

Tout ce que vous devez savoir sur le Bti

MISE À JOUR 2023

Table des matières

Le <i>Bacillus thuringiensis israelensis</i> (Bti) : ici et ailleurs.....	1
À quoi ça sert ?.....	1
Depuis quand utilise-t-on le Bti ?.....	1
Comment ça fonctionne ?.....	2
Innocuité du Bti.....	3
Faune non-cible.....	4
Effets sur les amphibiens.....	4
Effets sur les chironomes.....	5
Effets sur les oiseaux.....	5
Réseau trophique.....	6
Résistance.....	7
La santé publique.....	8
Effets du Bti sur l'humain.....	8
Maladies transmises par les moustiques.....	8
Cadre réglementaire.....	9
Étapes du cadre réglementaire - organigramme.....	10
Méthodologie.....	11
Traitement des moustiques.....	11
Traitement des mouches noires.....	12
Avant et après traitement.....	12
Épandage aérien.....	12
Zone de traitement.....	13
Acceptabilité sociale.....	14
Bénéfices liés au contrôle des insectes piqueurs.....	15
Alternatives.....	16
Qui sommes-nous?.....	18
Foire aux questions.....	19
Références.....	21

Le Bacillus thuringiensis israelensis (Bti) : ici et ailleurs

Les larvicides à base de toxines de *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* (Bti) sont mondialement établis par l'OMS et les autorités gouvernantes comme l'alternative favorite aux insecticides chimiques dans la lutte contre les moustiques (World Health, 2020).

« Le Québec ne fait pas exception et a même été un véritable précurseur en adoptant dès le début des années 80, les choix responsables de se doter d'outils de lutte biologique contre les insectes ravageurs (1) et les insectes piqueurs (2).

En Europe, c'est plus de 150 millions de personnes qui bénéficient de traitement à l'aide du Bti, depuis que les autorités ont délaissé les larvicides chimiques et opté pour le Bti. Il faut distinguer que, du côté européen, les travaux au Bti sont autorisés dans les aires protégées (telles que les zones inscrites à l'inventaire européen Natura 2000), alors qu'au Québec, les aires protégées (parcs, réserves) sont exclues de tout traitement (Lewis et al., 2016).

Voir les sites du ministères :

- 1) <https://mffp.gouv.qc.ca/les-forets/protection-milieu-forestier/epidemie-de-la-tordeuse-des-bourgeons-de-lepinette/questions-frequentes/>
- 2) <https://www.environnement.gouv.qc.ca/pesticides/virus-nil/bti/>

À quoi ça sert ?

Le Bti sert à contrôler les moustiques et les mouches noires. Il est aussi utilisé dans la prévention des maladies transmises par les moustiques, comme le virus du Nil occidental, et permet une meilleure qualité de vie aux populations aux prises avec la nuisance causée par ces insectes (Ferreira & Silva-Filha, 2013; Lacey, 2007).

Il correspond à une solution écologique non toxique pour les humains et les animaux et se dégrade rapidement dans l'environnement (Glare & O'Callaghan, 1998; World Health, 2020). Il n'a pas d'impact significatif sur les habitudes alimentaires des autres espèces animales (Duchet et al., 2018; Strasburg & Boone, 2021; Timmermann & Becker, 2017).

Ce biolarvicide est appliqué dans l'eau stagnante ou courante, soit les endroits où pondent les moustiques et les mouches noires. La lutte aux insectes piqueurs, au moyen de larvicides biologiques, montre une sensibilité collective à la préservation des milieux naturels et permet de contribuer à l'atteinte d'un meilleur équilibre entre les actions de la nature et celles de l'Homme.

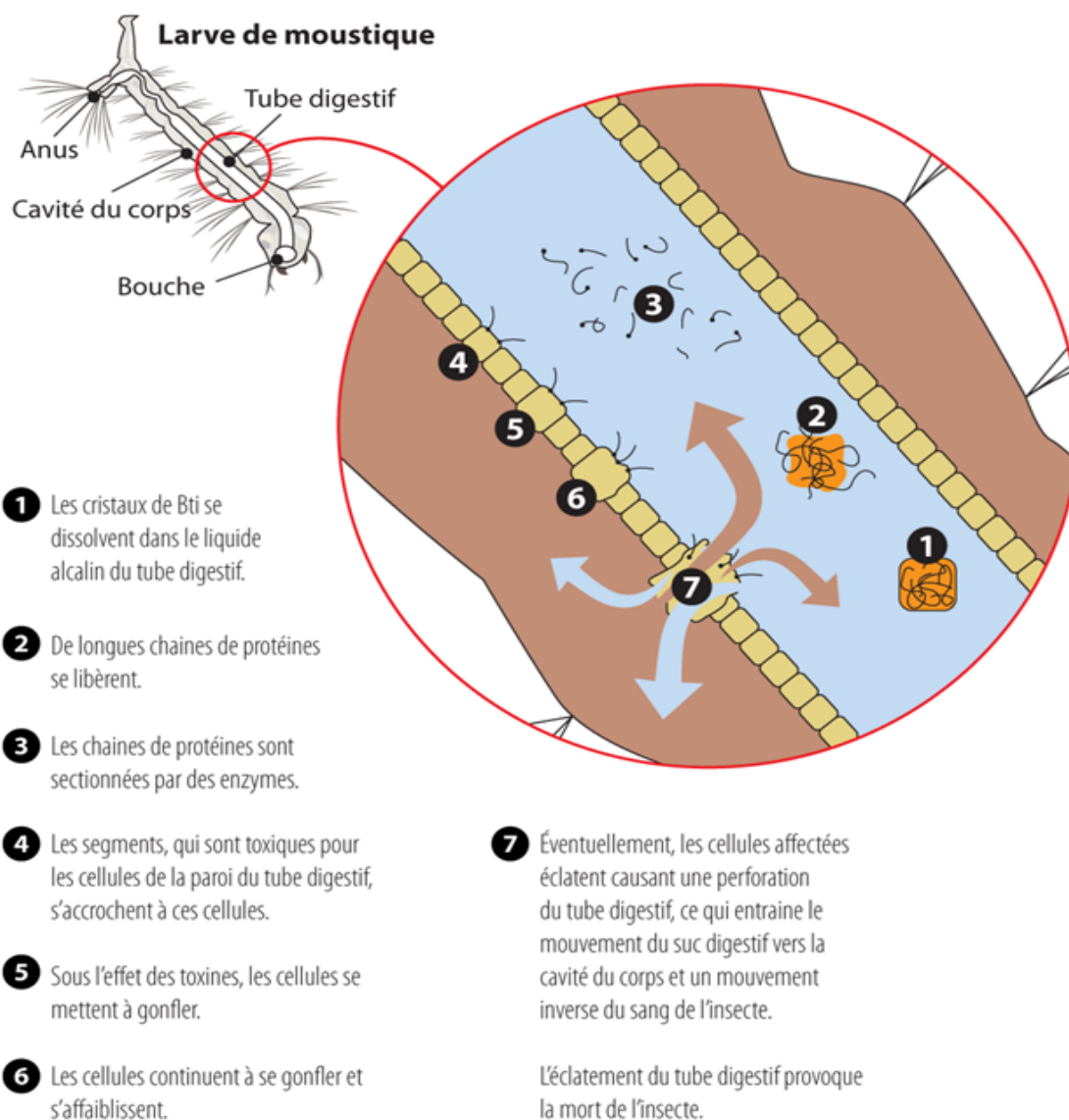
Depuis quand utilise-t-on le Bti ?

Le Bti a été découvert en Israël 1976. Cette bactérie démontrant des propriétés hautement larvicides pour les moustiques, fut découverte par Goldberg et Margalit dans une petite mare du désert du Néguev (Goldberg & Margalit, 1977). Ils publient leurs travaux en 1977 et, depuis 1982, le Bti est utilisé à travers le monde pour le contrôle des moustiques et des mouches noires.

COMMENT ÇA FONCTIONNE ?

Durant l'étape de sporulation de son cycle de vie, le Bti produit une protéine cristallisée (Andrews et al., 1987; Hannay, 1953), qui est toxique uniquement pour les larves de moustiques hématophages et de mouches noires (Bulla et al., 1977; Höfte & Whiteley, 1989; Lynch & Baumann, 1985).

Les cristaux microscopiques sont ingérés par les larves des insectes lorsque celles-ci se nourrissent (Jaquet et al., 1987). Dans le milieu alcalin de l'appareil digestif de ces insectes sensibles, les cristaux se dissolvent et se transforment en molécules protéiques toxiques qui détruisent les parois de l'estomac (Schnepf et al., 1998).



INNOCUITÉ DU BTI

Autorisés au Canada depuis 1982, les produits à base de Bti sont couramment utilisés dans le contrôle des populations de moustiques et de mouches noires à travers le monde. Il est important de souligner que l'activité du larvicide provient exclusivement de la structure cristalline produite lors du cycle vital de la bactérie.

Pour être toxique, le cristal doit être ingéré et l'organisme ciblé doit posséder un tube digestif à pH hautement alcalin, des enzymes capables de libérer les molécules toxiques et finalement, des récepteurs cellulaires compatibles aux toxines (Schnepf et al., 1998).



L'innocuité du Bti et les marges de sécurité relatives aux doses opérationnelles recommandées indiquent que l'emploi du Bti est sécuritaire pour les micros et les macro-invertébrés, les amphibiens, les poissons, les oiseaux et les mammifères (World Health, 2020).

Depuis le début de l'utilisation du Bti, c'est-à-dire il y a 40 ans, une vaste littérature a livré un solide consensus scientifique entourant l'innocuité du Bti. Des études à long terme au Minnesota (Niemi et al. 1999), en Suède (Persson Vinnersten et al., 2010), en France (Caquet et al., 2011; Lagadic et al., 2014, Duchet et al., 2015, Lagadic et al., 2016) et en Allemagne (Timmermann et Becker, 2017) n'ont démontré aucun impact direct ou indirect du Bti sur les consommateurs secondaires.

Il faut aussi savoir que les études, au terrain ou en laboratoire, sont réalisées avec la formulation complète (incluant les additifs) et que les effets sont bien connus.

