

## REVUE DE LITTÉRATURE

# LA RÉSISTANCE DES INSECTES ET ACARIENS AUX PRODUITS ANTIPARASITAIRES POUR LES ESPÈCES AGRICOLES PRÉSENTES AU QUÉBEC

Franz Vanoosthuyse, M.Sc.  
Annabelle Firlej, Ph.D.  
Élisabeth Ménard, D.E.S.S., env.  
Alessandro Dieni, M.Sc.  
Audrey Charbonneau, B. Env.  
Daniel Cormier, Ph.D.

Institut de recherche et de développement en  
agroenvironnement (IRDA)

Juillet 2018



L'IRDA a été constitué en mars 1998 par quatre membres fondateurs, soit le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), l'Union des producteurs agricoles (UPA), le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) et le ministère de l'Économie, de l'Innovation et des Exportations (MEIE).

L'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement est une corporation de recherche à but non lucratif qui travaille chaque année sur une centaine de projets de recherche en collaboration avec de nombreux partenaires du milieu agricole et du domaine de la recherche.

#### **Notre mission**

L'IRDA a pour mission de réaliser des activités de recherche, de développement et de transfert en agroenvironnement visant à favoriser l'innovation en agriculture, dans une perspective de développement durable.

#### **Notre vision**

En 2017, l'IRDA est reconnue à l'échelle canadienne comme un chef de file en recherche, développement et transfert en agroenvironnement. L'IRDA se démarque par son approche intégrée et par le dynamisme de ses partenariats qui lui permettent d'anticiper les problèmes et de proposer des solutions novatrices répondant aux besoins des agriculteurs et de la société.

#### **Pour en savoir plus**

[www.irda.qc.ca](http://www.irda.qc.ca)

## COLLABORATEURS

- Brigitte Duval, Agr. MAPAQ
- Isabelle Couture, M. Sc., Agr. MAPAQ
- Jean-Philippe Légaré, M. Sc. MAPAQ
- Liette Lambert, Agr. MAPAQ
- Marie-Pascale Beaudoin, Agr. MAPAQ
- Mario Leblanc, Agr. MAPAQ
- Stéphanie Tellier, M. Sc., Agr. MAPAQ

## CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES

- CBG Photography Group, Centre for Biodiversity Genomics (p. 75)
- Vanoosthuyse, F., IRDA (p. 25)
- Laboratoire d'expertise et de diagnostic en phytoprotection, MAPAQ (p. 30; 35; 42; 58-62; 64-65; 68-74; 78-81)

## REMERCIEMENTS

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



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

## LA REVUE DE LITTÉRATURE PEUT ÊTRE CITÉE COMME SUIT :

Vanoosthuysse, F., A. Firlej, É. Ménard, A. Dieni, A. Charbonneau et D. Cormier. 2018. La résistance des insectes et acariens aux produits antiparasitaires pour les espèces agricoles présentes au Québec. © Institut de recherche et de développement en agroenvironnement Inc. (IRDA). 108 p.

# TABLE DES MATIÈRES

1	Introduction.....	1
1.1	Contexte .....	1
1.2	La résistance aux insecticides et acaricides.....	2
1.2.1	Principes .....	2
1.2.2	Mécanismes de résistance .....	3
1.2.3	Facteurs clés dans le développement de la résistance et risque de résistance aux insecticides.....	6
1.3	Détection de la résistance .....	8
1.3.1	Méthode par Bioessais .....	8
1.3.2	Méthode biochimique .....	9
1.3.3	Méthode génétique.....	9
1.4	Résistance multiple et résistance croisée .....	12
1.5	Produits antiparasitaires et modes d'action (MoA) .....	12
2	Résistance aux produits antiparasitaires chez les insectes et acariens du Québec.....	16
2.1	Insectes résistants .....	16
2.1.1	Carpocapse de la pomme .....	17
2.1.2	Doryphore de la pomme de terre.....	22
2.1.3	Fausse-teigne des crucifères .....	27
2.1.4	Tordeuse à bandes obliques.....	34
2.2	Insectes et acariens soupçonnés de résistance au Québec .....	38
2.2.1	Insectes et acariens avec protocoles établis .....	50
2.2.2	Insectes et acariens avec protocoles à adapter .....	60
2.2.3	Insectes et acariens dont les protocoles sont à développer .....	70
3	Conclusion et recommandations.....	75
3.1	Conclusion .....	75
3.2	Recommandation .....	76
3.2.1	Insectes résistants .....	76
3.2.2	Insectes et acariens soupçonnés de résistance.....	77
4	Références.....	79
5	Groupes de recherche, sites de références.....	96

6	Liste des personnes consultées .....	99
7	Liste des insectes et acariens nommés .....	102
8	Glossaire .....	103
9	Index des noms communs et scientifiques .....	107

## LISTE DES FIGURES

---

Figure 1. Types de mécanismes de résistance aux produits antiparasitaires (extraits de R4P Network, 2016)...5

## LISTE DES TABLEAUX

---

Tableau 1 : Liste des 12 insectes et acariens les plus résistants aux pesticides dans le monde (tiré de Sparks et Nauen, 2015).....	2
Tableau 2 : Facteurs biologiques, génétiques et opérationnels dans le développement de la résistance (Extrait de FAO, 2013) .....	7
Tableau 3 : Avantages et inconvénients des différentes méthodes de détection de la résistance selon le R4P Network (2016) .....	11
Tableau 4 : Groupes et familles des produits antiparasitaires selon la classification des Modes d’Action (MoA) du Comité d’Action contre la Résistance aux Insecticides, (IRAC).....	14
Tableau 5 : Liste des insectes confirmés pour leur résistance aux insecticides au Québec.....	16
Tableau 6 : Résistance aux insecticides chez le carpocapse de la pomme .....	18
Tableau 7 : Méthodes par bioessais de détection de la résistance aux insecticides chez le carpocapse de la pomme .....	19
Tableau 8 : Méthodes biochimiques de détection de la résistance aux insecticides chez le carpocapse de la pomme .....	20
Tableau 9 : Méthodes génétiques de détection de la résistance aux insecticides chez le carpocapse de la pomme .....	21
Tableau 10 : Résistance aux insecticides chez le doryphore de la pomme de terre .....	23
Tableau 11 : Méthodes par bioessais de détection de la résistance aux insecticides chez le doryphore de la pomme de terre .....	25
Tableau 12 : Méthodes biochimiques de détection de la résistance aux insecticides chez le doryphore de la pomme de terre .....	26
Tableau 13 : Méthodes génétiques de détection de la résistance aux insecticides chez le doryphore de la pomme de terre .....	26
Tableau 14 : Résistance aux pesticides chez la fausse-teigne des crucifères.....	29
Tableau 15 : Méthodes par bioessais de détection de la résistance aux insecticides chez la fausse teigne des crucifères.....	31
Tableau 16 : Méthodes biochimiques de détection de la résistance aux insecticides chez la fausse teigne des crucifères.....	32

Tableau 17 : Méthodes génétiques de détection de la résistance aux insecticides chez la fausse teigne des crucifères.....	33
Tableau 18 : Résistance aux produits antiparasitaire chez la tordeuse à bandes obliques .....	35
Tableau 19 : Méthodes par bioessais de détection de la résistance aux insecticides chez la tordeuse à bandes obliques.....	36
Tableau 20 : Méthodes biochimiques de détection de la résistance aux insecticides chez la tordeuse à bandes obliques.....	37
Tableau 21 : Liste des insectes et acariens soupçonnés de résistance aux pesticides au Québec .....	39
Tableau 22 : Liste des protocoles de détection de la résistance développés pour les espèces correspondantes .	58
Tableau 23 : Liste des insectes et acariens dont les protocoles de détections de la résistance sont à adapter ....	68
Tableau 24 : Liste des insectes et acariens dont les protocoles de détection de la résistance sont à développer	74

# 1 INTRODUCTION

---

## 1.1 CONTEXTE

La première mention de la résistance d'un insecte, la cochenille de San José, à un insecticide a été publiée en 1914 (Melander, 1914). Depuis 1940, les cas se sont multipliés dans plusieurs cultures à travers le monde suite à l'utilisation intensive de différents produits antiparasitaires. En 2014, 586 espèces d'insectes et acariens étaient connus au niveau mondial pour présenter des cas de populations résistantes à des matières actives (Sparks et Nauen, 2015). Parmi cette liste, les 12 insectes et acariens ayant développé le plus de résistance aux pesticides apparaissent dans le tableau 1 (tiré de Sparks et Nauen, 2015) avec par exemple l'aleurode du tabac, *Bemisia tabaci* (Gennadius), le doryphore de la pomme de terre, *Leptinotarsa decemlineata* (Say), le tétranyque rouge du pommier, *Panonychus ulmi* (Koch) et le puceron vert du pêcher, *Mysus persicae* (Sulzer). Le tétranyque à deux points, *Tetranychus urticae* Koch et la fausse-teigne des crucifères, *Plutella xylostella* (Linnaeus), sont reconnus comme les arthropodes ayant développé de la résistance à plus de 90 insecticides. Parmi les insectes et acariens résistants, plusieurs sont d'ailleurs présents dans les cultures au Québec. À ce titre, l'enquête sur la résistance des ennemis des cultures aux pesticides de Fortin et al. (2012) demeure un ouvrage de référence concernant la résistance des ennemis des cultures aux pesticides au Québec.

C'est la généralisation et la surutilisation répétée des pesticides qui sont à l'origine de l'augmentation de la résistance des insectes et acariens. Un des moyens pour limiter l'apparition de la résistance est l'alternance de l'utilisation des produits antiparasitaires en fonction de leur mode d'action (MoA) (cf. partie 1.5 et tableau 4). Cependant, l'augmentation de la résistance additionnée au retrait progressif de certains pesticides entraîne une réduction de la diversité des produits antiparasitaires disponibles. Les risques liés à la gestion des ravageurs dans les cultures s'en trouvent augmentés (R4P Network, 2016). Dans ce contexte, il est d'autant plus important de comprendre et quantifier le développement de la résistance aux insecticides et acaricides des ravageurs d'importance économique.

Au Québec, le portrait de la résistance des insectes et acariens aux produits phytosanitaires repose sur une enquête sur la résistance des ennemis des cultures aux pesticides de Fortin et al. (2012). Cet ouvrage demeure un document de référence sur l'état de la situation. Il nous indique qu'à l'époque trois insectes ravageurs de nos cultures étaient résistants à certains produits phytosanitaires et qu'une quinzaine d'autres espèces d'insectes et acariens étaient soupçonnées d'avoir développé de la résistance à au moins un produit. Afin de connaître si la situation est demeurée stable ou si elle avait évolué, nous avons envisagé de mettre à jour la liste des insectes et acariens résistants ou soupçonnés de l'être. L'objectif de notre projet visait dans un premier temps à documenter la résistance des insectes et acariens ravageurs des cultures québécoises aux produits antiparasitaires et dans un deuxième temps de faire l'inventaire des méthodes pour la détecter afin de sensibiliser et guider les agronomes et les producteurs agricoles quant aux risques associés à l'utilisation des produits antiparasitaires inadéquats contre les ravageurs. Nous avons réalisé une veille scientifique des connaissances sur la résistance des insectes et acariens aux produits phytosanitaires en consultant principalement des articles et des conférences scientifiques,

des rapports et des bases de données bibliographiques. Parallèlement à ce processus, nous avons consulté les experts des différents groupes de cultures au Québec afin de valider l'information mise à jour.

**Tableau 1 : Liste des 12 insectes et acariens les plus résistants aux pesticides dans le monde (tiré de Sparks et Nauen, 2015)**

Espèce	Nom commun	Ordre	Nombre d'insecticides	Nombre de cas
<i>Tetranychus urticae</i>	Tétranyque à deux points	Acari	93	414
<i>Plutella xylostella</i>	Fausse-teigne des crucifères	Lépidoptères	91	576
<i>Myzus persicae</i>	Puceron vert du pêcher	Hémiptères	75	402
<i>Musca domestica</i>	Mouche domestique	Diptères	58	303
<i>Bemisia tabaci</i>	Aleurode du tabac	Hémiptères	54	555
<i>Leptinotarsa decemlineata</i>	Doryphore de la pomme de terre	Coléoptères	54	279
<i>Aphis gossypii</i>	Puceron du melon	Hémiptères	48	231
<i>Panonychus ulmi</i>	Tétranyque rouge du pommier	Acari	48	197
<i>Helicoverpa armigera</i>	Noctuelle de la tomate	Lépidoptères	47	692
<i>Boophilus microplus</i>	Tique tropicale du bétail	Ixodida	44	167
<i>Blattella germanica</i>	Blatte germanique	Blattoptères	43	219
<i>Spodoptera litura</i>	Noctuelle rayée	Lépidoptères	38	457

## 1.2 LA RÉSISTANCE AUX INSECTICIDES ET ACARICIDES

### 1.2.1 Principes

On définit la résistance comme un changement génétique dans un organisme en réponse à une sélection induite par des substances toxiques. La résistance à un pesticide apparaît quand des mutations génétiques d'origine naturelle ou acquise comme décrites ci-dessus sont transmises d'une génération à l'autre et permettent à une proportion de la population de plus en plus grande de résister et de survivre aux effets de l'utilisation répétitive de ce pesticide. En général, les populations n'ayant jamais été exposées aux pesticides sont totalement sensibles et les gènes de la résistance dans ces populations sont rares (FAO, 2013).

Sans entrer dans le détail des mécanismes génétiques sous-jacents, la résistance aux pesticides chez les insectes et acariens peut être dominante, semi-dominante ou récessive. Dans les deux premiers cas, il suffit qu'un seul parent possède la caractéristique de résistance pour qu'elle se manifeste pleinement ou partiellement dans la progéniture. Dans le cas d'une résistance récessive, les deux parents doivent posséder le trait de résistance. Dans la plupart des cas, les mécanismes de résistance sont récessifs ou semi-dominants, ce qui ralentit la diffusion de la résistance dans la population (FAO, 2013).

Bien que la résistance à un pesticide donne un avantage aux individus qui la possèdent, elle engendre souvent un « coût de la valeur adaptative » comme c'est le cas pour le doryphore de la pomme de terre (diminution de la fécondité, du poids ou de la survie hivernale), l'aleurode du tabac (diminution de la fécondité et de la longévité), le carpocapse de la pomme (diminution de la fécondité et de la longévité des mâles) ou encore la tordeuse à bandes obliques (diminution de production de la phéromone sexuelle) (Argentine et al., 1989; Trisyono et Whalon, 1997; Alyokhin et Ferro, 1999; Boivin et al., 2001; Delisle et Vincent, 2002; Feng et al., 2009). De ce fait, les

individus résistants se retrouvent désavantagés dès que le pesticide n'est plus utilisé. En l'absence de l'utilisation de ce pesticide, les individus sensibles sont avantagés et la population du ravageur en question peut retrouver sa sensibilité (FAO, 2013). Ce phénomène a d'ailleurs été démontré pour des populations de *Choristoneura rosaceana* résistantes à l'azinphos-méthyl<sup>†</sup> (Smirle et al., 1998). Ce retour à la sensibilité des populations de ravageurs, bien qu'ayant des vitesses variables, est à la base de la gestion de la résistance aux insecticides (FAO, 2013).

## 1.2.2 Mécanismes de résistance

La figure 1 extraite de la revue de littérature sur les tendances et défis de la détection de la résistance aux pesticides du R4P Network (2016) et disponible à <https://www.r4p-inra.fr/fr/mecanismes-de-resistance/> résume visuellement ces différents mécanismes. Ils sont classés dans deux grands groupes : la résistance ne touchant pas aux sites cibles des pesticides ou **résistance non liée à la cible (RNLC)** et la **résistance liée à la cible (RLC)**.

### Mécanisme de résistance non liée à la cible (RNLC)

Ces formes de résistances aux pesticides regroupent les mécanismes comportementaux, physiques et métaboliques des individus.

La **résistance comportementale** (figure 1. 1) permet de réduire l'exposition à un pesticide. Cela inclut la répulsion ou l'irritabilité à un pesticide provoquant le déplacement des individus résistants, modification de la préférence pour un habitat dépourvu de pesticide, modification du cycle de vie provoquant l'absence du stade visé au moment des applications de pesticides.

La **résistance physiologique** est caractérisée par la **diminution de la pénétration** des pesticides (modification des propriétés physicochimiques de la cuticule ou du tractus digestif) (figure 1. 2) ou par une augmentation de l'**excrétion** des pesticides (modification de transporteurs membranaires pour augmenter l'excrétion du pesticide) (figure 1. 3).

La **résistance métabolique** (figure 1. 4-7; 10-11) est obtenue par divers mécanismes intracellulaires : **séquestration intracellulaire** (compartimentation intracellulaire du pesticide) (4), **séquestration moléculaire** (liaison moléculaire du pesticide à l'intérieur de la cellule) (5), amélioration de la **détoxification** par une isoenzyme plus active contre le pesticide (6) ou par surexpression d'une enzyme neutralisatrice de pesticide (7), **compensation** de l'inhibition du site cible par production d'une voie ou d'une enzyme alternative (10) et **protection** par neutralisation des molécules cytotoxiques générées par les pesticides (11).

Dans le cas de la résistance métabolique par détoxification des insecticides et acaricides, on retrouve trois groupes d'enzymes qui participent à ce processus : les **monooxygénases** (MO) à cytochromes P-450 (parfois dénommés oxydases à fonctions mixtes), les **glutathion S-transférases** (GST) et les **hydrolases** qui clivent les esters (EST) comme la carboxylesterase (CbE) et les amides (AMD) (Haubruge et Amichot, 1998).

---

<sup>†</sup> Produits non homologués au Canada (vérifications faites sur le site des étiquettes de l'ARLA, février 2018).

## Mécanismes de résistance liée à la cible RLC

Ces mécanismes ne touchent que les sites ciblés par les pesticides. Ces formes de résistance sont dues à la **surexpression des protéines intracellulaires ciblées** (figure 1. 8) ou à la **modification structurale des protéines ciblées**, ce qui mène à la diminution de la liaison du pesticide avec le site cible (figure 1. 9). On retrouve quatre catégories générales de résistance liée à la cible chez les insectes : le **knock-down resistance (kdr)** qui interfère avec le canal sodium « voltage-dépendant » (C<sub>svd</sub>) dans les cellules nerveuses (mécanisme habituel pour la résistance au DDT<sup>+</sup> et aux pyréthrinoïdes); la **mutation du site cible de l'acétylcholinestérase (MACE)**, l'acétylcholinestérase est modifiée de sorte qu'elle ne soit plus touchée par l'insecticide (mécanisme de la résistance au pirimicarbe<sup>+</sup>), la **résistance à la dieldrin<sup>+</sup> (Rd)** mutation ponctuelle qui diminue la fixation de la dieldrin<sup>+</sup> au récepteur de l'acide gamma-aminobutyrique (GABA) et la **résistance Bt** dû à la perte de cadhérine qui joue un rôle important dans l'adhésion cellulaire (mécanisme de résistance au *Bt* chez la fausse-teigne des crucifères, *Plutella xylostella*) (Haubruge et Amichot, 1998; FAO, 2013).

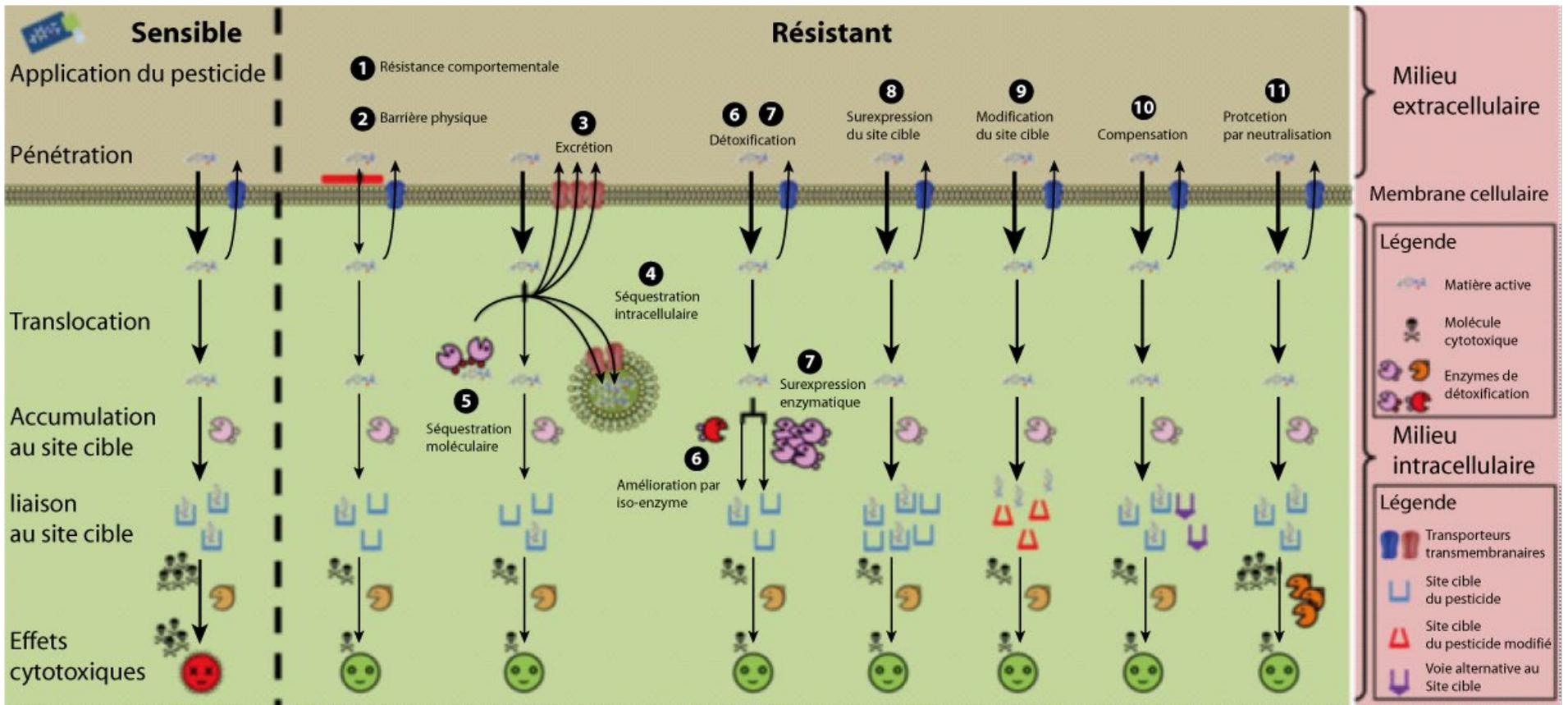


Figure 1. Types de mécanismes de résistance aux produits antiparasitaires (extraits de R4P Network, 2016).

### 1.2.3 Facteurs clés dans le développement de la résistance et risque de résistance aux insecticides

La FAO regroupe les facteurs qui influencent le développement de résistance en trois catégories : le **bagage génétique** du ravageur, sa **biologie** et les **facteurs opérationnels** (facteurs liés aux pesticides et à leurs utilisations). Il n'est pas possible de prédire si un composé donnera lieu à de la résistance, cependant il est possible d'évaluer le risque général en évaluant ces facteurs pour chaque situation « pesticide-ravageur-culture ». Le tableau 2, extrait des *Directives pour la prévention et la gestion de la résistance aux pesticides* (FAO, 2013), permet de faciliter l'évaluation et la compréhension de l'influence de chaque facteur dans le développement de la résistance.

Bien que l'on recherche le plus possible les tactiques visant à éviter ou retarder la résistance aux pesticides, tôt ou tard les principaux pesticides induisent une résistance chez les ravageurs visés (FAO, 2013). Les facteurs les plus à risque sont marqués d'un astérisque dans le tableau 2. Les facteurs principaux liés aux insectes sont : le **cycle de vie court** (plusieurs générations par an), des **infestations élevées ou un niveau de population élevé**, une **progéniture nombreuse par femelle** et une **large gamme de plantes hôtes**. Alors que les facteurs opérationnels principaux sont : un **emploi de doses inférieures ou supérieures à celles indiquées sur l'étiquette**, une **couverture inappropriée**, un **temps d'application impropre** (mauvais synchronisme), **l'emploi d'une seule classe de produits chimiques**, une **lutte presque exclusivement chimique**, **cibler un seul ravageur et ravageur présent dans plusieurs cultures**, **l'emploi de composés très rémanents** et **l'emploi de produits à large spectre**.

**Tableau 2 : Facteurs biologiques, génétiques et opérationnels dans le développement de la résistance**  
(Extrait de FAO, 2013)

Facteurs	Potentiel pour le développement d'une résistance	
	Faible	Élevé
<b>Facteurs biologiques</b>		
Taille de la population*	Petite	Grande
Potentiel reproductif*	Faible	Élevé
Renouvellement générationnel*	Une génération ou moins par an	Plusieurs générations par an
Type de reproduction	Sexuée	Asexuée
Dispersion	Faible	Importante
Métabolisme du pesticide	Difficile	Facile
Nombre de sites cibles du pesticide	Sites multiples	Unique, spécifique
Gamme d'hôtes du ravageur*	Étroite	Large
<b>Facteurs génétiques</b>		
Apparition de gènes de résistance	Absents	Présents
Nombre de mécanismes de résistance	Un seul	Plusieurs
Fréquence des gènes	Basse	Élevée
Dominance des gènes de résistance	Récessive	Dominante
Valeur adaptative des individus résistants (R)	Médiocre	Bonne
Protection induite par le gène de résistance (R)	Médiocre	Bonne
Résistance croisée	Négative ou absente	Positive
Sélection antérieure	Aucune	Significative
Gènes modificateurs	Absents	Présents
<b>Facteurs opérationnels</b>		
Spectre d'activité du pesticide	Étroit	Large
Taux d'application du pesticide*	Selon l'étiquette : Hétérozygotes tués (si le gène R n'est pas complètement dominant)	Moins que l'étiquette : Hétérozygotes survivent Plus que l'étiquette : Quelques individus résistants homozygotes survivent et se reproduisent (surtout si l'immigration est minime)
Couverture de l'application*	Bonne	Médiocre
Systémie	Effet du facteur variable; peut accroître ou diminuer le risque de résistance.	
Fréquence des traitements	Basse	Élevée
Présence de ravageurs secondaires*	Absents (Seul le ravageur ciblé est traité)	Présents (Les ravageurs non ciblés sont aussi traités)
Temps d'application impropre*	Stades sensibles ciblés	Stades les moins sensibles sont ciblés
Stades de vie traités par les pesticides relatifs	Unique	Multiples
Proportion de la population traitée	Effet du facteur variable; peut accroître ou diminuer le risque de résistance.	
Persistance*	De courte durée	De longue durée
Nombre de cultures traitées*	Une	Plusieurs
Séquence de la culture	Cultures séparées par le temps ou la géographie	Cultures intercalaires; pas d'intervalles entre les semis; en continu
Tactiques de lutte contre les ravageurs*	Tactiques de lutte multiples (chimique, biologique, culturale)	Utilisation continue d'une seule méthode ou d'un seul composé
Effets sur les organismes non ciblés*	Activité sélective	Non sélective

\*Facteurs principaux associés à la résistance des insectes.

## 1.3 DÉTECTION DE LA RÉSISTANCE

La détection de l'émergence et du développement de la résistance aux pesticides chez les ravageurs des cultures est essentielle si l'on veut développer des stratégies pour minimiser l'utilisation des pesticides en champs, tout en maintenant l'efficacité de ces derniers contre les ravageurs ciblés et maintenir la rentabilité des entreprises, car les traitements inefficaces entraînent des pertes économiques. Cette surveillance nécessite donc l'utilisation de méthodes précises, sensibles et fiables, tout en demeurant suffisamment flexible pour être en mesure de suivre l'évolution de la résistance chez les populations de ravageurs.

Comme détaillé dans la publication du R4P Network (2016), les méthodes de détection de la résistance se concentrent principalement sur les modifications phénotypiques, biochimiques ou génétiques des individus. On distingue ainsi trois grands types de méthodes de détection de la résistance : **les méthodes par bioessais** (mise en évidence des différentes réponses phénotypiques à l'exposition d'une ou plusieurs matières actives), **les méthodes biochimiques** (détection des différences associées aux protéines ciblées par les pesticides ou aux moyens de neutraliser les pesticides) et **les méthodes moléculaires** (détection des gènes ou des mutations responsables de la résistance).

