutée à l'azadirachtine ou a été utilisée seule.

Tableau 1. Traitements insecticides évalués en 2011, 2012 et 2013 et comparés à un témoin non traité.

Produits	Doses appliquées par hectare pour chacune des années d'essai		
	2011	2012	2013
Entrust	87,4 g m.a.	87,4 g de m.a.	87,4 g de m.a.
Bioprotec AZA	12, 24 et 48 g m.a.	24, 48 et 72 g m.a.	48 g m.a.*
Bioprotec AZA + huile d'été			48 g m.a. + 1% du volume d'eau
Huile d'été			1% du volume d'eau
Bioprotec CAF	19,1, 38,1 et 50,8 MUI, soit 1.5, 3 et 4l de Bioprotec CAF	50,8 MUI, soit 4l de Bioprotec CAF	50,8 MUI, soit 4l de Bioprotec CAF
Bioprotec CAF + levure alimentaire			50,8 MUI + 500 g
Pyganic		30 et 60 g m.a.	30 et 60 g m.a.

*Cette dose d'azadirachtine est la dose la plus élevée qu'AEF Global envisage homologuer.

1.1. Bioessais en laboratoire

Les bioessais en laboratoire consistaient à évaluer la toxicité des insecticides par contact et ingestion sur différents stades larvaires de la tordeuse des canneberges en utilisant une méthode de trempage de feuilles. Ces essais ont été réalisés en 2011 et 2012 avec les traitements mentionnés pour ces deux années au Tableau 1. En 2011 la toxicité des différents insecticides a été évaluée sur des larves néonates (stade 1, L1) et des larves de dernier stade (stade 5, L5) alors qu'en 2012 elle a été évaluée sur des larves néonates, des larves moyennes (stades 2-3, L2-3) et des larves de dernier stade.

1.1.1. Élevage de la tordeuse des canneberges

De 500 à plus de 600 larves viables de 1^e génération (G1) de tordeuses des canneberges (TC) ont été récoltées dans des champs de canneberges le 5 mai 2011 et le 23 mai 2012. Ces larves ont été maintenues en élevage au laboratoire sur pousses de canneberge fraîches dans des plats Dixie D6 (Emballage Maska, St-Thomas-d'Aquin, Qc, Ca) de 100 mm de diamètre (3 à 4 larves par plat). Les plats contenaient de la vermiculite humidifiée sous papier Whatman[®] #2 de 90 mm (Fisher Scientific, Suwanee, GA, USA). Une fois nymphosés, les insectes étaient sexés selon la méthode de Fitzpatrick et Troubridge (1993) (photo 1) et placés individuellement dans des contenants Solo cup[®] P100 (Emballage Maska, St-Thomas-d'Aquin, Qc, Ca). À l'émergence les adultes étaient introduits dans des sacs de plastique transparent de 5 lbs dans un rapport de 15 femelles pour 10 mâles par sac. Quelques gouttes d'eau miellée (50%) étaient posées à l'intérieur du sac. Vingt-quatre heures après la mise en sac, des pousses de canneberges étaient introduites dans les sacs afin de fournir un support de ponte pour les femelles. Les œufs ont été récoltés aux deux jours et placés dans des plats Dixie D6 avec papier Whatman[®] humidifié. Les TC ont été maintenues à une température de 22±1°C le jour et 16±1°C la nuit avec une humidité relative de 70±10% et à une photopériode de 16L : 8O.

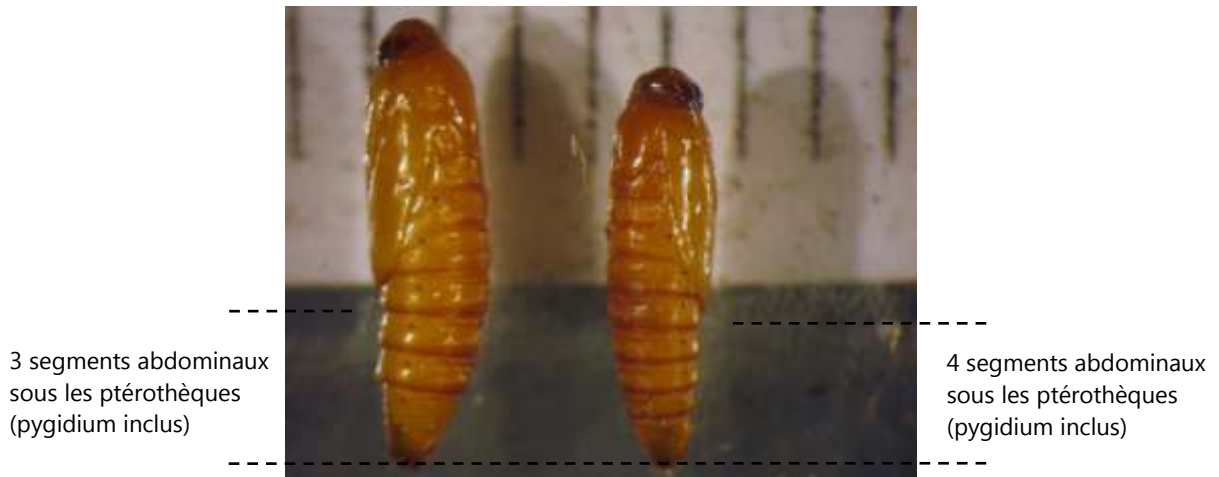


Figure 1. Nymphes femelle (gauche) et mâle (droite) de tordeuse des canneberges

1.1.2. Substrat végétal

Les pousses de canneberges provenaient d'un champ à régie biologique. Pour les besoins de l'élevage, les pousses de canneberge ont été récoltées aux deux semaines. Dès réception, ces pousses étaient maintenues fraîches dans des sacs de plastique placés au réfrigérateur à $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Pour les bioessais, les pousses étaient prélevées 2 à 4 jours avant les tests. Elles étaient ensuite uniformisées: tige de 5 cm de longueur composée de 8 feuilles incluant l'apex. Enfin pour éliminer les insectes et acariens pouvant provenir du champ, ces pousses ont été brossées et rincées à l'eau courante.

1.1.3. Dates de réalisations

Année 2011: Bioessais sur les L1 de 2^e génération (G2) du 5 au 10 juillet (192 larves pour quatre répétitions). Des essais ont également été réalisés sur des L1 de 3^e génération (G3) du 16 au 19 août (144 larves pour trois répétitions), totalisant sept répétitions.

Bioessais sur les L5 de G2 du 12 au 15 juillet (144 larves pour trois répétitions).

Année 2012 : Bioessais sur les L1 de G2 du 25 au 28 juin (240 larves pour trois répétitions) et sur les L1 de G3 du 04 au 07 août (240 larves pour trois répétitions), totalisant 6 répétitions.

Bioessais sur les L2-3 de G2 du 27 au 30 juin (240 larves pour trois répétitions) et sur les L2-3 de G3 du 03 au 06 août (80 larves pour une répétition), totalisant quatre répétitions.

Bioessais sur les L5 de G2 du 28 juin au 01 juillet (240 larves pour trois répétitions) et sur des L5 de G3 du 02 au 08 août (240 larves pour trois répétitions), totalisant 6 répétitions.

1.1.4. Méthodologie retenue pour les bioessais

Les concentrations d'insecticides utilisées en laboratoire pour des béciers de 200 ml étaient les mêmes que celles utilisées en champs dans 500 l/ha.

La toxicité des insecticides a été évaluée simultanément par contact et ingestion en utilisant une méthode de trempage de feuilles recommandée par l'*Insecticide Resistance Action Committee* (IRAC) (Porter, 2009) et similaire à celle de Shelton *et al.* (1993).

Étape 1: Préparation des pousses à raison d'une pousse pour deux L1 ou deux L2-3 et une pousse par L5 ;

Étape 2: Préparation des solutions pour les huit traitements (= 1 répétition);

Étape 3: Trempage vertical d'une pousse à la fois pendant 10 secondes dans 200 ml de solution de chaque traitement avec un vortex à 350 rpm (Figure 2);

Étape 4: Séchage des pousses sur grille métallique identifiée au traitement, sous hotte aspirante pendant une heure (Figure 3).

Étape 5: Introduction de trois pousses en 2011 (bioessais sur les L1), de cinq pousses en 2012 (bioessais sur les L1 et L2-3) ou de six pousses en 2011 et dix pousses en 2012 (pour les bioessais sur les L5) dans un plat Dixie D6. Les pousses étaient approvisionnées en eau par des tubes à PCR de 0,2 ml (VWR International, Ltée, Ville Mont-Royal, Qc, Ca).

Étape 6: Pose de six larves en 2011 et dix larves en 2012 par plat et mise des plats en chambre de croissance ajustée selon les mêmes paramètres que l'élevage. C'est à partir de cette étape que nous avons chronométré le temps requis pour l'observation à 24 et 72 h après traitement.

Pour chaque traitement, l'expérience a été répétée trois fois en 2011, six fois pour les L1 et les L5 et quatre fois pour les L2-3 en 2012.

L'état des larves et la mortalité étaient relevés 24 et 72 h après leur introduction sur les pousses traitées. Les larves ont été classées selon 3 catégories:

- Vivantes: larves qui réagissaient lorsque touchées avec un pinceau, se déplaçaient et se nourrissaient.
- Moribondes: larves qui réagissaient au touché, ne se déplaçaient plus et ne se nourrissaient plus.
- Mortes: larves qui ne réagissaient plus au touché, ne se déplaçaient plus et ne se nourrissaient plus.

Le taux de mortalité a été calculé en faisant la somme des larves mortes et moribondes, divisée par le nombre total de larves traitées par plat.



Figure 2. Trempage de pousses de canneberge

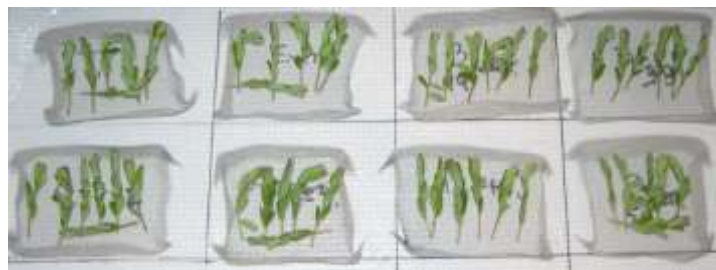


Figure 3. Séchage des pousses de canneberge traitées
(une répétition de huit traitements)

1.1.5. Analyses statistiques

L'efficacité des insecticides, 24 et 72 h après le traitement des pousses de canneberge, sur la mortalité des larves a été évaluée à l'aide d'une ANOVA à deux critères de classification, soient traitement et répétition (SAS Institute Inc., 2008). Les différences significatives ont été isolées par un test H.S.D. de Tukey (Scherrer, 1984).