En bref

- La nature inoffensive du Bti repose sur un solide consensus scientifique mondial établi depuis près de 40 ans (Glare & O'Callaghan, 1998; Lacoursière, 2004; Lagadic et al., 2016).
- L'OMS, tout comme l'ensemble des instances gouvernementales de tous les pays où le produit est disponible, définissent le Bti comme étant un produit sécuritaire et adapté pour le contrôle des insectes piqueurs (World Health, 2020).
- Les efforts de protection de nos rivières, réalisées au cours des dernières décennies, ont permis la recolonisation par ces populations d'insectes aquatiques réputés sensibles et qui sont d'excellents bio-indicateurs de la qualité de nos cours d'eau (Desquilbet et al., 2020).
- Le contrôle des insectes piqueurs à l'aide de larvicides biologiques permet à des millions de canadiens de restreindre l'utilisation de pesticides et d'insectifuges chimiques.

FAUNE NON-CIBLE

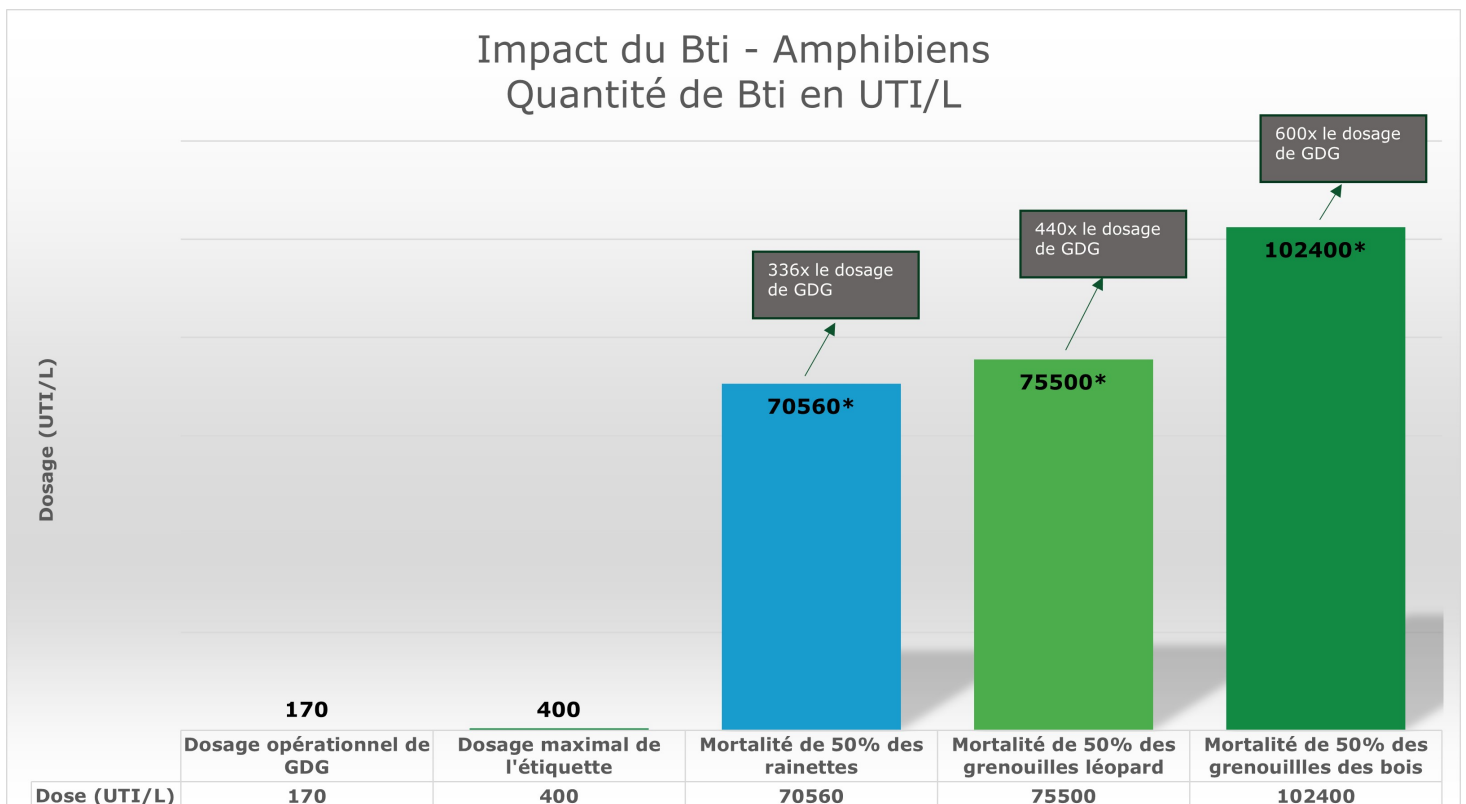
Effets sur les amphibiens

Auparavant, les études ne rapportaient aucun effet direct ou indirect du Bti sur les amphibiens (Boisvert & Lacoursiere, 2004; Glare & O'Callaghan, 1998). En 2015, une étude laboratoire provenant d'un groupe de recherche d'Argentine soulève les impacts éventuels que le surdosage peut engendrer sur les amphibiens (Lajmanovich et al., 2015). Depuis, deux autres articles, parus en 2018 et 2019 en Allemagne, sont venus démentir les résultats de cette étude, n'enregistrant aucune mortalité et aucun impact sur le développement des amphibiens (Allgeier et al., 2018; Schweizer et al., 2019).

En ce sens, une étude de deux ans, menée au Minnesota en laboratoire et sur le terrain, ainsi qu'une autre effectuée en Inde en 2011, sont arrivées aux mêmes conclusions (Johnson & Johnson, 2001; Tiwari et al., 2011). De plus, une étude effectuée à Trois-Rivières sur des grenouilles indigènes avait démontré aucun effet sur le développement de têtards se nourrissant de cadavres de larves de moustiques traitées au Bti (Raymond Leclair, 1988).

En 2021, une étude québécoise commanditée par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs est arrivée aux mêmes conclusions, ne démontrant pas d'effet biologique significatif (Gutierrez-Villagomez et al., 2021).

Récemment, une étude réalisée par l'Université d'Ottawa pour la Ville d'Ottawa a démontré les dosages nécessaires pour tuer des espèces de grenouilles canadiennes. Les résultats sont présentés dans le graphique plus bas, en comparaison des dosages utilisés par G.D.G. Environnement (Empey, 2022).



Effets sur les chironomes

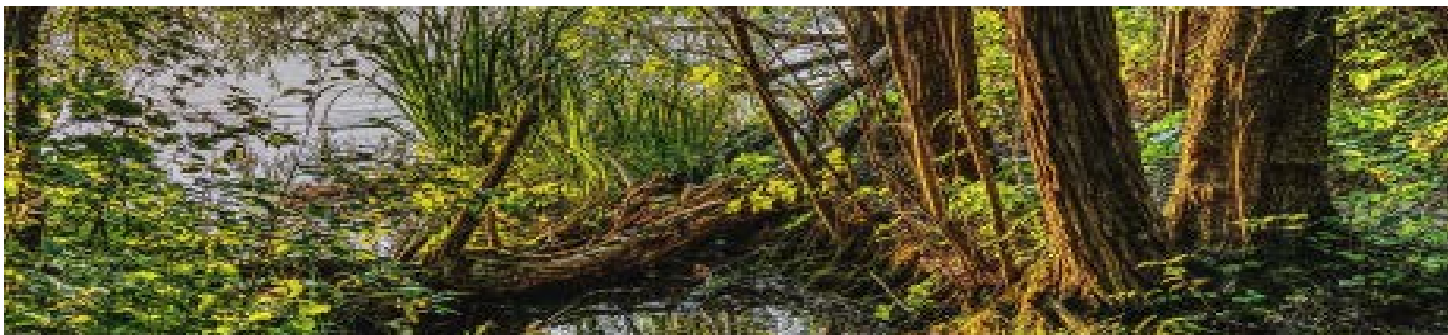
Alors que l'utilisation du Bti et ses possibles répercussions environnementales était un sujet nouveau, des chercheurs québécois ont effectués des tests pour évaluer les effets du Bti sur les insectes non-cibles (Back et al., 1985). Malgré le surdosage utilisé, qui ne correspond pas à la dose utilisée actuellement au Québec, seulement deux genres de chironomides ont été affectés. Il est à noter que la majorité des études qui soulignent une diminution de la densité de chironomides sont menées en laboratoires. En raison des variables extrêmement complexes retrouvées en milieu naturel, les études laboratoires ne permettent pas de répliquer avec certitude les impacts potentiels de l'utilisation du Bti sur les chironomides (Stevens et al., 2004; Theissing et al., 2017; Wolfram et al., 2018).

Les études démontrent que les programmes de contrôle des insectes piqueurs qui utilisent un dosage opérationnel, selon les normes d'applications, établies par les instances gouvernementales et industrielles, n'affectent pas la densité de chironomes en milieu naturel (Duchet et al., 2015). Une étude réalisée sur 6 ans en Suède, conclut que l'épandage de Bti en milieu naturel ne provoque aucun effet négatif direct majeur sur la production de chironomes (Lundström et al., 2010).

Dernièrement, une étude terrain menée par des chercheurs de l'Université d'Ottawa évalue les effets possibles du Bti sur les chironomides. Le rapport remis à la Ville d'Ottawa, révèle qu'il n'y a pas eu de baisse de densité ni de biodiversité chez les populations de chironomides recensés. Les conclusions démontrent qu'il n'est pas possible d'associer l'utilisation de Bti comme étant un facteur déterminant du taux d'émergence des insectes non-cibles (Epp, 2020). Malgré l'utilisation des mêmes dosages opérationnels que nous utilisons, la variation du pH, la profondeur moyenne d'eau et la température de l'eau, sont identifiées comme étant les facteurs environnementaux qui influencent la productivité d'insectes non-cibles.

Effets sur la faune aviaire

Une littérature importante confirme que les moustiques ne sont pas des proies importantes tant pour les oiseaux insectivores que pour la chauve-souris (Beck et al., 2013; Fang, 2010). Les études portant sur l'analyse des contenus stomacaux démontrent que la diète des prédateurs aériens (oiseaux insectivores, chauve-souris) ne compte que sur 1% de moustiques, et ce, peu importe la forte densité de moustiques disponible (Boukhemza-Zemmouri et al., 2013; Mengelkoch et al., 2004). Le gain énergétique est simplement trop faible pour permettre aux prédateurs de se nourrir de ces petits insectes (Kale, 1968; Orłowski & Karg, 2011).