### 1.3.1 Méthode par Bioessais

Le principe de cette méthode est d'exposer des ravageurs vivants d'intérêts (généralement une population sauvage issue directement de l'environnement ou récemment élevée en laboratoire) aux pesticides, pour ensuite comparer la réponse de cette exposition avec celle d'une population sensible de référence (individus reconnus comme étant sensibles aux pesticides testés). Les variables comparées pour les insectes et les acariens sont généralement la mortalité ou la survie (R4P Network, 2016). Il est essentiel de bien concevoir et standardiser la méthode d'application du pesticide sur le ravageur en tenant compte : des propriétés du pesticide testé (mode d'application, stade de développement ciblé, pénétration du produit, impact attendu sur le ravageur, etc.) et des caractéristiques biologiques du ravageurs (utiliser les bons stades de développement, exposition adéquate au pesticide, etc.). **Le développement de bioessais demeure à ce jour la première étape nécessaire à la caractérisation de la résistance d'un ravageur à un pesticide.**

Trois usages principaux découlent de ces méthodes (R4P Network, 2016) :

1. Déterminer le **niveau de résistance** des ravageurs en utilisant des courbes de dose-réponse afin d'obtenir la concentration efficace moyenne ( $CE_{50}$ ) de ces pesticides pour les ravageurs en question. Il est alors possible de différencier les ravageurs résistants de la population sensible de référence sur la base de ces informations. Cela permet de confirmer la présence de résistance chez les ravageurs et/ou de comparer les différents niveaux de résistance chez les différentes populations de ravageurs.
2. Fixer une **dose discriminante** suite à l'élaboration d'une courbe de dose-réponse. Cela permet d'estimer la fréquence des ravageurs résistants dans la population évaluée. Le protocole de ce type d'approche est similaire

à l'élaboration d'une courbe de dose-réponse, mais avec seulement une ou quelques concentrations testées, ce qui permet de traiter un plus grand nombre d'échantillons en moins de temps.

3. **Étudier les mécanismes responsables du développement de la résistance** chez les ravageurs, en faisant la distinction entre une RNLC et un RLC (voir section : 1.2.2). Ce type de bioessai est effectué en observant l'effet du pesticide combiné avec d'autres molécules (inhibiteur, activateurs, etc.).

### 1.3.2 Méthode biochimique

Le principe de cette méthode est de vérifier si l'activité enzymatique ciblée par un pesticide est maintenue en présence de celui-ci. Soit grâce à la présence de mécanisme limitant l'impact du pesticide sur la protéine en question (dans le cas d'une RNLC) ou suite à une modification génétique qui affecte la protéine en question (dans le cas d'une RLC). Ainsi, le mécanisme de résistance développé par un ravageur influencera le type d'essais biochimique utilisé pour détecter cette résistance.

Dans le cas des RNLC, les essais se concentrent sur différentes enzymes capables de neutraliser les pesticides soit par catabolisme (destruction) et/ou par séquestration moléculaire des pesticides. Puisque l'activité de ces enzymes est augmentée, les essais biochimiques se basent sur la mesure, par colorimétrie ou fluométrie, de l'activité de dégradation de substrats commerciaux par ces enzymes.

Dans le cas des RLC, les essais se réalisent directement sur les enzymes ciblés par les pesticides. En effet, si le mécanisme est une surexpression des protéines intracellulaires ciblées (figure 1. 8), il suffit de **mesurer l'activité spécifique** de l'enzyme en question. Si le mécanisme est une modification structurale des protéines ciblées (figure 1.9), il suffit de quantifier la réduction de l'affinité de la liaison entre le pesticide et l'enzyme. Dans le cas où des essais sur l'activité enzymatique ne sont pas pertinents ou réalisables, d'autres types d'essais peuvent être développés, comme l'utilisation de pesticides radiomarqués ou du dosage à base de métabolites. Ce dernier point est abordé plus en détail dans la publication du R4P Network (2016).

Deux usages principaux découlent de ce type de méthode (R4P Network, 2016) :

1. **Caractériser les mécanismes** responsables de la résistance chez les ravageurs d'un point de vue enzymatique;
2. **Détecter la résistance** chez les ravageurs lorsque le mécanisme sous-jacent a été préalablement décrit.

### 1.3.3 Méthode génétique

Le principe de cette méthode est d'étudier directement le code génétique des ravageurs afin de déceler les mutations responsables des mécanismes de résistances chez ces derniers. Si l'on connaît bien la mutation qui cause la résistance chez le ravageur, il est possible de réaliser des essais de **génotypage**, afin de vérifier si le spécimen possède ou non la mutation recherchée. Il existe aussi d'autres méthodes permettant de quantifier le niveau de résistance du ravageur en mesurant la variation en termes de nombre de copie de gène ou le niveau d'expression du gène au niveau cellulaire. Ces approches nécessitent que la mutation recherchée ait été préalablement décrite et que des amorces spécifiques aient été développées. Enfin, si les mutations responsables de la résistance sont plus complexes et non détectables par génotypage, il est alors possible de procéder au **séquençage** complet d'une région d'intérêt et détecter l'ensemble des variations présentes dans la région

considérée cruciale pour le développement de la résistance. À cela s'ajoute la possibilité d'identifier et de caractériser de nouvelles mutations potentiellement responsables de la résistance aux pesticides (R4P Network, 2016).

Trois usages principaux découlent de ce type de méthode :

1. **Caractériser génétiquement** les nouvelles mutations responsables de la résistance chez les ravageurs;
2. **Détecter les mutations** responsables de la résistance chez les ravageurs lorsque celles-ci ont été préalablement décrites;
3. **Quantifier le niveau de résistance** chez le ravageur lorsque des méthodes de détection quantitative peuvent être utilisées (méthodes doivent avoir été préalablement développées).

Le tableau 3 présente les avantages et inconvénients de chaque méthode de détection de la résistance. Il est techniquement possible de détecter tout type de résistance avec chacune des méthodes décrites précédemment. Il est toutefois important de noter que les méthodes de détection biochimiques et moléculaires nécessitent une caractérisation préalable des mécanismes de résistance, alors qu'elle n'est pas nécessaire pour des bioessais. Il est aussi utile de rappeler que seule la méthode de détection génétique permet de déceler suffisamment rapidement la présence de résistance dans une population afin d'adapter les mesures phytosanitaires pour éviter que la résistance ne se répande à l'intérieur de cette population (Siegwart et al., 2015). De plus, le R4P Network (2016) met en garde contre l'utilisation systématique d'une méthode de détection, au détriment des autres, simplement parce que celle-ci est déjà maîtrisée à l'intérieur d'une équipe ou d'un laboratoire. En effet, il faut toujours prendre en considération le ravageur, la raison du test (détection vs quantification), le mécanisme de résistance (connue vs inconnue), le nombre d'échantillons attendu, pour ne nommer que ces paramètres, lorsque l'on tente de choisir une méthode de détection pour diagnostiquer la résistance.

**Tableau 3 : Avantages et inconvénients des différentes méthodes de détection de la résistance selon le R4P Network (2016)**

Méthodes	Avantages	Inconvénients
<b>Bioessai</b>	<p>Généralement simple à réaliser.</p> <p>Équipements de bases économiquement abordables et faciles à opérer.</p> <p>Réalisable même si l'on ne connaît pas les mécanismes.</p>	<p>Nécessite des ravageurs vivants en laboratoire : Coûteux en main-d'œuvre; Besoin d'espace (équipement, élevage, etc.)</p> <p>Déterminer la bonne dose discriminante peut s'avérer difficile.</p> <p>Évaluation visuelle limitant la précision et parfois la répétabilité.</p> <p>Protocoles développés sont généralement spécifique à un seul ravageur</p>
<b>Biochimique</b>	<p>Requière uniquement des équipements de laboratoire de base.</p> <p>Fort potentiel à miniaturiser les manipulations à relativement faible coût.</p> <p>Permet un débit d'analyse élevé.</p>	<p>Besoin de comparer les résultats avec des références sensibles soigneusement sélectionnées.</p> <p>Définir des valeurs seuil pour discriminer rigoureusement et avec justesse les ravageurs résistants des ravageurs sensibles.</p> <p>Travailler avec du matériel vivant maintenu sous des conditions artificielles ou contrôlées qui peuvent parfois affecter différemment le niveau d'activité enzymatique au sein des organismes, par rapport à des conditions de terrains.</p> <p>Nécessite généralement plusieurs étapes de préparation (dissection, extraction, purification, etc.).</p> <p>Dans le cas où les individus sont trop petits pour être disséqués et que l'on doit utiliser la totalité de l'individu, il arrive que ces analyses soient incapables de mesurer l'activité enzymatique escomptée en raison de la présence d'inhibiteur provenant des autres tissus.</p> <p>Lorsque la quantité de matériel nécessaire pour ce type d'analyse implique que l'on doit grouper les tissus de plusieurs individus, on réduit la sensibilité de la méthode et il devient alors impossible d'évaluer la proportion de spécimens résistants.</p>
<b>Génétique</b>	<p>Méthode rapide, précise et capable de traiter un nombre important d'échantillons.</p> <p>Ne nécessite pas de matériel vivant.</p> <p>Seuil de détection très bas (avant même que les problèmes soient observés en champs).</p>	<p>Nécessite une connaissance étoffée des mutations impliquées dans le développement de la résistance.</p> <p>Protocoles spécifiques pour chaque mutation impliquée (sauf dans le cas du séquençage)</p> <p>Nécessaire de réévaluer régulièrement les protocoles de détection afin de s'assurer de leur efficacité, car les mécanismes de résistance dominants au sein d'une population risquent de changer dans le temps.</p> <p>L'absence d'un gène marqueur de résistance ne signifie pas l'absence de résistance</p>

## 1.4 RÉSISTANCE MULTIPLE ET RÉSISTANCE CROISÉE

Les insectes et acariens peuvent présenter de la résistance à divers insecticides. Il n'est pas rare que pour une espèce, une population soit résistante simultanément à plusieurs matières actives de la même famille ou de familles de pesticides différentes. Cependant, cette résistance simultanée n'a pas toujours la même origine. On distingue la résistance multiple et la résistance croisée.

La **résistance multiple** est par définition une résistance à plusieurs pesticides déterminée par différents allèles (R4P Network, 2016). Elle survient quand il y a « ... présence simultanée de plusieurs mécanismes de résistance différents dans un même organisme. Ces différents mécanismes de résistance peuvent se combiner pour offrir une résistance à des classes multiples de pesticides. » (FAO, 2013)

La **résistance croisée** est une résistance à plusieurs pesticides déterminée par le même allèle. Elle peut être positive (résistance à plusieurs pesticides) ou, dans certains cas, négative (résistance à certains pesticides entraînant une hypersensibilité à d'autres) (R4P Network, 2016). La résistance croisée survient « ... quand la résistance à un pesticide cause une résistance à un autre pesticide, même quand le ravageur n'a pas été exposé au second produit. La résistance croisée advient lorsque deux ou plusieurs composants agissent sur le même objectif ou sont affectés par le même mécanisme de résistance. La résistance croisée se développe le plus souvent quand les composants ont le même mode d'action et généralement, mais pas toujours, présentent une relation chimique liée au même groupe chimique. Elle peut être complète ou partielle (dans le cas où plus d'un mécanisme est responsable de la résistance). »

Les matières actives ayant un site cible commun pour un même ravageur et donc ayant un mode d'action similaire ont un risque plus élevé d'être affecté par de la résistance croisée. C'est ce concept qui est à la base de la classification des modes d'action des insecticides et acaricides par l'IRAC.

## 1.5 PRODUITS ANTIPARASITAIRES ET MODES D'ACTION (MOA)

Afin de mieux prévenir et gérer la résistance, l'*Insecticide Resistance Action Committee* (IRAC) a créé un schéma de classification des modes d'action des insecticides, le *Mode of Action Classification Scheme* (MoA). Cet outil synthétise l'information sur les produits antiparasitaires couramment disponibles et permet d'orienter les différents intervenants en agriculture afin de faire des choix éclairés dans l'utilisation des insecticides et acaricides (Sparks et Nauen, 2015). Cette classification MoA est disponible sur le site web de l'IRAC sous plusieurs formats (application pour téléphone intelligent, livret, affiche disponible en français) (<http://www.irc-online.org/modes-of-action/>) (IRAC). La classification MoA est utilisée dans l'étiquetage des produits antiparasitaires de nombreux pays incluant le Canada (ARLA, 1999; IRAC).

Les produits antiparasitaires sont regroupés sous cinq catégories de modes d'action sur la base des fonctions physiologiques ciblées : nerfs et muscles, croissance et développement, respiration, intestin et inconnu ou non spécifique. Comme mentionné par l'IRAC, ces catégories aident à la compréhension de la symptomatologie, la

rapidité d'action et d'autres propriétés des insecticides. Afin de gérer la résistance, les rotations de produits antiparasitaires doivent se faire sur la base des numéros de groupes de mode d'action (tableau 4). Selon la classification MoA, il existe à l'heure actuelle 28 groupes de pesticides formant 54 familles ou sous-groupes ayant chacune une ou plusieurs matières actives (les groupes 26 et 27 ne sont pas attribués) (tableau 4) (IRAC). Une description des groupes chimiques est aussi disponible par ordre alphabétique sur le site du ministère du Développement durable, Environnement et lutte contre les changements climatiques ([http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/pesticides/guide/description\\_b-g.htm](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/pesticides/guide/description_b-g.htm)). À noter qu'il existe trois groupes pour lesquels il n'est pas obligatoire d'alterner l'utilisation des matières actives. En effet, ces dernières ne visent pas des sites cibles communs. Ces groupes sont : groupe 8 (divers inhibiteurs non spécifiques, multizones); groupe 13 (découpleurs de la phosphorylation oxydative via la perturbation du gradient de protons) et groupe UN (composés au mode d'action incertain ou inconnu) (IRAC). Enfin, pour plus de compréhension concernant les matières actives, le site [The PPDB Pesticide Properties Database](#) (University of Hertfordshire, 2007) regroupe toutes les informations concernant les propriétés physicochimiques, l'écotoxicologie et les effets sur la santé humaine de toutes les matières actives des pesticides existants à travers le monde (approuvés ou bannis).

**Tableau 4 : Groupes et familles des produits antiparasitaires selon la classification des Modes d'Action (MoA) du Comité d'Action contre la Résistance aux Insecticides, (IRAC)**

Groupes et modes d'action	Familles d'insecticides (sous-groupes)	Physiologies ciblées
<b>1 : Inhibiteurs de l'acétylcholine-estérase (AChE)</b>	1A Carbamates 1B Organophosphorés	Nerfs et muscles
<b>2 : Antagoniste de l'inhibition par le GABA du canal ionique chlorure</b>	2A Cyclo-diènes chlorés et polychlorocycloalcanes 2B Phénylpyrazoles	Nerfs et muscles
<b>3 : Modulateurs du canal ionique sodium</b>	3A Pyréthrinoides, pyréthrines 3B Diphényléthanes (DDT <sup>†</sup> , méthoxychlore <sup>†</sup> )	Nerfs et muscles
<b>4 : Agonistes/antagonistes des récepteurs de l'acétylcholine nicotinique (nAChR)</b>	4A Néonicotinoïdes 4B Nicotine 4C Sulfoximines 4D Buténolides 4E Mésoioniques	Nerf et muscle
<b>5 : Modulateurs allostériques du récepteur de l'acétylcholine nicotinique (nAChR)</b>	5 Spinosyns	Nerf et muscle
<b>6 : Activateurs du canal ionique chlorure (GluCl) modulateur allostérique</b>	6 Avermectines, Milbémycines	Nerf et muscle
<b>7 : Analogues des hormones juvéniles (régulation de la croissance des insectes)</b>	7A Analogues des hormones de croissance 7B Fénoxycarbe 7C Pyriproxifène	Croissance et développement
<b>8 : Divers inhibiteurs non-spécifiques (multizones)</b>	8A Halogénures d'alkyles 8B Chloropicrine 8C Fluorures 8D Borates 8E Tartrate d'antimoine et de potassium (tartrate émétique) 8F Générateurs d'isothiocyanate de méthyle	Inconnu ou non spécifique
<b>9 : Modulateur des canaux TRPV des organes chordotonaux</b>	9B Dérivés azométhiniques de la pyridine	Nerf et muscle
<b>10 : Inhibiteurs de croissance des acariens</b>	10A Clofentézine, Diflovidazin, Hexythiazox 10B Étoxazole	Croissance et développement
<b>11 : Perturbateurs d'origine microbienne de l'intestin moyen des insectes</b>	11A <i>Bacillus thuringiensis</i> 11B <i>Bacillus sphaericus</i>	Intestin
<b>12 : Inhibiteurs de l'ATP-synthase mitochondriale</b>	12A Diafenthurone 12B Acaricides organostanniques 12C Propargite 12D Tetradifon	Respiration
<b>13 : Découpleurs de la phosphorylation oxydative via la perturbation du gradient de protons</b>	13 Pyrroles, Dinitrophénols, Sulfuramide	Respiration
<b>14 : Inhibiteurs du canal récepteur de l'acétylcholine nicotinique (nAChR)</b>	14 Analogues de la Néréistoxine	Nerf et muscle
<b>15 : Inhibiteurs de la biosynthèse de la chitine, type 0</b>	15 Benzoylurées	Croissance et développement
<b>16 : Inhibiteurs de la biosynthèse de la chitine, type 1 (Perturbateur de la mue des Homoptères)</b>	16 Buprofézine	Croissance et développement

Groupes et modes d'action	Familles d'insecticides (sous-groupes)	Physiologies ciblées
<b>17 : Inhibiteur de la biosynthèse de la chitine, type 2 (Perturbateur de la mue des diptères)</b>	17 Cyromazine	Croissance et développement
<b>18 : Agonistes du récepteur de l'ecdysone</b>	18 Diacylhydrazines	Croissance et développement
<b>19 : Agonistes du récepteur de l'octopamine</b>	19 Amitraz	Nerf et muscle
<b>20 : Inhibiteurs du complexe III de transport mitochondrial d'électrons</b>	20A Hydraméthylnone 20B Acéquinocyl 20C Fluacrypyrime 20D Bifénazate	Respiration
<b>21 : Inhibiteurs du complexe I de transport mitochondrial d'électrons</b>	21A acaricides et insecticides METI 21B Roténone	Respiration
<b>22 : Inhibiteurs des canaux sodium dépendants du voltage</b>	22A Oxadiazines 22B Semicarbazones	Nerf et muscle
<b>23 : Inhibiteurs de l'acétyl CoA carboxylase</b>	23 Dérivés des acides Tétronique et Tétramique	Croissance et développement
<b>24 : Inhibiteurs du complexe IV de transport mitochondrial d'électrons</b>	24A Phosphines 24B Cyanures	Respiration
<b>25 : Inhibiteurs du complexe II de transport mitochondrial d'électrons</b>	25A Dérivés du <i>bêta</i> -cétonitrile 25B Carboxanilides	Respiration
<b>28 : Modulateurs du récepteur de la Ryanodine</b>	28 Diamides	Nerf et muscle
<b>29 : Modulateurs d'organes chordotonaux – site cible non défini</b>	29 Flonicamide	Nerf et muscle
<b>Groupe UN : Composés au mode d'action incertain ou inconnu</b>		Inconnu ou non spécifique

N.B. Afin d'uniformiser le document, la terminologie en français des groupes et familles correspond à celle utilisée par l'ARLA (1999).

## 2 RÉSISTANCE AUX PRODUITS ANTIPARASITAIRES CHEZ LES INSECTES ET ACARIENS DU QUÉBEC

### 2.1 INSECTES RÉSISTANTS

Les insectes listés dans cette section sont des espèces pour lesquels des tests de détection de la résistance ont confirmés que des populations du Québec étaient résistantes à des insecticides homologués encore aujourd'hui ou des insecticides faisant partie de familles encore utilisées au Québec et pour lesquels il y a des possibilités de résistance croisée. Le tableau 5 présente les quatre espèces concernées, les cultures, les stades du ravageur problématique, les insecticides et leur famille ainsi que les localisations pour lesquels des populations ont été confirmées comme résistantes (tableau 5).

Cette section présente par espèce, les informations disponibles suivantes :

- Les matières actives et/ou familles de pesticides auxquelles des populations de ces ravageurs ont été confirmées comme étant résistantes au Québec et ailleurs dans le monde ainsi que de l'information sur la résistance croisée et les mécanismes de résistances connus;
- Les méthodes de détection de la résistance aux insecticides par bioessais;
- Les méthodes biochimiques de détection de la résistance aux insecticides;
- Les méthodes génétiques de détection de la résistance aux insecticides.

**Tableau 5 : Liste des insectes confirmés pour leur résistance aux insecticides au Québec**

Nom	Cultures	Stades problématiques	Insecticides	Familles	Localisations
<b>Carpocapse de la pomme</b>	Pommes	Larves	Guthion 50WSB†	1B	Montérégie et Laurentides
			Calypso 480 SC	4A	Montérégie et Laurentides
			Intrepid 240F	18	Montérégie et Laurentides
<b>Doryphore de la pomme de terre*</b>	Pomme de terre	Larves et adultes	<i>Carbamates</i>	1A	Sherbrooke
			<i>Organophosphorés</i>	1B	Sherbrooke
			<i>Organochlorés</i>	2A	Sherbrooke
			<i>Pyréthroïdes</i>	3A	Sherbrooke
			DDT†	3B	Sherbrooke
			Admire 240F	4A	Province du Québec
			Actara 240 SC	4A	Farnham
<b>Fausse-teigne des crucifères*</b>	Crucifères	Larves	Matador 120EC	3A	Basses-Laurentides
			<i>Carbofuran</i> †	1A	Saint-Eustache
			<i>Méthamidophos</i> †	1B	Saint-Rémi
			<i>Endosulfan</i> †	2A	Saint-Rémi
			<i>Cyperméthrine</i>	3A	Saint-Eustache
			<i>Deltaméthrine</i>	3A	Saint-Eustache et Saint-Rémi
			<i>Perméthrine</i>	3A	Saint-Eustache
			<i>Imidaclopride</i>	4A	Saint-Rémi
<b>Tordeuse à bandes obliques</b>	Pommes	Larves	Lannate L	1A	Oka, Saint-Joseph
			Guthion 50WSB†	1B	Oka, Saint-Joseph
			<i>Cyperméthrine</i>	3A	Oka, Saint-Joseph

\*Espèce listée parmi les 12 insectes et acariens les plus résistants aux pesticides dans le monde (voir tableau 1).

†Produits non homologués au Canada (vérifications faites sur le site des étiquettes de l'ARLA, février 2018).

### 2.1.1 Carpocapse de la pomme

Le carpocapse de la pomme (CP), *Cydia pomonella* (Linnaeus) (Lepidoptera : Tortricidae), originaire d'Asie Mineure, est aujourd'hui présent partout où l'on cultive la pomme. C'est un ravageur des fruits à pépins et à noyaux. Au Québec, la chenille du carpocapse de la pomme est un des ravageurs primaires des pommes (Chouinard et coll., 2014).

#### État de la résistance au niveau mondial :

Des populations de CP ont été confirmées comme résistantes à une grande quantité de produits antiparasitaires regroupées dans les familles suivantes : Les carbamates (1A), les organophosphorés (1B), les cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A), les pyréthriinoïdes et les pyréthrinés (3A), les diphenyléthanés (3B), les néonicotinoïdes (4A), les avermectines et milbémycines (6), les fénoxy-carbes (7B), les benzoylurées (15), les diacylhydrazines (18), les oxadiazines (22A) et la carpovirusine (CpGV) (tableau 6).

#### Mécanismes connus de la résistance chez le CP :

La résistance du CP est principalement métabolique (activité enzymatique modifiée) (IRAC). Elle est associée aux systèmes de détoxification tels que la monooxygénase (MO), le glutathione-S-transferase (GST) et l'estérase (EST) (Reyes et al., 2009). De plus, certaines populations peuvent présenter de la résistance des sites cibles (kdr, MACE), une réduction de pénétration ou des changements comportementaux (IRAC).

#### État de la résistance au Québec :

Au Québec, Grigg-McGuffin et al. (2015) ont confirmé que des populations de CP de Montérégie et des Laurentides sont résistantes à l'azinphos-méthyl+ (Guthion 50 WSB), au thiaclopride (Calypso 480SC) et au méthoxyfénozide (Intrepid 240F). Une attention particulière doit donc être portée dans la gestion de la résistance du CP, car ce ravageur montre les signes d'une résistance croisée entre organophosphorés (1B) et néonicotinoïdes (4A) ainsi qu'une corrélation positive entre sa faible sensibilité à l'azinphos-méthyl+ (organophosphorés, 1B) et un régulateur de croissance, le méthoxyfénozide (diacylhydrazines, 18), comme c'est le cas ailleurs dans le monde (Mota-Sanchez et al., 2008; Reyes et al., 2009). Enfin bien que l'azinphos-méthyl+ ne soit plus disponible au Canada, selon Grigg-McGuffin et al. (2015) il serait critique de déterminer clairement le statut de la résistance du CP aux organophosphorés (1B) étant donné la corrélation positive existante entre la résistance à l'azinphos-méthyl+ et au phosmet (Voudouris et al., 2011) qui est encore utilisé au Québec.

#### Méthodes de détection de la résistance :

Les tableaux 7, 8 et 9 présentent les méthodes de détection de la résistance aux insecticides existantes pour le CP respectivement par bioessais, biochimiques et génétiques.



Tableau 6 : Résistance aux insecticides chez le carpocapse de la pomme

Familles d'insecticides	Matières actives <sup>1</sup>	Résistances croisées <sup>1</sup>	Localisations <sup>2</sup>	Mécanismes <sup>3</sup>	Références <sup>4</sup>
<b>Carbamates (1A)</b>	Carbaryl		ES	MACE	Rodríguez et al., 2012
<b>Organophosphorés (1B)</b>	Azinphos-méthyl† Chlorpyrifos	Acétamipride (4A)			
	Phosalone†	δ-méthrine (3A) Diflubenzuron (15) Fénoxycarbe† (7B) Téflubenzuron† (15)	AR, CA, CH, EC, ES, FR, MI, MO, ON, QC, SZ, UT, WA	MFO, MO (CYP450), GST, CbE, MACE	Cichón et al., 2013; Reyes et al., 2011;
	Parathion† Parathion-méthyl† Phosmet				
<b>Cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A)</b>	TDE†		SY		
<b>Pyréthriinoïdes et pyréthrines (3A)</b>	λ-cyhalothrine	Azinphos-méthyl† (1B)			Bouvier et al., 2001;
	δ-méthrine	Diflubenzuron (15) Phosalone† (1B)	ES, MI, CH, FR	MFO, <i>kdr</i>	Mota-Sanchez et al., 2008; Sauphanor et al., 1998
<b>Diphényléthanes (3B)</b>	DDT† Méthoxychlore†		OH PL		
<b>Néonicotinoïdes (4A)</b>	Acétamipride Thiaclopride	Azinphos-méthyl† (1B)	AR, WA, AK, ES, QC, TU	MO (CYP450)	Knight, 2010
<b>Avermectines et milbémycines (6)</b>	Émamectines		FR	RNLC	Sieglwart, 2018
<b>Fénoxycarbe (7B)</b>	Fénoxycarbe†	Téflubenzuron† (15) Phosalone† (1B)	EC		Stará et Kocourek, 2007
<b>Benzoylurées (15)</b>	Diflubenzuron Téflubenzuron† Triflumuron† Flufenoxuron†	Téflubenzuron† (15) Triflumuron† (15) Tébufénozide (18) Fénoxycarbe† (7B) Phosalone† (1B)	EC, ES, FR, IT, OR		Sauphanor et Bouvier, 1995; Sauphanor et al., 1998
<b>Dyacylhydrazines (18)</b>	Méthoxyfénozide Tébufénozide	Azinphos-méthyl† (1B) Diflubenzuron (15) Téflubenzuron† (15) Triflumuron† (15)	MI, QC CH, FR		Sauphanor et Bouvier, 1995
<b>Oxadiazines (22A)</b>	Indoxacarbe†		SZ		Charmillot et Pasquier, 2002 dans Stará et Kocourek, 2007
<b>Virus</b>	CpGV		GE		Asser-Kaiser et al., 2007

<sup>1</sup> Les matières actives pour lesquels une résistance croisée a été relevée se retrouvent sur la même ligne (blanche ou grise).