1.2. Essais en champs

1.2.1. Protocole expérimentale

Les sept ou huit combinaisons insecticides-doses ont été appliquées trois fois par année à un intervalle de 6 à 9 jours dans un volume de 500 L d'eau/ha. Les traitements ont été appliqués sur des parcelles de 3 x 5 m distante l'une de l'autre de 0,5 m. Les traitements ont été répétés 4 fois suivant un dispositif expérimental en bloc aléatoire complet dans chacun de deux champs de canneberges en 2011 et 2012 et dans un seul champ en 2013. Une zone tampon de 10 m en périphérie des sites expérimentaux n'a pas été traitée par le producteur, afin de minimiser la dérive des insecticides dans nos parcelles expérimentales. Cette zone a été traitée par des employés du Club environnemental et technique atocas Québec (CETAQ) à l'Entrust à faible pression, avec un pulvérisateur à dos, à une dose visée de 87,4 g m.a./ha. Un exemple de dispositif expérimental, celui utilisé en 2012 au site 1, est illustré à l'Annexe 1. Le choix des sites a été basé sur les résultats de captures de tordeuses des canneberges dans des pièges à phéromone. En 2011 et 2012 un site expérimental était située dans la municipalité de Notre-Dame-de-Lourdes alors que le deuxième était situé à St-Louis-de-Blandford. En 2013 seul un site à St-Louis-de-Blandford a été utilisé. Durant les deux premières années de l'essai, les deux sites expérimentaux n'étaient distant que d'environ 4 km. Le champ expérimental du site 1 en 2011 était sur matière organique alors que tous les autres champs expérimentaux étaient sur sable. Les sites expérimentaux étaient de variété Stevens et étaient âgés de plus de 6 ans (Figure 4).

1.2.2. Périodes et conditions d'application des traitements

La période idéale de traitement pour ce ravageur est au début de l'éclosion des œufs. À chaque année, nous avons, au tout début de la ponte, identifié avec des rubans plusieurs plants porteurs d'œufs près d'un site expérimental et avons assuré le suivi de l'éclosion en vérifiant l'état des œufs à tous les deux à trois jours. Nous avons réalisé notre première application d'insecticides lorsque plus de 95% de ces premiers œufs pondus ont été éclos. Les deuxième et troisième traitements ont été réalisés à un intervalle de 6 à 9 jours. En 2011 et 2012, les traitements dans les deux sites, ont été réalisés au cours des mêmes soirées. Les traitements ont été appliqués le 7, 15 et 22 juillet en 2011, le 3, 9 et 18 juillet en 2012 et le 12, 21 et 27 juillet en 2013.



Figure 4. Site expérimental.

Avant la première application, le développement phénologique des plants de canneberge à proximité des sites expérimentaux a été évalué en dénombrant les petits fruits sur 50 unités reproductives (bourgeons floraux, fleurs ou fruits) à cinq reprises. Cette donnée nous a permis de savoir si la première application d'insecticides a été faite à un moment opportun pour lutter contre la pyrale des atocas. La pyrale est un ravageur important des canneberges qui est présent durant la même période que la deuxième génération de la tordeuse des canneberges. Bien que dans cet essai les applications visaient à lutter contre la tordeuse des canneberges, nous avons également évalué leur effet sur la pyrale des atocas. Pour lutter contre la pyrale, nous visons une première application au stade de développement du plant de 50% nouaison.

En 2011 et 2012, les traitements ont été appliqués à l'aide d'un pulvérisateur à dos Solo pressurisé au gaz carbonique (Figure 5). En 2013, le pulvérisateur était monté sur un châssis léger porté par deux roues de bicyclette (Figure 6). La rampe était munie de six buses espacées de 50 centimètres. En 2011 les buses utilisées étaient des T60-8002VS à une pression de 150 kpa, en 2012 des T60-11002VS à une pression de 225 kpa et en 2013 des T60-11004VS à une pression de 225 kpa. Les pulvérisations ont été faites en soirée, sous des conditions de vent très faible, dans tous les cas inférieures à 3,5 km/heure. Des pluviomètres ont été installés près de chaque site expérimental. La pluviométrie a été

mesurée quotidiennement pendant les 4 jours suivant chacune des pulvérisations. Les données climatiques provenant de la station climatique d'Environnement Canada à Lemieux (à 13 et 17 km des sites expérimentaux) ont également été recueillies pour ces trois périodes de 4 jours.



Figure 5. Type de pulvérisateur utilisé pour appliquer les traitements expérimentaux en 2011 et 2012.



Figure 6. Type de pulvérisateur utilisé pour appliquer les traitement expérimentaux en 2013.

1.2.3. Évaluation des populations de tordeuses des canneberges avant les traitements et évaluation de l'efficacité des traitements insecticides

La densité de la population de TC a été mesurée avant traitement en dénombrant les œufs et les larves sur 100 pousses par parcelle en 2011 et sur 75 pousses par parcelle en 2012 et 2013. Les évaluations des dommages aux fruits et des rendements ont été réalisées à la mi-août en récoltant, comptant et pesant les fruits sains et les fruits endommagés par cet insecte ainsi que les fruits endommagés par la pyrale des atocas dans chacun de 5 quadrats de 0,0929 m² par parcelle. Les quadrats ont été placés de façon aléatoire dans le centre des parcelles, distants d'au moins 1 mètre de la périphérie de celles-ci.

1.2.4. Analyses statistiques

Avant traitement, le niveau d'infestation des parcelles par les TC immatures (larves et œufs) a été évalué à l'aide d'une ANOVA à deux critères de classification, soient traitement et site expérimental (SAS Institute Inc., 2008).

L'efficacité des insecticides utilisés pour lutter contre la TC a été évaluée en champs en analysant l'effet de chaque traitement sur le taux de dégâts sur fruits dû aux insectes ravageurs (TC et pyrale des atocas) et sur le rendement de fruits sains à l'hectare. En 2011 et 2012, une analyse de variances à deux facteurs (sites et traitements) dans un dispositif avec parcelles subdivisées (split-plot) et blocs aléatoires complets a été effectuée en considérant les sites expérimentaux en tant que grandes parcelles, les traitements en tant que petites parcelles, répétées quatre fois chez chacun des producteurs. (SAS Institute Inc., 2008). Quand une interaction significative a été relevée entre l'effet traitement et le site expérimental ainsi qu'en 2013 où l'expérimentation a été réalisée sur un seul site expérimental, l'efficacité des insecticides a été évaluée à l'aide d'une ANOVA à deux critères de classification, soient traitement et bloc de répétition pour chaque site expérimental (SAS Institute Inc., 2008). Afin de normaliser les données et d'homogénéiser les variances, une transformation de type racine cubique a été effectuée sur les données de taux de dégâts des TC en 2012. Les différences significatives ont été isolées par un test H.S.D. de Tukey (Scherrer, 1984).

2. Résultats

2.1. Bioessais en laboratoire

2.1.1. Année 2011

Les traitements des pousses de canneberge ont eu un effet significatif sur le taux de mortalité des TC, 24 heures et 72 heures après le traitement, pour les L1 ($F_{7,14} = 28,71$; $p < 0,0001$ et $F_{7,14} = 12,58$; $p < 0,0001$) et pour les L 5 ($F_{7,14} = 7,56$; $p < 0,0007$ et $F_{7,14} = 46,49$; $p < 0,0001$).

Bioessais avec les larves de stade 1

L1, 24 heures après le traitement

Le taux de mortalité dû à l'Entrust a été significativement plus élevé que ceux dus aux autres traitements (Figure 7). Le taux de mortalité dû à la plus forte concentration d'azadirachtine (AZA 48) était significativement plus élevé que ceux dus aux autres concentrations d'azadirachtine et aux deux plus faibles concentrations de Bioprotec CAF (Bio 1,5 et 3). Aucune différence significative n'a été relevée entre le taux de mortalité naturel (témoin à l'eau distillée) et les taux de mortalités dus aux trois concentrations de Bioprotec CAF et aux deux plus faibles concentrations d'azadirachtine (AZA 12 et 24) (Figure 7).

L1,72 heures après traitement

Aucune différence significative n'a été relevée entre le taux de mortalité dû à l'Entrust et ceux dus aux trois concentrations d'azadirachtine (Figure 7). Il a été significativement plus élevé que ceux dus aux trois concentrations de Bioprotec CAF. Aucune différence significative n'a été relevée entre le taux de mortalité naturel (témoin à l'eau distillée) et les taux de mortalités dus aux trois concentrations de Bioprotec CAF (Figure 7).

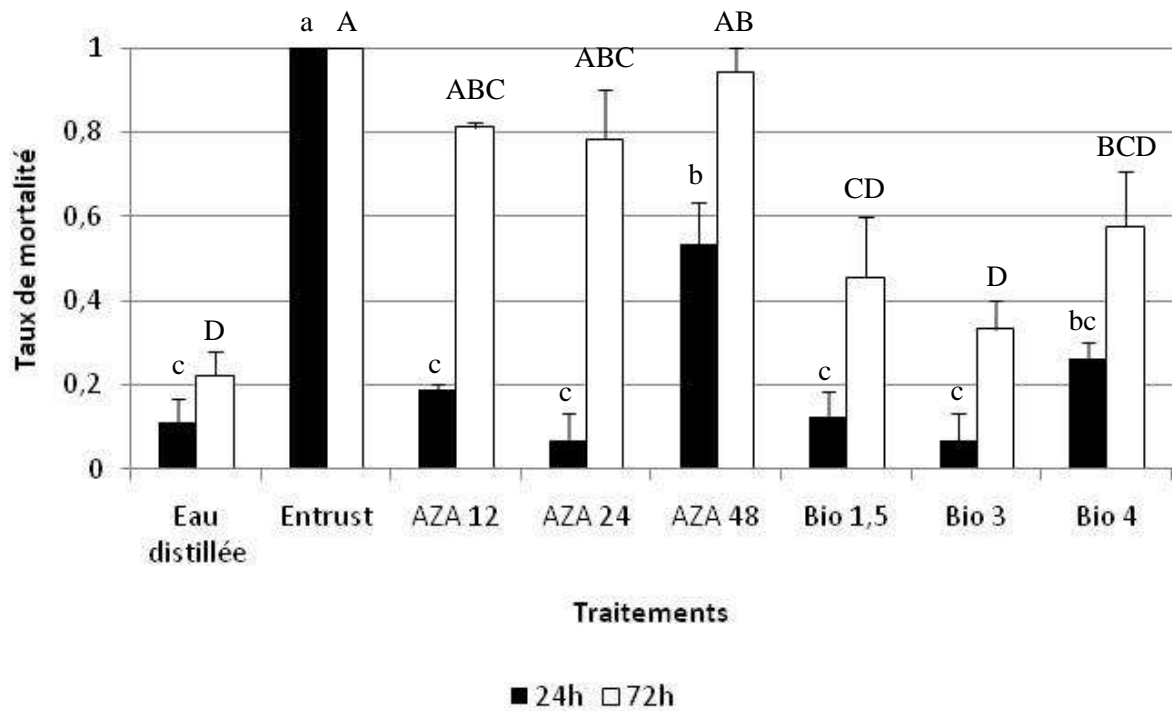


Figure 7. Moyennes (\pm erreur-type) des taux de mortalités des néonates (L1) de tordeuses des canneberges en fonction des traitements sur pousses de canneberge observées à 24 heures et à 72 heures après le traitement

Mortalité = larves mortes + larves moribondes. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les traitements (H.S.D, $\alpha=0,05$).

Bioessais avec les larves de stade 5

L5, 24 heures après traitement

Le taux de mortalité dû à l'Entrust a été significativement plus élevé que ceux dus aux autres traitements (Figure 8). Aucune différence significative n'a été relevée entre le taux de mortalité du témoin et les taux de mortalités dus aux trois concentrations d'azadirachtine et aux trois concentrations de Bioprotec CAF (Figure 8).

L5, 72 heures après traitement

Le taux de mortalité dû à l'Entrust a été significativement plus élevé que ceux dus aux autres traitements (Figure 8). Aucune différence significative n'a été relevée entre le taux de mortalité dû aux trois concentrations de Bioprotec CAF et celui dû à la dose de 24 g m.a. d'azadirachtine à l'hectare. Aucune différence significative n'a été relevée entre le taux de mortalité du témoin et les taux de mortalités dus aux trois concentrations d'azadirachtine et aux deux plus faibles concentrations de Bioprotec CAF (Figure 8).