Une étude récente effectuée en Nouvelle-Écosse sur 3 espèces d'hirondelles est arrivée à la conclusion que l'abondance des insectes n'a pas d'effet sur la survie de la nichée et le poids des oisillons (Imlay et al., 2017). Une des explications avancées par l'étude propose que la variabilité entre les régions pourrait influencer davantage l'alimentation des oiseaux insectivores.

En France, une recherche soulève des incertitudes par rapport aux répercussions probables du traitement au Bti sur la faune non-cible (Poulin et al., 2010). Cette étude est aujourd'hui contestée par plusieurs chercheurs qui dénoncent, entre autres, l'hétérogénéité écologique initiale entre les zones témoins et traitées choisies pour l'étude et le manque d'études sur la disponibilité des proies dont la conclusion est basée sur une hypothèse. Ces derniers ont publié une étude sur les impacts des traitements routiniers au Bti sur la disponibilité des insectes volants comme proies pour les prédateurs aériens (Lagadic et al., 2014; Timmermann & Becker, 2017).

Depuis 2002, le virus du Nil est présent dans plusieurs régions du Canada (Rosenkrantz, 2022). Il est souligné que les changements climatiques influencent la distribution des moustiques (Wiese et al., 2019). En effet, l'augmentation de la température risque d'augmenter la propagation du virus (Figueroa et al., 2020). Ce dernier est transmis à l'humain par l'entremise d'une piqûre de moustique porteur du virus. Les moustiques qui ne sont pas contaminés par le virus, peuvent l'attraper à partir d'un oiseau qui a été infecté antérieurement par un moustique lui-même porteur (Campbell et al., 2002). En fait, les oiseaux migrateurs sont considérés comme étant un réservoir pouvant amplifier la distribution du virus (Zeller & Murgue, 2001). Outre les conséquences graves sur la santé des personnes affectés, le contrôle des insectes piqueurs peut s'avérer une solution durable contre une probable épidémie.

RÉSEAU TROPHIQUE

Il est important de considérer l'ensemble des facteurs écologiques pour saisir les nombreuses interactions au sein des communautés d'insectes. En milieux humides, le réseau trophique peut être influencé par la composition écologique de l'habitat, les cycles de colonisations, les paramètres physico-chimiques ainsi que les interactions entre prédateurs et proies (Batzler & Wissinger, 1996).

Dans le cas du contrôle des insectes piqueurs, la réduction de la biomasse n'est que partielle et temporaire puisque les traitements ne sont effectués que lorsque les larves ont atteint un certain stade de développement. Les études laboratoire ne permettent pas de considérer l'ensemble des interactions et des impacts probables. En effet, plusieurs études démontrent que les insectes non cibles sont peu affectés par l'utilisation de Bti en milieux naturels (Charbonneau et al., 1994; Duchet et al., 2015; Epp, 2020; Lagadic et al., 2016; Liber et al., 1998).

Malgré le déclin de plusieurs groupes d'insectes terrestres, les insectes aquatiques sont en augmentation de 38 % depuis 30 ans selon une méta-analyse qui porte sur 166 études de longues durées (Desquilbet et al., 2020). La **figure 1** ci-dessous met en évidence la diversité d'insectes que nous pouvons retrouver dans un écosystème aquatique.

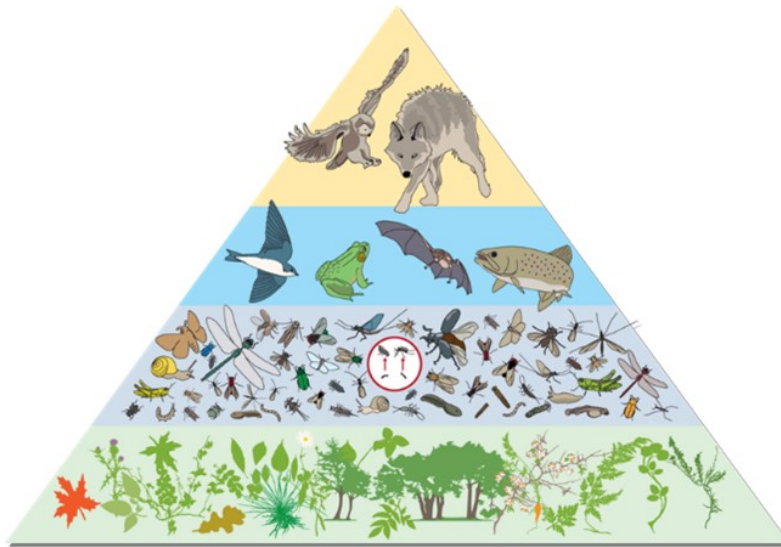


Figure 1. Exemple d'un réseau trophique où l'on retrouve les moustiques et les mouches noires (mis en évidence dans le cercle rouge).

Ces données ne sont pas une surprise chez GDG puisque les constats sur le terrain abondent dans le même sens. À ce propos, les échantillonnages entomologiques réalisés depuis plus de 30 ans au Québec témoignent de cette augmentation dans les populations de moustiques et de mouches noires (simulies).

Ainsi, les efforts de protection de nos rivières réalisées au cours des dernières décennies ont permis la recolonisation par ces populations d'insectes aquatiques réputés sensibles et qui sont d'excellents bio-indicateurs de la qualité de nos cours d'eau.

RÉSISTANCE

Jusqu'à présent, aucune étude menée en milieu naturel démontre la résistance d'une espèce quelconque face au Bti. La complexité du mode d'action entre le pathogène et l'insecte cible fait en sorte qu'il est peu probable qu'un insecte développe une résistance envers ce produit. En effet, cette complexité découle de l'action combinée et synergique des quatre protéines associées au processus toxique des cristaux (Höfte & Whiteley, 1989). Bien qu'il soit théoriquement possible de développer une résistance aux cristaux de Bti sur le terrain, la probabilité qu'un tel événement se produise est très faible (Schnepf et al., 1998).

Au Québec, nous ne faisons que quelques traitements au Bti durant l'été et les individus provenant de zones non traitées viennent se mélanger aux populations exposées, ce qui ne favorise pas le développement de la résistance envers l'utilisation de ce biolarvicide.

En Allemagne, un programme de contrôle des moustiques à l'aide du Bti est en place depuis 1981. Depuis toutes ces années, on estime que 189 générations d'*Aedes vexans* ont subi une pression de sélection face au Bti. Une étude récente a démontré qu'aucune résistance n'a été développée dans les sites traités depuis 36 ans (Becker et al., 2018). De même, une autre étude démontre l'absence de résistance suite à l'exposition de 30 générations d'*Aedes aegypti* au Bti (Carvalho et al., 2018).

Par ailleurs, lors d'une étude laboratoire, il a été possible d'observer une résistance envers certaines toxines. Cependant, aucune résistance n'a été observée sur les populations de moustiques retrouvées en milieu naturel et ce, après plusieurs décennies de traitement au Bti (Tetreau et al., 2013).

Effets du Bti sur l'humain

Les mammifères ne possèdent pas les structures permettant d'activer la toxine contenue dans le Bti et donc ce dernier est sans danger pour l'humain (World Health, 2020). Dans sa réévaluation d'homologation du *Bacillus thuringiensis*, l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA) mentionne que :

« On ne saurait s'attendre à ce que la consommation de produits traités pose un risque pour la population, les enfants et les nourrissons. Le risque d'exposition par l'eau potable est négligeable. La faible toxicité du *Bacillus thuringiensis* et la démonstration de son innocuité donnent à penser que l'exposition des humains par l'eau potable ne pose pas de risque significatif. »¹

1 <https://www.inspq.qc.ca/es/node/1127>

De plus, aucun effet toxique nocif, aucune infectiosité, ni aucune pathogénicité par voie orale, par inhalation, par voie intrapéritonéale ou par voie cutanée n'a été observé. Il semble qu'aucune toxine ni aucun métabolite connu du *B. thuringiensis* ne soit un perturbateur endocrinien ou n'ait un effet toxique sur le système immunitaire. Il est important de noter ici que l'ARLA a accès à la liste complète des ingrédients (même ceux gardés par le secret industriel) pour chacune des formulations homologuées.

Les études effectuées sur la santé humaine et l'écotoxicité sont effectuées sur les formulations et elles incluent donc dans leurs résultats les effets des additifs ou adjuvants. L'Environmental Protection Agency (EPA) aux États-Unis a également conclu qu'il était raisonnable de penser que l'exposition par voie alimentaire à des résidus de *B. thuringiensis* serait sans danger pour les nourrissons et les enfants. Le World Health Organization Pesticide Evaluation Scheme (WHOPES) a publié un rapport en 2009 autorisant l'application directement dans l'eau potable pour combattre certains moustiques dans des pays où sévissent des maladies telles que la malaria ou la fièvre jaune. Cela démontre bien que le produit est totalement sécuritaire pour l'homme (Winegard, 2019).

Maladies transmises par les moustiques

En plus d'être inoffensive pour les humains, l'utilisation du Bti permet de réduire les risques de propagation de certaines maladies en éliminant leurs vecteurs. En effet, le moustique est l'animal le plus meurtrier au monde en raison des maladies qu'il peut transmettre suite à sa pique. Un auteur a récemment publié que « certaines statistiques extrapolées indiquent que près de la moitié des êtres humains ayant vécu à ce jour, soit environ 108 milliards d'individus, ont succombé aux maladies transmises par les moustiques.

Le climat du Québec, avec ses hivers froids, aide à réguler les populations de moustiques et empêche certaines espèces particulièrement dangereuses de s'établir ici. Cependant, les changements climatiques favorisent présentement l'expansion du territoire de ces moustiques.

Des chercheurs ont notamment retrouvé *Aedes albopictus*, surnommé le moustique tigre, dans le sud de l'Ontario. Ce moustique est reconnu pour transmettre des maladies telles que le virus Zika, le Chikungunya et la dengue.