<sup>2</sup> Localisations des populations résistantes pour la famille d'insecticides correspondante : AR (Argentine); AK (Arkansas); CA (Californie); CH (Chine); EC (Europe-centrale); ES (Espagne); FR (France); GE (Allemagne); IT (Italie); MI (Michigan); MO (Missouri); ON (Ontario); OH (Ohio); OR (Oregon); PL (Pologne); QC (Québec); SY (Syrie); SZ (Suisse); TU (Turquie); UT (Utah); WA (Washington).

<sup>3</sup> Liste des mécanismes de résistance connus pour la famille d'insecticides correspondante.

<sup>4</sup> En plus des références citées dans cette colonne, ce tableau a été construit à partir de la liste de référence de l'APRD (<https://www.pesticideresistance.org/>).

†Produits non homologués au Canada (vérifications faites sur le site des étiquettes de l'ARLA, février 2018).

**Tableau 7 : Méthodes par bioessais de détection de la résistance aux insecticides chez le carpocapse de la pomme**

Stades visés	Types de bioessais	Familles d'insecticides visées	Numéro du protocole IRAC	Références
<b>Larves Stade 1</b>	Ingestion de diète artificielle contaminée	Organophosphorés (1B) Pyréthroïdes et pyréthrinés (3A) Néonicotinoïdes (4A) Spinosynés (5) Avermectines et milbémycines (6) Analogues des hormones de croissance (7A) Fénoxy-carbe (7B) Benzoylurées (15) Diacylhydrazines (18) Oxadiazines (22A) Diamides (28) Piridalyl (UN)	Test Method 017	<a href="http://www.irac-online.org/methods/cydia-pomonella-larvae/">http://www.irac-online.org/methods/cydia-pomonella-larvae/</a>
<b>Œufs</b>	Résiduel	Fénoxy-carbe (7B)	n.d.	Voudouris et al., 2011
<b>Larves</b>	Résiduel	Organophosphorés (1B) Néonicotinoïdes (4A) Diacylhydrazines (18) Diamides (28)	n.d.	Grigg-McGuffin et al., 2015; Mota-Sanchez et al., 2008
<b>Adultes</b>	Topique	Organophosphorés (1B) Néonicotinoïdes (4A)	n.d.	Grigg-McGuffin et al., 2015; Riedl et al., 1985

n.d. = donnée non disponible.

**Tableau 8 : Méthodes biochimiques de détection de la résistance aux insecticides chez le carpocapse de la pomme**

Familles d'insecticides	Activités enzymatiques ou mécanismes cellulaires <sup>1</sup>	Références (matières actives testées)	
<b>Carbamates (1A)</b>	EST	Rodríguez et al., 2012 (carbaryl)	
	GST	Rodríguez et al., 2012 (carbaryl)	
	MFO	Rodríguez et al., 2012 (carbaryl)	
<b>Organophosphorés (1B)</b>	EST	Rodríguez et al., 2012 (azinphos-méthyl†) Rodríguez et al., 2011 (4 OP) Voudouris et al., 2011 (2 OP) Soleño et al., 2008 (azinphos-méthyl†) İşci et Ay, 2017 (chlorpyrifos)	
	GST	Rodríguez et al., 2012 (azinphos-méthyl†) Rodríguez et al., 2011 (4 OP) Voudouris et al., 2011 (2 OP) Soleño et al., 2008 (azinphos-méthyl†)	
	MFO	Rodríguez et al., 2012 (azinphos-méthyl†) Rodríguez et al., 2011 (4 OP) Voudouris et al., 2011 (2 OP)	
	P450	Cichòn et al., 2013 (azinphos-méthyl†)	
	<b>Néonicotinoides (4A)</b>	P450	Cichòn et al., 2013 (acétamipride) Cichòn et al., 2013 (thiaclopride) İşci et Ay, 2017 (thiaclopride)
		GST	İşci et Ay, 2017 (thiaclopride) Rodríguez et al., 2011 (thiaclopride) Voudouris et al., 2011 (thiaclopride)
		EST	İşci et Ay, 2017 (thiaclopride) Rodríguez et al., 2011 (thiaclopride) Voudouris et al., 2011 (thiaclopride)
MFO		Rodríguez et al., 2011 (thiaclopride) Voudouris et al., 2011 (thiaclopride)	
<b>Fénoxycarbe (7B)</b>	EST	Rodríguez et al., 2011 Voudouris et al., 2011	
	GST	Rodríguez et al., 2011 Voudouris et al., 2011	
	MFO	Rodríguez et al., 2011 Voudouris et al., 2011	
<b>Benzoylurées (15)</b>	EST	Rodríguez et al., 2011 (Diflubenzuron) Voudouris et al., 2011 (Diflubenzuron)	
	GST	Rodríguez et al., 2011 (Diflubenzuron) Voudouris et al., 2011 (Diflubenzuron)	
	MFO	Rodríguez et al., 2011 (Diflubenzuron) Voudouris et al., 2011 (Diflubenzuron)	
<b>Diacylhydrazines (18)</b>	MFO	Rodríguez et al., 2011 (Tébufénozide) Voudouris et al., 2011 (2 Diacylhydrazines)	
	GST	Rodríguez et al., 2011 (Tébufénozide) Voudouris et al., 2011 (2 Diacylhydrazines)	
	EST	Rodríguez et al., 2011 (Tébufénozide) Voudouris et al., 2011 (2 Diacylhydrazines)	
<b>Général</b>	EST	Reyes et al., 2009	
	GST	Reyes et al., 2009	
	MFO	Reyes et al., 2009	

<sup>1</sup>EST = Estérases, GST = glutathion S-transférase, P450 = cytochrome P450 monooxygénase = MO = MFO.

†Produits non homologués au Canada (vérifications faites sur le site des étiquettes de l'ARLA, février 2018).

**Tableau 9 : Méthodes génétiques de détection de la résistance aux insecticides chez le carpocapse de la pomme**

Familles d'insecticides	Mutations	Gènes impliqués <sup>1</sup>	Références
<b>Carbamates (1A)</b>	F290V	AChE	Voudouris et al., 2011 (carbaryl) Reyes et al., 2009 (carbaryl)
<b>Organophosphorés (1B)</b>	F290V	AChE	Voudouris et al., 2011 (azinphos-méthyl†) Reyes et al., 2009 (azinphos-méthyl†) Reyes et al., 2007
<b>Pyréthroïdes et pyréthrinés (3A)</b>	L1014F	<i>kdr</i>	Voudouris et al., 2011 (δ-méthrine) Reyes et al., 2009 (δ-méthrine) Reyes et al., 2007

<sup>1</sup> AchE = acétylcholinestérase, *kdr* = Canaux sodium voltage-dépendant.

†Produits non homologués au Canada (vérifications faites sur le site des étiquettes de l'ARLA, février 2018).

### 2.1.2 Doryphore de la pomme de terre

Le doryphore de la pomme de terre (DPT), *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera : Chrysomelidae), originaire du Mexique, on le retrouve partout en Amérique du Nord, en Europe, en Afrique du Nord, au Moyen-Orient et en Extrême-Orient (excluant la Chine). Ravageur des solanacées, le DPT est reconnu comme un des principaux ravageurs de la pomme de terre (Richard et Boivin, 1994). Les adultes comme les larves se nourrissent des feuilles et parfois des tiges. De fortes populations peuvent défolier entièrement les plantes. Leur voracité entraîne une diminution de rendement (Richard et Boivin, 1994).



#### État de la résistance au niveau mondial :

Le DPT a développé de la résistance à presque tous les pesticides que l'on a utilisés contre lui, ce qui fait de lui un des 12 insectes les plus résistants aux insecticides au monde (tableau 1) (Alyokhin et al., 2008; Sparks et Nauen, 2015). L'*Arthropod Pesticide Resistance Database* (APRD) recense actuellement 56 matières actives pour lesquels le DPT a été confirmé résistant à travers le monde. Ces matières actives sont réparties dans les familles suivantes : les carbamates (1A), les organophosphorés (1B), les cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A), les pyréthriinoïdes et pyréthrinés (3A), les diphényléthanes (3B), les néonicotinoïdes (4A), les spinosynes (5), les avermectines et milbémycines (6), *Bacillus thuringiensis* (11A), les acaricides organostaniques (12B), les analogues de la Néréistoxine (14) et la roténone (21B) (tableau 10). Toutes les populations de DPT ne sont pas résistantes à chaque insecticide, mais la résistance croisée et la résistance multiple semblent très communes pour les populations connues pour leur résistance (Alyokhin et al., 2008).

#### Mécanismes connus de la résistance chez le DPT :

L'activité monooxygénase (MO) est le mécanisme de résistance le plus communément utilisé par les populations de DPT (Alyokhin et al., 2008). Cependant, les mécanismes de résistance aux insecticides chez le DPT sont très diversifiés : modification du métabolisme enzymatique (EST, CbEST, MO, GST), insensibilisation des sites cibles (mutation des sites cibles de l'acétylcholinestérase (MACE), des récepteurs GABA (Rd), du récepteur de l'acétylcholine (ACh), du canal sodium (kdr)), réduction de la pénétration des insecticides, augmentation de l'excrétion et modification comportementale (Alyokhin et al., 2008).

#### État de la résistance au Canada et au Québec :

Des populations de DPT ont été confirmées comme résistantes à plusieurs insecticides dans plusieurs provinces au Canada depuis la fin des années 70 (Harris et Svec, 1981; Harris et Turnbull, 1986; Scott et al., 2014). Au Québec, depuis 1979, des tests menés sur une population de l'Estrie ont déterminé qu'elle était résistante à la plupart des carbamates (1A), des organophosphorés (1B), des cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A) et des diphényléthanes (3B) (Harris et Svec, 1981). Depuis, cette population est aussi reconnue pour avoir développé de la résistance aux pyréthriinoïdes et pyréthrinés (3A) (Harris et Turnbull, 1986). Dernièrement des tests menés sur des populations du Québec ont déterminé qu'elles étaient résistantes à plusieurs néonicotinoïdes (4A) (Scott et al., 2014) et des résultats préliminaires sur la résistance du DPT à sept insecticides suggèrent une résistance aux spinosynes (5) et au chlorantraniliprole (diamides, 28) (Krolikowski et al., 2018; Scott et Lalin, non publié).

#### Méthodes de détection de la résistance :

Les tableaux 11, 12 et 13 présentent les méthodes de détection de la résistance aux insecticides existantes pour le DPT respectivement par bioessais, biochimiques et génétiques.

Tableau 10 : Résistance aux insecticides chez le doryphore de la pomme de terre

Familles d'insecticides	Matières actives	Résistances croisées <sup>1</sup>	Localisations <sup>2</sup>	Mécanismes <sup>3</sup>	Références <sup>4</sup>	
<b>Carbamates (1A)</b>	Aldicarb†					
	Carbaryl					
	Carbosulfan†		CH, CO, DE, IT,			
	Chloethocarb†		MD, MI, NB, NC,	MO	Alyokhin et al., 2008;	
	Dioxycarb†		NJ, NY, PL, PO,	MACE	Harris et Svec, 1981	
	Oxamyle		QC, SB, VA			
	Propoxur					
	Carbofuran†	Bensultap (14)				
<b>Organophosphorés (1B)</b>	Azaméthiphos					
	Azinphos-éthyl†					
	Chlorfenvinphost					
	Chlorpyrifos					
	Malathion					
	Methamidophost†					
	Methidathion†					
	Parathion-méthyl†			DE, CO, FL, HU, IR, MD, ME, NB, NC, NJ, NY, PA, PL, PO, QC, SB, VA, WI	MO, GST, MACE	Alyokhin et al., 2008; Harris et Svec, 1981
	Monocrotophost					
	Parathion†					
	Phorate					
	Phosalone†					
	Phosmet					
	Phoxim†					
	Quinalphost					
Tétrachlorvinphos						
Trichlorfon†						
	Azinphos-méthyl†	Esfenvalerate† (3A), perméthrine (3A)				
<b>Cyclodiène et organochlorines (2A)</b>	Aldrin†					
	Chlordane†					
	Dieldrin†		AB, AJ, AT, CH, CZ, ES, FR, GE, IR, IT, NY, ON, PL, PO, QC, SZ, VA	Rd	Alyokhin et al., 2008; Harris et Svec, 1981; Mohammadi Sharif et al., 2008	
	Endrin†					
	Endosulfan †					
	HCH-gamma†					
	Lindane†					
Toxaphène†						
<b>Pyréthri-noïdes et pyréthri-nes(3A)</b>	Cyperméthrine	Imidaclopride (4A)				
	Cyhalothrine					
	δ-méthrine		CH, DE, HU, MD, ME, MI, NJ, NY, SB, ON, PA, QC, VA	MO CbE kdr GST L1014F	Alyokhin et al., 2008 Harris et Turnbull, 1986	
	Fenvalerate†					
	Esfenvalerate†	Azinphos-méthyl† (1B)				
	Perméthrine					
<b>Diphényléthanes (3B)</b>	DDT †					
	Méthoxychlore†		AB, AT, BE, CZ, ES, HU, IT, ME, MN, NJ, NY, ON, PA, PO, QC, SZ, UA, VA		Alyokhin et al., 2008; Harris et Svec, 1981	

Familles d'insecticides	Matières actives	Résistances croisées <sup>1</sup>	Localisations <sup>2</sup>	Mécanismes <sup>3</sup>	Références <sup>4</sup>
<b>Néonicotinoïdes (4A)</b>	Acétamipride Clothianidine Dinotéfurane†† N-desmethyl Thiaméthoxame N-méthylimidaclopride Nitenpyram† Thiaclopride Thiaméthoxame		ME, NY, QC, SB, WI	MO MACE Activité UDP-glycoltransférase Multiples gènes de transporteur CYP	Alyokhin et al., 2008; Clements et al., 2017; Kaplanoglu et al., 2017; Mota-Sanchez, 2002; Mota-Sanchez et al., 2006 Scott et al., 2014
<b>Spinosynes (5)</b>	Spinosad	Imidaclopride (4A)	NY, QC		Alyokhin et al., 2008 Scott et Lalin, non-publié
	Spinetoram				
<b>Avermectines et milbémycines (6)</b>	Abamectin		USA	MO	Alyokhin et al., 2008
<b><i>Bacillus thuringiensis</i> (11A)</b>	<i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. <i>tenebrionis</i>		USA	Mécanisme comportemental de déplacement	Alyokhin et Ferro, 1999; Hoy et Head, 1995
<b>Acaricides organostanniques (12B)</b>	Azocyclotin†		USA		Alyokhin et al., 2008
<b>Analogues de la Néréistoxine (14)</b>	Cartap		PL, SB	MACE	Alyokhin et al., 2008
	Bensultap	Carbofuran† (1A)			
<b>Roténone (21B)</b>	Roténone		USA		Alyokhin et al., 2008

<sup>1</sup>Les matières actives pour lesquels une résistance croisée a été relevée se retrouvent sur la même ligne (blanche ou grise).

<sup>2</sup>Localisations des populations résistantes pour la famille d'insecticide correspondante : AB (Alberta); AJ (Azerbaïdjan); AT (Autriche); BE (Belgique); CH (Chine); CO (Connecticut); CZ (République Tchèque); DE (Delaware); ES (Espagne); FL (Floride); GE (Allemagne); HU (Hongrie); IR (Iran); IT (Italie); MD (Maryland); ME (Maine); MI (Michigan); MN (Minnesota); NB (Nouveau-Brunswick); NC (Caroline du Nord); ND (Dakota du Nord); NJ (New-Jersey); NY (New-York); ON (Ontario); PA (Pennsylvanie); PL (Pologne); PO (Portugal); QC (Québec); SB (Serbie); SZ (Suisse); UA (Ukraine); USA (États-Unis); VA (Virginie); WI (Wisconsin).

<sup>3</sup>Liste des mécanismes de résistances connus pour la famille d'insecticides correspondante.

<sup>4</sup>En plus des références citées dans cette colonne, ce tableau a été construit à partir de la liste de référence de l'APRD (<https://www.pesticideresistance.org/>).

† Produits non homologués au Canada (vérifications faites sur le site des étiquettes de l'ARLA, février 2018).

†† Matière active sous évaluation par l'ARLA.

**Tableau 11 : Méthodes par bioessais de détection de la résistance aux insecticides chez le doryphore de la pomme de terre**

Stades visés	Types de bioessais	Familles d'insecticides visées	Numéro du protocole IRAC	Références
<b>Adultes</b>	Topique	Carbamates (1A) Organophosphorés (1B) Cyclodiène chlorés et polychlorocycloalcanes (2A) Pyréthroïdes et pyréthrinés (3A) Néonicotinoïdes (4A) Analogues de la Néréistoxine (14)	n.d.	Huseth et Groves, 2013; Jiang et al., 2010; Mota-Sanchez et al., 2006; Stankovic et al., 2012;
<b>Larves Stade 4</b>	Injection par seringue	Néonicotinoïdes (4A)	n.d.	Mota-Sanchez et al., 2006
	Topique	Carbamates (1A) Organophosphorés (1B) Pyréthroïdes et pyréthrinés (3A)	n.d.	Jiang et al., 2011; Kim et al., 2006; Malek Mohamadi et al., 2010
<b>Larves Stade 1</b>	Ingestion de diète artificielle contaminée	Carbamates (1A) Organophosphorés (1B) Pyréthroïdes et pyréthrinés (3A) Néonicotinoïdes (4A) Analogues de la Néréistoxine (14)	n.d.	Alyokhin et al., 2007; Olson et al., 2000
	Résiduel	Pyréthroïdes et pyréthrinés (3A)	n.d.	Kim et al., 2005
<b>Larves Stade 2</b>	Résiduel par immersion de feuilles	Néonicotinoïdes (4A) Diamides (28)	n.d.	Scott et al., 2014

**Tableau 12 : Méthodes biochimiques de détection de la résistance aux insecticides chez le doryphore de la pomme de terre**

Familles d'insecticides	Activités enzymatiques ou mécanismes cellulaires <sup>1</sup>	Références (matières actives testées)
<b>Carbamates (1A)</b>	AChE	Kim et al., 2006
<b>Organophosphorés (1B)</b>	AChE	Kim et al., 2006; Malek Mohamadi et al., 2010 (Phosalone†)
	GTS	Mohammadi Sharif et al., 2007 Argentine et al., 1994
	EST	Argentine et al., 1994
	MFO	Argentine et al., 1994
<b>Cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A)</b>	GST	Mohammadi Sharif et al., 2007
<b>Pyréthroïdes et pyréthrinés (3A)</b>	GST	Mohammadi Sharif et al., 2007

<sup>1</sup>AChE = Acétylcholinesterase; EST = Esterases, GST = glutathione S-transferase, P450 = cytochrome P450 monooxygénase = MO = MFO.

**Tableau 13 : Méthodes génétiques de détection de la résistance aux insecticides chez le doryphore de la pomme de terre**

Familles d'insecticides	Mutations	Gènes impliqués <sup>1</sup>	Références
<b>Carbamates (1A)</b>	S291G	MACE	Jiang et al., 2011
<b>Organophosphorés (1B)</b>	S291G	MACE	Zichová et al., 2010 (azinphos-méthyl†) Clark et al., 2001 (azinphos-méthyl†)
	T29P	MACE	Malek Mohamadi et Galehdari, 2016
	R30K	MACE	Malek Mohamadi et Galehdari, 2016
<b>Pyréthroïdes et pyréthrinés (3A)</b>	L1014F	LdVssc1 ( <i>kdr</i> )	Jiang et al., 2011 Zichová et al., 2010 (perméthrine) Kim et al., 2005 Clark et al., 2001 (perméthrine)

<sup>1</sup> MACE = acétylcholinesterase, LdVssc1 = *Leptinotarsa decemlineata* Voltage-sensitive sodium channel, kdr = Canaux sodium voltage-dépendant.

†Produits non homologués au Canada (vérifications faites sur le site des étiquettes de l'ARLA, février 2018).

### 2.1.3 Fausse-teigne des crucifères

La fausse-teigne des crucifères (FTC), *Plutella xylostella* (Linnaeus) (Lepidoptera : Plutellidae) est une espèce cosmopolite et un des plus importants ravageurs des crucifères dans le monde. Même si ce ravageur n'hiverné pas au Québec ou dans l'est de l'Amérique, les vents favorables transportent les adultes en début de saison. Ce sont les larves qui causent des dégâts sur les feuilles des crucifères-feuilles et les inflorescences des crucifères-fleurs (Doucet, 2017). Au Québec, dans le cas du chou, la FTC est un problème au moment où la pomme se resserre (Lefebvre, comm. pers.). Elle est aussi un ravageur principal dans les cultures du canola (Tremblay et al., 2011).



#### État de la résistance au niveau mondial :

La FTC est résistante à la plupart des produits que l'on utilise contre ce ravageur à travers le monde (Furlong et al., 2013). *L'Arthropod Pesticide Resistance Database* (APRD) recense actuellement 95 matières actives pour lesquels la FTC a été confirmée comme résistante. Ces matières actives sont réparties dans les familles suivantes : les carbamates (1A), les organophosphorés (1B), les cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A), les phénylpyrazoles (2B), les pyréthriinoïdes et pyréthrines (3A), les diphényléthanes (3B), les néonicotinoïdes (4A), les spinosynes (5), les avermectines et milbémycines (6), les protéines Cry1A et Cry1C respectivement du *Bacillus thuringiensis kurstaki* et *B. thuringiensis aitzawai* (11A), les pyrroles, dinitrophénols et sulfuramides (13), les analogues de la néréistoxine (14), les benzoylurées (15), les diacylhydrazines (18), les oxadiazines (22A), les semicarbazones (22B), les diamides (28) et l'azadirachtin (UN) (tableau 14).

#### Mécanismes connus de la résistance chez la FTC :

Les mécanismes de résistance métaboliques (MO, GST, EST) sont le plus couramment détectés chez les FTC résistantes aux insecticides organophosphorés (1B), aux pyréthriinoïdes et érythrines (3A), aux avermectines et milbémycines (6) et aux benzoylurés (15) (tableau 14). Certaines populations sont connues pour être résistantes grâce à des mutations de sites cibles notamment dans le cas de la résistance aux pyréthriinoïdes (3A) (kdr) et au *Bt* (Cry1C) (tableau 14). Il n'existe pas beaucoup de cas rapportés de résistance croisée pour la FTC. Cependant Furlong et al. (2013) relèvent que le phénomène de résistance croisée entre les familles d'insecticides n'est pas exclu. En effet les mécanismes de résistance métabolique qui confèrent généralement de la résistance à de nombreux insecticides sont communs chez la FTC. De plus, même s'il existe peu de cas de résistance croisée aux spinosynes (5), la FTC est une espèce qui possède un haut niveau de résistance croisée du spinosad (spinosynes, 5) avec des matières actives des familles suivantes : les organophosphorés (1B), les phénylpyrazoles (2B), les pyréthriinoïdes et pyréthrines (3A), les avermectines et milbémycines (6), les diacylhydrazines (18) et les oxadiazines (22A) (Sparks, et al., 2012). Des cas de résistances multiples ont été relevés pour plusieurs populations de FTC à travers le monde (Furlong et al., 2013).

#### État de la résistance au Québec :

La FTC a été listée comme étant une espèce dont des populations étaient confirmées comme résistantes au Matador (pyréthriinoïdes, 3A) (Fortin et al., 2012). En 2001, Boisclair et al. ont confirmés qu'une souche de Saint-Rémi était résistante à l'endosulfan (cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes, 2A), à la deltaméthrine (pyréthriinoïdes, 3A) et à l'imidacloprid (néonicotinoïdes, 4A). De plus, Boisclair et Hilton (2002) rapportent qu'en

1989 des bioessais ont confirmés qu'une souche de FTC de Saint-Eustache était résistante à un carbamate (1A), un organophosphoré (1B) et des pyréthriinoïdes (3A). Cependant le profil de résistance peut changer d'une région à une autre et d'une année à une autre puisque cette espèce est migratrice et peut provenir de régions où des populations sont confirmées comme résistantes à de nombreux insecticides comme c'est le cas dans des états américains voisins (Shelton et al., 1993; Sparks et al., 2012).

**Méthodes de détection de la résistance :**

Les tableaux 15, 16 et 17 présentent les méthodes de détection de la résistance aux insecticides existantes pour le FTC respectivement par bioessais, biochimiques et génétiques.

Tableau 14 : Résistance aux insecticides chez la fausse-teigne des crucifères

Familles d'insecticides	Matières actives	Résistances croisées <sup>1</sup>	Localisations <sup>2</sup>	Mécanismes <sup>3</sup>	Références <sup>4</sup>			
<b>Carbamates (1A)</b>	Carbaryl		BB, CH, IN, JA, MY, MX, QC, SF, SK, TW, USA, VN		Boisclair et Hilton, 2002			
	Carbofuran†							
	Isoprocarb							
	Méthomyl							
	Propoxur							
<b>Organophosphorés (1B)</b>	Chlorpyrifos	Spinosad (5)						
	Acéphate							
	Chlorpyrifos-méthyl							
	Cyanofenphos							
	Cyanophos							
	Dialifos							
	Diazinon							
	Dichlorvos							
	Diméthoate							
	Dioxabenzofos							
	EPN†							
	Fenithroton							
	Isoxathion			AC, AU, BB, BN, CH, CR, HI, IN, ID, JM, JA, MY, MX, NU, PK, QC, RP, SF, SN, SK, CE, TW, TH, USA, VN	MFO, GST, EST	Boisclair et al., 2001; Sparks et al., 2012		
	Leptophos							
	Malathion							
	Mephosfolan†							
	Methamidophos†							
	Methidathion†							
	Mevinphos†							
	Monocrotophos†							
	Naled							
	Parathion†							
	Parathion-méthyl†							
	Phenthoate†							
	Phosphamidon†							
	Phoxim†							
	Pirimiphos-méthyl†							
Profenophos								
Prothiofos								
Quinalphos†								
Triazophos†								
Trichlorfon†	Cyperméthrine (3A)							
<b>Cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A)</b>	Aldrin†		CH, IN, ID, MY, QC, SF, CE, SN, VE, VN				–	Boisclair et al., 2001
	Dieldrin†							
	Endosulfan†							
	Isobenzan†							
	Lindane†							
<b>Phénylpyrazoles (2B)</b>	Fipronil†	Spinosad (5), Indoxacarbe† (22A)	CH, MY, IN, TW				–	Sparks et al., 2012
<b>Pyréthriinoïdes et pyréthrines (3A)</b>	Bifenthrine		AU, BN, BR, CH, CL, IN, JA, MY, NY, NZ, NU, OH, PK, QC, RP, SF, SK, SN, TW, TO, USA				MFO, GST, esterase, <i>Kdr</i>	Boisclair et al., 2001; Sparks et al., 2012
	Cyhalothrine							
	β-cyperméthrine							
	Fenvalerate†							
	Flucythrinate							
	Resméthrine†							
	Tau-fluvalinate†							
λ-cyhalothrine	Acétamipride (4A)							

Familles d'insecticides	Matières actives	Résistances croisées <sup>1</sup>	Localisations <sup>2</sup>	Mécanismes <sup>3</sup>	Références <sup>4</sup>
	Cyperméthrine δ-méthrine Esfenvalerate† Perméthrine	Quinalphos† (1B) Spinosad (5)			
<b>Diphényléthanes (3B)</b>	DDT†		BB, IN, ID, MY, RP, SF, SN, CE, TW, USA, VN		
<b>Néonicotinoïdes (4A)</b>	Acétamipride Imidaclopride	λ-cyhalothrine δ-méthrine Esfenvalerate† (3A)	JA, MY, QC		Boisclair et al., 2001; Sayyed et Crickmore, 2007
<b>Spinosynes (5)</b>	Spinosad	Chlorpyrifos (1B) Fipronil† (2B) Cyperméthrine (3A) δ-méthrine (3A) Esfenvalerate† (3A) Perméthrine (3A)	CH, FL, GA, HI, MY, PK, TH, TW	Probablement pas MFO ou esterase	Sparks et al., 2012
<b>Avermectines et milbémycines (6)</b>	Abamectin Benzoate d'emamectine†	Spinosad (5) Fipronil† (2B)	AU, BR, CH, CL, GA, MY, MX, PK, TW	MFO/esterase	Sparks et al., 2012
<b><i>Bacillus thuringiensis</i> (11A)</b>	<i>Bacillus thuringiensis</i> <i>kurstaki</i> Cry1A, Cry 1D <i>Bacillus thuringiensis</i> <i>aizawai</i> Cry1C	Cry1C (11A) Cry1A (11A)	BR, CH, GT, HI, HO, IN, JA, FL, MY, RP, USA, TH, TW	Pas de liaison à la membrane intestinale	
<b>Pyrroles, dinitrophénols, Sulfuramides (13)</b>	Chlorfénapyr		CH		
<b>Analogues de la Néréistoxine (14)</b>	Cartap Monosultap Thiocyclam		CH, IN, JA, MY, TW, NU		
<b>Benzoylurés (15)</b>	Chlorfluazuron Diflubenzuron Lufenuron Téflubenzuron† Triflumuron†		BR, CH, JA, MY, NU, TH	MFO/esterase	
<b>Diacylhydrazines (18)</b>	Fufenozide Tébufénozide	Spinosad (5)	CH, FR		Sparks et al., 2012
<b>Oxadiazines (22A)</b>	Indoxacarbe†	Spinosad (5)	AU, BR, CH, IN, MY, PK TX, GA		Sparks et al., 2012
<b>Semicarbazones (22B)</b>	Metaflumizone†		CH		
<b>Diamides anthraniliques (28)</b>	Chlorantraniliprole Cyantraniliprole Flubendiamide		BR, CH, JA, RP, TH		
<b>(UN)</b>	Azadirachtine		TW		

<sup>1</sup> Les matières actives pour lesquels une résistance croisée a été relevée se retrouvent sur la même ligne (blanche ou grise).