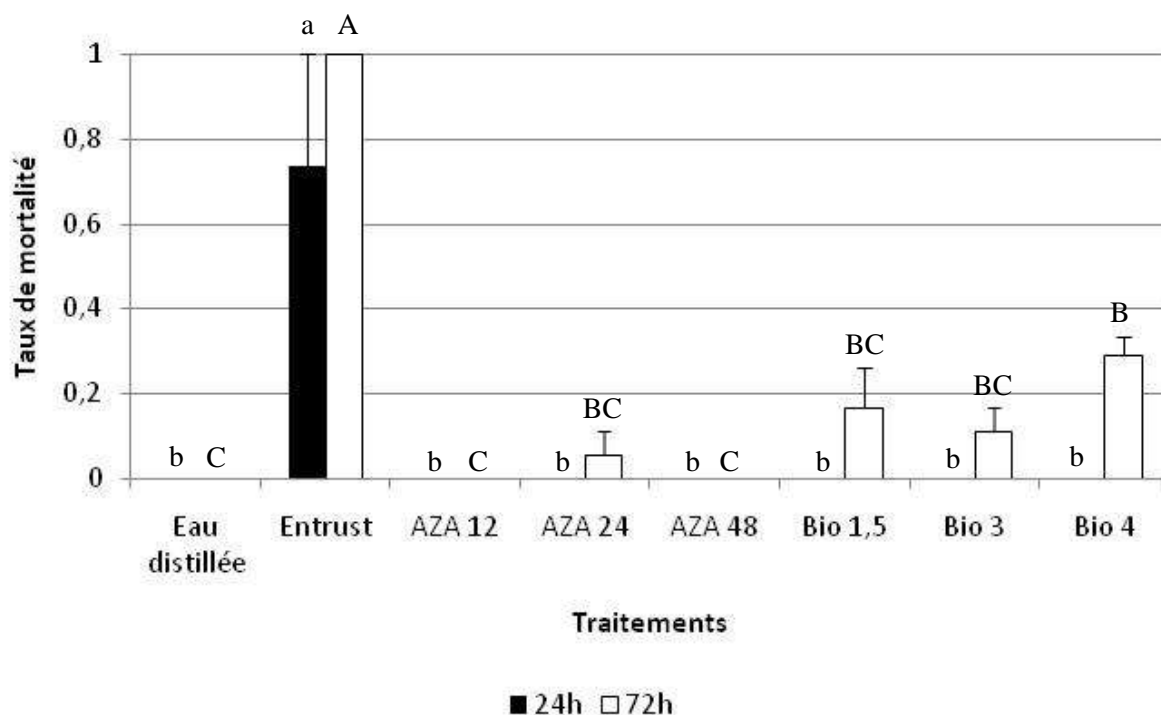


Figure 8. Moyennes (\pm erreur-type) des taux de mortalités des larves de stade 5 de tordeuses des canneberges en fonction des traitements sur pousses de canneberge observées à 24 heures et à 72 heures après le traitement.

Mortalité = larves mortes + larves moribondes. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les traitements (H.S.D, $\alpha=0,05$).

2.1.2. Année 2012

Les traitements des pousses de canneberge ont eu un effet significatif sur le taux de mortalité des TC, 24 heures et 72 heures après le traitement en 2012 également. L'effet a été observé pour les L1 ($F_{7,35} = 23,76$; $p < 0,0001$ et $F_{7,35} = 30,63$; $p < 0,0001$), les L2-3 ($F_{7,21} = 97,24$; $p < 0,0001$ et $F_{7,21} = 63,48$; $p < 0,0001$) et les L5 ($F_{7,35} = 315,66$; $p < 0,0001$ et $F_{7,35} = 67,39$; $p < 0,0001$).

Bioessais avec les larves de stade 1

L1, 24 heures après le traitement

Aucune différence significative n'a été relevée entre le taux de mortalité dû à l'Entrust et les deux concentrations de Pyganic (30 et 60) (Figure 9). Le taux de mortalité dû à ces trois traitements a été significativement plus élevé que ceux dus aux autres traitements. Aucune différence significative n'a été relevée entre le taux de mortalité du témoin et les taux de mortalités dus aux trois concentrations d'azadirachtine (AZA 24, 48 et 72) et au Bioprotec CAF (Bio 4) (Figure 9).

L1, 72 heures après traitement

Aucune différence significative n'a été relevée entre le taux de mortalité dû à l'Entrust, les deux concentrations de Pyganic (30 et 60) et le traitement au Bioprotec CAF (Bio 4) (Figure 9). Le taux de mortalité dû à l'Entrust et aux deux concentrations de Pyganic (30 et 60) a été significativement plus élevé que ceux dus aux trois concentrations d'azadirachtine (24, 48 et 72). Aucune différence significative n'a été relevée entre le taux de mortalité du témoin et les taux de mortalités dus aux deux plus faibles concentrations d'azadirachtine (24 et 48) (Figure 9).

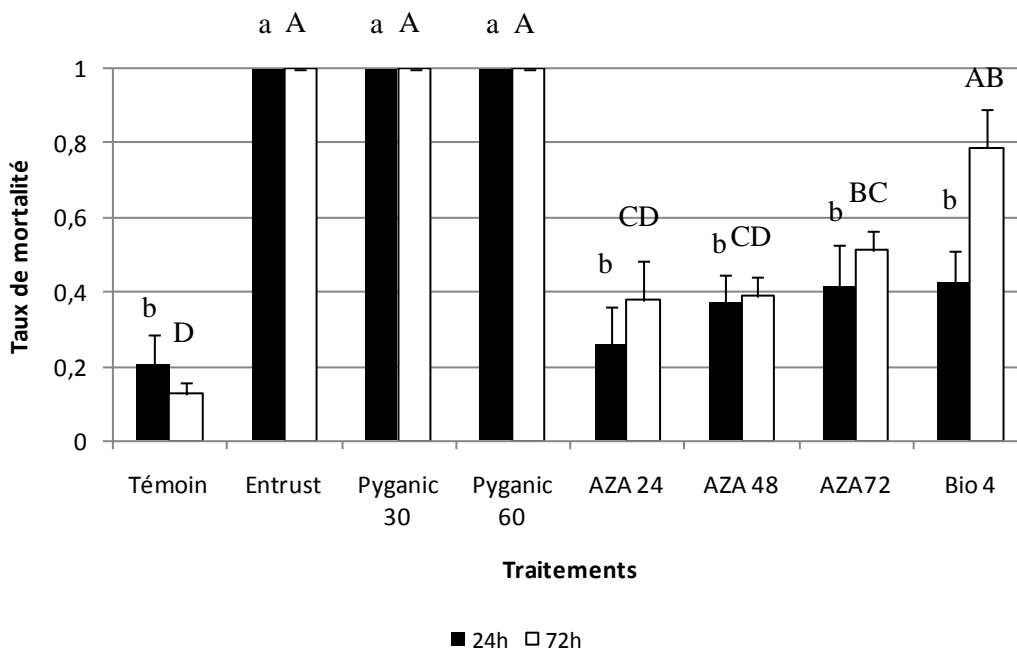


Figure 9. Moyennes (\pm erreur-type) des taux de mortalités des néonates (L1) de tordeuses des canneberges en fonction des traitements sur pousses de canneberge observée à 24 heures et à 72 heures après le traitement

Mortalité = larves mortes + larves moribondes. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les traitements (H.S.D, $\alpha=0,05$).

Bioessais avec les larves de stades 2-3L2-3, 24 heures après le traitement

Aucune différence significative n'a été relevée entre le taux de mortalité dû à l'Entrust et les deux concentrations de Pyganic (30 et 60) (Figure 10). Le taux de mortalité dû à ces trois traitements a été significativement plus élevé que ceux dus aux autres traitements. Le taux de mortalité dû à la plus forte concentration d'azadirachtine (72) était significativement plus élevé que le taux de mortalité du témoin. Aucune différence significative n'a été relevée entre le taux de mortalité du témoin et les taux de mortalités

des deux plus faibles concentrations d'azadirachtine (AZA 24 et 48) et au Bioprotec CAF (Bio 4) (Figure 10).

L2-3, 72 heures après traitement

Aucune différence significative n'a été relevée entre le taux de mortalité dû à l'Entrust et les deux concentrations de Pyganic (30 et 60) (Figure 10). Le taux de mortalité dû à ces trois traitements a été significativement plus élevé que ceux dus aux autres traitements. Aucune différence significative n'a été relevée entre les taux de mortalités dus aux trois concentrations d'azadirachtine (24, 48 et 72) qui ont été significativement plus élevés que ceux dus à la mortalité du témoin et au Bioprotec CAF (Bio4). Aucune différence significative n'a été relevée entre ces deux derniers traitements (Figure 10).

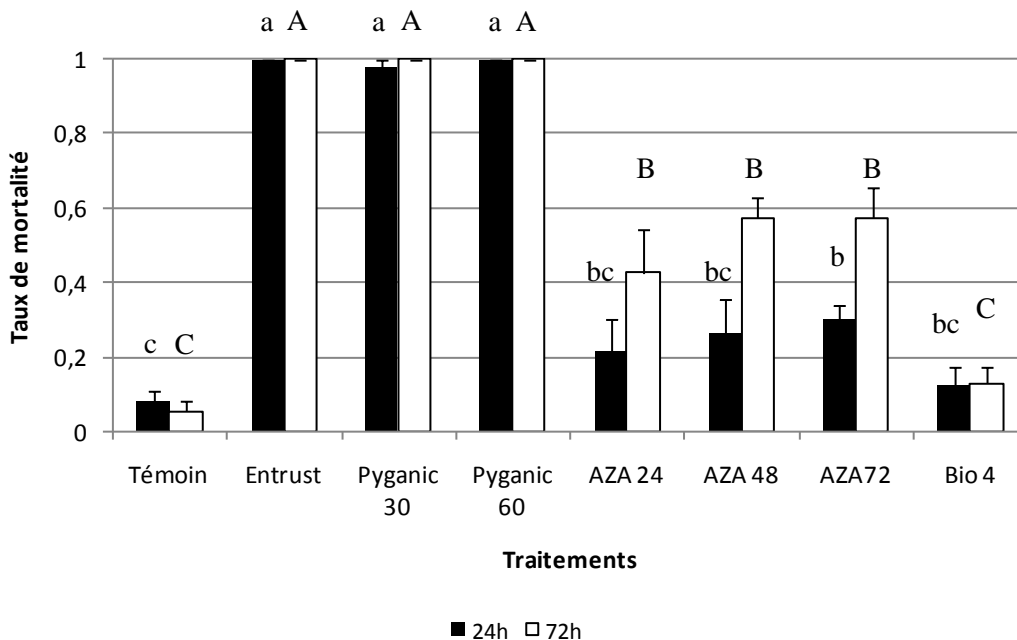


Figure 10. Moyennes (\pm erreur-type) des taux de mortalités des stades 2-3 de tordeuses des canneberges en fonction des traitements sur pousses de canneberge observées à 24 heures et à 72 heures après le traitement
Mortalité = larves mortes + larves moribondes. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les traitements (H.S.D, $\alpha=0,05$).

Bioessais avec les larves de stade 5

L5, 24 heures après traitement

Aucune différence significative n'a été relevée entre le taux de mortalité dû à l'Entrust et les deux concentrations de Pyganic (30 et 60) (Figure 11). Le taux de mortalité dû à ces trois traitements a été significativement plus élevé que ceux dus aux autres traitements. Aucune différence significative n'a été relevée entre le taux de mortalité du témoin et les

taux de mortalités dus aux trois concentrations d'azadirachtine (24, 48 et 72) et au Bioprotec CAF (Bio 4) (Figure 11).