De plus, le virus du Nil est bien endémique au Québec et le nombre de cas de cette maladie à déclaration obligatoire varie selon les conditions météorologiques, principalement en fonction des épisodes de chaleur qui sont d'ailleurs de plus en plus fréquents sous nos latitudes.

En 2016, les grandes instances mondiales telles que l'OMS ont recommandé de revenir à l'application de larvicides dans la lutte en santé contre les vecteurs. Selon eux, la résurgence de la dengue et la propagation des maladies émergentes telles que le Zika et le Chikungunya résultent de la réduction du financement et des efforts pour lutter contre les vecteurs. Avec les changements climatiques et notamment le réchauffement de la planète, les moustiques vecteurs de ces maladies sont aux portes du Québec et se déplacent progressivement vers le nord.

CADRE RÉGLEMENTAIRE

L'homologation des biopesticides à base de *Bacillus thuringiensis israelensis* est gérée au niveau fédéral par l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA) de Santé Canada. L'évaluation des risques est basée sur les données scientifiques autant au niveau de l'ingrédient actif que du produit fini. Par exemple, les risques sur les insectes non ciblés sont évalués par rapport au Bti, mais aussi par rapport à tous les sous-produits qui sont dans les formulations.

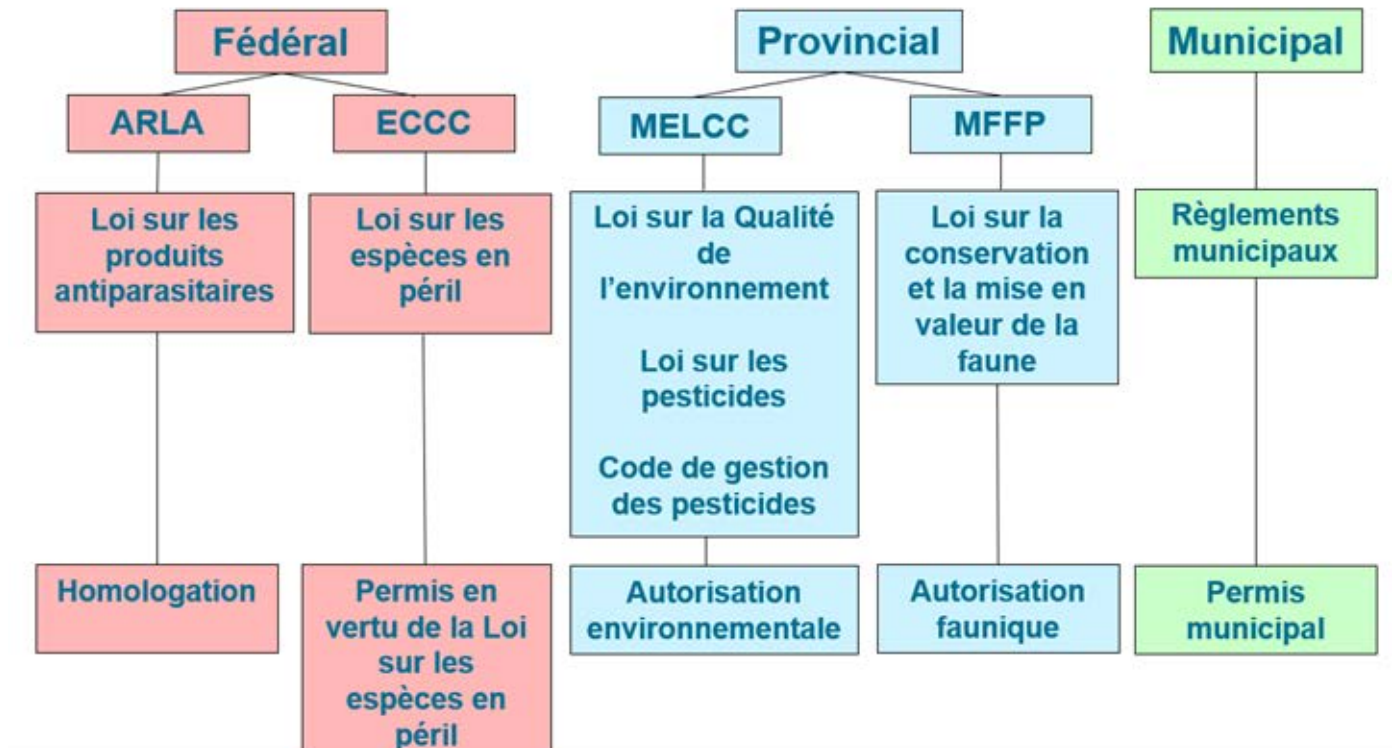
Bien que le Bti soit un biopesticide et que son innocuité ait été démontrée depuis de nombreuses années, les programmes de contrôle des insectes piqueurs sont très bien encadrés par la Loi sur la Qualité de l'Environnement (LQE) et les règlements qui en découlent. Une entreprise qui désire effectuer des traitements à l'aide du Bti doit d'abord obtenir un permis auprès du ministère de l'Environnement et de la Lutte aux changements climatiques (MELCC). Ensuite, les employés effectuant les traitements doivent obtenir une certification d'utilisateur de pesticides, spécialisée en contrôle des insectes piqueurs.

Chaque programme doit passer par le processus de demande d'autorisation environnementale auprès du MELCC. Lors de la modernisation récente de la LQE, le MELCC a réaffirmé sa position à l'égard du Bti. De plus, lors de ces autorisations, un avis faunique est demandé au MFFP et des zones de restrictions peuvent être appliquées en fonction des espèces présentes sur le territoire. Finalement, lorsque les traitements se situent dans un habitat faunique réglementé comme une aire de concentration d'oiseaux aquatiques, une autorisation au MFFP doit également être demandée.

Sur les terres fédérales, les utilisateurs de Bti doivent également vérifier la présence d'espèces en péril et demander un permis en vertu de la Loi sur les espèces en péril (LEP) auprès d'Environnement et Changements Climatiques Canada (ECCC).

Lorsque des épandages aériens sont requis, en plus de devoir être conformes à la LQE, les opérateurs doivent se conformer aux exigences de Transports Canada. Tous les appareils sont accrédités par Transports Canada pour ce type spécifique d'épandage. Tous les pilotes sont aussi certifiés selon les normes provinciales et canadiennes. Les politiques et procédures d'opérations de vol sont rédigées en vertu des normes régissant l'utilisation d'aéronefs pour effectuer des travaux aériens, conformément au Règlement de l'Aviation Canadien (RAC). Les pilotes évitent le survol des zones habitées et des zones sensibles et se conforment aux directives de Transports Canada (altitude, vitesse du vent, manœuvres, règles de vol à vue, etc.).

Étapes du cadre réglementaire - organigramme



MÉTHODOLOGIE

Le contrôle des insectes piqueurs à l'aide du Bti est déjà une pratique innovante puisqu'il utilise un biopesticide. Les entreprises et/ou organismes suivent un plan de lutte intégrée dans leur programme de contrôle. Pour mieux comprendre le contexte dans lequel les opérations se déroulent, voici un résumé de la méthodologie communément employée.

Traitement des moustiques

Premièrement, il existe deux types de programmes de contrôle en fonction de la nuisance observée dans la municipalité : le traitement des populations de moustiques et le traitement des populations de mouches noires. Les larves de moustiques se développent en eau stagnante alors que les larves de mouches noires se développent dans les cours d'eau. Il est très rare que des traitements aériens soient effectués pour contrôler les mouches noires.

Pour les populations de moustiques, le moment idéal de traitement, en tenant compte de l'efficacité et des recommandations de l'étiquette, est lorsque la majorité des larves de moustiques a atteint les stades de développement 3 et 4, c'est-à-dire juste avant la nymphose. Le premier traitement printanier des moustiques est prévisible et synchronisé avec la fonte des neiges et la crue printanière.

Les traitements subséquents sont réalisés en fonction de l'éclosion des larves. L'éclosion des espèces piqueuses estivales est fortement tributaire des précipitations. Dès la mi-mai, une forte pluviosité peut permettre l'éclosion des espèces dites estivales. *Aedes vexans* est l'espèce la plus abondante. Certains gîtes remis en eau pourront être traités à plusieurs reprises. Les équipes sur le terrain sont formées à la reconnaissance des espèces de moustiques et elles sont appuyées par des entomologistes.

Les principales espèces visées par le contrôle sont celles du groupe des *Aedes-Ochlerotatus* qui regroupe la majorité des espèces piqueuses. Le graphique suivant montre l'évolution des populations de moustiques de printemps et d'été, sans traitement (**figure 2**), et avec traitement au Bti (**figure 3**).



Il est important de remarquer qu'il n'y a pas d'extermination des populations de moustiques et qu'il y a toujours une nuisance résiduelle. Le but du contrôle des insectes piqueurs est de réduire les populations de moustiques à un niveau acceptable pour les populations environnantes. Parfois, la nuisance résiduelle peut même être assez importante.

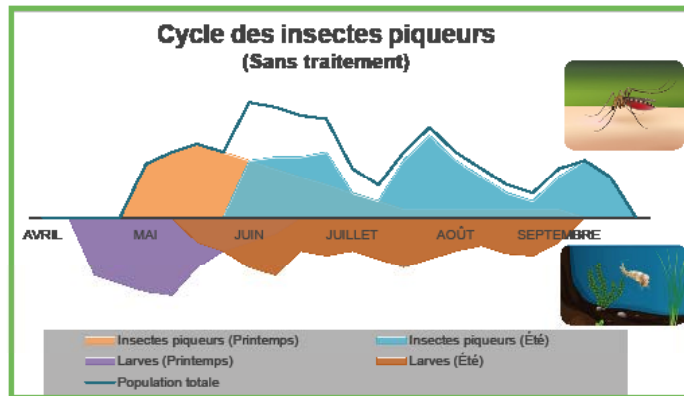


Figure 3. Cycle général des populations larvaires et adultes des moustiques au Québec sans aucun traitement.