<sup>2</sup> Localisations : AC (Antigua); AU (Australie); BB (Barbade) BN (Benin); BR (Brésil); CE (Sri Lanka); CH (Chine); FL (Floride); FR (France); GA (Géorgie, É-U); GT (Guatemala); HI (Hawaï); HO (Honduras); ID (Indonésie); IN (Inde); JA (Japon); JM (Jamaïque); MX (Mexique); MY (Malaisie); NU (Nicaragua); NY (New-York); NZ (Nouvelle-Zélande); OH (Ohio); PK (Pakistan) QC (Québec); RP (Philippines); SF (Afrique du Sud); SN (Singapour); SK (Corée du Sud); TH (Thaïlande); TO (Togo); TW (Taiwan); TX (Texas); VE (Venezuela); VN (Viêt Nam).

<sup>3</sup> Liste des mécanismes de résistances connus pour la famille d'insecticides correspondante.

<sup>4</sup> En plus des références citées dans cette colonne, ce tableau a été construit à partir de la liste de référence de l'APRD (<https://www.pesticideresistance.org/>) et la revue de littérature sur la fausse teigne des crucifères de Furlong et al. (2013).

†Produits non homologués au Canada (vérifications faites sur le site des étiquettes de l'ARLA, février 2018).

**Tableau 15 : Méthodes par bioessais de détection de la résistance aux insecticides chez la fausse teigne des crucifères**

Stades visés	Types de bioessais	Familles d'insecticides visées	Numéro du protocole IRAC	Références
Larves Stades 2 et 3	Résiduel par trempage de feuilles	Carbamates (1A) Organophosphorés (1B) Cyclodiène chlorés et polychlorocycloalcanes (2A) Phénylpyrazoles (2B) Pyréthroïdes et pyréthrinés (3A) Spinosynés (5) Avermectines et milbémycines (6) Benzoylurés (15) Diacylhydrazines (18) Oxadiazines (22A) Acéquinocyl (20B) Pyridalyl (UN)	Test Method 018	<a href="http://www.irac-online.org/methods/plutella-xylostella-larvae/">http://www.irac-online.org/methods/plutella-xylostella-larvae/</a>
Larves Stade 3	Topique	Organophosphorés (1B) Pyréthroïdes et pyréthrinés (3A) Spinosynés (5) Oxadiazines (22A)	n.d.	Eziah et al., 2008

n.d. = donnée non disponible.

**Tableau 16 : Méthodes biochimiques de détection de la résistance aux insecticides chez la fausse teigne des crucifères**

Familles d'insecticides	Activités enzymatiques ou mécanismes cellulaires <sup>1</sup>	Références (matières actives testées)
<b>Carbamates (1A)</b>	EST	Zhang et al., 2016 Yu et Nguyen, 1992
	P450	Zhang et al., 2016
	Microsomal oxidase activities (P450)	Yu et Nguyen, 1992
<b>Organophosphorés (1B)</b>	EST	Zhang et al., 2016 Yu et Nguyen, 1992
	GST	Zhang et al., 2016 Yu et Nguyen, 1992
	CbEST	Mohan et Gujar, 2003 (malathion)
<b>Pyréthroïdes et pyréthrinés (3A)</b>	EST	Zhang et al., 2016
	GST	Zhang et al., 2016
	P450	Zhang et al., 2016
	Microsomal oxidase activities (P450)	Yu et Nguyen, 1992
<b>Avermectines et milbémycines (6)</b>	EST	Zhang et al., 2016 Qian et al., 2008 (abamectin)
	MFO	Qian et al., 2008 (abamectin)
	GST	Qian et al., 2008 (abamectin)
<b><i>Bacillus thuringiensis</i> (11)</b>	Ligation de la toxine Cry1Aa	Tabashnik et al., 1997
	Ligation de la toxine Cry1Ab	Tabashnik et al., 1997
	Ligation de la toxine Cry1Ac	Gong et al., 2010 Tabashnik et al., 1997
	Ligation de la toxine Cry1C	Liu et al., 2000 Tabashnik et al., 1997
<b>Analogues de la Néréistoxine (14)</b>	P450	Zhang et al., 2016
<b>Benzoylurées (15)</b>	EST	Zhang et al., 2016
	Microsomal p-nitroanisole o-demethylase (MFO)	Mohan et Gujar, 2003 (flufenoxuron <sup>+</sup> )
	Carboxylamidase	Mohan et Gujar, 2003 (flufenoxuron <sup>+</sup> )
<b>Diacylhydrazines (18)</b>	MFO	Qian et al., 2008 (tébufénozide)
	GST	Qian et al., 2008 (tébufénozide)
	EST	Qian et al., 2008 (tébufénozide)
<b>Oxadiazines (22A)</b>	EST	Zhang et al., 2016
<b>Diamides (28)</b>	GST	Zhang et al., 2016
	P450	Zhang et al., 2016
<b>Général</b>	GSH S-transferase	Mohan et Gujar, 2003
	Reductase	Yu et Nguyen, 1992

<sup>1</sup>CbEST = Carboxylesterase; EST = Esterases; GST = glutathione S-transferase; P450 = cytochrome P450 monooxygenase = MO = MFO.

**Tableau 17 : Méthodes génétiques de détection de la résistance aux insecticides chez la fausse teigne des crucifères**

Familles d'insecticides	Mutations	Gènes impliqués <sup>1</sup>	Références
Pyréthroïdes et pyréthrinés (3A)	L1014F	Canaux sodium ( <i>kdr</i> )	Sonoda, 2010
	T929I	Canaux sodium ( <i>kdr</i> )	Sonoda, 2010
Avermectines et milbémycines (6)	A309V	PxGluCl	Wang et al., 2016 Pas encore une méthode de diagnostic
Oxadiazines (22A)	F1845Y	Canaux sodium ( <i>PxNav</i> )	Wang et al., 2016 (Indoxacarbe†)
	V1848I	Canaux sodium ( <i>PxNav</i> )	Wang et al., 2016 (Indoxacarbe†)
Semicarbazones (22B)	F1845Y	Canaux sodium ( <i>PxNav</i> )	Wang et al., 2016 (Metaflumizone†)
	V1848I	Canaux sodium ( <i>PxNav</i> )	Wang et al., 2016 (Metaflumizone†)

<sup>1</sup> AchE = acétylcholinestérase, LdVssc1 = *Leptinotarsa decemlineata* Voltage-sensitive sodium channel, *kdr* = Canaux sodium voltage-dépendant.

†Produits non homologués au Canada (vérifications faites sur le site des étiquettes de l'ARLA, février 2018).

### 2.1.4 Tordeuse à bandes obliques

La tordeuse à bandes obliques (TBO), *Choristoneura rosaceana* (Harris) (Lepidoptera: Tortricidae) est un ravageur polyphage d'Amérique du Nord. Ses hôtes primaires sont les plantes de la famille des Rosaceae (Weires et Riedl, 1991). Les larves se nourrissent des feuilles, fleurs et fruits. Pour ses dommages causés aux pommes, la TBO est considérée comme un ravageur primaire en production fruitière intégrée (Chouinard et coll., 2014).

#### État de la résistance en Amérique du Nord :

Des populations de TBO ont été confirmées comme résistantes à plusieurs matières actives regroupées dans les classes suivantes : les carbamates (1A), les organophosphorés (1B), les pyréthrinoïdes et pyréthrinés (3A), les pyrroles, dinitrophénols, Sulfuramides (13), les diacylhydrazine (18) et les oxadiazines (22A) (tableau 18). De plus, Sial et al. (2011) ont montré que la TBO était capable de développer de la résistance aux les spinozynes (5) et aux diamides (28) en condition de laboratoire.



#### Mécanismes connus de résistance chez la TBO :

Les mécanismes de résistance connus pour la TBO sont métaboliques et sont associés aux systèmes de détoxification (MO et EST) (Smirle et al., 1998; Sial et al., 2011).

#### État de la résistance au Québec :

Des populations d'Oka et de St-Joseph-du-Lac (Laurentides) ont été confirmées comme résistantes au méthomyl (carbamates, 1A), à l'azinphos-méthyl+ (organophosphorés, 1B) et à la cyperméthrine (pyréthrinoïdes, 3A) (Carrière et al., 1994; Carrière et al., 1996; Smirle et al., 1998). À noter que Smirle et al. (1998) ont montré en laboratoire qu'en l'absence de pression sélective due aux pesticides, cette résistance est réversible en trois ou quatre générations. Bien que la résistance documentée pour les populations de TBO du Québec fait référence, entre autres, à une matière active obsolète, une attention particulière doit tout de même être portée dans la gestion de la résistance. En effet, en plus de présenter de la résistance croisée entre plusieurs classes d'insecticides (tableau 18), certaines populations de TBO semblent montrer une multirésistance à des produits ayant des MoA différents (1B, 3A, 18, 22A) (Ahmad et al., 2002).

#### Méthodes de détection de la résistance :

Les tableaux 19 et 20 présentent les méthodes de détection de la résistance aux insecticides existantes pour la TBO respectivement par bioessais et biochimiques. Nous n'avons pas trouvé de méthodes génétiques documentées pour cette espèce.

**Tableau 18 : Résistance aux insecticides chez la tordeuse à bandes obliques**

Familles d'insecticides	Matières actives <sup>1</sup>	Résistances croisées <sup>1</sup>	Localisation <sup>2</sup>	Mécanismes <sup>3</sup>	Références <sup>4</sup>
<b>Carbamates (1A)</b>	Méthomyl Carbaryl	Azinphos-méthyl† (1B)	MI, NY, QC	MFO	Ahmad et al., 2002; Carrière et al., 1994; Reissig et al., 1986
<b>Organophosphorés (1B)</b>	Azinphos-méthyl†  Chlorpyrifos Phosmet	Méthomyl (1A), Cyperméthrine (3A) Méthoxyfénozide (18) Tébufénozide (18)	IO, MI, NY, ON, QC, WA	EST	Ahmad et al., 2002; Carrière et al., 1994; Lawson et al., 1997; Reissig et al., 1986; Smirle et al., 1998
<b>Pyréthriinoïdes et pyréthrinés (3A)</b>	Cyperméthrine Bifenthrine δ-méthrine Esfenvalerate† ζ-cyperméthrine†	Azinphos-méthyl† (1B)	MI, QC	MFO	Ahmad et al., 2002; Carrière et al., 1994
<b>Spinosynes (5)</b>	Spinetoram	Spinosad (5)	MI, WA	MFO	Sial et al., 2011
<b>Pyrroles, dinitrophénols, Sulfuramides (13)</b>	Chlorfénapyr		MI		Ahmad et al., 2002
<b>Dyacylhydrazines (18)</b>	Méthoxyfénozide Tébufénozide	Azinphos-méthyl† (1B)	MI, NY		Ahmad et al., 2002; Waldstein et al., 1999
<b>Oxadiazines (22A)</b>	Indoxacarbe†		BC, MI		Ahmad et al., 2002
<b>Diamides (28)</b>	Chlorantraniliprole		WA	EST	Sial et al., 2011

<sup>1</sup>Les matières actives pour lesquels une résistance croisée a été relevée se retrouvent sur la même ligne (blanche ou grise).

<sup>2</sup>Localisations des populations résistantes pour la famille d'insecticide correspondante : BC (Colombie-Britannique); IO (Idaho); MI (Michigan); NY (New-York); ON (Ontario); QC (Québec); WA (Washington).

<sup>3</sup>Liste des mécanismes de résistances connus pour la classe d'insecticide correspondante.

<sup>4</sup>En plus des références citées dans cette colonne, ce tableau a été construit à partir de la liste de référence de l'APRD (<https://www.pesticideresistance.org/>).

†Produits non homologués au Canada (vérifications faites sur le site des étiquettes de l'ARLA, février 2018).

**Tableau 19 : Méthodes par bioessais de détection de la résistance aux insecticides chez la tordeuse à bandes obliques**

Stades visés	Types de Bioessais	Familles d'insecticides visées	Numéro du protocole IRAC	Références
<b>Larves Stades 3 à 5</b>	Topique	Organophosphorés (1B) Pyréthroïdes et pyréthrinés (3A)	n.d.	Carrière et al., 1996; Lawson et al., 1997; Reissig et al., 1986; Smirle et al., 1998;
<b>Larves Stade 1 et 2</b>	Ingestion de diète artificielle contaminée	Carbamates (1A) Organophosphorés (1B) Cyclodiène chlorés et polychlorocycloalcanes (2A) Pyréthroïdes et pyréthrinés (3A) Benzoylurées (15) Buprofézine (16) Cyromazine (17) Diacylhydrazines (18)	n.d.	Ahmad et al., 2002; Ahmad et Hollingworth, 2004; Sial et al., 2010; Sial et al., 2011; Sial et Brunner, 2011
<b>Larves néonates</b>	Résiduel sur feuilles contaminées	Organophosphorés (1B) Benzoylurées (15) Buprofézine (16) Cyromazine (17) Diacylhydrazines (18)	n.d.	Dunley et al., 2006; Smirle et al., 2002; Waldstein et al., 1999
<b>Larves</b>	Résiduel	Carbamates (1A) Organophosphorés (1B)	n.d.	Carrière et al., 1996; Waldstein et al., 1999;

n.d. = donnée non disponible.

**Tableau 20 : Méthodes biochimiques de détection de la résistance aux insecticides chez la tordeuse à bandes obliques**

Familles d'insecticides	Activités enzymatiques ou mécanismes cellulaires <sup>1</sup>	Références
<b>Organophosphorés (1B)</b>	EST	Smirle et al., 1998
	GST	Smirle et al., 1998
<b>Spinozynes (5)</b>	EST	Sial et al., 2011 (spinetoram)
	P450	Sial et al., 2011 (spinetoram)
	GST	Sial et al., 2011 (spinetoram)
<b>Diamides (28)</b>	EST	Sial et al., 2011 (chlorantraniliprole)
	P450	Sial et al., 2011 (chlorantraniliprole)
	GST	Sial et al., 2011 (chlorantraniliprole)

<sup>1</sup>EST = Esterases; GST = glutathione S-transferase; P450 = cytochrome P450 monooxygenase = MO = MFO.

## 2.2 INSECTES ET ACARIENS SOUPÇONNÉS DE RÉSISTANCE AU QUÉBEC

Les insectes et acariens listés dans cette section (tableau 21) sont des ravageurs présents au Québec et pour lesquels des soupçons de résistances aux pesticides ont été relevés sur la base d'observations de sous performances de pesticides en champs. Ces ravageurs ont été regroupés sous trois catégories en fonction de l'existence ou non de protocoles de détection de la résistance aux pesticides et acaricides.

### **Insectes et acariens avec protocoles établis :**

Cette liste est basée sur l'existence de protocoles établis et validés par l'IRAC.

### **Insectes et acariens avec protocoles à adapter :**

Cette liste est basée sur l'existence de publications scientifiques détaillant des protocoles de détection de la résistance pour les espèces listées ou de l'existence de protocoles développés pour des espèces similaires et qui pourraient être adaptés aux espèces listées.

### **Insectes et acariens pour lesquels des protocoles sont à développer :**

Cette liste regroupe les espèces pour lesquelles il n'existe pas ou peu de documentation sur les méthodes de détection de la résistance.

Cette section présente, lorsque disponible, les matières actives et/ou familles de pesticides auxquelles des populations de ces ravageurs ont été confirmées comme étant résistants ailleurs dans le monde ainsi que ceux pour lesquels ils sont soupçonnés de résistance au Québec (tableau 21). Étant donné que le développement de bioessais demeure à ce jour la première étape nécessaire à la caractérisation de la résistance d'un ravageur à un pesticide, les protocoles proposés ne concernent que des méthodes de détection par bioessais (R4P Network, 2016).

Tableau 21 : Liste des insectes et acariens soupçonnés de résistance aux pesticides au Québec

Nom	Familles d'insecticides	Matières actives <sup>1</sup>	Résistances croisées/ multirésistance	Localisations <sup>2</sup>	Références <sup>3</sup>	Cultures <sup>4</sup>	Stades <sup>5</sup>
<b>Aleurode des serres</b>	Carbamates (1A)	Méthomyl	n.d.	CO; EC; HI			
	Organophosphorés (1B)	Acéphate Dichlorvos Diméthoate Malathion Methamidophos† Monocrotophos† Parathion† Pirimiphos-methyl† Sulfotep† Thionazin†	n.d.	BE; CO; CZ; EC; HI; OH; RS; UK	Bi et Toscano, 2007		
	Pyréthriinoïdes et pyréthrines (3A)	Bifenthrine Cyperméthrine δ-méthrine Fenpropathrine†† Permethrine Resmethrine†	n.d.	CO; GE; HI; RS; TU; UK	Bi et Toscano, 2007	Serres ornementales Tomates	Tous les stades
	Diphényléthanes (3B)	DDT†	n.d.	UK			
	Néonicotinoïdes (4A)	Acétamipride Imidaclopride Thiaclopride Thiaméthoxame	Pymétrozone (9B)	CH; ES; FI; FR; GE; GR; IT; NL; UK; USA	Gorman et al., 2007; Bi et Toscano, 2007; Karatos et al., 2010		
	Pyriproxifène (7C)	Pyriproxifène	n.d.	GE			
	Dérivés azométhiniques de la pyridine (9B)	Pymétrozone	Imidaclopride (4A)	CH; ES; FI; GE; UK	Karatos et al., 2010		
	Benzoylurées (15)	Téflubenzuron†	n.d.	AF			
	Buprofézine (16)	Buprofézine	n.d.	BE			
	Dérivés des acides Tétronique et Tétramique (23)	Spiromesifen	n.d.	GE			
<b>Aleurode du tabac, Mouche blanche*</b>	Carbamates (1A)	Butocarboxim† Carbofuran† Carbosulfan† Méthomyl Thiodicarb†	n.d.	BF; CH; CO; HI; IN; PK; SU		Poinsettias en serres ornementales	Tous les stades
	Organophosphorés (1B)	Acéphate Chlorfenvinphost Chlorpyrifos Dicrotophos† Diméthoate	n.d.	AZ; BF; CA; CH; CO; CY; GT; GR; HI; IS; IN; NU; PK; QC**; SU; TU; USA	Lambert, comm. Pers.; Naveen et al., 2017		

Nom	Familles d'insecticides	Matières actives <sup>1</sup>	Résistances croisées/ multirésistance	Localisations <sup>2</sup>	Références <sup>3</sup>	Cultures <sup>4</sup>	Stades <sup>5</sup>
		Ethion† Formothion† Isazofos† Malathion Methamidophos† Methidathion† Monocrotophos† Parathion† Parathion-methyl† Phosfolant† Pirimiphos-methyl† Profenofos† Quinalphos† Sulprofos† Triazophos†					
	Cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A)	Endosulfan†	n.d.	BF; GR; IS; NU; PK; SU; TO			
	Phénylpyrazoles (2B)	Fipronil†	n.d.	CH			
	Pyréthriinoïdes et pyréthrinés (3A)	Bifenthrine Cyhalothrine Cyperméthrine Cyphenothrine δ-méthrine Etofenprox† Fenpropathrine†† Fenvalerate† Perméthrine	n.d.	AZ; BF; CA; CH; CO; CY; GR; GT; IN; ISI; NU; PK; SU; TH; TU; USA	Naveen et al., 2017		
	Diphényléthanes (3B)	DDT†	n.d.	CA; GT; SU; TU			
	Néonicotinoïdes (4A)	Acétamipride Dinotéfurane†† Imidaclopride Imidaclopride + DEF Nitenpyram† Thiaclopride Thiaméthoxame	n.d.	BF; BR; CH; CY; ES; FL; GE; GR; GT; IR; IS; IT; MX; PK; QC**	Naveen et al., 2017; Fortin et al., 2012		
	Buténolides (4D)	Flupyradifurone	n.d.	FL			
	Pyriproxifène (7C)	Pyriproxifène	n.d.	AZ; CH; EG; IS; PK; QC**	Lambert, comm. Pers.		
	Dérivés azométhiniques de la pyridine (9B)	Pymétrozine	n.d.	BF; CH; CO; CY; ES; GT; MX; MY			

Nom	Familles d'insecticides	Matières actives <sup>1</sup>	Résistances croisées/ multirésistance	Localisations <sup>2</sup>	Références <sup>3</sup>	Cultures <sup>4</sup>	Stades <sup>5</sup>
	Diafenthurone (12A)	Diafenthuron†	n.d.	MY			
	Buprofézine (16)	Buprofézine	n.d.	PK; IS			
Altise des navets	Carbamates (1A)	Carbaryl	n.d.	TW	Feng et al., 2000	Canola	Larves et adultes
	Cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A)	Aldrin† Dieldrin† Lindane†	n.d.	HK; JA			
	Néonicotinoïdes (4A)	Thiaméthoxame Clothianidine	n.d.	AB; QC**	Tansey et al., 2008; Fortin et al., 2012		
Cécidomyie du chou-fleur	Pyréthriinoïdes et pytéthrines (3A)	λ-cyhalothrine	n.d.	QC**	Fortin et al., 2012; Labrie, comm. Pers.	Crucifères	Larves
	Néonicotinoïdes (4A)	Acétamipride	n.d.	QC**	Fortin et al., 2012		
	Diamides (28)	Chlorantraniliprole	n.d.	QC**	Fortin et al., 2012		
Charançon de la carotte	Organophosphorés (1B)	Phosmet	n.d.	ON; QC**	Fortin et al., 2012; Telfer, 2017	Carottes	Larves
Chrysomèle rayée du concombre	Carbamates (1A)	Carbaryl	n.d.	QC**	Fortin et al., 2012	Concombre	Larves et adultes
Fausse arpeuse du chou	n.d.	n.d.	n.d.	QC**;	Fortin et al., 2012		
	Carbamates (1A)	Carbaryl Méthomyl	n.d.	MO; NY			
	Organophosphorés (1B)	Malathion Mevinphost† Monocrotophost† Parathion† Parathion-methyl†	n.d.	AK; DE; FL; LA; PA; SC; NY; UT; VA; WI; VN; TH			
	Cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A)	Aldrin† Dieldrin† Endosulfan† Endrin† Toxaphène†	n.d.	AK; AZ; CA; DE; FL; LA; NC; NY; OK; SC; TH; UT; VA; TH		Crucifères	Larves
	Diphényléthanes (3B)	DDT†	n.d.	AK; AL; AZ; CA; DE; FL; IA; LA; NC; ND; NY; OH; ON; QC; SC; TN; TX; VA; VN; WI; VN			
	<i>Bacillus thuringiensis</i> (11A)	<i>B. t. Cry1Ac</i> <i>B. t. var. kurstaki</i>	n.d.	BC; CAN			
Mouche de l'oignon	Carbamates (1A)	Carbofuran†	n.d.	ON; USA		Oignons	Larves

Nom	Familles d'insecticides	Matières actives <sup>1</sup>	Résistances croisées/ multirésistance	Localisations <sup>2</sup>	Références <sup>3</sup>	Cultures <sup>4</sup>	Stades <sup>5</sup>
	Organophosphorés (1B)	Chlorfenvinphos† Chlorpyrifos Diazinon Dichlofenthion† Ethion† Fensulfothion† Fonofos† Malathion Naled Parathion†	n.d.	MI; NY; ON; QC**; SE; UK; Europe	Nault et al., 2006; Fortin et al., 2012		
	Cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A)	Aldrin† Chlordane† Dieldrin† Heptachlor† Isobenzan† Lindane†	n.d.	BC; FI; FR; JA; ID; IL; MB; ME; MI; MN; NL; NY; OH; ON; OR; PE; QC; UK; WA; WI; USA			
	Diphényléthanes (3B)	DDT†	n.d.	ME; MI; OH; ON;			
<b>Mouche du chou</b>	Organophosphorés (1B)	Chlorpyrifos Diazinon	n.d.	BC; NF; ON; PA; QC**; SE; WI	Owen, 2015; Owen et al., 2017; Fortin et al., 2012		
	Cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A)	Aldrin† Chlordane† Dieldrin† Heptachlor† Isobenzan† Lindane†		AB; BC; BE; FR; GE; IL; MI; NF; NS; ON; PE; QC; SZ; SW; UK; WA; WI	Harris et al., 1962	Crucifères	Larves
	Diphényléthanes (3B)	DDT†		QC			
<b>Mouche mineuse serpentine américaine</b>	Carbamates (1A)	n.d.	n.d.	n.d.	Leibee, 1981 dans Leibee, 1988		
	Organophosphorés (1B)	Chlorpyrifos Déméton† Methamidophos† Parathion-méthyl† Pyrazophos† Triazophos† Toxaphène†	n.d.	CA; FL; ON		Oignons verts	Larves
	Cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A)			MU			
	Pyréthriinoïdes et pyréthrines (3A)	Bifenthrine Cyperméthrine Perméthrine		CA; MD			