L5, 72 heures après traitement

Aucune différence significative n'a été relevée entre le taux de mortalité dû à l'Entrust et les deux concentrations de Pyganic (30 et 60) (Figure 11). Le taux de mortalité dû à ces trois traitements a été significativement plus élevé que ceux dus aux autres traitements. Aucune différence significative n'a été relevée entre les taux de mortalités dus aux trois concentrations d'azadirachtine (24, 48 et 72) et au Bioprotec CAF (Bio 4). Aucune différence significative n'a été relevée entre le taux de mortalité du témoin et les taux de mortalités dus à la plus forte concentration d'azadirachtine (AZA 72) et au Bioprotec CAF (Bio 4) (Figure 11).

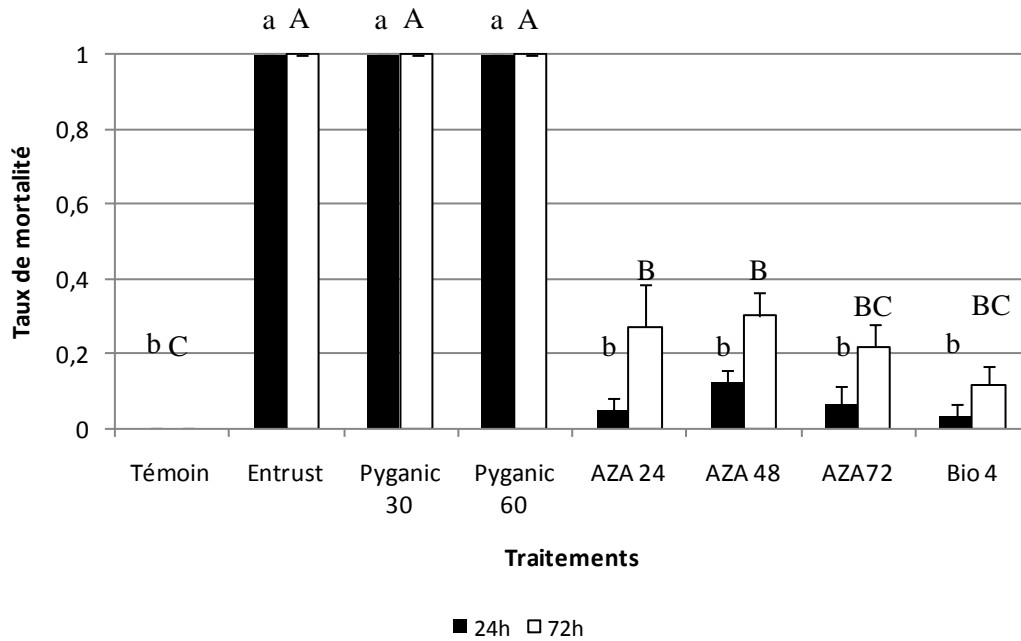


Figure 11. Moyennes (\pm erreur-type) des taux de mortalités des larves de stade 5 de tordeuses des canneberges en fonction des traitements sur pousses de canneberge observées à 24 heures et à 72 heures après le traitement.

Mortalité = larves mortes + larves moribondes. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les traitements (H.S.D, $\alpha=0,05$).

2.2. Essais en champs

2.2.1. Périodes et conditions d'application des traitements

Le stade de développement phénologique des plants de canneberge lors de la première application d'insecticides à chaque année sont indiqués au Tableau 2.

Tableau 2. Pourcentages de nouaison des plants de canneberge lors de la première application d'insecticides à chacune des années du projet tels qu'évalués en dénombrant les petits fruits sur 50 unités reproductives à 5 reprises.

Site	Pourcentage de nouaison lors de la première application d'insecticides		
	Année 2011 (7 juillet)	Année 2012 (3 juillet)	Année 2013 (12 juillet)
1	50	65	33
2	53	54	

Cette première application d'insecticides a donc été réalisée à un développement phénologique des plants de canneberge optimal (50% nouaison) pour lutter contre la pyrale des atocas en 2011 et dans le deuxième site en 2012. La période d'application a été quelques jours après le moment optimal pour le site 1 en 2012 ou avant en 2013.

Les données climatiques mesurées aux sites expérimentaux ainsi que celles recueillies à la station météo d'Environnement Canada située à Lemieux sont présentées à l'Annexe 2. Les périodes de pluie ou d'irrigation par aspersion peu après une application d'insecticides ont pu influencer l'efficacité des traitements. En 2012, il a plu après une période de 3 à 5 heures suite à la première pulvérisation, pour les sites 2 et 1 respectivement, pour un total d'accumulation d'approximativement 6 mm. En 2013, des nuits très froides suites aux deux premiers traitements, ont nécessité des irrigations contre le gel faites à la fin de la nuit. La diminution de l'activité des insectes causée par le froid, suivi d'apports d'eau qui ont pu entraîner le lessivage d'une partie des insecticides appliqués ont pu affecter l'efficacité des traitements insecticides.

2.2.2. Évaluation des populations de tordeuses des canneberges avant les traitements et évaluation de l'efficacité des traitements insecticides

A) Populations d'insectes avant les traitements

Aucune différence significative n'a été observée dans le nombre moyen de TC immatures entre les parcelles utilisées pour les différents traitements à chacune des années. Des différences ont par contre été observées entre les sites. En 2011, le nombre de TC immatures sur 100 tiges observées était significativement plus élevé pour le site 2 que pour le site 1 ($F_{1,6} = 13,75$; $p = 0,01$) (Tableau 3). Une différence similaire a été observée en 2012 alors que le nombre de TC immatures sur 75 tiges observées était également significativement plus élevé pour le site 2 que pour le site 1 ($F_{1,6} = 10,26$; $p = 0,0185$) (tableau 3).

Tableau 3. Nombre moyen (\pm erreur-type) de tordeuses des canneberges (TC) immatures par 75 à 100 tiges dans chacun des sites expérimentaux à chacune des années. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les sites pour une année donnée (ANOVA, $\alpha=0,05$).

Année	Site expérimental	Nombre de TC
2011	1	11,03 \pm 0,77a
2011	2	20,19 \pm 1,18b
2012	1	9,29 \pm 0,84a
2012	2	22,88 \pm 2,16b
2013	1	15,04 \pm 0,95

Lors de l'évaluation de 2011, les œufs représentaient 71 % et 52% des tordeuses observées au site 1 et 2 respectivement. Le reste des tordeuses étaient sous forme larvaire. En 2012 les œufs représentaient 30% et 56% des tordeuses observées au site 1 et 2 respectivement alors qu'en 2013 les œufs représentaient 27% des tordeuses observées.

B) Évaluation de l'efficacité des traitements insecticides

Tordeuse des canneberges année 2011

Quel que soit le traitement, le pourcentage de fruits endommagés par les TC était significativement plus élevé pour le site 2 que pour le site 1 ($F_{1,6} = 10,03$; $p = 0,0194$). Quel que soit le site, les traitements ont eu un effet significatif sur le pourcentage de dommages occasionnés par la TC ($F_{7,42} = 29,48$; $p < 0,0001$) et aucune interaction n'a été relevée entre les effets des sites et des traitements sur le pourcentage de fruits endommagés par les TC ($F_{7,42} = 1,95$; $p = 0,0859$).

Le pourcentage de fruits endommagés dans les parcelles traitées au Bioprotec CAF en plus faible concentration (Bio 1,5) était significativement plus élevé que celles traitées à l'azadirachtine (AZA 12, 24 et 48) et à l'Entrust (Figure 12). Aucune différence significative n'a été relevée entre le pourcentage de fruits endommagés dans les parcelles témoins, les parcelles traitées avec les différentes doses de Bioprotec CAF et celles traitées avec les deux plus faibles doses d'azadirachtine (AZA 12 et 24). Le pourcentage de fruits endommagés par les TC dans les parcelles traitées à l'Entrust n'était pas significativement différent de celui des parcelles traitées avec la plus forte dose d'azadirachtine (AZA 48) (Figure 12). Ils étaient significativement plus bas que ceux observés dans les parcelles témoins, traitées au Bioprotec CAF (trois doses) ou traitées aux deux plus faibles doses d'azadirachtine (AZA 12 et 24).

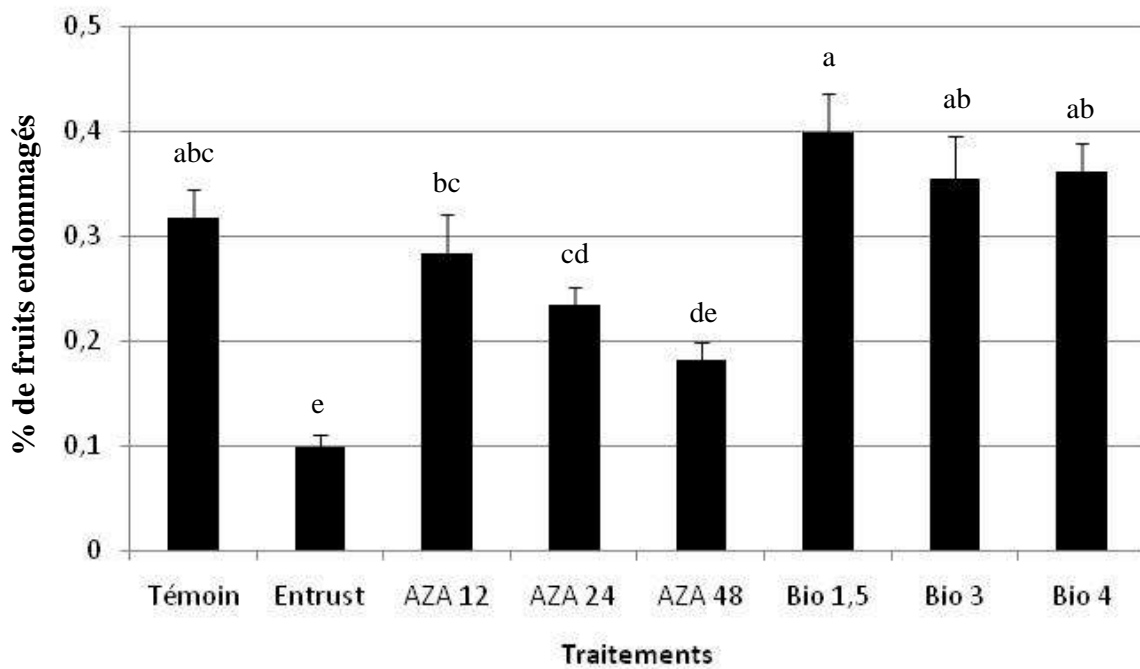


Figure 12. Moyennes (\pm erreur-type) des pourcentages de fruits endommagés par la tordeuse des canneberges, en fonction des traitements sur les deux sites regroupés. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les traitements (H.S.D, $\alpha=0,05$).

Pyrale des atocas année 2011

Le pourcentage de fruits endommagés par la pyrale des atocas était significativement plus élevé pour le site 1 que pour le site 2 ($F_{1,6} = 17,49$; $p = 0,0058$), différait entre les traitements ($F_{7,42} = 9,39$; $p < 0,0001$) avec présence d'une interaction entre les deux facteurs ($F_{7,42} = 3,32$; $p = 0,0067$).