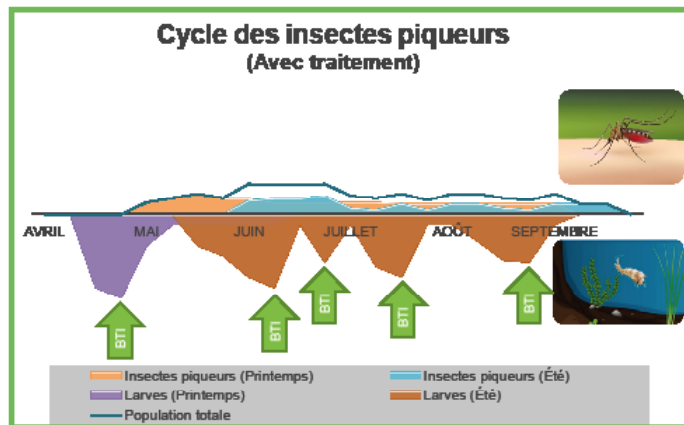


Figure 4. Cycle général des populations larvaires et adultes des moustiques au Québec avec traitement au Bti.

Traitement des mouches noires

Pour les populations de mouches noires, la position et le nombre de points de traitement peuvent changer selon la localisation des larves. La portée effective du produit varie beaucoup en fonction de l'hydrologie et des conditions physico-chimiques du cours d'eau. Le débit des petits cours d'eau est très variable durant toute la saison (fonte des neiges, pluviosité ou sécheresse, barrage de castor) et cela modifie le nombre et la répartition des points de traitement. Certains cours d'eau chauds pourront être traités jusqu'à dix reprises durant la saison.

Avant et après traitement

Peu importe le type de traitement envisagé, un échantillonnage des gîtes précède toujours les travaux d'épandage. Les traitements ne sont effectués que s'il y a présence de larves d'espèces piqueuses pour l'homme. La prospection des divers habitats permet de réaliser les contrôles au moment opportun. Il n'y a pas de traitement mur à mur effectué de façon préventive. Le contrôle de la qualité des traitements s'effectue de plusieurs façons. L'efficacité des épandages est évaluée par la mortalité larvaire 24 à 48 heures après les applications de larvicide. Ensuite, la nuisance résultante est estimée à l'aide de test standard au filet entomologique et par l'utilisation de piège lumineux CDC.

Épandage aérien

Les produits utilisés pour le traitement des larves de moustiques et de mouches noires se retrouvent sous forme liquide (VectoBac 1200L) ou sous forme granulaire (VectoBac 200G). Le support granulaire est du maïs concassé utilisé lors des traitements par voie aérienne. Cette formulation granulaire ne contient aucun résidu qui pourrait dériver ou solvant qui pourrait s'évaporer dans l'atmosphère. Un vent de moins de 10 nœuds n'a pratiquement aucune emprise sur le granulaire, qui tombe au sol et pénètre la végétation pour atteindre les milieux aquatiques. Les risques de dérives sont donc pratiquement nuls.

La voie aérienne (avion et hélicoptère) est utilisée dans nos opérations de contrôle dans le cas de gîtes de plus grande surface, de gîtes difficilement accessibles par les techniciens au sol ou encore pour des sites nécessitant une faible perturbation physique. Les traitements aériens sont incontournables au printemps et lors d'importantes remises en eau (forte pluie non absorbée par le sol).

Les épandages aériens sont très précis grâce à l'utilisation d'un système de guidage GPS. L'utilisation de la formulation granulaire empêche la dérive et l'évaporation. De plus, ces travaux sont encadrés par Transports Canada, tel que mentionné dans la section cadre réglementaire.

Zone de traitement

Sur les cartes fournies lors des demandes d'autorisations ministérielles, la zone de traitement indiquée correspond à la zone de traitement potentielle. Il est important de comprendre qu'il n'y a pas de traitement à la totalité de cette zone, mais seulement dans les gîtes dans lesquels on retrouve de l'eau, et dans lesquels on retrouve des larves d'insectes piqueurs de l'homme. Puisqu'il est impossible de prévoir les secteurs inondés, les cartes de traitement couvrent une plus grande superficie que ce qui est traité en réalité. Souvent, le premier traitement, qui fait suite à la fonte des neiges, couvrira une plus grande surface que le second, dont la superficie pourrait diminuer de moitié. Le fait de demander l'autorisation de traiter une plus grande superficie permet de faire face aux imprévus des conditions météorologiques saisonnières.

De plus, il est surprenant de voir la zone de traitement totale nécessaire pour protéger l'ensemble d'une municipalité. Les aires d'intervention représentent une très petite fraction (moins de 1 %) du territoire. Pour expliquer la superficie de traitement, il faut d'abord bien comprendre la biologie des insectes piqueurs. Les femelles de la plupart des espèces de moustiques et de mouches noires ont besoin d'un repas de sang pour le développement de leurs œufs. Pour trouver ce repas de sang, ils peuvent parcourir des distances variables selon l'espèce, le milieu dans lequel ils se trouvent, la présence de couloir de migration, la météo, etc.

Selon la littérature scientifique, les moustiques peuvent facilement voler jusqu'à plusieurs kilomètres de leur site d'émergence, mais 2 km est la moyenne pour plusieurs espèces. Les mouches noires ont un rayon d'action encore plus grand, la moyenne se situe entre 4 et 6 km.

L'élaboration de la limite d'intervention est complexe et unique pour chaque projet. Une limite d'intervention autour de la zone protégée de 2 km pour le moustique est habituellement suffisante pour maintenir une diminution d'au moins 80% de la nuisance. Il faut également tenir compte de couloirs de migration qui favorisent le déplacement des insectes piqueurs, tels que des lacs encaissés entre deux chaînes de montagnes ou des lignes hydroélectriques. Ces couloirs entraînent des migrations pouvant entraîner de nouvelles pontes dans les plans d'eau et cours d'eau traités, d'où émergeront à nouveau des moustiques et des mouches noires s'ils ne sont pas traités tout au long de l'été.

Le Bti est appliqué directement dans les milieux humides et cours d'eau où il s'attaque sélectivement aux larves des moustiques et de mouches noires. Cette méthodologie réduit considérablement l'impact sur le territoire, puisque les larves sont concentrées à des endroits précis. Tandis que le contrôle des populations d'insectes piqueurs adultes nécessiterait une action à la grandeur du territoire.

Cycle de croissance du moustique et de la mouche noire





ACCEPTABILITÉ SOCIALE

La totalité des programmes municipaux de contrôle des insectes piqueurs sont effectués à la demande des citoyens d'une municipalité aux prises avec un problème de nuisance et font l'objet de plusieurs consultations publiques.

Les projets peuvent cheminer sur de nombreuses années, et passer par plusieurs étapes, avant d'être implantés. Voici un exemple du processus consultatif d'implantation de ces programmes :

1. Présentations publiques
2. Sondages municipaux
3. Processus d'appel d'offres publics
4. Adoption du projet
5. Affichage sur les comptes de taxes
6. Partage d'un communiqué informatif pour les citoyens
7. Mise en place d'une ligne info-moustiques et système de requêtes citoyennes
8. Communication des mises à jour scientifiques aux municipalités

La nature publique des programmes de contrôle à l'aide de larvicides biologiques en milieu municipal oblige plusieurs étapes de consultation, une communication limpide de tous les aspects du programme et son adoption par majorité. Les comités en environnement des municipalités ont également des ressources locales compétentes et impliquées qui témoignent de l'accessibilité sociale.

Contrairement à ce qui a déjà été mentionné, le contrôle des insectes piqueurs n'augmente pas la pression sur les milieux humides. Le contrôle permet une meilleure cohabitation et accroît l'acceptabilité citoyenne des milieux humides en zone urbaine et périurbaine, protégeant du coup ces zones sensibles. La perte de ces habitats étant d'ailleurs une des causes du déclin des oiseaux insectivores et de la biodiversité aquatique.

Il est important de mentionner que les programmes de contrôle des insectes piqueurs utilisant le Bti permettent de s'assurer que le contrôle soit fait de façon plus écologique pour les citoyens et l'environnement.

En effet, une partie de cette population, sans cette alternative, se tournerait vers d'autres solutions comme les pesticides chimiques individuels (serpentin, bombe aérosol, fumigation, etc.) ou des pièges non sélectifs. De plus, la justification d'un programme de contrôle des insectes piqueurs fait déjà partie du processus de demande d'une autorisation ministérielle pour l'utilisation de pesticides (directive 017) et est donc incluse dans la demande d'autorisation environnementale.

L'encadrement réglementaire des différentes instances gouvernementales dont la *Loi sur la qualité de l'environnement* (LQE) constitue une mise en oeuvre du principe de précaution. L'ensemble des balises mises en place abaissent les risques à un niveau quasiment nul et permet d'établir que nous sommes en l'absence de toute atteinte significative sur les milieux. Puisque les objectifs premiers demeurent la protection des habitats et le maintien de la biodiversité, il serait souhaitable que les solutions biologiques soient préconisées et appliquées aussi à d'autres secteurs d'activités.

Selon la définition même du principe de précaution selon le principe 15 de la Déclaration de Rio, 1992 : « En cas de risque de dommages graves ou irréversibles, l'absence de certitude scientifique absolue ne doit pas servir de prétexte pour remettre à plus tard l'adoption de mesures effectives visant à prévenir la dégradation de l'environnement. », le contrôle des insectes piqueurs ne pose pas de risques graves ou irréversibles.

Bénéfices reliés au contrôle des insectes piqueurs

Les insectes piqueurs empêchent bon nombre de citoyens de profiter de l'extérieur. Dans certains cas, ils peuvent être responsables de réactions allergiques ou de transmissions de maladies beaucoup plus sérieuses (arboviroses).

Le contrôle des populations larvaires de moustiques et mouches noires en milieux aquatiques est le moyen le plus écologique et efficace d'abaisser la nuisance causée par ces insectes en intervenant à la source même du problème. Le programme de contrôle à l'aide de larvicides biologiques s'insère parfaitement dans une politique familiale qui mise sur la qualité de vie et les activités extérieures. Il s'agit d'une saine gestion des ressources et contribue à la protection des milieux humides du territoire en permettant d'y vivre à proximité sans en subir les inconforts. Il est un formidable outil de développement pour une cinquantaine de villes du Québec et aussi un très bon argument pour attirer de nouvelles familles dans les endroits infligés. Ce contrôle responsable permet aussi de retenir les visiteurs et d'attirer des estivants (terrains de camping et autres) maximisant ainsi les retombées économiques des activités récréotouristiques. Il permet aussi de mettre en valeur et de tirer le plein potentiel des investissements en infrastructures municipales de loisirs.