Nom	Familles d'insecticides	Matières actives <sup>1</sup>	Résistances croisées/ multirésistance	Localisations <sup>2</sup>	Références <sup>3</sup>	Cultures <sup>4</sup>	Stades <sup>5</sup>
	Diphényléthanes	DDT <sup>†</sup>		CA; MU			
	Spinosynes (5)	Spinosad		CA			
	Avermectines et milbémycines (6)	Abamectin		CA; GA			
	Cyromazines (17)	Cyromazine		CA	Ferguson, 2004		
	n.d.	n.d.	n.d.	QC*	Légaré, 2016		
<b>Puceron de la digitale</b>	Organophosphorés (1B)	Demeton-S-méthyl <sup>†</sup> Diméthoate	n.d.	UK		Serres ornementales	Tous les stades
	Néonicotinoïdes (4A)	Imidaclopride	n.d.	QC**	Fortin et al., 2012		
<b>Punaise de la courge</b>	Carbamates (1A)	Carbaryl	n.d.	QC**	Fortin et al., 2012	Courges	Tous les stades
	Organophosphorés (1B)	Malathion	n.d.	QC**	Fortin et al., 2012		
<b>Punaise terne</b>	Carbamates (1A)	Oxamyle	n.d.	USA			
	Organophosphorés (1B)	Acéphate Dicrotophos <sup>†</sup> Diméthoate Malathion Parathion-méthyl <sup>†</sup>	Multirésistance	AK; LA; MS	Snodgrass, 1996a		
	Cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A)	Endosulfan <sup>†</sup>	Multirésistance.	AK; LA; MS; USA	Snodgrass, 1996a	Fraise, framboises, pommes	Tous les stades
	Pyréthrinoïdes et pyréthrine (3A)	Bifenthrine Cyperméthrine Fenvalerate <sup>†</sup> Perméthrine	Multirésistance	AK; LA; MS	Snodgrass, 1996a; Snodgrass et Scott, 2000		
	Néonicotinoïdes (4A)	Imidaclopride	n.d.	AK; LA; MI	Snodgrass et al., 2008		
	Benzoylurées (15)	Novaluron	n.d.	MS			
<b>Pyrale du maïs</b>	Pyréthrinoïdes et pyréthrine (3A)	λ-cyhalothrine δ-méthrine	n.d.	FR	Siegwart et al., 2012; Siegwart et al., 2014; Siegwart et al., 2017		
	<i>Bacillus thuringiensis</i> (11A)	<i>B.t.</i> Cry11Aa <i>B.t.</i> Cry1Aa <i>B.t.</i> Cry1Ab <i>B.t.</i> Cry1Ac <i>B.t.</i> Cry1F <i>B.t.</i> CryIAa <i>B.t.</i> var. <i>kurstaki</i> <i>B.t.</i> Cry1Ba <i>B.t.</i> Cry2Aa	n.d.	CO; KA; MN; USA		Maïs	Larves
<b>Tarsonème du fraisier</b>				QC**	Tellier, comm. Pers.	Fraises	Tous les stades

Nom	Familles d'insecticides	Matières actives <sup>1</sup>	Résistances croisées/ multirésistance	Localisations <sup>2</sup>	Références <sup>3</sup>	Cultures <sup>4</sup>	Stades <sup>5</sup>
<b>Tétranyque à deux points*</b>	Carbamates (1A)	Aldicarbet† Formetanate Méthomyl	n.d.	BE; CA; FI; GR; LA; NZ; UK			
	Organophosphorés (1B)	Acéphate Azinphos-méthyl† Bromophost† Carbophenothion† Chlorpyrifos Demeton† Demeton-s-méthyl† Diazinon Dicrotophost† Dimefox† Diméthoate Disulfoton† EPN† Ethion† Ethoate-méthyl† Famphur† Formothion† Malathion Mephosfolant† Methamidophost† Methidathion† Mevinphos† Monocrotophost† Naled Ométhoate† Parathion† Parathion-méthyl† Phenkapton† Phenthoate† Phorate Phosalone† Phosmet Phosphamidon† Pirimiphos-méthyl† Profenofost† Prothoate† Sulfotep† Tepp† Thiometon† Trichlorfont†	n.d.	AK; AR; AS; AT; BE; BR; BU; CA; CAN; CO; CL; CY; CZ; DA; EG; FI; FR; GE; GR; IA; IR; IS; IT; JA; KA; KS; LA; LE; MI; MS; NC; NJ; NL; NO; NY; NZ; OH; ON; OR; PA; PL; RS; SE; SF; SZ; TU; UK; USA; VE; WI; ZI		Fraises, framboises, pommes, serres ornementales	Tous les stades

Nom	Familles d'insecticides	Matières actives <sup>1</sup>	Résistances croisées/ multirésistance	Localisations <sup>2</sup>	Références <sup>3</sup>	Cultures <sup>4</sup>	Stades <sup>5</sup>
		Vamidothion†					
	Cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A)	Chlorbenside† Chlordimeformet† Chlorobenzilate† Dienochlor†	n.d.	AS; JA; KS; LA; MA; NY; PL; VE			
	Pyréthriinoïdes et pyréthrinés (3A)	Acrinathrine† Bifenthrine δ-méthrine Fenpropathrine†† Perméthrine Tau-fluvalinate†	n.d.	BE; BR; CA; CH; CY; GR; KA; KS; UK			
	Diphényléthanes (3B)	DDT†	n.d.	LA			
	Avermectines et milbémécines (6)	Abamectin Milbemectin†	n.d.	BR; CH; CY; EG; GR; QC**; TU; WA	Fortin et al., 2012		
	Clofentézine, Diflovidazin, Hexythiazox (10A)	Clofentezine Hexythiazox† Organotin†	n.d.	AS; BE; BR; CH; GE; GR; QC**; TU; USA	Fortin et al., 2012		
	Étoxazole (10B)	Etoxazole	n.d.	BE; KS			
	Diafenthiurone (12A)	Diafenthiuron†	n.d.	BR			
	Acaricides organostanniques (12B)	Azocyclotin† Cyhexatin† Fenbutatin-oxyde	n.d.	AS; BE; BR; CA; CH; GE; JA; QC**; USA; UK; WA; OR;	Fortin et al., 2012		
	Propargite (12C)	Propargite†	n.d.	BR; CA; CH; NZ			
	Tetradifon (12D)	Tetradifon†	n.d.	AS; CA; JA; NC; NL; SF; UK; OR; TW			
	Pyrroles, Dinitrophénols, Sulfuramide (13)	Binapacryl† Chlorfénapyr	n.d.	AS; BE; BR; CH; SF			
	Benzoylurées (15)	Flucycloxuron†	n.d.	BE			
	Amitraz (19)	Amitraz	n.d.	BE; NY			
	Acéquinocyl (20B)	Acéquinocyl	n.d.	BE; QC**	Fortin et al., 2012		
	Fluacrypyrime (20C)	Fluacrypyrim†	n.d.	BE			
	Bifenazate (20D)	Bifénazate	n.d.	BE; CH; GE; NL			
	Acaricides et insecticides METI (21A)	Fenazaquin† Fenpyroximate† Pyridabene Tebufenpyrad†	n.d.	AS; BE; BR; CH; CY; GE; JA; KS; QC**; TU; UK	Fortin et al., 2012		

Nom	Familles d'insecticides	Matières actives <sup>1</sup>	Résistances croisées/ multirésistance	Localisations <sup>2</sup>	Références <sup>3</sup>	Cultures <sup>4</sup>	Stades <sup>5</sup>
	Dérivés des acides Tétronique et Tétramique (23)	Spirodiclofène Spiromesifen Spirotetramat	n.d.	BE; BR, CH; IR; QC**	Fortin et al., 2012		
	Dérivés du <i>bêta</i> -cétonitrile (25A)	Cyénopyrafen†	n.d.	JA			
	UN	Bifénazate Benzoximate† Bromopropylate† Chinométhionate† Dicofol†	n.d.	AS; BE; CA; CH; CY; EG; FR; GE; GR; IA; JA; KS; NC; NL; NY; NZ; PL; QC**; RU; SF; SZ; UK; WA	Fortin et al., 2012		
<b>Tétranyque de McDaniel</b>	Organophosphorés (1B)	Azinphos-méthyl† Carbophenothion† Demeton† Diazinon Parathion†	n.d.	BC; UT; WA			
	Cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A)	Chlorobenzilate†	n.d.	WA		Fraises, Framboises, pommes	Tous les stades
	Acaricides organostanniques (12B)	Cyhexatin†	n.d.	UT			
	Tetradifon (12D)	Tetradifon†	n.d.	UT, WA			
	Pyrroles, Dinitrophénols, Sulfuramide (13)	Binapacryl†	n.d.	WA			
	UN	Dicofol†	n.d.	BC, UT, WA			
<b>Tétranyque rouge du pommier*</b>	Carbamates (1A)	Carbaryl	n.d.	IL			
	Organophosphorés (1B)	Azinphos-méthyl† Carbophenothion† Chlorpyrifos Demeton† Demeton-s-méthyl† Diazinon Dicrotophos† Diméthoate Ethion† Fenthion† Malathion Methidathion† Mevinphos† Ométhoate† Parathion† Parathion-méthyl†	n.d.	AS; AT; BC; BU; CA; CL; DA; DE; FR; GE; IA; IL; IT; JA; KS; LE; MD; ME; MI; MS; NC; NL; NO; NS; NY; NZ; OH; ON; PA; PL; PT; QC**; RU; SE; SC; SY; SZ; TU; UK; VA; WA		Pommes	Tous les stades

Nom	Familles d'insecticides	Matières actives <sup>1</sup>	Résistances croisées/ multirésistance	Localisations <sup>2</sup>	Références <sup>3</sup>	Cultures <sup>4</sup>	Stades <sup>5</sup>
		Phenkapton† Phosmet Phosphamidon† Thiometon† Vamidothion†					
		Cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A)	Chlorbenside† Chlordimeformet† Chlorobenzilate† Fenson†	n.d.	JA; MI; NO; NY; NZ; UK; WA		
		Diphényléthanes (3B)	DDT†	n.d.	FR		
		Avermectines et milbémycines (6)	Abamectin	n.d.	USA		
		Clofentézine, Diflovidazin, Hexythiazox (10A)	Clofentézine Hexythiazox†	n.d.	AS; FR; PA		
		Acaricides organostanniques (12B)	Cyhexatin†	n.d.	ON		
		Propargite (12C)	Propargite†	n.d.	AS; NZ; IL		
		Tetradifon (12D)	Tetradifon†	n.d.	AT; BU; CA; IS; JA; MI; NC; NZ; ON; UK; WA		
		Pyrroles, Dinitrophénols, Sulfuramide (13)	Binapacryl†	n.d.	AS; IL; UK		
		Amitraz (19)	Amitraz	n.d.	TU		
		Acaricides et insecticides METI (21A)	Fenazaquin† Tebufenpyrad†	n.d.	FR		
		Dérivés des acides Tétronique et Tétramique (23)	Spirodiclofène	n.d.	GE		
		UN	Benzoximate† Bromopropylate† Chinomethionate† Dicofol†	n.d.	BU; CAN; IA; IL; IS; JA; KS; MI; NC; NZ; ON; PA; PT; RU; TU; UK; WA; WV; YO		
	Thrips de l'oignon	Carbamates (1A)	Carbosulfan† Méthomyl	n.d.	IS HO		
Organophosphorés (1B)		Diazinon Dichlorvos Diméthoate Methidathion† Profenofost	n.d.	AS; IR; NZ; ON	MacIntyre Allen et al., 2005		Tous les stades

Nom	Familles d'insecticides	Matières actives <sup>1</sup>	Résistances croisées/ multirésistance	Localisations <sup>2</sup>	Références <sup>3</sup>	Cultures <sup>4</sup>	Stades <sup>5</sup>
	Cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A)	Aldrin <sup>†</sup> Dieldrin <sup>†</sup> Endosulfan <sup>†</sup>	n.d.	CAN; NZ			
	Pyréthriinoïdes et pyréthrinines (3A)	λ-cyhalothrine Cyperméthrine δ-méthrine Perméthrine	n.d.	AS; HO; IR; NU; NY; NZ; ON; QC**, WA	Eckenrode et al., 2000; MacIntyre Allen et al., 2005; Fortin et al., 2012		
	Diphényléthanes (3B)	DDT <sup>†</sup>	n.d.	BC; SF; TX			
	Néonicotinoïdes (4A)	Imidaclopride	n.d.	AS			
	Spinosynes (5)	Spinosad	n.d.	IS			
	Avermectines et milbémycines (6)	Emamectin benzoate <sup>†</sup>	n.d.	IS			
<b>Thrips des fleurs</b>	Cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A)	Aldrin <sup>†</sup> Dieldrin <sup>†</sup>	n.d.	CA		Fraises	Tous les stades
<b>Thrips des petits fruits</b>	Carbamates (1A)	Bendiocarbe <sup>†</sup> Formetanate Methiocarbe <sup>†</sup> Methiocarbe <sup>†</sup> + PBO <sup>†</sup> Méthomyl	n.d.	CA; DA; ES; KE; MO; SZ	Brødsgaard, 1994		
	Organophosphorés (1B)	Acéphate Chlorpyrifos Diazinon Dichlorvos Malathion Methamidophos <sup>†</sup>	n.d.	AS; CA; DA; ES; KE; MO; QC**; SZ;	Brødsgaard, 1994; Fortin et al., 2012		
	Cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A)	Endosulfan <sup>†</sup>	n.d.	DA; KE; SZ	Brødsgaard, 1994		
	Phénylpyrazoles (2B)	Fipronil <sup>†</sup>	n.d.	AS		Fraises, poivron en serre; serres ornementales	Tous les stades
	Pyréthriinoïdes et pyréthrinines (3A)	Acrinathrine <sup>†</sup> Bifenthrine Cyperméthrine Cyperméthrine-alpha δ-méthrine Esfenvalerate <sup>†</sup> Perméthrine Tau-fluvalinate <sup>†</sup>	n.d.	AS; CA; ES; MO; TU;			
	Néonicotinoïdes (4A)	Acétamipride Imidaclopride Thiamétoxame	n.d.	CH	Wang et al., 2016		
	Spinosynes (5)	Spinetoram Spinosad	n.d.	CH; ES; QC**	Bielza et al., 2007; Wang et al., 2016;		

Nom	Familles d'insecticides	Matières actives <sup>1</sup>	Résistances croisées/ multirésistance	Localisations <sup>2</sup>	Références <sup>3</sup>	Cultures <sup>4</sup>	Stades <sup>5</sup>
					Lambert, comm. Pers.; Fortin et al., 2012		
	Avermectines et milbémycines (6)	Abamectin	n.d.	CA; CH			
	Pyriproxifène (7C)	Pyriproxifène	n.d.	CH	Wang et al., 2016		
	Diamides (28)	Cyantraniliprole	n.d.	CH	Wang et al., 2016		

<sup>1</sup> Liste des matières actives pour lesquelles une résistance ou une tolérance a été reconnu dans une région du monde (voir Localisations).

<sup>2</sup> Localisations des populations résistantes pour la famille d'insecticide correspondante : AB (Alberta); AC (Antigua); AF (Afghanistan); AL (Alabama); AK (Arkansas); AS (Australie); AR (Argentine); AT (Autriche); AZ (Arizona); BB (Barbade); BC (Colombie-Britannique); BE (Belgique); BF (Burkina Faso); BN (Benin); BR (Brésil); BU (Bulgarie); CA (Californie); CAN (Canada); CE (Sri Lanka); CH (Chine); CL (Chili); CO (Colombie); CT (Connecticut); CY (Chypre); CZ (République Tchèque); DA (Danemark); DE (Delaware); EC (Équateur); EG (Égypte); ES (Espagne); FI (Finlande); FL (Florida); FR (France); GA (Georgie, É-U); GE (Allemagne); GR (Grèce); GT (Guatemala); HI (Hawaï); HK (Hong-Kong); HO (Honduras); IA (Indiana); ID (Idaho); IE (Indonésie); IL (Illinois); IN (Inde); IR (Iran); IS (Israël); IT (Italie); JA (Japan); JM (Jamaïque); KA (Kansas); KE (Kenya); KS (Corée du Sud); LA (Louisiane); LE (Liban); MB (Manitoba); MA (Massachusetts); MD (Maryland); ME (Maine); MI (Michigan); MN (Minnesota); MO (Missouri); MS (Mississippi); MX (Mexique); MY (Malaisie); NC (Caroline du Nord); ND (Dakota du Nord); NIM (Nouveau-Mexique); NJ (New-Jersey); NL (Pays-Bas); NO (Norvège); NS (Nouvelle-Écosse); NU (Nicaragua); NY (New-York); NZ (Nouvelle-Zélande); OH (Ohio); OK (Oklahoma); ON (Ontario); OR (Oregon); PA (Pennsylvanie); PE (Île-du-Prince-Édouard); PK (Pakistan); PL (Pologne); PT (Portugal); QC (Québec); RP (Philippines); RS (Russie); SC (Caroline du Sud); SE (Suède); SF (Afrique du Sud); SN (Singapour); SK (Corée du Sud); SU (Soudan); SY (Syrie); SZ (Suisse); TH (Thaïlande); TN (Tennessee); TO (Togo); TU (Turquie); TW (Taïwan); TX (Texas); UK (Royaumes-Unis); USA (États-Unis); UT (Utah); VA (Virginie); VE (Venezuela); VN (Viêt Nam); WA (Washington); WI (Wisconsin); WV (Virginie occidentale); YO (Yougoslavie); ZI (Zimbabwe).

<sup>3</sup> En plus des références citées dans cette colonne, ce tableau a été construit à partir de la liste de références de l'APRD (<https://www.pesticideresistance.org/>) et la revue de littérature sur la fausse teigne des crucifères de Furlong et al. (2013).

<sup>4</sup> Cultures dans lesquelles le ravageur listé a été soupçonné de résistance au Québec.

<sup>5</sup> Stades de l'insecte ou de l'acarien problématiques pour la culture visée.

† Produits non homologués au Canada (vérifications faites sur le site des étiquettes de l'ARLA, février 2018).

†† Matière active sous évaluation par l'ARLA.

\* Espèces listées parmi les 12 insectes et acariens les plus résistants dans le monde (voir tableau 1).

\*\* Soupçons de résistance ou de tolérance pour la localisation.

n.d. = donnée non disponible.

## 2.2.1 Insectes et acariens avec protocoles établis

### Aleurode des serres

L'aleurode des serres (AS), *Trialeurodes vaporariorum* (Westw.) (Hemiptera : Aleyrodidae), originaire d'Amérique Centrale, est aujourd'hui un ravageur cosmopolite (Cécyre et Lambert, 2006; Blancard et Ryckewaert, 2017). L'AS est polyphage et est un ravageur majeur des serres (Cécyre et Lambert, 2006; HYPPZ. 2018). Au Québec, il est particulièrement dommageable en serres ornementales, en serres de tomates, poivrons, aubergine (Richard et Boivin, 1994; Doucet, 2017; IRIIS; HYPPZ. 2018) et sa présence a été plus récemment détectée dans les cultures de fraises (Fournier et al., 2016). Les larves



et les adultes se nourrissent des feuilles et des fruits (Blancard et Ryckewaert, 2017; Doucet, 2017; HYPPZ. 2018; IRAC). Ils laissent un miellat collant sur les fruits, propice au développement de la fumagine (Richard et Boivin, 1994; Doucet, 2017). Enfin ce ravageur est un vecteur potentiel de la jaunisse de la betterave sur le concombre de serre et contribue à la dissémination rapide de cette maladie. Le développement de ce ravageur se fait sur les mauvaises herbes en bordure ou dans les cultures (Richard et Boivin, 1994).

#### État de la résistance au niveau mondial :

Des populations d'AS ont été confirmées comme résistantes aux familles des carbamates (1A), des organophosphorés (1B), des pyréthriinoïdes et érythrines (3A), des diphenyléthanes (3B), des néonicotinoïdes (4A), des pyriproxifènes (7C), des dérivés azométhiniques de la pyridine (9B), des benzoylurées (15), des buprofézines (16) et des dérivés des acides tétronique et tétramique (23) (tableau 21). Une attention particulière doit être portée, car de la résistance croisée entre l'imidaclopride (néonicotinoïde, 4A) et la pymétozine (dérivés azométhiniques de la pyridine, 9B) a été détectée pour des populations d'AS européennes (Karatolos et al., 2010) (tableau 21).

#### État de la résistance aux États-Unis :

Des populations d'AS ont été confirmées comme résistantes à plusieurs matières actives faisant partie uniquement des quatre familles suivantes : les carbamates (1A), les organophosphorés (1B), les pyréthriinoïdes et pyréthrines (3A) et les néonicotinoïdes (4A) (Elhag et Horn, 1984; Omer et al., 1993; Bi et Toscano, 2007).

#### État des connaissances au Québec :

Des populations d'AS du Québec sont soupçonnées de résistance aux divers insecticides homologués au Canada. Le soupçon a été porté plus particulièrement dans les serres ornementales et de tomates (Lambert, comm. Pers.). Parmi les produits homologués dans ces cultures, certaines matières actives font partie de familles pour lesquels de la résistance a été confirmée aux États-Unis (organophosphorés 1B, pyréthriinoïdes et pyréthrines 3A et néonicotinoïdes 4A). Le suivi pour un potentiel développement d'une résistance serait donc nécessaire.

#### Méthodes de détection de la résistance :

L'IRAC propose deux méthodes de détection de la résistance par bioessais pour l'aleurode des serres (tableau 22).

## Aleurode du tabac

L'aleurode du tabac (AT), *Bemisia tabaci* (Genn.) (Hemiptera : Aleyrodidae) est un ravageur tropical et subtropical considéré comme une espèce envahissante majeure dans les cultures en serre partout à travers le monde (Osborne, 2016). L'AT est très polyphage, il attaque plus de 900 espèces végétales (Doucet, 2017). C'est en fait un complexe d'espèces, dont les biotypes B et Q sont présents en Amérique du Nord incluant le Québec (Perring, 2001; IRIIS). Au Québec, il est principalement associé aux poinsettias et aux légumes de serre notamment la tomate, aubergines, poivrons et concombres (Carrier et Chouffot 2013; IRIIS). Au Québec, il survit aux hivers en se réfugiant dans les serres de plantes ornementales (Richard et Boivin, 1994). Ce ravageur suce la sève et, comme l'aleurode des serres, recouvre le feuillage de miellat propice au développement de la fumagine (Osborne, 2016; IRAC). Enfin c'est un vecteur de plus de 60 virus (Doucet, 2017).



### État de la résistance au niveau mondial :

Des populations d'AT ont été confirmées comme résistantes à une grande quantité de matières actives réparties dans les familles suivantes : les carbamates (1A), les organophosphorés (1B), les cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A), les phénylpyrazoles (2B), les pyréthriinoïdes et érythrines (3A), les diphenyléthanés (3B), les néonicotinoïdes (4A), les buténolides (4D); les pyriproxifènes (7C), les dérivés azométhaniques de la pyridine (9B), les diafenthiurones (12A) et les buprofézines (16) (tableau 21).

### État de la résistance aux États-Unis :

Aux États-Unis, des populations d'AT ont été confirmées comme résistantes à des matières actives regroupées dans les familles suivantes : les carbamates (1A); les organophosphorés (1B); les pyréthriinoïdes et érythrines (3A), les diphenyléthanés (3B), des néonicotinoïdes (4A) des buténolides (4D) et des pyriproxifènes (7C) (Immaraju, 1985; Prabhaker et al., 1985; Moore et al., 1989; Omer et al., 1993; Grafton-Cardwell et al., 1998; Bi et Toscano, 2007; Ma et al., 2010; Smith et Nagle, 2014).

### État des connaissances au Québec :

La souche Q, officiellement identifié au Québec en 2012 (Carrier et Chouffot 2013), montre de la résistance aux insecticides de la famille des néonicotinoïdes (4A) (imidaclopride et acétamipride) ainsi qu'à la famille des pyriproxifènes (7C) ailleurs dans le monde (Senécal, 2012). Dans la culture des poinsettias en serres ornementales (culture ciblée par Fortin et al., 2012), aucun insecticide de la famille des néonicotinoïdes (4A) n'est homologué contre l'AT. Cependant, dans la culture de plantes ornementales le TRISTAR 70 WSP dont la matière active est l'acétamipride (néonicotinoïde, 4A) est homologuée contre ce ravageur (SAGe Pesticides).

Le soupçon de résistance pour ce ravageur au Québec est justifié et devrait être vérifié dans les serres où la perte d'efficacité d'insecticides a été observée.

### Méthodes de détection de la résistance :

L'IRAC propose trois méthodes de détection de la résistance par bioessais pour l'AT (tableau 22).

## Altise des navets

L'altise des navets (AN), *Phyllotreta striolata* (F.) (Coleoptera : Chrysomelidae) est un ravageur commun en Asie, en Europe et en Amérique du Nord (CABI ; Doucet, 2017). L'AN se nourrit principalement de crucifères. Les adultes endommagent les parties aériennes des plantes et les jeunes plants sont particulièrement susceptibles dû au grignotement des cotylédons. De fortes infestations peuvent causer des dommages importants aux crucifères-feuilles comme le chou et le canola. D'ailleurs, l'AN est considéré comme ravageur principal dans le canola au Québec (Tremblay et al., 2011). Les larves peuvent causer des dommages superficiels racinaires sur les crucifères à racines tubéreuses (Duval, 1996; Labrie et Voynaud, 2013; IRIIS).



### État de la résistance au niveau mondial :

La résistance chez l'AN a été confirmée uniquement pour deux familles d'insecticides : en Asie pour des matières actives obsolètes (non homologués au Canada) faisant partie de la famille des cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A) et en Alberta, pour le thiaméthoxame et la clothianidine, deux néonicotinoïdes (4A). À noter qu'en Taïwan, Feng et al. (2000) ont démontré la tolérance de l'AN au carbaryl (carbamates, 1A) (tableau 21).

### État des connaissances au Québec :

Dans la culture du canola, les populations d'AN semblent avoir une faible sensibilité aux traitements insecticides par rapport à l'altise des crucifères, en particulier aux néonicotinoïdes (Parent et Roy, 2013; Labrie, 2017). Cette différence de sensibilité a d'ailleurs été démontrée en Alberta (Tansey et al., 2008). Les auteurs n'arrivent pas à la conclusion d'une résistance, mais plus d'une tolérance qui peut varier selon les années et même dans les différentes générations pendant la saison estivale. La première génération serait moins tolérante dû au stress de son hibernation. Puisque l'AN est reconnu pour développer rapidement une résistance aux insecticides, il est recommandé d'alterner l'usage des produits faisant partie des carbamates (1A), organophosphorés (1B) et pyréthriinoïdes et pyrétrines (3A) (Parent et Roy, 2015).

Fortin et al. (2012) soupçonnent de la résistance de l'AN aux traitements de semences de canola contenant du thiaméthoxame (Helix Xtra®) et du clothianidine (Prosper<sup>MC</sup> Fl et Prosper<sup>MC</sup> Fx), deux néonicotinoïdes (4A). D'autres traitements des semences contenant du clothianidine sont aussi homologués contre les altises dans le canola, le Prosper<sup>MC</sup> EverGol et le Prosper<sup>MC</sup> T 200, en plus du Sevin® XLR contenant un carbamate (carbaryl) pour lequel une tolérance a aussi été détectée pour des populations à Taïwan (Feng et al., 2000; SAgE Pesticides). Il serait donc recommandé de vérifier si des populations d'AN du Québec sont résistantes ou au moins tolérantes aux carbamates (1A) et aux néonicotinoïdes (4A) homologués au Canada pour la culture du canola.

### Méthodes de détection de la résistance :

L'IRAC propose une méthode de détection de la résistance par bioessais pour le genre *Phyllotreta* (tableau 22).

## Puceron de la digitale

Le puceron de la digitale (PD), *Aulacorthum solani* (Kltb.) (Hemiptera : Aphididae) a une distribution mondiale excluant les États-Unis (CABI). Ce ravageur attaque des mono et dicotylédones regroupant ainsi plus de 200 espèces de plantes hôtes notamment la pomme de terre et la tomate. Il se retrouve peu dans les cultures extérieures (Doucet, 2017). Il hiverne sous forme d'œufs sur des plantes hôtes comme la digitale pourprée (*Digitalis purpurea*), le plantain maritime (*Plantago maritima*), le trèfle violet (*Trifolium pratense*), l'épervière (*Hieracium spp.*) et le fraisier (*Fragaria spp.*) (Richard et Boivin, 1994). Ce puceron s'attaque aux feuilles et les déforme (Doucet, 2017). En plus de favoriser le développement de la fumagine, il peut être vecteur d'une 40<sup>ème</sup> de virus dont le virus de l'enroulement de la pomme de terre et celui de la mosaïque du concombre (Lambert, 2007; Doucet, 2017).



### État de la résistance au niveau mondial :

Des populations de PD ont été confirmées comme résistantes uniquement au Royaume-Uni pour le demeton-S-méthyl+ (non homologué au Canada) et le diméthoate, deux matières actives de la famille des organophosphorés (1B) (APRD) (tableau 21).

### État des connaissances au Québec :

La résistance à l'imidaclopride (néonicotinoïde, 4A) est soupçonnée dans les serres ornementales (Fortin et al., 2012). Étant donné qu'aucune résistance aux néonicotinoïdes n'a été démontrée nulle part ailleurs, les soupçons restent faibles pour cette espèce.

### Méthodes de détection de la résistance :

L'IRAC propose une méthode de détection de la résistance par bioessais pour le puceron de la digitale et 10 autres espèces de pucerons (tableau 22).