Site 1

Les traitements ont eu un effet significatif sur le pourcentage de fruits endommagés par la pyrale des atocas ($F_{7,21} = 8,65$; $p < 0,0001$). La moyenne totale du pourcentage de fruits endommagés a été significativement différente selon les blocs ($F_{3,21} = 3,34$; $p = 0,0387$).

Le pourcentage de dommages dans les parcelles témoins était significativement plus élevé que dans les parcelles avec traitements insecticides (Figure 13). Quel que soit la dose utilisée, aucune différence significative n'a été relevée entre le taux de dégâts des parcelles traitées à l'azadirachtine et au Bioprotec CAF (Figure 13). Aucune différence significative n'a été relevée entre le pourcentage de dommages occasionnés par la pyrale dans les parcelles traitées avec les deux plus fortes doses de Bioprotec CAF (Bio 3 et 4), les deux plus fortes doses d'azadirachtine (AZA 24 et 48) et l'Entrust (Figure 13). Le pourcentage de fruits endommagés dans les parcelles traitées à l'Entrust était significativement plus bas que celui observé dans les parcelles témoins ou ayant été traitées avec les plus faibles doses d'azadirachtine (AZA 12) et de Bioprotec CAF (Bio 1,5) (figure 13).

Site 2

Les traitements n'ont eu aucun effet significatif sur le pourcentage de fruits endommagés par la pyrale ($F_{7,21} = 2,40$; $p = 0,0566$) (Figure 13). La moyenne totale des fruits endommagés par la pyrale a été significativement différente selon les blocs ($F_{3,21} = 3,37$; $p = 0,0378$).

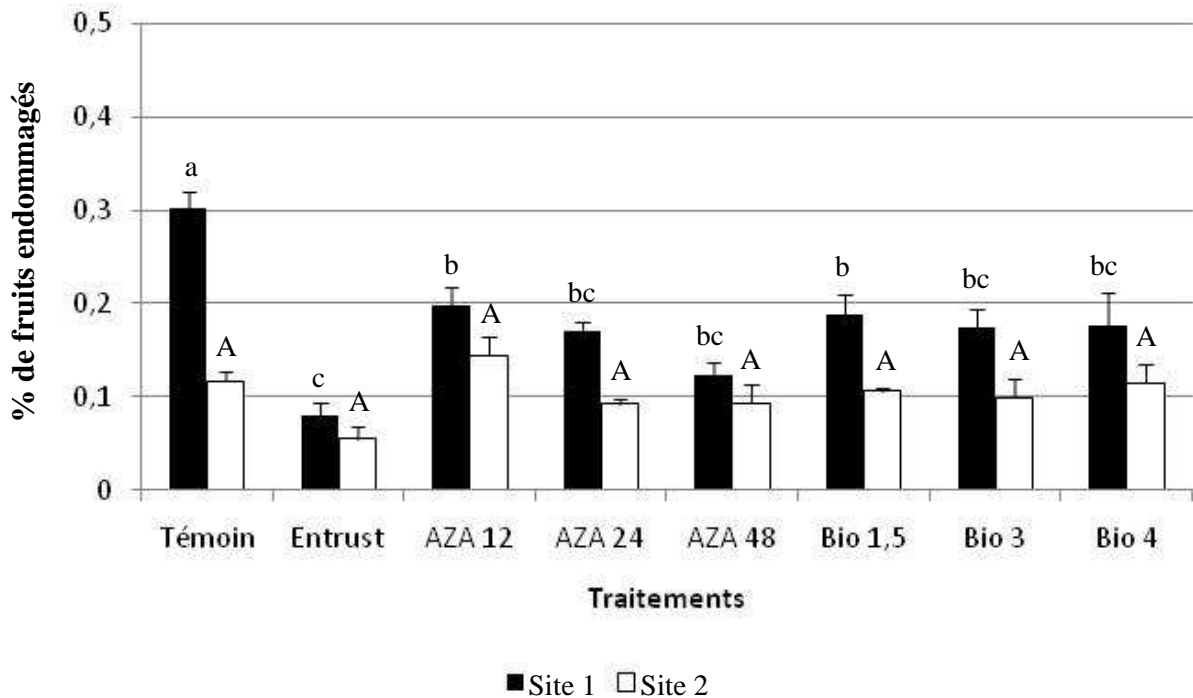


Figure 13. Moyennes (\pm erreur-type) des pourcentages de fruits endommagés par la pyrale des atocas en fonction des traitements. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les traitements (H.S.D, $\alpha=0,05$).

Rendement de fruits sains année 2011

Le rendement moyen à l'hectare (quantité moyenne de fruits sains en kg/ha) tel qu'évalué à la mi-août, était significativement plus élevé pour le site 2 que pour le site 1 ($F_{1,6} = 11,61$; $p = 0,0144$), différait entre les traitements ($F_{7,42} = 27,59$; $p < 0,0001$) avec présence d'une interaction entre les deux facteurs ($F_{7,42} = 3,55$; $p = 0,0044$).

Site 1

Les traitements ont eu un effet significatif sur le rendement à l'hectare ($F_{7,21} = 16,42$; $p < 0,0001$). La moyenne totale du rendement a été significativement différente selon les blocs ($F_{3,21} = 3,80$; $p = 0,0255$).

Aucune différence significative n'a été relevée entre le rendement de parcelles traitées à l'Entrust et traitées avec la plus forte dose d'azadirachtine (AZA 48) (Figure 14). Le rendement était significativement plus élevé dans les parcelles traitées à l'Entrust que dans les parcelles traitées avec les deux plus faibles doses d'azadirachtine (AZA 12 et 24), au Bioprotec CAF et dans le témoin (Figure 14).

Site 2

Les traitements ont eu un effet significatif sur le rendement à l'hectare ($F_{7,21} = 15,31$; $p < 0,0001$). La moyenne totale du rendement a été significativement différente selon les blocs ($F_{3,21} = 12,68$; $p < 0,0001$).

Le rendement était significativement plus élevé dans les parcelles traitées à l'Entrust que dans les parcelles traitées à l'azadirachtine, au Bioprotec CAF et dans les témoins (Figure 14). Aucune différence significative n'a été relevée dans le rendement entre les parcelles témoins, les parcelles traitées avec la plus faible et la plus forte doses d'azadirachtine (AZA 12 et 48) et au Bioprotec CAF (Figure 14).

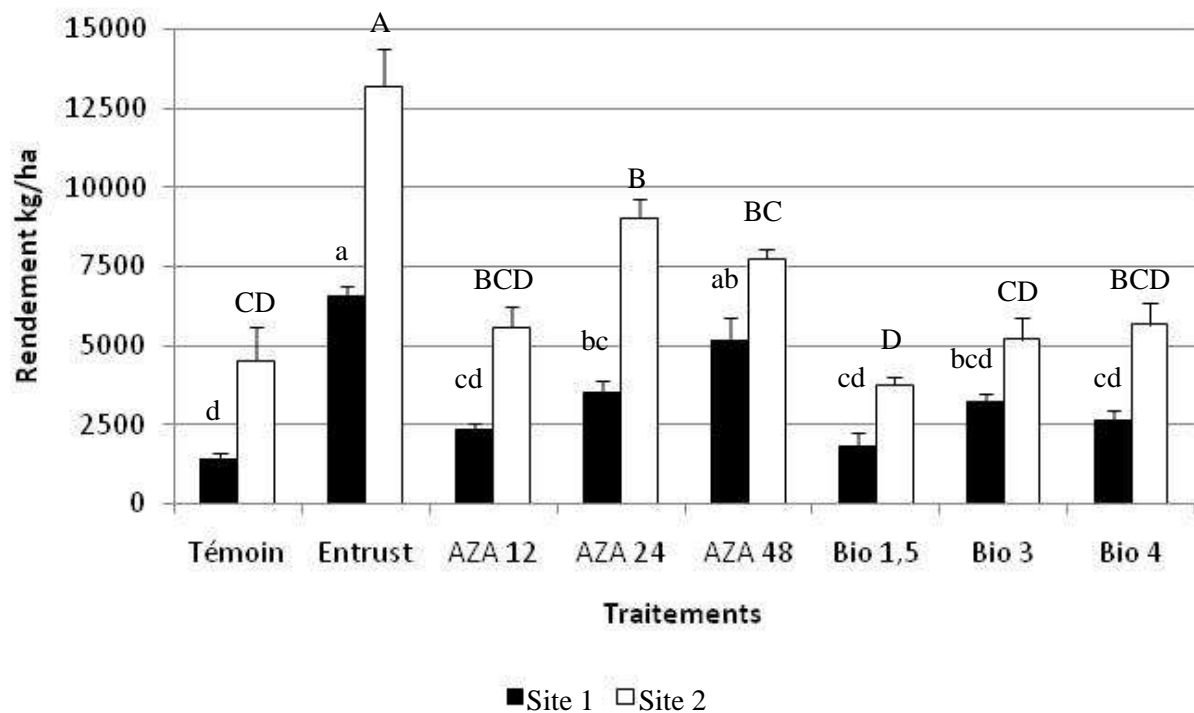


Figure 14. Rendements moyens (\pm erreur-type) de fruits sains à l'hectare en fonction des traitements. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les traitements (H.S.D, $\alpha=0,05$).

Tordeuse des canneberges année 2012

Quel que soit le traitement, le taux de fruits endommagés par les TC était significativement plus élevé pour le site 2 que pour le site 1 ($F_{1,6} = 68,57$; $p = 0,0002$). Quel que soit le site, les traitements ont eu un effet significatif sur le taux de dommages occasionnés par la TC ($F_{7,42} = 29,78$; $p < 0,0001$) et aucune interaction n'a été relevée entre l'effet des sites et des traitements sur le taux de fruits endommagés par les TC ($F_{7,42} = 1,16$; $p = 0,3467$).

Le taux de fruits endommagés dans les parcelles traitées au Bioprotec CAF (Bio 4) était significativement plus élevé que dans celles traitées avec la plus forte dose d'azadirachtine (AZA 72), à l'Entrust et aux deux doses de Pyganic (30 et 60) (Figure 15). Aucune différence significative n'a été relevée entre le taux de fruits endommagés dans les parcelles sans traitements (témoins), les parcelles traitées au Bioprotec CAF et celles traitées à l'azadirachtine (AZA 24, 48 et 72). Le taux de fruits endommagés par les TC dans les parcelles traitées à l'Entrust n'était pas significativement différent de celui des parcelles traitées au Pyganic (30 et 60) et à la plus forte dose d'azadirachtine (Figure 15).

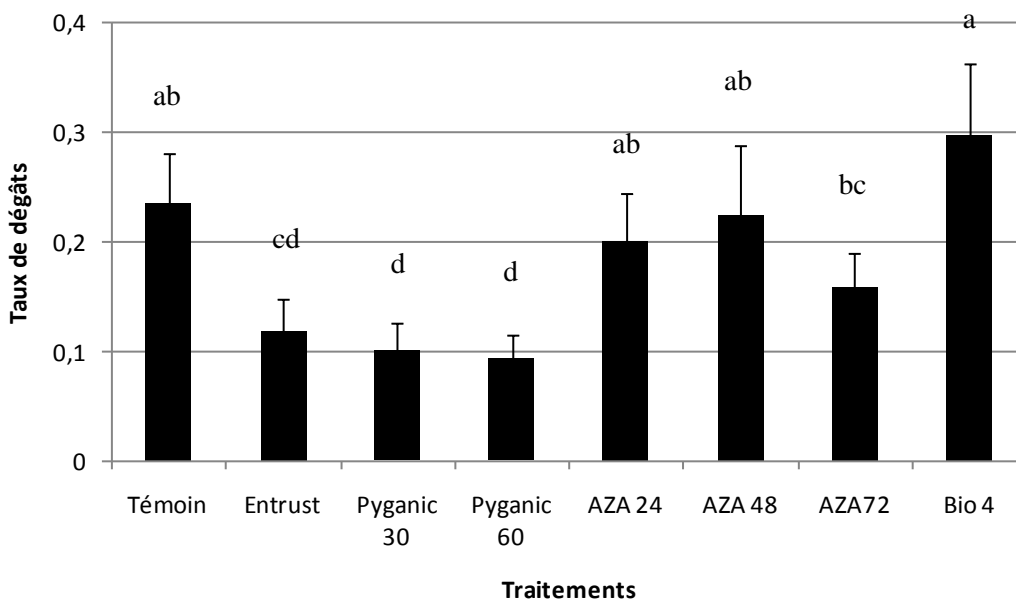


Figure 15. Moyennes (\pm erreur-type) des taux de fruits endommagés par la tordeuse des canneberges, en fonction des traitements, sur les deux sites regroupés. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les traitements (H.S.D, $\alpha=0,05$).