De plus, cela est possible dans les limites du budget actuel de chacun puisqu'ils n'ont plus à acheter va-poriseurs, insecticides, citronnelle ou abris moustiquaires qui n'ont pas l'effet recherché et être parfois d'usage bien peu souhaitable.

- Augmentation des activités familiales, pleine accessibilité aux activités estivales
- Augmentation des activités récréotouristiques
- Augmentation des valeurs marchandes des propriétés
- Meilleure utilisation des infrastructures municipales de loisirs
- Mise à profit de la richesse de l'environnement et des milieux naturels
- Qualité de vie des citoyens et des visiteurs nettement améliorée
- Embauche et activités économiques locales
- Diminution des risques de transmission de maladies par les espèces vectrices
- Diminution des réactions allergiques et des stress causés par la nuisance sévère
- Diminution de la sédentarité et du cloisonnement social

Le contrôle des populations larvaires de moustiques et de mouches noires en milieux aquatiques est le moyen le plus écologique et efficace d'abaisser la nuisance causée par ces insectes en intervenant à la source même du problème.

Les coûts reliés à l'implantation d'un programme de contrôle à l'aide de larvicides biologiques sont comparables, et même souvent inférieurs, aux dépenses actuelles de chacun en achats de produits répulsifs.

ALTERNATIVES

Le marché propose de plus en plus de méthodes alternatives pour contrôler les moustiques. Il convient tout de même d'analyser les alternatives qui s'offrent à la population.

Parmi les méthodes non invasives, on retrouve la lutte biologique à l'aide de prédateurs (par exemple les chauves-souris, les oiseaux, les poissons), l'utilisation d'extraits de plantes, de champignons entomo-pathogènes, de moustiques mâles (irradiés, génétiquement modifiés ou porteurs de bactéries), d'acides aminés et l'utilisation de pièges attractifs. La plupart de ces alternatives sont soit toujours à l'étape de la recherche, soit inefficace, soit non disponible ou non homologué au Canada.

Parmi les alternatives disponibles au Québec actuellement, il est possible d'installer des nichoirs pour oiseaux insectivores ou chauve-souris, mais ceux-ci, contrairement aux mythes véhiculés, s'alimentent très peu de moustiques et aucune efficacité n'a été démontrée. L'utilisation de prédateur aquatique à grande échelle n'est pas réaliste vu la diversité des milieux de reproduction, mais leur utilisation dans les gîtes artificiels peut être efficace (par exemple l'introduction de poissons dans les jardins d'eau).

Plusieurs modèles de pièges à moustiques sont aussi offerts. Ces pièges lumineux sont souvent munis d'un petit aspirateur et utilisent parfois des appâts (dioxyde de carbone, acide lactique, octenol ou autres leurres). Il faut savoir que les pièges à moustiques ont un rayon d'attraction très limité. À l'échelle d'une municipalité, le nombre de pièges nécessaires pour protéger les citoyens et permettre de profiter des activités extérieures serait trop important. Les coûts d'acquisition et d'opération seraient de l'ordre de 50 à 100 fois plus élevé que le contrôle larvaire. De plus, ces pièges capturent bon nombre d'autres insectes non-cibles plus de 40% de chironomes, papillons de nuit, etc. qui sont une composante de la diète de certains prédateurs. À l'inverse, les programmes à l'aide du Bti sont sélectifs aux insectes piqueurs. Notons aussi qu'aucun piège ne cible les populations de petites mouches noires qui sont facilement contrôlables dans les programmes à l'aide du Bti.

Le contrôle des moustiques reposant exclusivement sur une méthode de piégeage ne permet pas d'obtenir de résultats intéressants. Les pièges peuvent cependant être utilisés en complément d'autres méthodes, tel qu'un programme de contrôle. Par exemple, aux limites des zones de traitement, des pièges disposés en ligne serrée peuvent avoir un effet barrière et restreindre la migration horizontale de moustiques.

Il est à noter aussi qu'en l'absence de contrôle plusieurs méthodes non souhaitables peuvent être employées par les citoyens. En effet, on observe que certains exterminateurs proposent un traitement chimique contre les moustiques. Ces traitements sont à proscrire puisqu'ils affectent malheureusement tous les insectes avec des conséquences certaines.








Le drainage des milieux humides, parfois utilisé pour limiter la prolifération de moustiques, a des conséquences désastreuses et permanentes sur notre environnement.

Lorsque les différentes méthodes de contrôle des populations d'insectes piqueurs sont exposées dans une matrice de décision, il devient assez évident que l'utilisation du Bti est le meilleur moyen envisagé (tableau 1).

Tableau 1. Matrice de décision avec les différentes méthodes de contrôle des insectes piqueurs

BILAN DES ALTERNATIVES

Le Bti demeure la meilleure solution

							
	Rien	Contrôle chimique	Drainage	Prédateurs	Piège	Protection personnelle	Bti
Efficacité		● ● ● ●	●		●	●	● ● ● ●
Impact sur le milieu		● ● ● ●	● ●	●	●	●	●
Impact sur la santé	●	●			●	●	●
Total	-1	-1	0	1	1	1	3

Complément d'information

www.gdg.ca

<https://www.environnement.gouv.qc.ca/pesticides/virus-nil/bti/>

www.inspq.qc.ca/es/node/1127

www.sagepesticides.qc.ca/Recherche/RechercheMatiere/DisplayMatiere?MatiereActiveID=104

À propos de G.D.G. Environnement, une filiale du Groupe Kersia

GDG Environnement est un groupe d'expertise en santé environnementale. L'équipe composée de professionnels provenant des domaines de la biologie, de l'environnement, de la foresterie et de l'entomologie ont développé plusieurs spécialisations depuis sa création en 1984. Nous offrons de multiples services qui visent à améliorer la qualité de vie et à protéger la santé publique. Le Groupe Kersia est un leader mondial dans le domaine de la sécurité de toute la chaîne alimentaire et du monde de l'hygiène professionnelle tout en procurant des solutions et des services à valeur ajoutée dans plus de 90 pays.

GDG Environnement cumule plus de 1000 mandats municipaux dans le contrôle des insectes piqueurs à l'aide de larvicides biologiques. Nos interventions font de notre équipe un centre d'expertise unique maîtrisant parfaitement tous les enjeux liés aux opérations de contrôle des insectes piqueurs. GDG est également impliquée dans la surveillance et la prévention du virus du Nil occidental (VNO) dans l'est du pays.

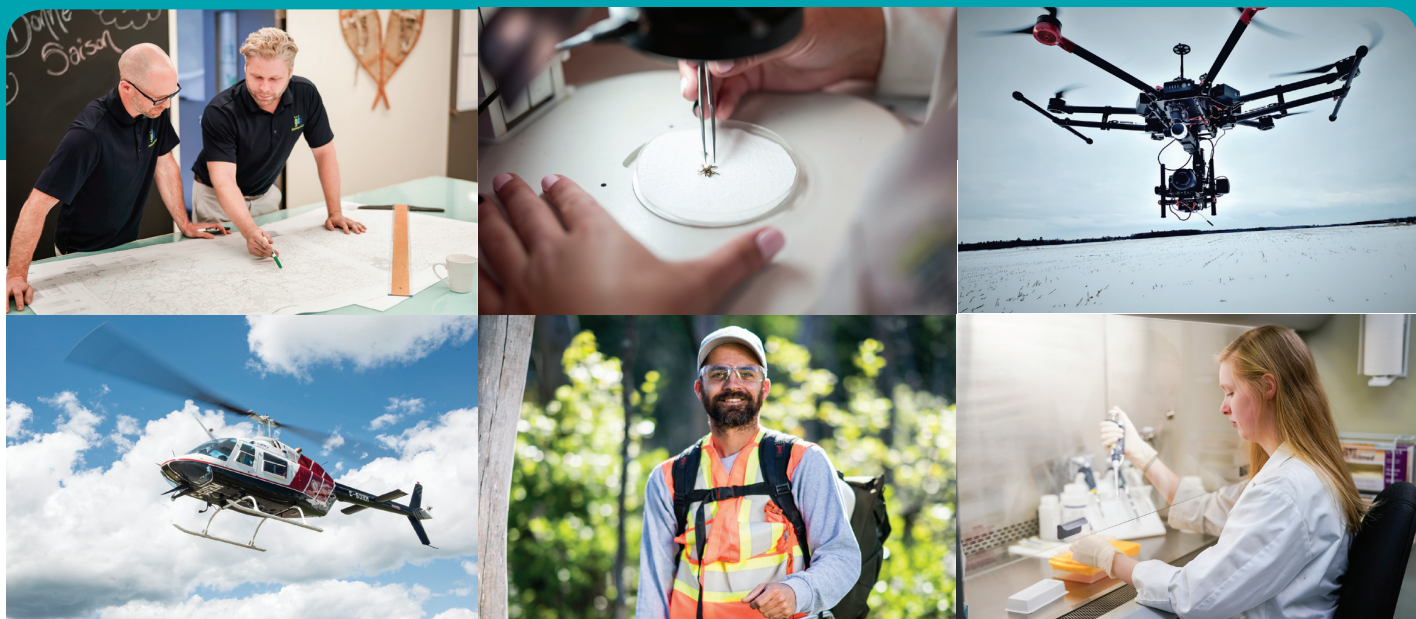
GDG développe également des méthodes de dépistage d'ADN environnemental d'espèces aquatiques d'intérêts.

GDG possède des installations laboratoires de niveau de confinement II, certifié annuellement par le Laboratoire National de Microbiologie du Canada de Winnipeg. Le personnel expert et les installations à la fine pointe de la technologie permettent d'offrir un traitement fiable et rapide pour toutes demandes d'identification d'insectes (larves et adultes) de tiques et de détection de zoonoses (VNO, EEE, Lyme, etc.) par PCR en temps réel.

GDG participe à de nombreux programmes d'analyses des communautés de macroinvertébrés. Ces mesures sont nécessaires dans l'évaluation de l'état de santé global des écosystèmes aquatiques partout au Canada.