## Pyrale du maïs

La pyrale du maïs (PM), *Ostrinia nubilalis* (Hübner) (Lepidoptera : Crambidae) est présente en Amérique du Nord, Europe, Afrique du Nord ainsi que quelques populations en Asie (CABI). Il en existe deux races, une univoltine (une génération par année) et une bivoltine (deux générations par année). La première est présente dans toutes les régions du Québec où l'on cultive le maïs alors que la seconde ne se retrouve qu'au sud-ouest de la province jusqu'à la région de Québec (Duval et al., 2018). Son hôte préféré est le maïs, mais elle peut aussi attaquer quelque 200 espèces de plantes comme les maïs sucrés, le poivron et la pomme de terre (Richard et Boivin, 1994; Duval et al., 2018). Sur le maïs, les larves



se nourrissent principalement de l'épi, mais toutes les parties de la plante peuvent être attaquées (Richard et Boivin, 1994). Elles creusent des galeries dans l'épi de maïs et dans les tiges et lorsqu'elles ont atteint la maturité, elles descendent dans la tige (Doucet, 2017). Au Québec, elles hivernent au dernier stade larvaire dans les chaumes du maïs ou d'autres plantes (Richard et Boivin, 1994). Le contrôle de la PM dans le maïs sucré peut se faire à l'aide d'insecticides de synthèse, de bio-insecticides et du trichogramme (un insecte parasitoïde). En plus de ses moyens de luttés, il existe plusieurs stratégies préventives à favoriser incluant le déchiquetage et l'enfouissage des résidus de maïs après récolte, la rotation des cultures et la protection des plants par toile flottante contre la ponte (Duval et al., 2018).

#### **État de la résistance au niveau mondial :**

Des populations de la PM ont été confirmées comme résistantes à deux pyréthrinoïdes (3A) en France (Siegwart et al., 2012) et à plusieurs produits à base de *Bt* (11A) en Colombie et aux États-Unis (Li et al., 2005; Pereira et al., 2008; Crespo et al., 2011; Cadavid-Restrepo et al., 2012) (tableau 21).

#### **État des connaissances au Québec :**

Parmi les pesticides homologués dans le maïs sucré et le maïs grain et fourager on retrouve des produits dans la famille des *Bt* (11A) comme le Bioprotec CAF, Bioprotec 3P et le Dipel 2X DF (*Bacillus thuringiensis var. kurstaki*) ainsi que des pyréthrinoïdes et pyréthrines (3A) comme le Decis 5CE, le Decis FL contenant de la  $\delta$ - méthrine ou les Matador 120 EC, Silencer 120 EC et Warrior contenant de la  $\lambda$ -cyhalothrine (SAGe Pesticides). Étant donné que de la résistance a déjà été détectée pour ces deux familles respectivement aux États-Unis et en France, il serait pertinent de vérifier si les populations problématiques dans la culture du maïs sucré au Québec (Duval, comm. Pers.) présentent de la résistance.

#### **Méthodes de détection de la résistance :**

L'IRAC propose une méthode de détection de la résistance au *Bt* par bioessais pour la PM et 3 autres lépidoptères s'attaquant au maïs. De plus une méthode par ingestion de diète contaminée par un pyréthrinoïde (3A) visant la détection de la résistance chez les néonates de PM a été développée par Siegwart et al. (2017) à partir d'une méthode utilisée sur le carpocapse de la pomme, développée par Reyes et Sauphanor (2008) (tableau 22).

## Tétranyque à deux points

Le tétranyque à deux points (T2P), *Tetranychus urticae* Koch (Acari : Tetranychidae) est un ravageur cosmopolite (CABI). Ravageur polyphage, le T2P est particulièrement problématique dans les cultures en serres et sous tunnels. Les cultures les plus sensibles sont les framboises, les fraises, les tomates, les courges les aubergines et les concombres. En serres, ce ravageur est présent à l'année alors qu'à l'extérieur au Québec, seules les femelles passent l'hiver (Doucet, 2017; IRIIS). Tous les stades mobiles sont dommageables. De leurs pièces buccales, ils pénètrent les cellules des feuilles, ce qui laisse des petites taches blanchâtres autour des nervures (Van Leeuwen et al., 2010). La



lutte contre ce ravageur est très difficile, car le cycle de vie est court, les générations se succèdent et les stades

de développement se mélangent. Ces caractéristiques rendent le choix de l'acaricide difficile et augmentent le risque de développement d'une résistance (Van Leeuwen et al., 2010).

#### **État de la résistance au niveau mondial :**

Le T2P est considéré mondialement comme l'espèce la plus résistante lorsque l'on calcul le nombre de pesticides pour lesquelles les populations de ce ravageur sont résistantes (tableau 1). Pour ce ravageur, de la résistance a été confirmée à plusieurs matières actives de la famille des carbamates (1A), des organophosphorés (1B), des cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A), des pyréthriinoïdes et pyréthrines (3A), des diphenyléthanés (3B), des avermectines et milbémycines (6), des clofentézines, diflovidazins, hexythiazox (10A), des étoxazoles (10B), du diafenthiurone (12A), des acaricides organostanniques (12B), des propargites (12C), du tetradifon (12D), des pyrroles, dinitrophénols, Sulfuramides (13), des benzoylurées (15), des amitraz (19), des acéquinocyl (20B), du fluacrypyrime (20C), du bifenazate (20D), des acaricides et insecticides METI (21A), des dérivés des acides Tétronique et Tétramique (23), des dérivés du bêta-cétronitrile (25A) et plusieurs composés du groupe UN (benzoximate+, bromopropylate+, chinomethionate+ et dicofol+) (tableau 21).

#### **État de la résistance aux États-Unis :**

Des populations des États-Unis ont été confirmées résistantes à la plupart des produits des familles citées plus haut.

#### **État de la résistance au Canada :**

Des populations de T2P d'Ontario ont été confirmées comme résistantes au malathion et au parathion+ (Herne et Brown, 1969), deux matières actives de la famille des organophosphorés (1B).

#### **État des connaissances au Québec :**

Le soupçon de résistance rapporté par Fortin et al. (2012) vise les cultures de la fraise, la framboise, la pomiculture et les vivaces pour les matières actives suivantes : bifénazate (25), acéquinocyl (20B), spiromesifen (23), abamectin (6), clofentezine (10), dicofol+ (UN), fenbutatin-oxyde (12) et le pyridabene(21A). Même si aucune étude n'a démontré de résistance au Québec concernant ces matières actives, elles font toutes parties de familles pour lesquelles il y a de la résistance confirmée ailleurs dans le monde. Étant donné la grande capacité de ce ravageur à développer de la résistance à tous les insecticides et acaricides, les probabilités que les populations présentes au Québec soient résistantes sont grandes.

#### **Méthodes de détection de la résistance :**

L'IRAC propose deux méthodes de détection de la résistance par bioessais pour le T2P (tableau 22).

## Tétranyque rouge du pommier

Le tétranyque rouge du pommier (TRP), *Panonychus ulmi* (Koch) (Acari : Tetranychidae) est un ravageur cosmopolite s'attaquant principalement aux rosacées et à la vigne (Bolland et al., 1998). Au Québec, le TRP est un ravageur primaire en pomiculture. Ce ravageur hiverne au stade œuf sur les branches et le tronc et l'éclosion commence au stade phénologique du pommier pré-bouton rose. Tous les stades mobiles sont ravageurs et s'attaquent au feuillage. Les dommages importants peuvent avoir un effet sur le pommier et la qualité des pommes. Ce ravageur est problématique, car au milieu de l'été, les générations se chevauchent et tous les stades sont présents en même temps. Le stade préférable à cibler est celui d'œuf à l'aide d'huile de dormance. Les TRP acquièrent rapidement de la résistance aux acaricides (Chouinard et coll., 2014).



### État de la résistance au niveau mondial :

Des populations de TRP ont été confirmées comme résistantes à plusieurs matières actives des familles suivantes : les carbamates (1A), les organophosphorés (1B), les cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A), les diphényléthanes (3B), les avermectines et milbémycines (6), les clofentézines, diflovidazins et hexythiazox (10A), les acaricides organostanniques (12B), les propargites (12C), les tetradifons (12D), des pyrroles, dinitrophénols, Sulfuramides (13), les amitraz (19), les acaricides et insecticides METI (21A), les dérivés des acides Tétronique et Tétramique (23) et plusieurs composés du groupe UN (benzoximate+, bromopropylate+, chinomethionate+ et dicofol+) (tableau 21).

### État de la résistance aux États-Unis :

La résistance du TRP a été démontrée pour la plupart des familles décrites plus haut (Reissig et Hull, 1991; Beers et al., 1998; APRD).

### État de la résistance au Canada :

En Ontario, des populations de TRP ont été confirmées comme résistantes à plusieurs organophosphorés (1B), au cyhexatin+ (acaricides organostanniques, 12B), au tetradifon+ (tetradifon, 12D) et au dicofol+ (UN). De plus la résistance du TRP aux organophosphorés (1B) a par le passé été identifiée en Nouvelle-Écosse et en Colombie-Britannique (APRD).

### État des connaissances au Québec :

Le TRP avait été identifié comme probablement résistant à l'azinphos-méthyl+ et à d'autres organophosphorés (1B) (APRD). Depuis, aucune étude n'a été menée sur cette question. Il serait donc pertinent de vérifier s'il existe des populations résistantes au Québec pour les produits homologués en pomiculture.

### Méthodes de détection de la résistance :

L'IRAC propose 4 méthodes de détection de la résistance par bioessais pour le TRP (tableau 22).

## Thrips des petits fruits

Le thrips des petits fruits (TPF), *Frankliniella occidentalis* (Perg.) (Thysanoptera : Thripidae), originaire de l'ouest des États-Unis, est aujourd'hui un ravageur cosmopolite. Le TPF est un ravageur polyphage s'attaquant aux fleurs, bourgeons, pousses apicales, feuilles et fruits d'une multitude de plantes. Au Québec on le retrouve principalement en serres (tomate et ornementales), mais aussi en champs dans les cultures de petits fruits, légumières et céréalières. Ce thrips est vecteur de plusieurs maladies tels que la maladie bronzée de la tomate (*Tomato Spotted Wilt Virus*, TSWV) et le virus des taches nécrotiques de l'impatiens (Impatiens Necrotic Spot Virus, INSV). Il survit à l'hiver du Québec à l'intérieur des serres (Doucet, 2017; Tousignant, 2018).



### État de la résistance au niveau mondial :

Des populations de TPF ont été confirmées comme résistantes à de nombreuses matières actives réparties dans les familles suivantes : les carbamates (1A), les organophosphorés (1B), les cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A), les phénylpyrazoles (2B), les pyréthriinoïdes et érythrines (3A), les néonicotinoïdes (4A), les spinosynes (5), les avermectines et milbémycines (6), les pyriproxifènes (7C) et les diamides (28) (APRD) (tableau 21).

### État de la résistance aux États-Unis :

De la résistance a été détectée dans les familles des carbamates (1A), des organophosphorés (1B), des pyréthriinoïdes et érythrines (3A) et des avermectines et milbémycines (6) (Immaraju et al., 1992; Zhoa et al., 1995).

### État de la résistance au Canada :

De la résistance a été détectée pour des matières actives de la famille des organophosphorés (1B) en Colombie-Britannique (Pearsall, 1997) et à la  $\delta$ - méthrine (pyréthriinoïdes et pyréthrines, 3A) en Ontario (Broadbent et Pree, 1997).

### État des connaissances au Québec :

Le soupçon de résistance vise la culture des fraises et des serres ornementales. Fortin et al. (2012) soupçonne de la résistance pour l'acéphate (organophosphorés, 1B) et le spinosad (spinosynes, 5). Il serait pertinent de vérifier la présence de populations résistantes au Québec, d'autant plus que la résistance du TPF aux spinosynes (5) n'a été détectée qu'en Asie et en Europe (Bielza et al., 2007; Wang et al., 2016).

### Méthodes de détection de la résistance :

L'IRAC propose deux méthodes de détection de la résistance par bioessais pour le TPF (tableau 22).

Tableau 22 : Liste des protocoles de détection de la résistance développés pour les espèces correspondantes

Noms	Stades visés	Types de Bioessais	Familles d'insecticides visées	Numéro du protocole IRAC	Références
<b>Aleurode des serres</b>	Adultes	Résiduel par immersion de feuilles	Organophosphorés (1B) Pyréthriinoïdes et pyréthrinines (3A) Néonicotinoïdes (4A) Dérivés azométhaniques de la pyridine (9B) Flonicamide (29)	Test Method 015	<a href="http://www.irac-online.org/methods/rialeurodes-vaporariorum-bemisia-tabaci-adult/">http://www.irac-online.org/methods/rialeurodes-vaporariorum-bemisia-tabaci-adult/</a>
	Œufs et larves	Contact par immersion de feuilles infestées	Organophosphorés (1B) Pyréthriinoïdes et pyréthrinines (3A) Néonicotinoïdes (4A) Pyriproxyfène (7C) Dérivés azométhaniques de la pyridine (9B) Buprofézine (16) Flonicamide (29)	Test Method 016	<a href="http://www.irac-online.org/methods/rialeurodes-vaporariorum-bemisia-tabaci-nymphs/">http://www.irac-online.org/methods/rialeurodes-vaporariorum-bemisia-tabaci-nymphs/</a>
<b>Aleurode du tabac</b>	Adultes	Résiduel par immersion de feuilles	Amitraz (19)	Test Method 008	<a href="http://www.irac-online.org/methods/bemisia-tabaci-adults/">http://www.irac-online.org/methods/bemisia-tabaci-adults/</a>
	Adultes	Résiduel par immersion de feuilles	Organophosphorés (1B) Pyréthriinoïdes et pyréthrinines (3A) Néonicotinoïdes (4A) Dérivés azométhaniques de la pyridine (9B) Flonicamide (29)	Test Method 015	<a href="http://www.irac-online.org/methods/rialeurodes-vaporariorum-bemisia-tabaci-adult/">http://www.irac-online.org/methods/rialeurodes-vaporariorum-bemisia-tabaci-adult/</a>
	Œufs et larves	Contact par immersion de feuilles	Organophosphorés (1B) Pyréthriinoïdes et pyréthrinines (3A) Néonicotinoïdes (4A) Pyriproxyfène (7C) Dérivés azométhaniques de la pyridine (9B) Buprofézine (16) Flonicamide (29)	Test Method 016	<a href="http://www.irac-online.org/methods/rialeurodes-vaporariorum-bemisia-tabaci-nymphs/">http://www.irac-online.org/methods/rialeurodes-vaporariorum-bemisia-tabaci-nymphs/</a>
<b>Altise des navets</b>	Adultes	Résiduel sur fiores	Pyréthriinoïdes et pyréthrinines (3A)	Test Method 031	<a href="http://www.irac-online.org/methods/weevils-and-flee-beetles/">http://www.irac-online.org/methods/weevils-and-flee-beetles/</a>
<b>Puceron de la digitale</b>	Adultes et larves	Résiduel par immersion de feuilles	Carbamates (1A) Organophosphorés (1B) Pyréthriinoïdes et pyréthrinines (3A) Néonicotinoïdes (4A) Dérivés azométhaniques de la pyridine (9B) Diafenthurone (12A) Dérivés des acides Tétronique et Tétramique (23) Flonicamide (29)	Test Method 019	<a href="http://www.irac-online.org/methods/aphids-adultnymphs/">http://www.irac-online.org/methods/aphids-adultnymphs/</a>
<b>Pyrale du maïs</b>	Larves	Ingestion de diète artificielle contaminée en surface	Pyréthriinoïdes et pyréthrinines (3A) <i>Bacillus thuringiensis</i> et les protéines produites (11A)	Test Method 101	<a href="http://www.irac-online.org/methods/iotech-method-no-1-v3-2-sept-08/">http://www.irac-online.org/methods/iotech-method-no-1-v3-2-sept-08/</a> Siegwart et al., 2017

Noms	Stades visés	Types de Bioessais	Familles d'insecticides visées	Numéro du protocole IRAC	Références
<b>Tétranyque à deux point</b>	Oeufs	Contact par immersion de feuilles infestées	Clofentézine, diflovidazin, hexythiazox (10A)	Test Method 003	<a href="http://www.irac-online.org/methods/p/anonychus-ulmi-tetranychus-spp-eggs/">http://www.irac-online.org/methods/p/anonychus-ulmi-tetranychus-spp-eggs/</a>
	Adultes	Résiduel par immersion de feuilles	Carbamates (1A) Acaricides organostanniques (12B) Propargite (12C)	Test Method 004	<a href="http://www.irac-online.org/methods/p/anonychus-ulmi-tetranychus-species-adults/">http://www.irac-online.org/methods/p/anonychus-ulmi-tetranychus-species-adults/</a>
<b>Tétranyque rouge du pommier</b>	Oeufs	Contact par immersion de feuilles infestées	Clofentézine, diflovidazin, hexythiazox (10A)	Test Method 003	<a href="http://www.irac-online.org/methods/p/anonychus-ulmi-tetranychus-spp-eggs/">http://www.irac-online.org/methods/p/anonychus-ulmi-tetranychus-spp-eggs/</a>
	Adultes	Résiduel par immersion de feuilles	Carbamates (1A) Acaricides organostanniques (12B) Propargite (12C)	Test Method 004	<a href="http://www.irac-online.org/methods/p/anonychus-ulmi-tetranychus-species-adults/">http://www.irac-online.org/methods/p/anonychus-ulmi-tetranychus-species-adults/</a>
	Adultes	Résiduel sur plat de Pétri	Acaricides et insecticides METI (21A)	Test Method 012	<a href="http://www.irac-online.org/methods/method-012-v3-panonychus-ulmi-adults-adults/">http://www.irac-online.org/methods/method-012-v3-panonychus-ulmi-adults-adults/</a>
	Adultes	Résiduel par immersion de feuilles	Acaricides et insecticides METI (21A)	Test Method 013	<a href="http://www.irac-online.org/methods/p/anonychus-ulmi-adults/">http://www.irac-online.org/methods/p/anonychus-ulmi-adults/</a>
<b>Thrips de petits fruits</b>	Adultes	Résiduel par immersion de tissus végétaux	Carbamates (1A) Organophosphorés (1B) Cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A) Pyréthriinoïdes et pyréthrinés (3A) Spinosynes (5) Pyrroles, dinitrophénols, Sulfuramides (13)	Test Methode 010	<a href="http://www.irac-online.org/methods/fr/ankliniella-occidentalis-adults/">http://www.irac-online.org/methods/fr/ankliniella-occidentalis-adults/</a>
	Larves	Contact par immersion de tissus végétaux infestés	Benzoylurées (15)	Test Method 014	<a href="http://www.irac-online.org/methods/fr/ankliniella-occidentalis-larvae/">http://www.irac-online.org/methods/fr/ankliniella-occidentalis-larvae/</a>

## 2.2.2 Insectes et acariens avec protocoles à adapter

### Fausse arpenreuse du chou

La fausse arpenreuse du chou (FAC), *Trichoplusia ni* (Hübner) (Lepidopter : Noctuidae) est une espèce cosmopolite (CABI). Cependant, elle ne survit pas aux hivers québécois. Chaque année, elle migre du sud des États-Unis vers le Canada. Les principales plantes hôtes de la FAC sont des crucifères-légumes (brocoli, chou frisé, chou pommé, chou-fleur, etc.). Les jeunes larves s'attaquent aux surfaces inférieures des feuilles tandis que les larves matures font de gros trous de forme irrégulière sur le feuillage. Les périodes d'observations de l'insecte varient selon les années en fonction des dates d'arrivée des papillons. De ce fait, le nombre de générations varie d'une à deux par année (Richard et Boivin, 1994; Doucet, 2017).



#### État de la résistance au niveau mondial :

Des populations de la FAC ont été confirmées comme résistantes à plusieurs matières actives réparties dans les familles suivantes : les carbamates (1A), les organophosphorés (1B), les cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A), les diphényléthanes (3B) et le *Bacillus thuringiensis* (11A) (tableau 21).

#### État de la résistance en Amérique du Nord :

Aux États-Unis, des populations de FAC ont été confirmées comme étant résistantes à des matières actives des familles citées plus haut (Davis et Kuhr, 1974; Wilkinson et al., 1983) sauf pour la famille du *Bacillus thuringiensis* (11A) pour laquelle la résistance n'a été mentionnée qu'au Canada (Colombie-Britannique) (Zhang et al., 2012).

#### État des connaissances au Québec :

Par le passé, de la résistance au DDT (diphényléthanes, 3B) a été confirmée pour des populations de FAC du Québec (APRD). Depuis, le soupçon de résistance au Québec vise la FAC dans toutes les cultures qu'elle ravage (Fortin et al., 2012). Une attention particulière devrait être portée aux produits des matières actives suivantes pour lesquels de la résistance a déjà été confirmée ailleurs dans le monde : carbaryl (1A), méthomyl (1A), acéphate (1B), naled (1B), malathion (1B), cyperméthrine (3),  $\delta$ -méthrine (3),  $\lambda$ -cyhalothrine (3), perméthrine (3) et *Bt* (11A) (SAGP Pesticides).

#### Méthodes de détection de la résistance :

Deux méthodes de détection de la résistance par bioessais ont été documentées chez la FAC (tableau 23). La première méthode, utilisée par Wilkinson et al. (1983) sur des populations américaines, consiste à exposer des larves (L3) à des feuilles (plantes hôtes) trempées préalablement dans de l'insecticide afin de déterminer leur susceptibilité au méthomyl (carbamates, 1A). La seconde méthode, décrite par Kain et al. (2004), consiste à exposer des néonates ou des larves (L5) à de la diète dont la surface a été traitée par un insecticide afin de déterminer leur susceptibilité au Cry1Ac et autre toxine de type Cry (*Bacillus thuringiensis*, 11A). Cette méthode a par la suite été utilisée par Wang et al. (2007) pour documenter la résistance au *Bt* (11A) d'une population de FAC en provenance de serres commerciales de Colombie-Britannique (tableau 23).

## Mouche de l'oignon

La mouche de l'oignon (MDO), *Delia antiqua* (Meig.) (Diptera : Anthomyiidae), originaire d'Europe a été introduite en 1875 en Amérique du Nord et se retrouve maintenant dans toutes les régions du Canada (Doucet, 2017). La MDO est un ravageur majeur dans la culture de l'oignon est peu attaquer l'échalote française, le poireau, l'ail et la ciboulette. Dans les semis, une seule larve peut causer la mort de plusieurs plants. Celle-ci s'attaque aux racines et à la base des plants. Lorsque les plants sont plus âgés, on peut retrouver les larves dans les bulbes. Les applications d'insecticides doivent viser principalement les larves de première et deuxième génération (Richard et Boivin, 1994, Doucet, 2017; IRIIS).



### État de la résistance au niveau mondial :

Des populations de MDO ont été confirmées résistantes à plusieurs matières actives réparties dans les familles suivantes : les carbamates (1A), les organophosphorés (1B), les cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A) et les diphényléthanes (3B) (tableau 21).

### État de la résistance en Amérique du Nord :

Aux États-Unis comme au Canada, on retrouve le même portrait de la résistance qu'au niveau mondial.

### État des connaissances au Québec :

De la résistance aux organophosphorés (1B) a été détectée pour des populations du Québec concernant l'aldrin+ et la dieldrin+ (Harris et al., 1962; APRD). Bien que ces matières actives ne soient plus homologuées, d'autres organophosphorés (1B) le sont encore tels le chlorpyrifos et le diazinon (SAGP Pesticides). Le soupçon de résistance au Québec vise d'ailleurs le chlorpyrifos (1B), une matière active pour laquelle des populations de New York et d'Ontario sont confirmées comme résistantes. Il serait donc important de vérifier la résistance des populations du Québec (Nault et al., 2006; Fortin et al., 2012).

### Méthodes de détection de la résistance :

Trois méthodes de détection de la résistance par bioessais ont été documentées chez la MDO pour le chlorpyrifos (organophosphorés, 1B) (tableau 23). La première méthode, décrite par Zhao et al. (1995), consiste à immerger des larves de 4 jours dans une solution de pesticide. La seconde méthode, décrite par Harris et al. (1962), consiste à réaliser une application topique d'insecticide sur des adultes (Nault et al., 2006). Les deux méthodes précédentes ont été utilisées sur des populations en provenance des États-Unis. La troisième méthode, réalisée sur des populations du Canada, consiste à pulvériser l'insecticide sur des adultes à l'aide d'une tour de Potter. Cette dernière méthode a d'ailleurs été utilisée sur d'autres espèces du Genre *Delia* (Owen et al., 2017).

## Mouche du chou

La mouche du chou (MC), *Delia radicum* (L.) (Diptera : Anthomyiidae) est un ravageur important dans toutes les cultures de crucifères de l'hémisphère nord. De fortes populations peuvent engendrer des dommages importants dans les cultures de crucifères. Ce ravageur cause des dommages aux jeunes plants de crucifères-feuilles (brocoli, chou, chou-fleur, etc.) et aux plants de crucifères à racine tubéreuse (radis, rutabaga, daikon, etc.) (Doucet, 2017). Les femelles pondent des œufs sur le sol près du collet des crucifères. Les larves émergentes attaquent les racines, les tiges souterraines et peuvent à l'occasion endommager la tige, les pétioles et les feuilles (Lefebvre et al., 2017).



### État de la résistance au niveau mondial :

De la résistance aux insecticides a été confirmée chez la MC pour plusieurs matières actives faisant partie des familles suivantes : les organophosphorés (1B), les cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A) et les diphényléthanes (3B) (tableau 21).

### État de la résistance au Canada :

Par le passé, de la résistance a été détectée chez la MC à plusieurs matières actives de la famille des cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A) en Alberta, en Colombie-Britannique, à l'île du Prince-Édouard, en Nouvelle-Écosse, en Ontario, au Québec et à Terre-Neuve (Chapman et Pitre, 1963; Morris, 1963; Read, 1964; Niemczyk, 1965; McDonald et Swailes, 1975; APRD). Ces matières actives ne sont plus homologuées au Canada (tableau 21).

### État des connaissances aux Québec :

La MC est soupçonnée de résistance au chlorpyrifos (organophosphorés, 1B) dans les cultures de crucifères au Québec (Fortin et al., 2012). Ce soupçon est justifié, d'autant plus que des études récentes ont détecté de la résistance à cette matière active pour des populations de MC à travers différentes provinces du Canada (Madden, 2015; Owen et al., 2017). Cependant, aucun résultat concernant les populations du Québec n'a été publié.

### Méthodes de détection de la résistance :

La plupart des publications traitant de la résistance de la MC (anciennement *Delia brassicae*) à différents insecticides datent des années 1960-1970. La plus récente publication traitant d'une méthode de détection de la résistance chez ce ravageur (Owen et al., 2017) concerne le Genre *Delia*. Il serait aussi possible d'adapter les méthodes utilisées pour la mouche de l'oignon (*Delia antiqua*) (tableau 23).

## Mouche mineuse serpentine américaine

La mouche mineuse serpentine américaine (MMSA), *Liriomyza trifolii* (Burgess) (Diptera : Agromyzidae) est un ravageur originaire d'Amérique du Nord aujourd'hui répandu dans le monde entier (IRAC). Ce ravageur très polyphage se retrouve au Québec dans les serres ornementales, légumières et en champs. Les principales cultures légumières affectées sont le céleri, l'oignon, le pois, la laitue, la carotte, la betterave, le poivron ainsi que les tomates et concombres en serre. Les femelles pondent sur les feuilles et les larves creusent des mines dans les feuilles. La survie hivernale de cette espèce est faible au Québec, mais elle est capable de faire plusieurs générations par année (Légaré, 2016).



### État de la résistance au niveau mondial :

De la résistance aux insecticides a été confirmée chez la MMSA pour plusieurs matières actives faisant partie des familles suivantes : les carbamates (1A), les organophosphorés (1B), les cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A), les pyréthriinoïdes et pyréthrines (3A), les spinosynes (5), les avermectines et milbémycines (6) et les cyromazine (17) (tableau 21).