Pyrale des atocas année 2012

Aucune différence significative n'a été relevée concernant le taux de fruits endommagés par la pyrale des atocas entre les deux sites d'échantillonnage ($F_{1,6} = 1,13$; $p = 0,3295$). Il différait entre les traitements ($F_{7,42} = 5,03$; $p = 0,0003$) sans interaction entre les deux facteurs ($F_{7,42} = 0,55$; $p = 0,7912$).

Aucune différence significative n'a été relevée entre le taux de dommages dû aux pyrales dans les parcelles témoins, celui des parcelles traitées à l'azadirachtine (24, 48 et 72) et au Bioprotect CAF (Bio 4) (Figure 16). Aucune différence significative n'a été relevée entre les taux de dommages dus aux pyrales dans les parcelles traitées à l'Entrust et au Pyganic (30 et 60). Ce taux était significativement plus faible que dans les parcelles témoins et traitées avec la plus faible dose d'azadirachtine (AZA 24) (Figure 16).

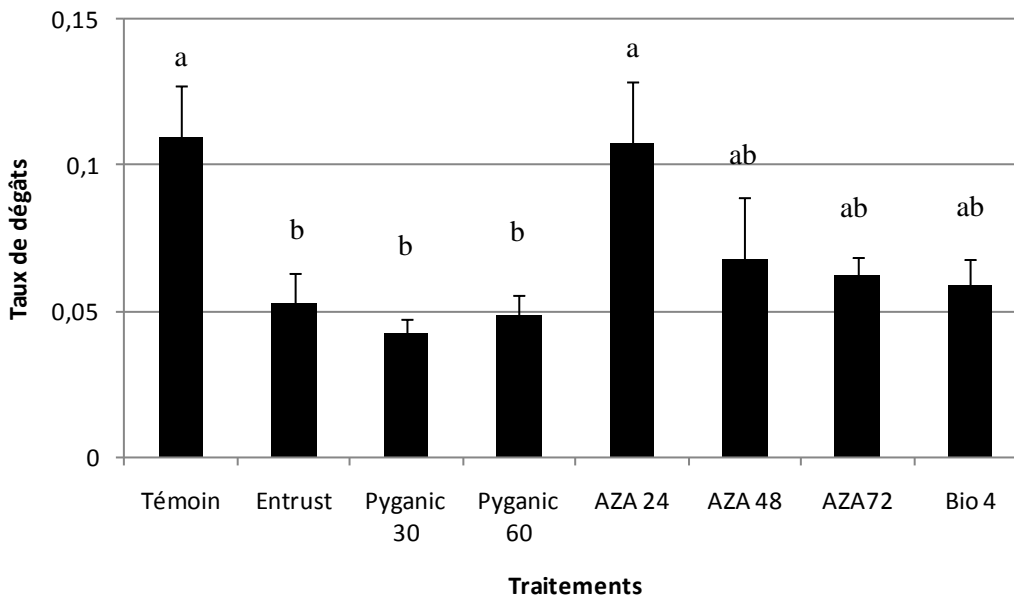


Figure 16. Moyennes (\pm erreur-type) des taux de fruits endommagés par la pyrale des atocas en fonction des traitements, sur les deux sites regroupés. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les traitements (H.S.D., $\alpha=0,05$).

Rendement de fruits sains année 2012

Le rendement moyen de fruits sains à l'hectare était significativement plus élevé pour le site 1 que pour le site 2 ($F_{1,6} = 6,53$; $p = 0,0432$), différait entre les traitements ($F_{7,42} = 7,17$; $p < 0,0001$) sans interaction entre les deux facteurs ($F_{7,42} = 0,87$; $p = 0,5358$).

Aucune différence significative n'a été relevée entre le rendement de parcelles traitées à l'Entrust, au Pyganic (30 et 60) et à la plus forte dose d'azadirachtine (AZA 72) (Figure 17). Aucune différence significative n'a été relevée entre les parcelles sans traitements

(témoins), les parcelles traitées à l'azadirachtine (24, 48 et 72) et au Bioprotec CAF (Bio 4). Le rendement était significativement plus faible dans les parcelles témoins et traitées avec les deux plus faibles doses d'azadirachtine (AZA 24 et 48) (Figure 17).

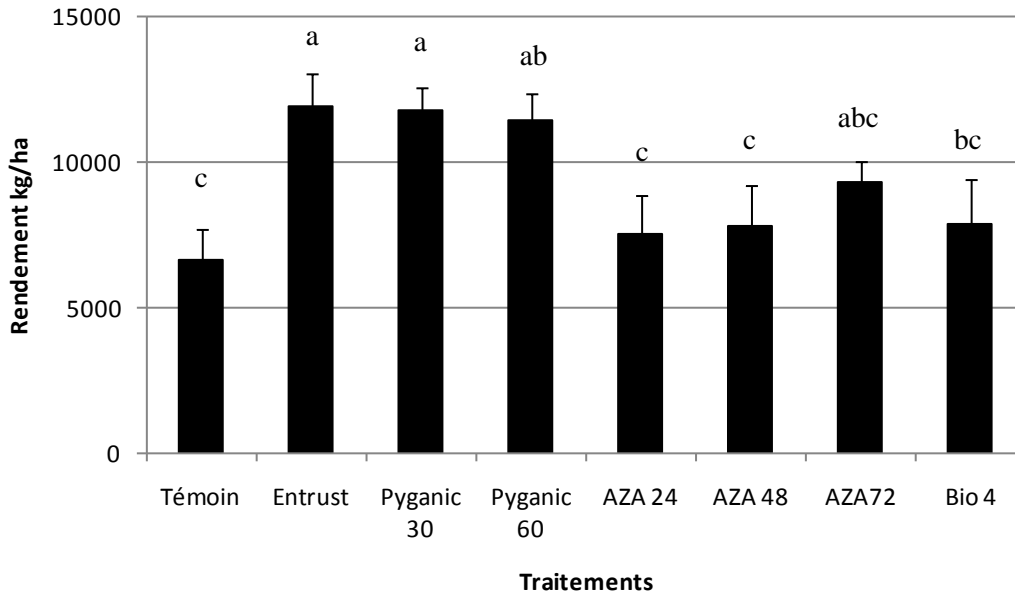


Figure 17. Rendements moyens (\pm erreur-type) de fruits sains à l'hectare en fonction des traitements sur les deux sites regroupés. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les traitements (H.S.D, $\alpha=0,05$).

Tordeuse des canneberges 2013

Le taux de fruits endommagés par les TC était significativement plus élevé pour un des quatre blocs ($F_{3,24} = 4,21$; $p = 0,0158$). Les traitements ont eu un effet significatif sur le taux de dommages occasionnés par la TC ($F_{8,24} = 20,85$; $p < 0,0001$).

Le taux de fruits endommagés dans les parcelles traitées au Bio 4 et Bio 4 + phagostimulant était significativement plus élevé que dans les parcelles témoins et les parcelles traitées aux autres insecticides (Figure 18). De plus, le taux de fruits endommagés dans les parcelles traitées à l'Entrust était significativement plus faible que dans les parcelles traitées à l'huile (Figure 18).

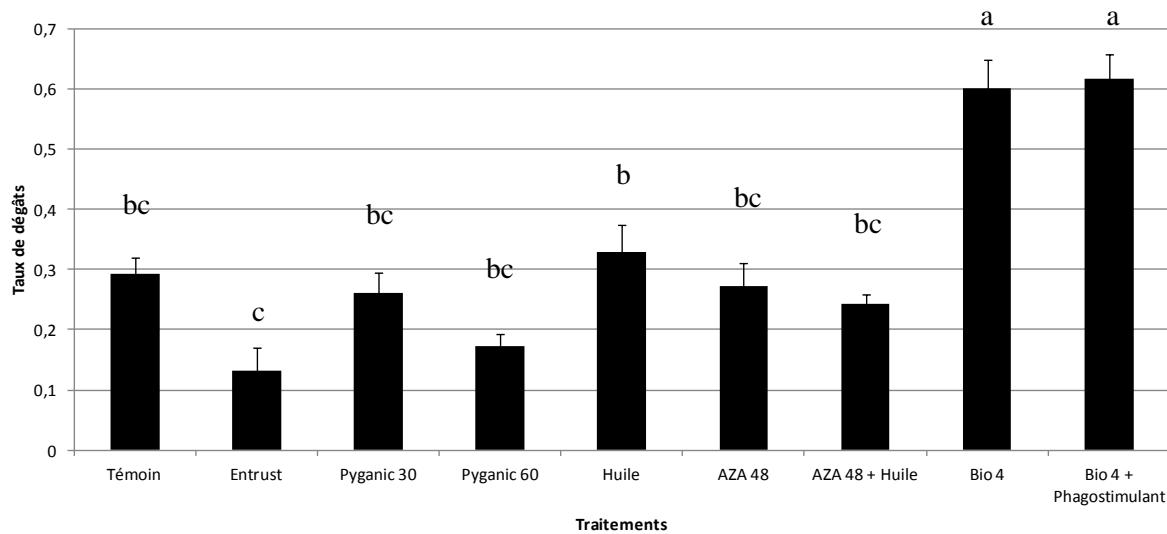


Figure 18. Moyenne (\pm erreur-type) des taux de fruits endommagés par la tordeuse des canneberges, en fonction des traitements. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les traitements (H.S.D, $\alpha=0,05$).

Pyrale des atocas année 2013

Le taux de fruits endommagés par les larves de pyrales des atocas était significativement plus élevé pour un des quatre blocs ($F_{3,24} = 10,2326$; $p = 0,0002$). Les traitements ont eu un effet significatif sur le taux de dommages occasionnés par les pyrales des atocas ($F_{8,24} = 4,01$; $p = 0,0038$).

Le taux de fruits endommagés dans les parcelles traitées à l'Entrust et au Pyganic 60 était significativement plus faible que dans les parcelles traitées à l'huile (Figure 19). Aucune différence significative n'a été relevée entre le taux de dommages dû aux pyrales dans les parcelles témoins et celui des parcelles traitées (Figure 19).