GDG mène aussi d'importants projets de contrôle de l'agrile du frêne. Nous avons développé, homologué et commercialisons le Fraxiprotec™ dispositif d'autodissémination d'un champignon entomopathogène (*Beauveria bassiana*). Plus d'infos au : fraxiprotec.com

GDG possède également des équipes spécialisées en aviation, dronastique et géomatique.



FOIRE AUX QUESTIONS

Est-ce que le Bti affecte les abeilles?

Beaucoup d'études ont été réalisées sur les effets du *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti) sur les abeilles domestiques. Aucun effet néfaste n'a été signalé parmi les colonies d'abeilles à la suite de traitements au Bti sur les plantes que les abeilles butinent. Le Bti n'est pas toxique pour les abeilles et n'affecte pas les activités de celles-ci.

Le fait de diminuer la quantité de moustiques par les traitements au Bti influence-t-il la survie des chauves-souris?

En général, les chauves-souris sont des animaux opportunistes qui se nourrissent selon la disponibilité de la nourriture. Il est possible que, dans le cas d'une émergence massive de moustiques, que les chauves-souris se tournent vers cette source de nourriture momentanément. Par contre les chauves-souris n'ont pas avantage à se nourrir de moustiques, car il faudrait entre 604 et 659 moustiques chaque jour pour combler la faim d'une chauve-souris contre 164 à 179 papillons par jour. Manger des moustiques représente un plus grand effort de chasse, ce qui n'est pas avanta-geux pour l'animal. De plus, les moustiques sont de petites proies et certaines chauves-souris (les plus grosses) ne détectent pas les moustiques lorsqu'elles émettent des ondes d'écholocation.

Le fait de diminuer la quantité de moustiques par les traitements au Bti influence-t-il la survie des oiseaux insectivores comme les hirondelles?

Les moustiques ne sont pas une importante source d'alimentation des oiseaux insectivores. En effet, ceux-ci n'ont pas été retrouvés en grand nombre dans l'estomac des oiseaux lors de différentes études. À titre d'exemple, même si des proies plus petites sont disponibles dans son milieu, l'hirondelle rustique choisira une proie plus grosse pour nourrir ses oisillons. Une étude montre que l'utilisation à long terme de produits à base de Bti dans les zones humides de l'Atlantique française n'a aucune influence sur le régime alimentaire des oiseaux, car la quantité d'inver-tébrés mangés par les oiseaux est maintenue même dans les zones traitées. Cette étude, réalisée en France, représente la plus grande investigation faite sur le long terme afin d'étudier les effets sur les organismes aquatiques non cibles. Une autre étude conclut que le Bti ne comporte au-cun risque indirect pour les oiseaux se nourrissant de chironomides, un insecte ressemblant aux moustiques.

Le Bti affecte-t-il les populations de chironomides?

Plusieurs études ont démontré un effet sur les populations de chironomides. Par contre, ces études ont été réalisées soit en laboratoire, soit en contexte de surdosage. Aux dosages spécifiés sur l'étiquette des produits utilisés dans le contrôle des insectes piqueurs et sur le terrain, le Bti n'a pas d'effet sur les chironomides. De plus, dans une étude réalisée sur 6 ans en Suède, les scientifiques ont montré qu'il n'y avait aucun effet significatif du Bti sur l'abondance et la richesse des chironomides.

Le Bti affecte-t-il directement ou indirectement les populations d'amphibiens?

L'Organisation mondiale de la santé a analysé plusieurs études faites en laboratoire et sur le terrain sur l'impact possible du Bti sur les grenouilles, tritons, salamandres et sur les crapauds et aucun effet direct n'a été observé. Une étude effectuée au Québec en laboratoire a déterminé qu'il n'y avait aucun impact biologique significatif. Même si le traitement au Bti entraîne une diminution de la quantité de moustiques dans l'environnement, plusieurs études tendent à démontrer qu'il n'y aurait pas d'impact puisque les moustiques seraient une source négligeable de nourriture pour les amphibiens. Les amphibiens sont des prédateurs d'insectes généralistes, c'est-à-dire qu'ils consomment une grande variété de proies.

RÉFÉRENCES

Allgeier, S., Frombold, B., Mingo, V., & Bruhl, C. A. (2018). European common frog *Rana temporaria* (Anura: Ranidae) larvae show subcellular responses under field-relevant *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* (Bti) exposure levels. *Environ Res*, 162, 271-279. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.01.010>

Andrews, R. E., Jr., Faust, R. M., Wabiko, H., Raymond, K. C., & Bulla, L. A., Jr. (1987). The biotechnology of *Bacillus thuringiensis*. *Crit Rev Biotechnol*, 6(2), 163-232. <https://doi.org/10.3109/07388558709113596>

Back, C., Boisvert, J., Lacoursière, J. O., & Charpentier, G. (1985). HIGH-DOSAGE TREATMENT OF A QUEBEC STREAM WITH BACILLUS THURINGIENSIS SEROVAR. ISRAELENSIS: EFFICACY AGAINST BLACK FLY LARVAE (DIPTERA: SIMULIIDAE) AND IMPACT ON NON-TARGET INSECTS. *The Canadian Entomologist*, 117(12), 1523-1534. <https://doi.org/10.4039/Ent1171523-12>

Batzer, D., & Wissinger, S. (1996). Ecology of Insect Communities in Nontidal Wetlands. *Annual Review of Entomology*, 41, 75-100. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.41.010196.000451>

Beck, M. L., Hopkins, W. A., & Jackson, B. P. (2013). Spatial and temporal variation in the diet of tree swallows: implications for trace-element exposure after habitat remediation. *Arch Environ Contam Toxicol*, 65(3), 575-587. <https://doi.org/10.1007/s00244-013-9913-5>

Becker, N., Ludwig, M., & Su, T. (2018). Lack of resistance in *aedes vexans* field populations after 36 years of *bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* applications in the upper rhine valley, GERMANY. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 34(2), 154-157. <https://doi.org/10.2987/17-6694.1>

Boisvert, J., & Lacoursiere, J. (2004). Le *Bacillus thuringiensis israelensis* et le contrôle des insectes piqueurs au Québec. <https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/environnement/pesticides/bacillus-thuringiensis-israelensis-contrôle-insectes-piqueurs.pdf>

Boukhemza-Zemmouri, N., Farhi, Y., Mohamed Sahnoun, A., & Boukhemza, M. (2013). Diet composition and prey choice by the House Martin *Delichon urbica* (Aves: Hirundinidae) during the breeding period in Kabylia, Algeria. *Italian Journal of Zoology*, 80(1), 117-124. <https://doi.org/10.1080/11250003.2012.733138>

Bulla, L. A., Jr., Kramer, K. J., & Davidson, L. I. (1977). Characterization of the entomocidal parasporal crystal of *Bacillus thuringiensis*. *J Bacteriol*, 130(1), 375-383. <https://doi.org/10.1128/jb.130.1.375-383.1977>

Campbell, G. L., Marfin, A. A., Lanciotti, R. S., & Gubler, D. J. (2002). West Nile virus. *The Lancet Infectious Diseases*, 2(9), 519-529. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(02\)00368-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1473-3099(02)00368-7)

- Caquet, T., Roucaute, M., Le Goff, P., & Lagadic, L. (2011). Effects of repeated field applications of two formulations of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* on non-target saltmarsh invertebrates in Atlantic coastal wetlands. *Ecotoxicol Environ Saf*, 74(5), 1122-1130. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.04.028>
- Carvalho, K., Crespo, M., Araújo, A., Silva, R., Melo-Santos, M., Oliveira, C., & Silva-Filha, M. (2018). Long-term exposure of *Aedes aegypti* to *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* did not involve altered susceptibility to this microbial larvicide or to other control agents. *Parasites & Vectors*, 11. <https://doi.org/10.1186/s13071-018-3246-1>
- Charbonneau, C. S., Drobney, R. D., & Rabeni, C. F. (1994). Effects of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* on nontarget benthic organisms in a lentic habitat and factors affecting the efficacy of the larvicide. *Environ Toxicol Chem*, 13(2), 267-279. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/etc.5620130211>
- Desquilbet, M., Gaume, L., Grippa, M., Céréghino, R., Humbert, J.-F., Bonmatin, J.-M., Cornillon, P.-A., Maes, D., Van Dyck, H., & Goulson, D. (2020). Comment on Meta-analysis reveals declines in terrestrial but increases in freshwater insect abundances. *Science*, 370(6523), eabd8947. <https://doi.org/doi:10.1126/science.abd8947>
- Duchet, C., Franquet, E., Lagadic, L., & Lagneau, C. (2015). Effects of *Bacillus thuringiensis israelensis* and spinosad on adult emergence of the non-biting midges *Polypedilum nubifer* (Skuse) and *Tanytarsus curticornis* Kieffer (Diptera: Chironomidae) in coastal wetlands. *Ecotoxicol Environ Saf*, 115, 272-278. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.02.029>
- Duchet, C., Moraru, G. M., Spencer, M., Saurav, K., Bertrand, C., Fayolle, S., Gershberg Hayoon, A., Shapir, R., Steindler, L., & Blaustein, L. (2018). Pesticide-mediated trophic cascade and an ecological trap for mosquitoes. *Ecosphere*, 9(4), e02179.
- Empey, M., Reyes, M., & Trudeau, V. (2022). The Effects of *Bacillus thuringiensis* insecticides on Canadian Anurans. University of Ottawa
- Epp, L. J. (2020). Assessing the Effect of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* on Nontarget Chironomidae Emergence University of Ottawa]. Department of Biology. <http://hdl.handle.net/10393/41118>
- Fang, J. (2010). Ecology: A world without mosquitoes. *Nature*, 466(7305), 432-434. <https://doi.org/10.1038/466432a>
- Ferreira, L. M., & Silva-Filha, M. H. N. L. (2013). Bacterial larvicides for vector control: mode of action of toxins and implications for resistance. *Biocontrol Science and Technology*, 23(10), 1137-1168. <https://doi.org/10.1080/09583157.2013.822472>
- Figuroa, D. P., Scott, S., González, C. R., Bizama, G., Flores-Mara, R., Bustamante, R., & Canals, M. (2020). Estimating the climate change consequences on the potential distribution of *Culex pipiens* L. 1758, to assess the risk of west Nile virus establishment in Chile. *Estimando las consecuencias del cambio climático en la distribución potencial de *Culex pipiens* L. 1758 para evaluar el riesgo de establecimiento del virus del oeste del Nilo en Chile.*

Glare, T. R., & O'Callaghan, M. (1998). Environmental and health impacts of *Bacillus thuringiensis israelensis*. Report for the Ministry of Health, 57.