### État de la résistance en Amérique du Nord :

Mise à part la famille des cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A), la résistance aux familles citées ci-dessus a été confirmée essentiellement aux États-Unis et principalement en Californie et en Floride (Keil et al., 1985; Keil et Parella, 1990; Ferguson, 2004). De plus, des populations de MMSA ont été confirmées comme résistantes aux organophosphorés (1B) en Ontario (Broadbent et Pree, 1989) (tableau 21).

### État des connaissances au Québec :

La MMSA est soupçonnée depuis 2016 de résistance aux insecticides utilisés dans les cultures d'oignons verts (Légaré, 2016). Cependant, aucun traitement ne vise actuellement ce ravageur secondaire de l'oignon au Québec. Ces nouvelles infestations sont peut-être dues à la diminution de traitements visant la mouche de l'oignon en lien avec l'utilisation de la technique des mouches stériles. Toutefois, une attention particulière doit être portée envers ce ravageur, car de la résistance est tout de même confirmée à plusieurs familles d'insecticides pour des populations des États-Unis et du Canada.

### Méthodes de détection de la résistance :

Il n'existe actuellement pas de méthode de détection de la résistance validée par l'IRAC concernant la MMSA. Cependant on retrouve quatre méthodes dans la littérature. La plus fréquente vise les larves et a été décrite par Leibe (1988). Elle consiste à immerger des plants de pois à vache (*Vigna sinensis* (L.)) préalablement infestés par la MMSA. Cette méthode a été utilisée pour tester la résistance à quatre familles d'insecticides différentes (tableau 23) (Cox et al., 1995; Ferguson, 2004). Une variante n'utilisant pas le pois à vache a été utilisée pour des populations de MMSA d'Ontario (Broadbent et Pree, 1989). Les trois autres méthodes visent les adultes soit par ingestion (Cox et al., 1995), par application topique (Keil et al., 1985; Keil et Parella, 1990) ou par contact résiduel dans des tubes contaminés (Mason et al., 1987) (tableau 23).

## Punaise terne

La punaise terne (PT), *Lygus lineolaris* (P. de B.) (Hemiptera : Miridae) se retrouve majoritairement en Amérique du Nord. Elle est présente dans toutes les provinces canadiennes, tous les états américains et dans la plupart des états du Mexique (Dixon, 2015). C'est un ravageur de plus de 350 plantes, particulièrement problématique dans les cultures d'aubergine, canola, fraise, poivron et céleri (IRIIS). Les adultes hivernent dans les mauvaises herbes ou les débris végétaux. Ils sont de passage dans les arbres fruitiers en début de saison, puis les femelles pondent sur feuilles et fleurs d'espèces de plantes dicotylédones (Doucet, 2017). Les adultes comme les larves sont ravageurs. En plus des dommages directs sur fleurs, fruits, feuilles et tiges, la PT peut être vecteur de maladie dont le viroïde de la filiosité de la pomme de terre (Richard et Boivin, 1994; Lambert et al., 2007; Doucet, 2017). Au Québec, elle est considérée comme la troisième espèce d'insecte le plus nuisible après le doryphore de la pomme de terre et la mouche de la pomme, particulièrement dans la culture des fraises.



### État de la résistance au niveau mondial :

Tous les cas de populations de PT détectés pour leur résistance à des insecticides se retrouvent aux États-Unis. De la résistance a été détectée à plusieurs matières actives réparties dans les familles suivantes : les carbamates (1A), les organophosphorés (1B), les cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A), les pyréthriinoïdes et pyréthrinés (3A), les néonicotinoïdes (4A) et les benzoylurées (15) (tableau 21).

### État des connaissances au Québec :

Le soupçon de résistance au Québec vise les cultures de fraises, de framboises et de pommes. Bien qu'aucune étude n'ait démontré de résistance au Québec, parmi les insecticides homologués pour ce ravageur, plusieurs font partie des groupes pour lesquelles de la résistance est connue aux États-Unis : les carbamates (1A) (carbaryl, oxamyle), les organophosphorés (1B) (phosmet, diméthoate) et les pyréthriinoïdes et pyréthrinés (3A) (cyperméthrine,  $\delta$ -méthrine,  $\lambda$ -cyhalothrine et perméthrine) (SAG E Pesticides). Il serait donc important de vérifier la présence de populations résistantes dans les régions où des baisses d'efficacité des insecticides ont été observées.

### Méthodes de détection de la résistance :

Trois méthodes de détection de la résistance par bioessais ont été documentées pour la PT aux États-Unis (tableau 23). La première méthode, décrite par Snodgrass (1996b), consiste à exposer des adultes à une surface traitée avec un insecticide afin de déterminer leur susceptibilité à trois organophosphorés (1B), à la perméthrine (pyréthriinoïdes et pyréthrinés, 3A) et à l'oxamyle (carbamates, 1A) (Snodgrass et al., 2009). Les deux autres méthodes, utilisées par Parys et al. (2016) afin de déterminer la susceptibilité de la punaise terne au novaluron (benzoylurées, 15), consiste à exposer des larves (L3) à une surface traitée avec un insecticide, et l'autre à les exposer à de la diète contenant de l'insecticide.

## Tétranyque de McDaniel

Le tétranyque de McDaniel (TMD), *Tetranychus mcdanieli* McG. (Acari : Tetranychidae) est présent en Amérique du Nord et en France (CABI). C'est un ravageur polyphage que l'on retrouve principalement dans les cultures de framboises, de fraises et de pommes. Au Québec, la forme orangée de la femelle passe l'hiver sous les débris végétaux. Pour s'alimenter, le TMD pique le feuillage (Lacroix, 2016). Et comme le tétranyque à deux points, il forme des toiles sur les feuilles et les fruits, ce qui rend la lutte chimique difficile (Beers et al., 1993).



### État de la résistance aux États-Unis :

Des populations de TMD ont été confirmées comme résistantes à des matières actives regroupées dans les familles suivantes : les organophosphorés (1B), les cyclodiène chlorés et polychlorocycloalcanes (2A), les acaricides organostanniques (12B), les tétradifons (12D), les pyrroles, dinitrophénols, Sulfuramides (13) et le dicofol+ (UN) (tableau 21).

### État de la résistance au Canada :

En Colombie-Britannique, des populations de ce ravageur ont été confirmées comme résistantes à des organophosphorés (1B) et au dicofol+ (UN) (tableau 21).

### État des connaissances au Québec :

Le soupçon de résistance au Québec vise les cultures de fraise (Lambert, comm. Pers.) et framboises pour les matières actives suivantes : bifénazate (25), acéquinocyl (20B), spiromesifen (23), abamectin (6), clofentezine (10), fenbutatin-oxyde (diafenthion, 12A) et le pyridabene (21A) (Firlej, non-publié). Cependant, aucune étude n'a démontré de résistance pour ces matières actives.

### Méthodes de détection de la résistance :

Il existe peu d'articles scientifiques documentant la résistance aux insecticides chez le tétranyque de McDaniel. Il n'existe donc pas de protocole validé permettant d'évaluer la résistance de cette espèce. Toutefois, l'IRAC propose deux méthodes de détection de la résistance pour différentes espèces d'acariens du genre *Tetranychus*. Ces méthodes sont validées entre autres pour le tétranyque à deux points (tableau 23). Bien qu'il soit intéressant de s'inspirer de ces méthodes proposées par l'IRAC, il faut demeurer critique quant aux résultats qui pourraient être obtenus, puisqu'elles n'ont jamais encore été utilisées pour détecter de la résistance chez le TMD.

## Thrips de l'oignon

Le thrips de l'oignon (TO), *Thrips tabaci* Lind. (Thysanoptera : Thripidae) est un ravageur cosmopolite (CABI). Bien qu'il puisse s'attaquer à presque toutes les plantes cultivées, le TO endommage principalement les cultures d'oignons partout au Canada et se retrouve fréquemment sur l'ail ainsi que d'autres espèces de la famille des Alliacées. Ce thrips hiverne au Québec sur les mauvaises herbes et dans les serres. Il s'alimente en suçant la sève des tissus tendres causant de petites taches blanchâtres sur les feuilles et éventuellement le blanchiment complet des surfaces foliaires. De plus il peut être vecteur de maladies tels la maladie bronzée de la tomate (*Tomato Spotted Wilt Virus, TSWV*) et le *Tobacco Streak Virus* (Richard et Boivin, 1994; Doucet, 2017, IRIIS).



### État de la résistance au niveau mondial :

Dans plusieurs pays, des populations de TO ont été confirmées comme résistantes à plusieurs matières actives réparties dans les familles suivantes : les carbamates (1A), les organophosphorés (1B), les cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A), les pyréthriinoïdes et pyréthrines (3A), les diphényléthanes (3B), les néonicotinoïdes (4A), les spinosynes (5) et les avermectines et milbémycines (6) (tableau 21).

### État de la résistance au Canada :

En Ontario, des populations de TO ont été confirmées comme résistantes au diazinon (organophosphorés, 1B), à l'aldrin<sup>†</sup> et au dieldrin<sup>†</sup> (cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes, 2A), à la  $\delta$ -méthrine et la  $\lambda$ -cyhalothrine (pyréthriinoïdes et pyréthrines, 3A) et au DDT<sup>†</sup> (diphényléthanes, 3B) (tableau 21).

### État des connaissances au Québec :

Le soupçon de résistance au Québec concerne les pyréthriinoïdes. Bien qu'aucune étude n'ait démontré ce cas de résistance au Québec, une attention particulière doit être portée puisqu'en Ontario, MacIntyre Allen et al. (2005) ont détecté des populations de thrips de l'oignon résistantes à cette famille d'insecticides.

### Méthodes de détection de la résistance :

Trois méthodes de détection de la résistance par bioessais ont été documentées chez le TO (tableau 23). La première méthode, décrite par Broadbent et Pree (1997), consiste à exposer des adultes ou des immatures à une surface traitée avec un insecticide afin de déterminer la susceptibilité au diazinon (organophosphorés, 1B) et à deux pyréthriinoïdes (3A) de différentes populations en provenance de l'Ontario, Canada (MacIntyre Allen et al., 2005). La seconde méthode, décrite par Herron et al. (2006), consiste à pulvériser l'insecticide sur des feuilles (plantes hôtes) contenant des adultes à l'aide d'une tour de Potter afin de déterminer la susceptibilité à trois (organophosphorés, 1B) et à deux pyréthriinoïdes (3A) de différentes populations en provenance de l'Australie (Herron et al., 2008). La troisième méthode, décrite par Kontsedalov et al. (1998), consiste à exposer des adultes à des feuilles trempées préalablement dans de l'insecticide afin de déterminer la susceptibilité au spinosad (spinosynes, 5), au benzoate d'emamectine<sup>†</sup> (avermectines et milbémycines, 6) et au carbosulfan<sup>†</sup> (carbamates, 1A) de différentes populations en provenance d'Israël (Lebedev et al., 2013).

## Thrips des fleurs

Le thrips des fleurs (TF), *Frankliniella tritici* (Fitch) (Thysanoptera : Thripidae) d'une coloration entre le jaune et le brun dépendamment de sa localisation est un ravageur originaire de l'est de l'Amérique du Nord que l'on retrouve aussi dans les Caraïbes, en Asie et en Europe (University of California, 2012). C'est un ravageur polyphage que l'on retrouve dans les cultures de roses, chrysanthèmes, asperges, seigle, soja, tomate et fraises.

Des échantillonnages au Québec, effectués en 2011, ont révélé

que 99% des thrips identifiés dans la fraise étaient des TF (Tellier, 2017). Ce ravageur se reproduit habituellement sur les fleurs, les feuilles et la femelle dépose ses oeufs sur le feuillage. La quantité d'oeufs dépend de la plante hôte et de la température. Les larves se nourrissent du feuillage de la plante hôte. Les dommages résultants engendrent la perte des pétales, des malformations, des cicatrices et du bronzage sur les fruits (Cluever et Smith, 2016).

### État de la résistance au niveau mondial :

De la résistance a été détectée uniquement en Californie à deux cyclodiène chlorés et polychlorocycloalcanes (2A), l'aldrin+ et à la dieldrin+ (APRD) (tableau 21).

### État des connaissances au Québec :

Le soupçon de résistante au Québec vise la culture des fraises (Fortin et al., 2012; Tellier, comm. Pers.). Cependant aucun des produits homologués actuellement n'a été mentionné pour des cas de résistance du TF dans le monde.

### Méthodes de détection de la résistance :

Il existe très peu d'articles scientifiques documentant la résistance aux insecticides chez le TF. Il n'existe donc pas de protocole validé permettant d'évaluer la résistance de cette espèce. Toutefois, l'IRAC propose deux méthodes de détection de la résistance pour un thrips du genre *Frankliniella*. Ces méthodes sont validées entre autres pour le thrips des petits fruits (tableau 23). Bien qu'il soit intéressant de s'inspirer de ces méthodes proposées par l'IRAC, il faut demeurer critique quant aux résultats qui pourraient être obtenus, puisqu'elles n'ont jamais encore été utilisées pour détecter de la résistance chez le TF.



Tableau 23 : Liste des insectes et acariens dont les protocoles de détections de la résistance sont à adapter

Noms	Stades et espèces visés	Types de Bioessais	Familles d'insecticides visées	Numéro du protocole IRAC	Références
Fausse arpeuteuse du chou	Larves stade 3	Résiduel par immersion de feuilles	Carbamates (1A)	n.d	Wilkinson et al., 1983
	Néonates et Larves stade 5	Ingestion de diète artificielle contaminée	<i>Bacillus thuringiensis</i> (11)	n.d	Kain et al., 2004
Mouche de l'oignon	Larves de 4 jours	Contact par immersion	Organophosphorés (1B)	n.d	Zhao et al., 1995
	Adultes	Topique	Organophosphorés (1B)	n.d	Harris et al., 1962
	Adultes	Topique par pulvérisation	Organophosphorés (1B)	n.d	Owen et al., 2017
Mouche du chou	Larves de 4 jours <i>Delia antiqua</i>	Contact par immersion	Organophosphorés (1B)	n.d	Zhao et al., 1995
	Adultes <i>Delia antiqua</i>	Topique	Organophosphorés (1B)	n.d	Harris et al., 1962
	Adultes <i>Delia spp.</i>	Topique par pulvérisation	Organophosphorés (1B)	n.d	Owen et al., 2017
Mouche mineuse serpentine américaine	Larves	Contact par immersion de plants infestés	Carbamates (1A) Organophosphorés (1B) Spinosynes (5) Avermectines et milbémycines (6) Cyromazines (17)	n.d.	Broadbent et Pree, 1989 Cox et al., 1995 Ferguson, 2004 Leibee, 1988
	Adultes	Ingestion de diète sucrée contaminée	Avermectines et milbémycines (6)	n.d.	Cox et al., 1995
	Adultes	Topique	Organophosphorés (1B) Pyréthroïdes et pyréthrines (3A)	n.d.	Keil et al., 1985 Keil et Parrella, 1990
	Adultes	Résiduel	Pyréthroïdes et pyréthrines (3A)	n.d.	Mason et al., 1987
Punaise terne	Adultes	Résiduel	Organophosphorés (1B)	n.d.	Snodgrass, 1996b
	Larves Stade 3	Résiduel	Benzoylurées (15)	n.d.	Parys et al., 2016
	Larves Stade 3	Ingestion de diète artificielle contaminée	Benzoylurées (15)	n.d.	Parys et al., 2016
Tétranyque de McDaniel	Œufs : <i>Panonychus ulmi</i> , <i>Tetranychus urticae</i>	Contact par immersion de feuilles infestées	Clofentézine, diflovidazin, hexythiazox (10A)	Test Method 003	<a href="http://www.irac-online.org/methods/panonychus-ulmi-tetranychus-spp-eggs/">http://www.irac-online.org/methods/panonychus-ulmi-tetranychus-spp-eggs/</a>
	Adultes : <i>Panonychus citri</i> , <i>Panonychus ulmi</i> , <i>Tetranychus urticae</i>	Résiduel par immersion de feuilles	Carbamates (1A) Acaricides organostanniques (12B) Propargite (12C)	Test Method 004	<a href="http://www.irac-online.org/methods/panonychus-ulmi-tetranychus-species-adults/">http://www.irac-online.org/methods/panonychus-ulmi-tetranychus-species-adults/</a>
Thrips de l'oignon	Adultes et larves	Résiduel	Organophosphorés (1B) Pyréthroïdes et pyréthrines (3A)	n.d.	Broadbent et Pree, 1997
	Adultes	Topique par pulvérisation sur feuilles infestées	Organophosphorés (1B) Pyréthroïdes et pyréthrines (3A)	n.d.	Herron et al., 2006
	Adultes	Résiduel par immersion de feuilles	Carbamates (1A) Spinosynes (5)	n.d.	Kontsedalov et al., 1998

Noms	Stades et espèces visés	Types de Bioessais	Familles d'insecticides visées	Numéro du protocole IRAC	Références
<b>Thrips des fleurs</b>	Adultes : <i>Frankliniella occidentalis</i>	Résiduel par immersion de tissus végétaux	Avermectines et milbémycines (6) Carbamates (1A) Organophosphorés (1B) Cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A) Pyréthroïdes et pyréthrinés (3A) Spinosynes (5) Pyrroles, dinitrophénols, Sulfuramides (13)	Test Methode 010	<a href="http://www.irac-online.org/methods/frankliniella-occidentalis-adults/">http://www.irac-online.org/methods/frankliniella-occidentalis-adults/</a>
	Larves : <i>Frankliniella occidentalis</i>	Contact par immersion de tissus végétaux infestés	Benzoylurées (15)	Test Method 014	<a href="http://www.irac-online.org/methods/frankliniella-occidentalis-larvae/">http://www.irac-online.org/methods/frankliniella-occidentalis-larvae/</a>

n.d. = donnée non disponible.

## 2.2.3 Insectes et acariens dont les protocoles sont à développer

### Cécidomyie du chou-fleur

La cécidomyie du chou-fleur (CCF), *Contarinia nasturtii* (Kieffer) (Diptera : Cecidomyiidae) est un ravageur originaire d'Europe qui s'attaque aux crucifères. Cet insecte est aussi présent au Canada et aux États-Unis (ACIA, 2014). La larve de ce ravageur, présent au Québec depuis 2003, cause de plus en plus de dommages aux cultures (Roy, 2004; Lefebvre et Gagnon, 2017). Les dommages les plus importants sont sur les crucifères-feuilles et fleurs (chou de Bruxelles, chou frisé, chou pommé, chou-fleur, brocoli). Elle peut aussi s'attaquer au canola, à la moutarde et aux crucifères à racine tubéreuse (Labrie, 2017). Au Québec, trois à quatre générations se chevauchent durant la saison estivale. Elle survit aux hivers québécois et peut même rester en dormance dans le sol, sous forme de pupes, pendant plus de deux ans (Doucet, 2017; Labrie, 2017). La lutte contre la CCF est difficile, car l'adulte ne vit pas longtemps et les stades larvaires s'alimentent cachés près du point de croissance des plants (IRIIS).



#### État de la résistance aux insecticides :

En Ontario et dans l'état de New-York, Hallett et al. (2009), ont étudié la susceptibilité de ce ravageur à plusieurs matières actives. Les adultes étaient moins susceptibles à l'acétamipride (néonicotinoïdes, 4A). Bien que de la résistance puisse apparaître dans le cas d'une utilisation excessive de cette matière active, les auteurs rejettent l'idée du développement d'une résistance pour l'instant. La susceptibilité moindre de la CCF à l'acétamipride proviendrait probablement de l'abondance de population continue de ce ravageur dans les champs due aux générations qui s'enchaînent rapidement.

#### État des connaissances au Québec :

Un soupçon de résistance a été mentionné envers des matières actives parmi les familles des pyréthriinoïdes et pyréthrines (3A), néonicotinoïdes (4A) et les diamides (28) (Fortin et al., 2012; Labrie, Comm. Pers.). Cependant, rien dans la littérature ne permet d'appuyer ces soupçons, d'autant plus que les larves de ce ravageur sont difficilement atteignables par les traitements (tableau 21).

#### Méthodes de détection de la résistance :

Aucune publication traitant de la résistance de la CCF n'a été trouvée. Il n'existe pas de protocole validé permettant d'évaluer la résistance de cette espèce (tableau 24).

## Charançon de la carotte

Le charançon de la carotte (CC), *Listronotus oregonensis* (LeC.) (Coleoptera : Curculionidae) est une espèce indigène de l'Amérique du Nord (Richard et Boivin, 1994; Légaré, 2015). Il s'attaque principalement à la carotte, mais peut s'attaquer à de nombreuses apiacées dont le panais et le céleri-rave (Richard et Boivin, 1994). La larve, peut causer des dommages importants dans les régions du sud du Québec (Thériault, 2007), de l'Ontario (Stevenson et Chaput, 2016) et aux États-Unis (Van Dyk, 2017). Dans sa culture favorite, les femelles pondent au niveau des feuilles, près de la couronne de la carotte sur des plants au stade de développement de la 3<sup>e</sup> feuille (Doucet, 2017). Les larves vont ensuite creuser des cavités dans la carotte. Le CC hiverne au stade adulte dans les champs cultivés en carotte l'année précédente ou à proximité (Leblanc, 2004). Les interventions phytosanitaires visent particulièrement les adultes, car les larves sont inatteignables par les traitements.



### État de la résistance aux insecticides :

Une étude menée par Telfer (2017) semble indiquer un possible développement de résistance d'une population en Ontario au phosmet (organophosphorés, 1B). Dans cette même étude, il est fait mention que la population du Québec testée en comparaison était plus sensible au phosmet que la population ontarienne. À l'heure actuelle, le soupçon de résistance au Québec relaté par Fortin et al. (2012) n'est pas confirmé (tableau 21).

### Méthodes de détection de la résistance :

Une méthode de test d'efficacité a été décrite par Telfer (2017). Elle consiste à pulvériser l'insecticide sur les adultes de CC à l'aide d'une tour de Potter afin de déterminer leur susceptibilité au phosmet (organophosphorés, 1B), à la  $\lambda$ -cyhalotrine (pyréthronoïdes, 3A), aux spinosade et spinetoram (spinosynes, 5), à la clothianidine et l'imidaclopride (néonicotinoïdes, 4A) et aux chlorantraniliprole et cyantraniliprole (modulateurs du récepteur de la Ryanodine, 28) pour des populations d'Ontario (tableau 24).

## Chrysomèle rayée du concombre

La chrysomèle rayée du concombre (CRC), *Acalymma vittatum* (F.) (Coleoptera : Chrysomelidae) se retrouve aux États-Unis et au Canada (CABI). Ce ravageur, très répandu au Québec, est le plus nuisible aux cucurbitacées comme la citrouille, le concombre, les courges, la courgette (zucchini) et le melon brodé (Doucet, 2017). Alors que les adultes s'attaquent aux parties aériennes, les larves ravagent les racines et le collet des plants. En plus des dommages directs, ce ravageur est vecteur de la flétrissure bactérienne des cucurbitacées et possiblement du virus de la mosaïque de la courge (*Squash mosaic virus*, SqMV) (Richard et Boivin, 1994; Doucet, 2017).



### État de la résistance aux insecticides :

Aucune résistance aux insecticides n'a été trouvée pour ce ravageur à travers le monde (tableau 21). Cependant, MacIntyre Allen et al. (2002) ont observé le développement d'une tolérance à l'azinphos-méthyl<sup>†</sup> (organophosphorés, 1B) et à l'endosulfan<sup>†</sup> (cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes, 2A) pour une population d'Ontario. La cause de cette tolérance ne serait pas le développement d'une résistance, mais la faible persistance de l'insecticide foliaire. Au Québec un soupçon de résistance aux carbamates (1A) a été soulevé par Fortin et al. (2012). Une attention particulière devrait être portée concernant les organophosphorés (1B) actuellement homologués comme le malathion, même si aucune résistance n'a été relevée concernant cette famille d'insecticides (SAgE Pesticides).

### Méthodes de détection de la résistance :

Une méthode a été décrite par MacIntyre Allen et al. (2002). Elle consiste à pulvériser l'insecticide sur des adultes de CRC dans un plat de pétri à l'aide d'une tour de Potter afin de déterminer la susceptibilité à l'azinphos-méthyl<sup>†</sup> (organophosphorés, 1B) et à l'endosulfan<sup>†</sup> (cyclodiène chloré et polychlorocycloalcanes, 2A) de populations d'Ontario (tableau 24).

## Punaise de la courge

La punaise de la courge (PC), *Anasa tristis* (DeG.), (Hemiptera, Coreidae) est un ravageur présent partout en Amérique du Nord ainsi qu'au Brésil (CABI). C'est un ravageur de cucurbitacés s'attaquant particulièrement aux citrouilles, courges, concombres (serres et champs), courgette (zucchini) et melons (Alston et Barnhill, 2008). Sous nos latitudes la PC ne fait qu'une génération par année. Les œufs sont généralement pondus à l'endos des feuilles. On retrouve les larves de tous les stades au moment de la fructification. Les larves comme les adultes se nourrissent de la sève des feuilles et des tiges (Richard et Boivin, 1994; IRIIS). En plus des dommages dus aux piqûres de nutriments,



la PC peut être vectrice de la bactérie *Serratia marcescens*, cause de la maladie jaune des vignes (Capinera, 2017). Il est difficile de lutter contre ce ravageur à l'aide d'insecticides, car tous les stades se retrouvent souvent cachés dans la végétation. Ils sont donc difficiles à atteindre (Alston et Barnhill, 2008 ; Schellman, 2008). Le stade visé lors des applications d'insecticides doit être le premier stade larvaire (Richard et Boivin, 1994; Alston et Barnhill, 2008).

### État de la résistance aux insecticides :

Aucune résistance n'est connue en ce qui concerne la PC (tableau 21). Le soupçon de résistance au Québec vise une résistance au malathion (1B) et au carbaryl (1A) dans les cultures de courges (Fortin et al., 2012). Toutefois, la faible efficacité des insecticides et probablement due au comportement cryptique des stades sensibles (premier stade larvaire) qui les rend inatteignables par les traitements.

### Méthodes de détection de la résistance :

Aucune publication traitant de la résistance de la punaise de la courge n'a été trouvée.

## Tarsonème du fraisier

Le tarsonème du fraisier (TF), *Phytonemus pallidus* (Banks), (Acari : Tarsonemidae) est un ravageur cosmopolite (CABI). Il attaque principalement le fraisier et peut attaquer les poivrons, les tomates ainsi qu'une grande quantité de plantes ornementales (Lambert et al., 2007; Doucet, 2017). Le TF attaque le coeur du plant en suçant la sève des feuilles naissantes, ce qui résulte en des plants souffrant de nanisme et d'avortement des fleurs. La femelle hiverne dans la couronne des plants (Harnois et Lacroix, 2017). Il est très difficile de lutter contre ce ravageur à cause de son comportement cryptique, tous les stades du ravageur se retrouve dans le coeur des plants (University of Minnesota, 2015).



### État de la résistance aux insecticides :

Il n'y a pas de cas répertorié de résistance aux insecticides pour ce ravageur dans le monde. Au Québec, le soupçon de résistance de ce ravageur vise la culture de la fraise (Tellier, comm. Pers.) (tableau 21). Cependant aucune étude ne permet de confirmer ce soupçon. Il est possible que l'efficacité des insecticides et acaricides soit faible à cause du comportement cryptique de cet acarien qui le rend inatteignable par les traitements.

### Méthodes de détection de la résistance :

Aucune publication traitant de la résistance du TF n'a été trouvée.

**Tableau 24 : Liste des insectes et acariens dont les protocoles de détection de la résistance sont à développer**

Noms	Stades et espèces visés	Types de Bioessais	Familles d'insecticides visées	Numéro du protocole IRAC	Références
<b>Cécidomyie du chou fleur</b>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
<b>Charançon de la carotte</b>	Adulte	Topique par pulvérisation	Organophosphorés (1B) Pyréthriinoïdes et pyréthrinés (3A) Néonicotinoïdes (4A) Spinosynes (5) Modulateurs du récepteur de la Ryanodine (28)	n.d.	Telfer, 2017
<b>Chrysomèle rayée du concombre</b>	Adultes	Topique par pulvérisation	Organophosphorés (1B) Cyclodiène chloré et polychlorocycloalcanes (2A)	n.d.	MacIntyre Allen et al., 2002
<b>Punaise de la courge</b>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
<b>Tarsonème du fraisier</b>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

n.d. = donnée non disponible.