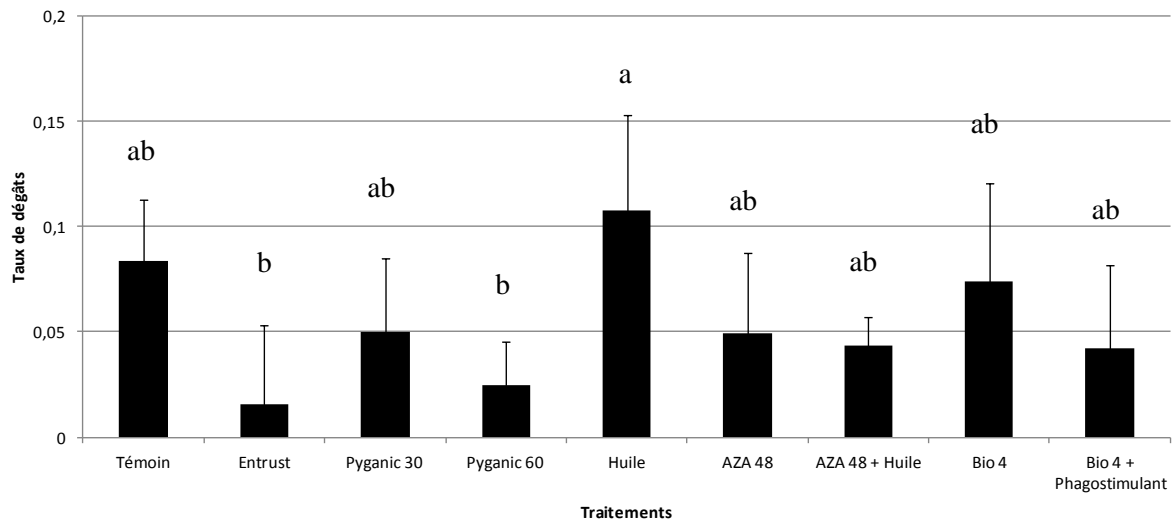


Figure 19. Moyennes (\pm erreur-type) des taux de fruits endommagés par la pyrale des atocas en fonction des traitements. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les traitements (H.S.D, $\alpha=0,05$).

Rendement de fruits sains année 2013

Le rendement moyen de fruits sains à l'hectare était significativement plus élevé pour un des quatre blocs ($F_{3,24} = 9,60$; $p = 0,0002$). Les traitements ont eu un effet significatif sur le rendement vendable ($F_{8,24} = 42,49$; $p < 0,0001$).

Le rendement a été significativement plus élevé dans les parcelles traitées à l'Entrust que dans toutes les autres parcelles (Figure 20). Il a aussi été significativement plus élevé dans les parcelles traitées au Pyganic (30 et 60) que dans les parcelles traitées aux autres insecticides sauf qu'aucune différence n'a été observée entre le traitement Pyganic 30 et le traitement AZA 48 + l'huile. Les parcelles traitées au Bio4 et Bio4 + phagostimulant ont eu les plus faibles rendements (Figure 20).

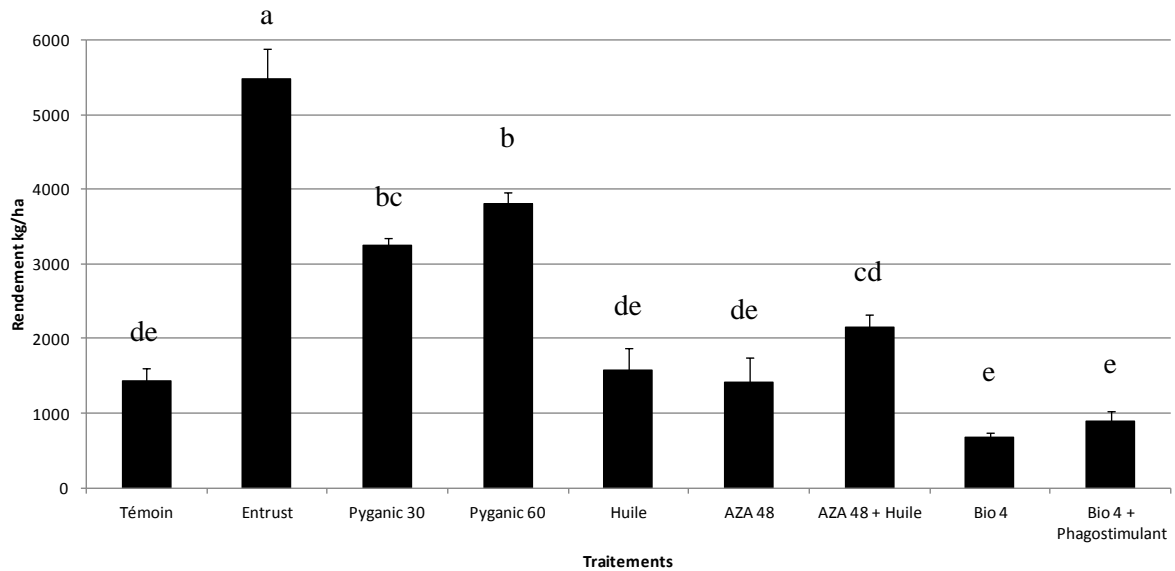


Figure 20. Rendements moyens (\pm erreur-type) de fruits sains à l'hectare en fonction des traitements. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les traitements (H.S.D, $\alpha=0,05$).

2.2.3. Évaluation de la phytotoxicité

Aucun signe de phytotoxicité n'a été observé dans les parcelles expérimentales, ni en 2011, ni en 2013.

3. Discussion

3.1. Bioessais en laboratoire

Les résultats des essais en laboratoire démontrent la grande efficacité des produits Entrust et Pyganic pour lutter contre la tordeuse des canneberges. Près de 100% des larves mises sur des pousses traitées avec ces produits sont mortes après seulement 24 heures d'exposition. Cette grande efficacité a été observée aussi bien sur les néonates (L1) que les larves âgées (L5).

L'efficacité du Bioprotec CAF pour lutter contre la tordeuse des canneberges a été grandement influencée par l'âge des larves testées. La mortalité des jeunes larves (L1) (58 à 78% après 72 heures) a été beaucoup plus élevée que celle observée sur les L5 (10 à 30% de mortalité après 72 heures). Le taux de mortalité observé sur les larves de stades 2-3 en 2012 après 72 heures était similaire à celui observé sur les L5. Tel qu'attendu, la mortalité des larves n'est pas survenue aussi rapidement qu'avec l'Entrust ou le Pyganic. Après 24 heures, les taux de mortalité des larves L1 étaient d'environ la moitié des taux observés après 72 heures et inférieurs à la moitié pour les larves L5. Il est connu que bien que les larves cessent de se nourrir quelques heures après avoir ingéré une quantité suffisante de *Bacillus thuringiensis* leur mortalité peut ne survenir que quelques jours plus tard.

Les résultats obtenus avec l'azadirachtine en laboratoire ont varié d'une année à l'autre. Alors que les taux de mortalité des L1 étaient élevés après 72 heures pour les différentes concentrations testées en 2011 (entre 78 et 93% pour 12, 24 et 48 g m.a./ha), ils étaient inférieurs à 40% pour les concentrations de 24 et 48 g m.a./ha en 2012. En 2012 l'efficacité du produit s'est maintenu pour les L2-3 (entre 40 à 60% pour 24, 48 et 72 g m.a./ha) et a diminué de moitié environ pour les L5 (entre 20 et 30%). En 2011, les taux de mortalité des L5 étaient beaucoup plus faibles, inférieurs ou égaux à 6% pour les différentes concentrations testées. À l'exception de l'essai fait sur les L1 en 2012, les taux de mortalités observés après 24 heures étaient approximativement équivalents ou inférieurs à la moitié de ceux observés après 72 heures. Cette action plus lente de l'azadirachtine est due à ses modes d'action dont l'un des principaux est d'interférer avec le processus de mue de l'insecte.

La différence d'efficacité de l'azadirachtine mesurée par les essais en laboratoire entre l'année 2011 et 2012 est difficile à expliquer. À chacune des années, de jeunes larves de tordeuses des canneberges ont été prélevées aux champs au printemps pour débiter

l'élevage en laboratoire. Les larves ont été prélevées dans des champs différents, dans différentes municipalités, et sous différentes régies en 2011 et 2012 (sous régie conventionnelle en 2011 et sous régie biologique en 2012). Il est possible que la sensibilité des larves à l'azadirachtine ait été un peu différente en 2011 et 2012. Cette différence ne peut être reliée à un développement de résistance directe puisque l'azadirachtine n'est pas homologué dans la canneberge et n'a pas été appliqué dans le passé. Il est également possible que les conditions d'entreposage du lot d'azadirachtine utilisé en 2012 n'aient pas toujours été optimales, ce qui aurait affecté négativement son efficacité insecticide (AEF Global, 2013).

3.2. Essais en champs

Des trois années d'essais réalisées en champs, les deux premières ont généré les données les plus concluantes. Étant donné les nuits froides et les irrigations contre le gel qui ont suivi les deux premières applications d'insecticides biologiques en 2013, ces produits n'ont pas eu une efficacité maximale. En 2013 aucun traitement n'a amené une diminution significative du pourcentage de fruits endommagés par la tordeuse des canneberges ou la pyrale des atocas en comparaison au témoin.

3.2.1. Tordeuse des canneberges

De façon générale, les résultats des essais aux champs corroborent ceux des essais en laboratoire. Des différents produits testés, l'Entrust et le Pyganic sont ceux qui ont obtenu le plus faible taux de fruits endommagés par la tordeuse des canneberges aux champs. Aucune différence significative n'a été observée au niveau de l'efficacité de ces produits sur la tordeuse. Aucune différence n'a également été observée entre les deux doses de Pyganic (30 et 60 g m.a./ha). Notons que bien que non significatif, en 2013, sous des conditions climatiques défavorables, les parcelles ayant reçu 60 g m.a./ha de Pyganic avait un pourcentage moyen de fruits endommagé inférieur de près de 10% à celui évalué dans les parcelles ayant reçu 30 g m.a./ha. L'Entrust a permis une diminution de 67% et 49% des dommages de tordeuse en 2011 et 2012 respectivement. Les différentes doses de Pyganic ont amené une diminution de 57% à 61% des dommages en 2012.

En ce qui a trait à l'azadirachtine, les pourcentages de fruits endommagés par la tordeuse dans les parcelles traitées avec 48 g m.a./ha en 2011 et 72 g m.a./ha en 2012 n'étaient pas significativement différents de ceux provenant des parcelles traitées à l'Entrust. La

diminution moyenne du pourcentage de fruits endommagés par la tordeuse à ces concentrations a été de 42% en 2011 et de 32% en 2012. La dose de 48 g m.a./ha en 2012 n'a amené une diminution moyenne du taux de dommage que de 5%. La baisse d'efficacité de cette dose en 2012 pourrait être due aux conditions climatiques suite à la première application d'insecticide (il a plu 3 à 5 heures après l'application) ou à la qualité du lot d'azadirachtine utilisé.

Sous nos conditions expérimentales aux champs, l'application de Bioprotec CAF n'a pas permis de diminuer le pourcentage de fruits endommagés par la tordeuse des canneberges en comparaison au témoin. En 2013 l'application de Bioprotec CAF a au contraire amené une augmentation significative du taux de fruits endommagés. Certains fruits n'avaient que des petits dommages dans ces parcelles. Les larves se sont peut-être nourries sur plusieurs fruits traités au Bioprotec CAF, à la recherche de nourriture qui leur conviendrait mieux. Les bioessais en laboratoire ont démontré que l'efficacité de ce produit diminuait beaucoup lorsque les larves de tordeuse étaient plus âgées. Même les L2-3 étaient beaucoup moins sensibles que les L1. Puisque le développement larvaire de la deuxième génération de tordeuses est relativement rapide, il est d'environ 12 jours au Massachusetts (Averill et Sylvia 1998) les larves provenant d'œufs ayant éclos deux à trois jours après une application ont pu muer avant que la prochaine application soit faite. L'efficacité du produit serait probablement améliorée si l'intervalle entre les applications était plus court.