Goldberg, L. J., & Margalit, J. (1977). A bacterial spore demonstrating rapid larvicidal activity against *Anopheles sergentii*, *Uranotaenia unguiculata*, *Culex univittatus*, *Aedes aegypti* and *Culex pipiens* [Insect pests].

Gutierrez-Villagomez, J., Patey, G., To, T., Lefebvre-Raine, M., Lara-Jacobo, L., Comte, J., Klein, B., & Langlois, V. (2021). Frogs Respond to Commercial Formulations of the Biopesticide *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis*, Especially Their Intestine Microbiota. *Environmental Science & Technology*, 55. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c02322>

Hannay, C. L. (1953). Crystalline Inclusions in Aerobic Sporeforming Bacteria. *Nature*, 172(4387), 1004-1004. <https://doi.org/10.1038/1721004a0>

Höfte, H., & Whiteley, H. R. (1989). Insecticidal crystal proteins of *Bacillus thuringiensis*. *Microbiol Rev*, 53(2), 242-255. <https://doi.org/10.1128/mr.53.2.242-255.1989>

Imlay, T., Mann, H., & Leonard, M. (2017). No effect of insect abundance on nestling survival or mass for three aerial insectivores. *Avian Conservation and Ecology*, 12, 19. <https://doi.org/10.5751/ACE-01092-120219>

Jaquet, F., Hütter, R., & Lüthy, P. (1987). Specificity of *Bacillus thuringiensis* Delta-Endotoxin. *Appl Environ Microbiol*, 53(3), 500-504. <https://doi.org/10.1128/aem.53.3.500-504.1987>

Johnson, C. M., & Johnson, L. B. (2001). Evaluation of the potential effects of methoprene and Bti on anuran malformations in Wright County, MN.

Kale, H. W., II. (1968). The Relationship of Purple Martins to Mosquito Control. *The Auk*, 85(4), 654-661. <https://doi.org/10.2307/4083372>

Lacey, L. A. (2007). *Bacillus Thuringiensis* Serovariety *Israelensis* and *Bacillus Sphaericus* for Mosquito Control. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 23(sp2), 133-163. [https://doi.org/10.2987/8756-971x\(2007\)23\[133:Btsiab\]2.0.Co;2](https://doi.org/10.2987/8756-971x(2007)23[133:Btsiab]2.0.Co;2)

Lacoursière, B. (2004). Le bacillu thurengiensis israelensis et le contrôle des insectes piqueurs au Québec.

Lagadic, L., Roucaute, M., Caquet, T., & Arnott, S. (2014). Btisprays do not adversely affect non-target aquatic invertebrates in French Atlantic coastal wetlands. *Journal of Applied Ecology*, 51(1), 102-113. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12165>

Lagadic, L., Schafer, R. B., Roucaute, M., Szocs, E., Chouin, S., de Maupeou, J., Duchet, C., Franquet, E., Le Hunsec, B., Bertrand, C., Fayolle, S., Frances, B., Rozier, Y., Foussadier, R., Santoni, J. B., & Lagneau, C. (2016). No association between the use of Bti for mosquito control and the dynamics of non-target aquatic invertebrates in French coastal and continental wetlands. *Sci Total Environ*, 553, 486-494. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.096>

- Lajmanovich, R. C., Junges, C. M., Cabagna-Zenklusen, M. C., Attademo, A. M., Peltzer, P. M., Maglianesi, M., Marquez, V. E., & Beccaria, A. J. (2015). Toxicity of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* in aqueous suspension on the South American common frog *Leptodactylus latrans* (Anura: Leptodactylidae) tadpoles. *Environ Res*, 136, 205-212. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.10.022>
- Lewis, K. A., Tzilivakis, J., Warner, D. J., & Green, A. (2016). An international database for pesticide risk assessments and management. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 22(4), 1050-1064. <https://doi.org/10.1080/10807039.2015.1133242>
- Liber, K., Schmude, K. L., & Rau, D. M. (1998). Toxicity of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* to chironomids in pond mesocosms. *Ecotoxicology*, 7(6), 343-354.
- Lundström, J. O., Schäfer, M., Petersson, E., Vinnersten, T. P., Landin, J., & Brodin, Y. (2010). Production of wetland Chironomidae (Diptera) and the effects of using *Bacillus thuringiensis israelensis* for mosquito control. *Bull Entomol Res*, 100(1), 117-125.
- Lynch, M. J., & Baumann, P. (1985). Immunological comparisons of the crystal protein from strains of *Bacillus thuringiensis*. *J Invertebr Pathol*, 46(1), 47-57. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-2011\(85\)90128-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-2011(85)90128-4)
- Mengelkoch, J. M., Niemi, G. J., & Regal, R. R. (2004). Diet of the Nestling Tree Swallow. *The Condor*, 106(2), 423-429. <https://doi.org/10.1093/condor/106.2.423>
- Niemi, G. J., Hershey, A. E., Shannon, L., Hanowski, J. M., Lima, A., Axler, R. P., & Regal, R. R. (1999). Ecological effects of mosquito control on zooplankton, insects, and birds. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 18(3), 549-559.
- Orłowski, G., & Karg, J. (2011). Diet of nestling Barn Swallows *Hirundo rustica* in rural areas of Poland. *Central European Journal of Biology*, 6. <https://doi.org/10.2478/s11535-011-0070-4>
- Persson Vinnersten, T. Z., Lundstrom, J. O., Schafer, M. L., Petersson, E., & Landin, J. (2010). A six-year study of insect emergence from temporary flooded wetlands in central Sweden, with and without Bti-based mosquito control. *Bull Entomol Res*, 100(6), 715-725. <https://doi.org/10.1017/S0007485310000076>
- Poulin, B., Lefebvre, G., & Paz, L. (2010). Red flag for green spray: adverse trophic effects of Bti on breeding birds. *Journal of Applied Ecology*, 47(4), 884-889. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01821.x>
- Raymond Leclair, G. C., France Pronovost, Sylvie Trottier. (1988). Effects of the BTI to some larval amphibian species.
- Rosenkrantz, L. (2022). Impacts of Canada's changing climate on West Nile Virus vectors. <https://ncceh.ca/>
- Schnepf, E., Crickmore, N., Van Rie, J., Lereclus, D., Baum, J., Feitelson, J., Zeigler, D. R., & Dean, D. H. (1998). *Bacillus thuringiensis* and its pesticidal crystal proteins. *Microbiol Mol Biol Rev*, 62(3), 775-806. <https://doi.org/10.1128/membr.62.3.775-806.1998>

Schweizer, M., Miksch, L., Kohler, H. R., & Triebkorn, R. (2019). Does Bti (*Bacillus thuringiensis* var. *israelensis*) affect *Rana temporaria* tadpoles? *Ecotoxicol Environ Saf*, 181, 121-129. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.05.080>

Stevens, M. M., Akhurst, R. J., Clifton, M. A., & Hughes, P. A. (2004). Factors affecting the toxicity of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* and *Bacillus sphaericus* to fourth instar larvae of *Chironomus tepperi* (Diptera: Chironomidae). *J Invertebr Pathol*, 86(3), 104-110. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jip.2004.04.002>

Strasburg, M., & Boone, M. D. (2021). Effects of Trematode Parasites on Snails and Northern Leopard Frogs (*Lithobates pipiens*) in Pesticide-Exposed Mesocosm Communities. *Journal of Herpetology*, 55(3), 229-236. <https://doi.org/10.1670/20-082>

Tetreau, G., Stalinski, R., David, J. P., & Despres, L. (2013). Monitoring resistance to *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* in the field by performing bioassays with each Cry toxin separately. *Mem Inst Oswaldo Cruz*, 108(7), 894-900. <https://doi.org/10.1590/0074-0276130155>

Theissingner, K., Kästel, A., Elbrecht, V., Makkonen, J., Michiels, S., Schmidt, S., Allgeier, S., Leese, F., & Brühl, C. (2017). Using DNA metabarcoding for assessing chironomid diversity and community change in mosquito controlled temporary wetlands. *Metabarcoding and Metagenomics*, 1. <https://doi.org/10.3897/mbmg.1.21060>

Timmermann, U., & Becker, N. (2017). Impact of routine *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti) treatment on the availability of flying insects as prey for aerial feeding predators. *Bull Entomol Res*, 107(6), 705-714. <https://doi.org/10.1017/S0007485317000141>

Tiwari, S., Ghosh, S. K., Mittal, P. K., & Dash, A. P. (2011). Effectiveness of a new granular formulation of biolarvicide *Bacillus thuringiensis* Var. *israelensis* against larvae of malaria vectors in India. *Vector Borne Zoonotic Dis*, 11(1), 69-75. <https://doi.org/10.1089/vbz.2009.0197>

Wiese, D., Escalante, A. A., Murphy, H., Henry, K. A., & Gutierrez-Velez, V. H. (2019). Integrating environmental and neighborhood factors in MaxEnt modeling to predict species distributions: A case study of *Aedes albopictus* in southeastern Pennsylvania. *PLoS One*, 14(10), e0223821. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223821>

Winegard, T. C. (2019). *The Mosquito: A Human History of Our Deadliest Predator*.

Wolfram, G., Wenzl, P., & Jerrentrup, H. (2018). A multi-year study following BACI design reveals no short-term impact of Bti on chironomids (Diptera) in a floodplain in Eastern Austria. *Environ Monit Assess*, 190(12), 709. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7084-6>

World Health, O. (2020). The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification 2019. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/332193>

Zeller, H. G., & Murgue, B. (2001). Rôle des oiseaux migrateurs dans l'épidémiologie du virus West Nile. *Médecine et Maladies Infectieuses*, 31, 168-174. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0399-077X\(01\)80055-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0399-077X(01)80055-X)

Tout ce que vous devez savoir sur le Bti
©2023 G.D.G. Environnement
Ce document est protégé par les lois internationales sur le droit d'auteur.