3.2.2. Pyrale des atocas

Tel que mentionné dans la section résultat, bien que les applications des insecticides biologiques aient visé la lutte contre la tordeuse, les périodes d'applications ont été optimales ou près d'être optimales pour lutter contre la pyrale. Des différents produits testés l'Entrust et le Pyganic ont obtenu les meilleurs résultats. Au site 1 en 2011 pour l'Entrust et dans les 2 sites en 2012 pour l'Entrust et le Pyganic une diminution significative du pourcentage de fruits endommagés par la pyrale a été observée. Au site 1 en 2011 la diminution des dommages occasionnés par l'Entrust a été de 73% alors qu'en 2012 elle était de 52% pour l'Entrust et de 55 à 61% pour les différentes doses de Pyganic. Une baisse significative des dommages de pyrales a également été observée dans les parcelles traitées aux différentes doses d'azadirachtine et de Bioprotec CAF au site 1 en 2011. Les diminutions ont été de 37, 43 et 62% pour les doses de 12, 24 et 48 g de m.a./ha

d'azadirachtine et entre 42 et 48% pour les différentes doses de Bioprotec CAF. Aucune différence significative n'a été observée entre les doses de produits utilisées. Aucune diminution significative des dommages de pyrales n'a été obtenue avec ces produits en 2012.

3.2.3. Rendement de fruits sains

De façon générale, les résultats de l'évaluation des rendements à la mi-août reflètent l'efficacité des traitements pour lutter contre la TC. En 2011, seuls les rendements évalués dans les parcelles traitées à l'Entrust ou aux deux plus fortes doses d'azadirachtine ont été significativement différents de ceux du témoin. En 2012 et 2013, les parcelles traitées à l'Entrust et au Pyganic ont obtenu des rendements significativement supérieurs au témoin. En 2013, bien que les pourcentages de fruits endommagés par la tordeuse ou la pyrale observés dans les parcelles traitées à l'Entrust ou au Pyganic n'aient pas été significativement différents du témoin, l'effet de ces insecticides sur tous les ravageurs de la canneberge a été significatif, tel qu'illustré par le rendement de fruit sains. Notons qu'étant donné la date hâtive à laquelle cette évaluation a été réalisée, les fruits n'avaient pas atteint leur grosseur maximale et les rendements mesurés sont inférieurs aux rendements réels lors de la récolte faite en octobre. L'évaluation nous permet tout de même de comparer les différents traitements quant à leur effet sur le rendement.

4. Conclusion

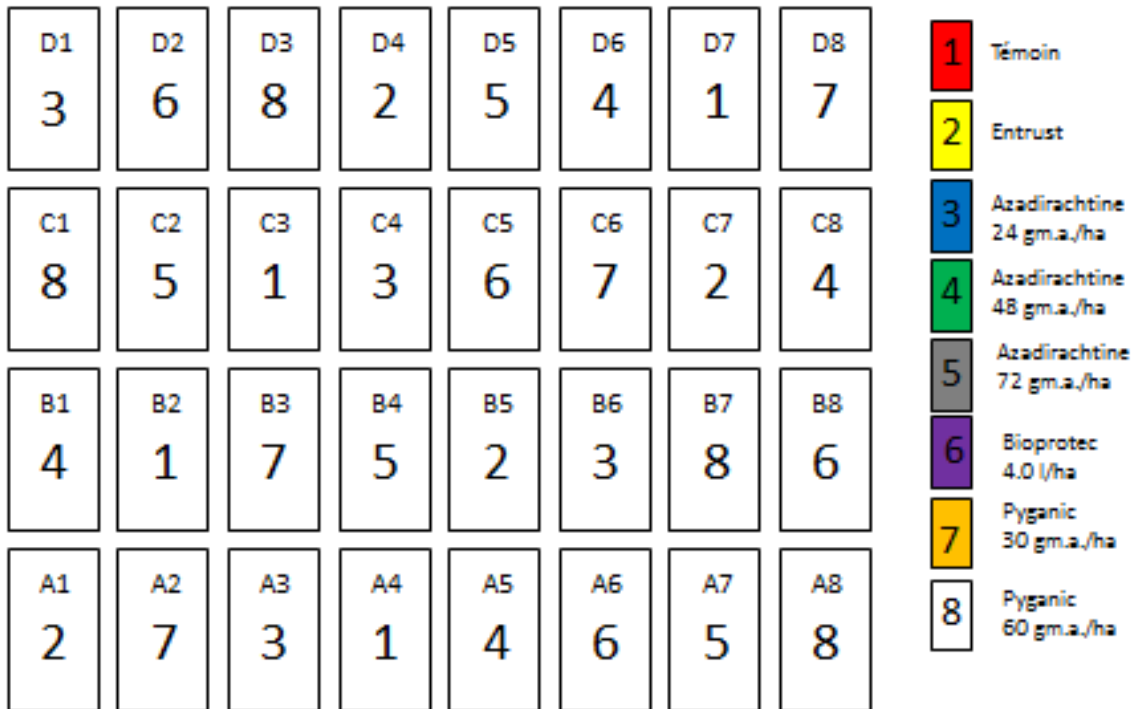
Des insecticides testés dans ce projet, l'Entrust et le Pyganic ont été les plus efficaces pour lutter contre la tordeuse des canneberges. Ces deux produits ont également amené les plus fortes diminutions de dommages causés par la pyrale des atocas et les plus fortes augmentations de rendements de fruits sains. L'effet de ces produits est rapide et leur efficacité est aussi grande sur les larves âgées (L5) que les jeunes larves (L1), tel que démontré par la forte mortalité des larves après 24 heures dans les bioessais en laboratoire. Aucune différence significative n'a été mesurée dans l'efficacité des deux doses de Pyganic testées, quoiqu'en 2013, sous des conditions climatiques défavorables, les parcelles ayant reçu 60 g m.a./ha de Pyganic avait un pourcentage moyen de fruits endommagés par la tordeuse inférieur de près de 10% à celui évalué dans les parcelles ayant reçu 30 g m.a./ha.

L'azadirachtine et le Bioprotec CAF n'ont pas un effet aussi rapide. L'efficacité de ces produits est beaucoup plus grande sur les jeunes larves (L1) que sur les larves âgées (L5). Il est donc important de commencer l'application de ces produits au début de l'éclosion. Leur efficacité serait probablement augmentée si l'intervalle entre les applications était plus court. En champs, les plus fortes doses d'azadirachtine dans l'essai de 2011 (48 g m.a./ha) et de 2012 (72 g m.a./ha) ont amené une diminution du pourcentage de fruits endommagés par la tordeuse des canneberges statistiquement comparable à celle de l'Entrust. Sous nos conditions expérimentales, l'application de Bioprotec CAF n'a pas permis de diminuer le pourcentage de fruits endommagés par la tordeuse des canneberges.

Bibliographie

- AEF Global. 2013. Communication personnelle avec Claude Dubois, directeur, développement des produits et services techniques, AEF Global.
- Averill, A. L. and Sylvia M. M. 1998. Cranberry Insects of the Northeast. Department of Entomology and Cranberry Experiment Station University of Massachusetts at Amherst, 112 p.
- Porter A. 2009. IRAC Susceptibility Test Methods Series – Method No: 007. Version: 3. http://www.irc-online.org/content/uploads/Method_007_v3_june09.pdf
- SAS Institute Inc. 2008. JMP 8 Introductory Guide. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 136p.
- Scherrer, B. 2007. Biostatistique. Montréal, Gaëtan Morin éditeur. Chenelière éducation. 819p.
- Shelton, A. M., J. L. Robertson, J. D. Tang, C. Perez, S. D. Eigenbrode, H. K. Preisler, W. T. Wilsey et R. J. Cooley. 1993. Resistance of Diamondback Moth (Lepidoptera : Plutellidae) to *Bacillus thuringiensis* Subspecies in the Field. J. Econ. Entomol. 86(3) : 697-705.

Annexe 1. Dispositif expérimental utilisé au site 1 en 2012.



Annexe 2. Pluviométrie et irrigations évaluées durant les quatre jours suivant chacune des applications d'insecticides selon les lectures effectuées par les producteurs à chacun des sites et les données de la station météo d'Agriculture Canada à Lemieux.

Année 2011

Date	Site 1			Site 2			Station météo Ag. Canada Lemieux Précipitation (mm)
	Précipitation (mm)	Hre de lecture du pluviomètre	Irrigation (hre)	Précipitation (mm)	Hre de lecture du pluviomètre	Irrigation (hre)	
7/07/11 1 ^{er} application							
8/07/11	-	-	-	0	7 :00	2	2.0
9/07/11	4	10:00	0	4	9 :30	0	1.0
10/07/11	0	10:00	0	0	-	0	0
11/07/11	0	10:00	0	4	8 :00	0	4.0
15/07/11 2 ^{ième} application							
16/07/11	0	10:00	0	0	-	0	0
17/07/11	0	10:00	0	0	-	2	6.0
18/07/11	3	10:00	0	5	10 :00	0	0
19/07/11	1	10:00	1	0	10 :00	0	0
22/07/11 3 ^{ième} application							
23/07/11	-	-	-	0	20 :00	0	0.1
24/07/101	0	8 :00	0	0	20 :00	2	0
25/07/11	0	8 :00	0	-	-	-	19.2
26/07/11	31	7 :00	0	-	-	-	11.4

Annexe 2 (suite).**Année 2012**

Date	Site 1			Site 2			Station météo Env. Canada Lemieux Précipitation (mm)
	Précipitation (mm)	Hre de lecture du pluviomètre	Irrigation (hre)	Précipitation (mm)	Hre de lecture du pluviomètre	Irrigation (hre)	
3/07/12 1 ^{er} application							
4/07/12	6	8 :00	0	-	-	-	-
5/07/12	2,5	8:00	0	14 (somme du 4 et du 5/07)	7 :30	0	-
6/07/12	0	7 :00	1	0	6 :30	0	-
7/07/12	0	9 :30	0	0	6 :00	0	0
9/07/12 2 ^{ème} application							
10/07/12	0	8:00	0	0	5 :30	1	0
11/07/12	0	11:00	5	0	6 :00	2,25	0
12/07/12	0	8 :00	4	0	6 :00	0	0
13/07/12	0	8:00	0	0	8 :00	0	0
18/07/12 3 ^{ème} application							
19/07/12	0	8 :00	0	0	7 :00	1,25	0
20/07/12	0	8 :00	2	-	-	-	0
21/07/12	0	8 :00	3	-	-	-	0
22/07/12	0	8 :00	0	-	-	-	0

Annexe 2 (suite).**Année 2013**

Date	Site 1			Station météo Env. Canada Lemieux Précipitation (mm)
	Précipitation (mm)	Hre de lecture du pluviomètre	Irrigation (hre)	
12/07/13 1 ^{ier} application				
13/07/13	0	7:30	2	0
14/07/13	0	7:30	1	0
15/07/13	0	7 :00	1	0
16/07/13	0	7 :30	1,5	0
21/07/13 2 ^{ième} application				
22/07/13	0	8:00	0,75	0
23/07/13	0	7:30	0	6
24/07/13	3	9:30	0	1
25/07/13	0	7:30	1	0
27/07/13 3 ^{ième} application				
28/07/13	0	8 :00	0	0
29/07/13	4	12 :00	0	2
30/07/13	0	6:30	1	3
31/07/13	3	8 :00	0	0