## 3 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

### 3.1 CONCLUSION

Cette revue de littérature met en lumière la problématique de la détection de la résistance des insectes et acariens aux produits antiparasitaires au Québec. En effet bien qu'il y ait une multitude de ravageurs dans toutes les cultures d'importance économique au Québec, il n'existe actuellement que quelques espèces d'insectes pour lesquels de la résistance a des produits antiparasitaires a été confirmée au Québec.

En 2012, Fortin et al. avaient listé trois espèces d'insectes dont des populations du Québec étaient confirmées comme résistantes et 15 espèces d'insectes et acariens ravageurs des cultures au Québec comme étant potentiellement résistantes ou sous surveillances. Les experts consultés lors de cette enquête avaient souligné particulièrement ces espèces à cause d'observations de mauvaise efficacité des pesticides appliqués au champ. Dans cette liste, certaines identifications incluaient des groupes d'insectes et d'acariens non identifié à l'espèce, notamment les pucerons, les tétranyques, les thrips et les mouches blanches. Après consultations d'experts des diverses cultures du Québec (section 6), nous avons identifié à l'espèce chacun des ravageurs puis, mis à jour les listes d'insectes résistants aux insecticides et d'arthropodes soupçonnés de résistance au Québec (section 7).

La liste d'insectes résistants au Québec a évolué en termes de nombre d'espèces et d'insecticides depuis l'enquête menée en 2012 par Fortin et al. De trois espèces, la liste est montée à quatre. En effet, bien que des populations du Québec du doryphore de la pomme de terre avaient fait l'objet de publications concernant leur résistance à plusieurs familles d'insecticides, ce ravageur n'avait pas été mentionné dans l'ouvrage de Fortin et al. (2012). Il faut cependant préciser que la plupart des matières actives citées dans les publications de 1981 et 1986 ne sont plus homologuées aujourd'hui au Canada pour lutter contre le doryphore de la pomme de terre (Harris et Svec, 1981; Harris et Turnbull, 1986). Plusieurs études récentes et en cours sur le doryphore de la pomme de terre au Canada, incluant le Québec, justifient sa présence dans la liste des insectes résistants puisqu'elles font état de résistance confirmée aux néonicotinoïdes (4A), spinosynes (5) et diamides (28) (Krolkowski et al., 2018; Scott et al., 2014; Scott et Lalin, non-publié). Tant qu'à la fausse-teigne des crucifères qui était listée comme étant une espèce dont des populations du Québec étaient confirmées comme résistantes au Matador (Fortin et al., 2012), un rapport de recherche a été retracé et nous permet de confirmer que des populations ont développé de la résistance à des carbamates (1A), organophosphorés (1B), cyclodiènes chlorés et polychlorocycloalcanes (2A), pyréthriinoïdes et pyréthrines (3A) et néonicotinoïdes (4A) (Boisclair et al., 2001). Enfin, concernant le carpocapse de la pomme, de la résistance au Guthion (organophosphorés, 1B) avait été confirmée en Montérégie. Depuis l'étude de Fortin et al. (2012), pour ce ravageur, deux insecticides se sont ajoutés à la liste (un néonicotinoïde, 4A et un diacylhydrazines, 18) en Montérégie et dans les Laurentides.

Le doryphore de la pomme de terre et la fausse-teigne des crucifères font partie des arthropodes les plus résistants en agriculture au niveau mondial (tableau 1) (Sparks et Nauen, 2015). Selon la FAO (2013) « Bien que ces espèces ne soient pas nécessairement résistantes à tous les insecticides ou à toutes leurs gammes, elles demandent une attention particulière. Si l'une d'elles devient un ravageur cible, il est décisif de mettre au point

un plan de gestion de la résistance comprenant le plus possible de bonnes pratiques de gestion intégrée, avant d'entreprendre un traitement quelconque, avec un insecticide existant ou nouveau ». La problématique est différente pour ces deux espèces, car l'une est migrante, la fausse-teigne des crucifères, et l'autre, le doryphore de la pomme de terre, est résidente. Dans le premier cas, la résistance sera reliée aux pratiques de lutte de la région d'origine aux États-Unis, une situation incontrôlable pour les producteurs québécois, alors que dans l'autre cas, elle sera reliée aux pratiques des producteurs québécois, une situation contrôlable.

La liste des espèces soupçonnées de résistance de Fortin et al. (2012) a été enrichie de six nouvelles espèces. À ce jour, des soupçons de résistance, basés sur des observations de sous performances de pesticides au champ, concernent maintenant 21 espèces de ravageurs. Parmi ces ravageurs, on dénombre quatre espèces d'acariens (dont trois tétranyques) et 17 espèces d'insectes (dont deux espèces d'aleurodes, une de puceron et trois de thrips). Bien qu'il existe plusieurs facteurs autres que la résistance pouvant expliquer la sous-performance des pesticides (couverture, dosage, mauvaise identification du ravageur, mauvaise condition climatique, période et synchronisme des applications, etc.), les observations des chercheurs, agronomes et agriculteurs à travers la surveillance dans le temps et dans l'espace, permettent de mettre l'emphase sur certains ravageurs plus que d'autres. Enfin, la révision de cette liste a permis de documenter scientifiquement la résistance et les soupçons de résistances des espèces nommées.

## 3.2 RECOMMANDATION

### 3.2.1 Insectes résistants

La résistance pour quatre espèces d'insectes ravageurs au Québec, soient le carpocapse de la pomme, le doryphore de la pomme de terre, la fausse-teigne des crucifères et la tordeuse à bandes obliques, est documentée par des publications scientifiques et vulgarisées et dont les résultats sont disponibles. Les méthodes de détection sont également publiées et elles ont été validées par l'IRAC. Pour ces populations d'insectes ayant développé de la résistance, les risques d'appliquer des insecticides inutilement sont grands, d'autant plus que les phénomènes de résistance croisée ne sont pas marginaux et qu'ils ont été observés chez ces quatre espèces. Il serait donc important de :

- A. Développer un service de diagnostic de la résistance pour ces quatre espèces afin d'aider les producteurs dans la gestion locale de leurs populations puisque la résistance peut varier d'une ferme à l'autre. Ce genre de service est actuellement offert pour certaines maladies par le Prisme et pour les mauvaises herbes par le CEROM. Pour les insectes, il serait donc opportun de suivre le même schéma d'offre de service.

Pour cela, il faudrait :

1. Identifier un organisme à même d'offrir le service de détection par bioessais (appel d'offres);
2. S'assurer d'avoir une méthode d'élevage en laboratoire pour ces quatre espèces (développement de projets pour les procédures non disponibles);
3. Développer la courbe dose-réponse aux principaux produits actuellement les plus à risque ou connus pour favoriser la résistance (développement de projets pour les courbes non disponibles);

4. Développer des méthodes de détection plus rapides (biochimiques et/ou moléculaires) afin de caractériser la résistance au Québec pour ces quatre espèces (développement de projets);
  5. Cartographier la résistance au Québec pour ces quatre espèces pour mieux guider les producteurs de chaque région lors de la lutte à ces ravageurs (développement de projets).
- B. Mettre à jour les documents existants et créer les documents manquants pour les intervenants du milieu et les producteurs afin que les phénomènes de la résistance soient mieux connus pour ces quatre espèces.
1. Réaliser une fiche sur la résistance pour chacun des quatre insectes, pour la diffuser au niveau des RAP et des producteurs. Ces fiches vulgarisées pourraient indiquer l'information actuelle sur les cas de résistance, et les insecticides à éviter compte tenu de l'existence de populations résistantes à ces produits. Distribuer ces fiches directement aux producteurs et les mettre à jour annuellement ou au besoin (Projets de transfert).
  2. Inclure dans les documents de recommandation des produits phytosanitaires (SAgE Pesticides, affiches PFI, guide des traitements, bulletins du RAP) des identifiants de risque de développement de la résistance. Par exemple, dans SAgE Pesticides, sous l'onglet « Traitements possibles pour la culture », on pourrait rajouter un commentaire de risque de développement de la résistance, principalement pour les insecticides où la résistance croisée est documentée (Communications avec chacun des secteurs horticoles).

### 3.2.2 Insectes et acariens soupçonnés de résistance

Les insectes et acariens soupçonnés de résistance sont relativement nombreux. Il serait pour l'instant très difficile d'offrir un service de détection de la résistance pour toutes ces espèces. Afin de prioriser les services, il est possible de porter une attention particulière sur certaines espèces plus que sur d'autres en fonction de critères de rejet ou de sélection.

#### Critères de rejet :

- Les espèces migratrices, car elles peuvent venir de différentes régions de l'Amérique du Nord, ayant des populations résistantes spécifiques à chaque région. Il serait alors fastidieux de diagnostiquer la résistance à plusieurs insecticides et le diagnostic doit alors être réalisé annuellement. Citons en exemple, la fausse-arpenreuse du chou qui provient annuellement du sud des États-Unis.
- Les insectes et acariens dont certains stades difficiles à maintenir en élevage en laboratoire ou qui nécessitent une diapause obligatoire vont difficilement pouvoir faire l'objet de bioessais. C'est le cas des altises, de la mouche mineuse serpentine américaine, de la race univoltine de la pyrale du maïs et du tétranyque rouge.
- Les espèces dont le comportement cryptique favorise l'évitement des insecticides sont soupçonnées de résistance alors que leur comportement et les limites des techniques de pulvérisation semblent être à l'origine de ces soupçons. Mentionnons la cécidomyie du chou-fleur, la punaise de la courge et le tarsonème du fraisier.
- Les espèces dont les méthodes alternatives sont largement utilisées et nécessitent moins d'application de pesticides, sont moins prioritaires que ceux dont les méthodes alternatives sont moins

utilisées/disponibles : la mouche de l'oignon fait l'objet de méthode de lâchers de mâles stériles qui diminue l'utilisation de produits phytosanitaires.

- Les espèces pour lesquelles les cas de résistances dans le monde sont peu documentés comme le puceron de la digitale, la chrysomèle rayée du concombre, le thrips des fleurs et le charançon de la carotte.
- Les espèces considérées comme des ravageurs secondaires.
- Les insectes et les acariens pour lesquels on soupçonne de la résistance à un groupe chimique et pour lequel la résistance à ce groupe chimique n'est pas documentée ailleurs dans le monde.

#### Critères de sélection :

- Les **espèces résidentes au Québec** (non migratrices);
- Les espèces dont la distribution géographique des populations est en **expansion**;
- Les insectes et acariens considérés comme **ravageurs principaux** très problématiques qui nécessitent plusieurs applications phytosanitaires dans une même saison de production;
- Les espèces qui **s'élèvent facilement en laboratoire**;
- Les espèces pour lesquels **peu de méthodes de lutte alternatives** sont utilisées ou connues.

#### Suite à ces considérations, plusieurs insectes et acariens sont à surveiller de très près :

- Aleurode des serres;
- Aleurode du tabac;
- Mouche du chou;
- Pyrale du maïs (race bivoltine);
- Punaise terne;
- Tétranyque à deux points;
- Tétranyque McDaniel;
- Thrips de l'oignon;
- Thrips des petits fruits.

Afin de connaître le niveau de résistance des insectes et acariens listés ici haut aux insecticides les plus utilisés au Québec et de déterminer les courbes de dose-réponse, il serait important de mettre à jour ou de développer, d'une part des méthodes d'élevage pour ces espèces et d'autre part, des protocoles pour la détection de la résistance (bioessais, biochimique et génétique). Pour ces ravageurs, il serait aussi important de développer de la documentation pour conscientiser les différents secteurs horticoles au risque soupçonné et au risque de développement de la résistance. La documentation devra rejoindre les producteurs directement et se présenter sous forme de support vulgarisé et facilement consultable (pamphlet, fiche synthèse, capsule vidéo, etc.).

## 4 RÉFÉRENCES

- ACIA (Agence canadienne de l'inspection des aliments). 2014. *Contarinia nasturtii* (Cécidomyie du chou-fleur-Fiche de renseignement. Consulté en mai 2018 à l'adresse <http://www.inspection.gc.ca/vegetaux/phytoravageurs-especes-envahissantes/insectes/cecidomyie-du-chou-fleur/fiche-de-renseignements/fra/1326212430732/1326212527789>
- Ahmad, M., Hollingworth, R.M. et Wise, J.C. 2002. Broad-spectrum insecticide resistance in obliquebanded leafroller *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae) from Michigan. *Pest Management Science*. 58: 834–838. <https://doi.org/10.1002/ps.531>
- Ahmad, M. et Hollingworth, R.M. 2004. Synergism of insecticides provides evidence of metabolic mechanisms of resistance in the obliquebanded leafroller *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Pest Management Science*. 60: 465–473. <https://doi.org/10.1002/ps.829>
- Alston, D. et Barnhill, J. 2008. Squash Bug (*Anasa tristis*). Utah Pests fact sheet ENT-120-08, 6. Consulté en mai 2018 à l'adresse <https://extension.usu.edu/files/publications/factsheet/ENT-120-08.pdf>
- Alyokhin, A., Dively, G., Patterson, M., Castaldo, C., Rogers, D., Mahoney, M. et Wollam, J. 2007. Resistance and cross-resistance to imidacloprid and thiamethoxam in the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata*. *Pest Management Science*. 63: 32–41. <https://doi.org/10.1002/ps.1305>
- Alyokhin, A., Baker, M., Mota-Sanchez, D., Dively, G. et Grafius, E. 2008. Colorado potato beetle resistance to insecticides. *American Journal of Potato Research*. 85: 395–413. <https://doi.org/10.1007/s12230-008-9052-0>
- Alyokhin, A.V. et Ferro, D.N. 1999. Relative fitness of Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) resistant and susceptible to the *Bacillus thuringiensis* Cry3A toxin. *Journal of Economic Entomology*. 92: 510–515.
- Argentine, J.A., Zhu, K.Y., Lee, S.H. et Clark, J.M. 1994. Biochemical mechanisms of azinphosmethyl resistance in isogenic strains of Colorado potato beetle. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 48: 63–78. <https://doi.org/10.1006/pest.1994.1008>
- Argentine, J.A., Clark, J.M. et Ferro, D.N. 1989. Relative fitness of insecticide-resistant Colorado potato beetle strains (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environmental Entomology*. 18: 705–710.
- ARLA. 1999. Étiquetage en vue de la gestion de la résistance aux pesticides, compte tenu du site ou du mode d'action des pesticides. La résistance aux pesticides: mécanismes et prévention (Directive d'homologation No. DIR99- 06). Division de la gestion des demandes d'homologation et de l'information, Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire. Consulté en mai 2018 à l'adresse <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/securete-produits-consommation/rapports-publications/pesticides-lutte-antiparasitaire/politiques-lignes-directrices/directive-homologation/1999/etiquetage-gestion-resistance-pesticides-compte-tenu-site-mode-action-pesticides-dir99-06.html>
- Asser-Kaiser, S., Fritsch, E., Undorf-Spahn, K., Kienzle, J., Eberle, K.E., Gund, N.A., Reineke, A., Zebitz, C.P.W., Heckel, D.G., Huber, J. et Jehle, J.A. 2007. Rapid emergence of baculovirus resistance in codling moth due to dominant, sex-linked inheritance. *Science*. 317: 1916–1918. <https://doi.org/10.1126/science.1146542>

Beers, E.H., Riedl, H. et Dunley, J.E. 1998. Resistance to abamectin and reversion to susceptibility to fenbutatin oxide in spider mite (Acari: Tetranychidae) populations in the pacific northwest. *Journal of Economic Entomology*. 91(2): 352–360.

Beers, E. H., Hoyt, S. C., Willett et M. J. 1993. Apple aphid and spirea aphid. Consulté en mai 2018 à l'adresse : <http://jenny.tfrec.wsu.edu/opm/displayspecies.php?pn=380>

Bi, J.L. et Toscano, N.C. 2007. Current status of the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, susceptibility to neonicotinoid and conventional insecticides on strawberries in southern California. *Pest Management Science*. 63: 747–752. <https://doi.org/10.1002/ps.1405>

Bielza, P., Quinto, V., Contreras, J., Torné, M., Martín, A. et Espinosa, P.J. 2007. Resistance to spinosad in the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande), in greenhouses of south-eastern Spain. *Pest Management Science*. 63: 682–687. <https://doi.org/10.1002/ps.1388>

Blancard, D. et Ryckewaert, P. 2017. *Bemisia tabaci*, *Trialeurodes vaporariorum* etc, Aleurodes ou mouches blanches. Ephytia, n.d. Tropilég - Aleurodes. Consulté en mai 2018 à l'adresse : <http://ephytia.inra.fr/fr/C/23154/Tropileg-Aleurodes>

Boisclair, J., Carignan, S. et Hilton, S. 2001. Évaluation de la résistance de la fausse-teigne des crucifères et validation de tests en éprouvettes (No. 219). Programme sur la recherche appliquée en horticulture (PRAH). Fédération des producteurs maraîchers du Québec. 15 p.

Boisclair, J. et Hilton, S. 2002. La résistance aux insecticides chez la fausse-teigne des crucifères: Que savons-nous de plus depuis 1999? Présentation à la Semaine Horticole, Hôtel des Seigneurs, Saint-Hyacinthe, Qc, Canada.

Boivin, T., d'Hieres, C.C., Bouvier, J.C., Beslay, D. et Sauphanor, B. 2001. Pleiotropy of insecticide resistance in the codling moth, *Cydia pomonella*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 99: 381–386.

Bolland, H.R., Gutierrez, J. et Flechtmann C.H.W. 1998. World catalogue of spider mite family (Acari: Tetranychidae), Brill Publisher. 796 *Panonychus ulmi* (Koch, 1836). 140-143.

Bouvier, J.-C., Buès, R., Boivin, T., Boudinhon, L., Beslay, D. et Sauphanor, B. 2001. Deltamethrin resistance in the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae): Inheritance and number of genes involved. *Heredity*. 87: 456–462.

Broadbent, A.B. et Pree, D.J. 1989. Resistance to pyrazophos in the serpentine leafminer *Liriomyza trifolii* (burgess) (Diptera: agromyzidae) in ontario greenhouses. *The Canadian Entomologist*. 121: 47–53. <https://doi.org/10.4039/Ent12147-1>

Broadbent, A.B. et Pree, D.J. 1997. Resistance to insecticides in populations of *Frankliniella occidentalis* (pergande) (Thysanoptera: thripidae) from greenhouses in the niagara region of ontario. *The Canadian Entomologist*. 129: 907–913. <https://doi.org/10.4039/Ent129907-5>

Brødsgaard, H.F. 1994. Insecticide resistance in European and African strains of western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) tested in a new residue-on-glass test. *Journal of Economic Entomology*. 87: 1141–1146.

Cadavid-Restrepo, G., Sahaza, J. et Orduz, S. 2012. Treatment of an *Aedes aegypti* colony with the Cry11Aa toxin for 54 generations results in the development of resistance. Memórias do Instituto Oswaldo Cruz. 107: 74–79. <https://doi.org/10.1590/S0074-02762012000100010>

Capinera, J. 2017. Squash bug - *Anasa tristis* (DeGeer) (Insecta : Hemiptera : Coreidae). Featured Creatures-Entomology & Nematology IFAS. University of Florida. Consulté en mars 2018 à l'adresse : [http://entnemdept.ufl.edu/creatures/veg/leaf/squash\\_bug.htm](http://entnemdept.ufl.edu/creatures/veg/leaf/squash_bug.htm)

Carrier, A. et Chouffot, T. 2013. Attention à l'aleurode du tabac dans les légumes de serre. Réseau d'avertissement phytosanitaires. Culture en serres. Bulletin d'information No. 10. 8 p. <https://www.agrireseau.net/Rap/documents/a10cs13.pdf>

Carrière, Y., Deland, J.-P. et Roff, D.A., 1996. Obliquebanded leafroller (Lepidoptera: Tortricidae) resistance to insecticides: among-orchard variation and cross-resistance. Journal of Economic Entomology. 89: 577–582.

Carrière, Y., Deland, J.-P., Roff, D.A. et Vincent, C., 1994. Life-history costs associated with the evolution of insecticide resistance. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. 258: 35–40. <https://doi.org/10.1098/rspb.1994.0138>

Cécylre, A. et Lambert, L. 2006. Lutte contre les principaux ennemis du poinsettia. Réseau d'avertissements phytosanitaires. Cultures en serres. Bulletin d'information No. 14. 9 p. [https://www.agrireseau.net/Rap/documents/67555/bulletin-d\\_information-no-14-18-septembre-2006](https://www.agrireseau.net/Rap/documents/67555/bulletin-d_information-no-14-18-septembre-2006)

Chapman, R. K., et Pitre, H. N. 1963. Control of resistant cabbage maggots in Wisconsin. Proceedings of the North-Central Branch of the Entomological Society of America. 18: 52–53.

Charmillot P.J. et Pasquier D. 2002. Résistance du carpocapse *Cydia pomonella* aux insecticides: tests par application topique sur des larves diapausantes collectées en automne 2001. Revue suisse de viticulture, Arboriculture, Horticulture. 34 (4): 247–251.

Chouinard, G. et coll. 2014. Guide de référence en production fruitière intégrée à l'intention des producteurs de pommes du Québec. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement. Québec, Canada. <https://reseaupommier.irda.qc.ca/?p=10051>

Cichón, L.B., Soleño, J., Anguiano, O.L., Garrido, S.A.S. et Montagna, C.M. 2013. Evaluation of cytochrome P450 activity in field populations of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) resistant to azinphosmethyl, acetamiprid, and thiacloprid. Journal of Economic Entomology. 106: 939–944.

Clark, J.M., Lee, S.H., Kim, H.J., Yoon, K.S. et Zhang, A. 2001. DNA-based genotyping techniques for the detection of point mutations associated with insecticide resistance in Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata*. Pest Management Science. 57: 968–974. <https://doi.org/10.1002/ps.369>

Clements, J., Schoville, S., Peterson, N., Huseh, A.S., Lan, Q. et Groves, R.L. 2017. RNA interference of three up-regulated transcripts associated with insecticide resistance in an imidacloprid resistant population of *Leptinotarsa decemlineata*. Pesticide Biochemistry and Physiology. 135: 35–40. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2016.07.001>

- Cluever, J. D. et Smith, H. A. 2016. Eastern flower thrips. UF-IFAS Extension. <https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/IN/IN108900.pdf>
- Cox, D.L., Remick, M.D., Lasota, J.A. et Dybas, R.A. 1995. Toxicity of avermectins to *Liriomyza trifoui* (Diptera: Agromyzidae) larvae and adults. *Journal of Economic Entomology*. 88: 1415–1419.
- Crespo, A.L.B., Rodrigo-Simón, A., Siqueira, H.A.A., Pereira, E.J.G., Ferré, J. et Siegfried, B.D. 2011. Cross-resistance and mechanism of resistance to Cry1Ab toxin from *Bacillus thuringiensis* in a field-derived strain of European corn borer, *Ostrinia nubilalis*. *Journal of Invertebrate Pathology* 107(3): 185-192. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2011.04.007>.
- Davis, A.C. et Kuhr, R.J. 1974. Laboratory and field evaluation of methomyl's toxicity to the cabbage looper. *Journal of Economic Entomology*. 67: 681–682. <https://doi.org/10.1093/jee/67.5.681>
- Delisle, J. et Vincent, C. 2002. Modified pheromone communication associated with insecticidal resistance in the obliquebanded leafroller, *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Chemoecology* 12: 47–51.
- Dixon, W. N. 2015. Tarnished plant bug - *Lygus lineolaris*. Consulté en mai 2018 [http://entnemdept.ufl.edu/creatures/trees/tarnished\\_plant\\_bug.htm](http://entnemdept.ufl.edu/creatures/trees/tarnished_plant_bug.htm)
- Doucet, R. 2017. Les insectes d'intérêt agricole. Les éditions Berger. 500 p.
- Dunley, J.E., Brunner, J.F., Doerr, M.D. et Beers, E.H. 2006. Resistance and cross-resistance in populations of the leafrollers, *Choristoneura rosaceana* and *Pandemis pyrusana*, in Washington apples. *Journal of Insect Science*. 6: 14. [https://doi.org/10.1673/2006\\_06\\_14.1](https://doi.org/10.1673/2006_06_14.1)
- Duval, J. 1996. Les altises. <http://eap.mcgill.ca/agrobio/ab360-12.htm>
- Duval, B., Couture, I., Leblanc, C. et Légaré, J.-P. 2018. Pyrale du maïs. Réseau d'avertissements phytosanitaires. Maïs sucré. Fiche technique. 16 p.
- Elhag, E.A. et Horn, D.J. 1984. Laboratory selection of greenhouse whitefly for resistance to malathion. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 35: 21–26. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1984.tb03353.x>
- Eckenrode, C.J., Kain, W.C., Hessney, M.L., Furano, K. et Gangloff, J.L. 2000. Onion thrips resistance to warrior. Consulté en mars 2018 à l'adresse : <https://academic.oup.com/amt/article-abstract/26/1/L4/182914>
- Eziah, V.Y., Rose, H.A., Clift, A.D. et Mansfield, S. 2008. Susceptibility of four field populations of the diamondback moth *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae) to six insecticides in the Sydney region, New South Wales, Australia. *Australian Journal of Entomology*. 47: 355–360. <https://doi.org/10.1111/j.1440-6055.2008.00668.x>
- FAO. 2013. Code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides – Directives pour la prévention et la gestion de la résistance aux pesticides. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. 60p.

Feng, H.T., Huang, Y.J. et Hsu, J.C. 2000. Insecticide susceptibility of cabbage flea beetle (*Phyllotreta striolata* (Fab.)) in Taiwan. *Plant Protection Bulletin* (Taipei).42(1): 67-72.

Feng, Y.T., Wu, Q.J., Xu, B.Y., Wang, S.L., Chang, X.L., Xie, W. et Zhang, Y.J. 2009. Fitness costs and morphological change of laboratory-selected thiamethoxam resistance in the B-type Bemisia tabaci (Hemiptera: Aleyrodidae). *Journal of Applied Entomology*. 133: 466–472. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2009.01383.x>

Ferguson, J.S. 2004. Development and stability of insecticide resistance in the leafminer *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae) to cyromazine, abamectin, and spinosad. *Journal of Economic Entomology*. 97: 112–119. <http://www.bioone.org/doi/abs/10.1603/0022-0493-97.1.112>

Fortin, R., Bernier, D. et Bachand, D. 2012. Enquête sur la résistance des ennemis des cultures aux pesticides. Programme Cultivons l'avenir, CRAAQ. 40 p.

Fournier, V., Bonneau, P. et Telleir, S. 2016. Développement d'un outil de dépistage des insectes vecteurs de virus dans les fraisières. Rapport final - Programme Innov'Action Agroalimentaire - Cultivons l'avenir 2 No. IA214167. Université Laval.

Furlong, M.J., Wright, D.J. et Dosdall, L.M. 2013. Diamondback moth ecology and management: problems, progress, and prospects. *Annual Review of Entomology*. 58: 517–541. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153605>

Gong, Y., Wang, C., Yang, Y., Wu, S. et Wu, Y. 2010. Characterization of resistance to *Bacillus thuringiensis* toxin Cry1Ac in *Plutella xylostella* from China. *Journal of Invertebrate Pathology*. 104: 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2010.02.003>

Gorman, K., Devine, G., Bennison, J., Coussons, P., Punchedard, N. et Denholm, I. 2007. Report of resistance to the neonicotinoid insecticide imidacloprid in *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Pest Management Science*. 63: 555–558. <https://doi.org/10.1002/ps.1364>

Grafton-Cardwell, E.E., Ouyang, Y. et Salse, J. 1998. Insecticide resistance and esterase enzyme variation in the California red scale (Homoptera: Diaspididae). *Journal of Economic Entomology*. 91(4): 812–819.

Grigg-McGuffin, K., Scott, I.M., Bellerose, S., Chouinard, G., Cormier, D. et Scott-Dupree, C. 2015. Susceptibility in field populations of codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae), in Ontario and Quebec apple orchards to a selection of insecticides. *Pest management science*. 71: 234–242.

Hallet, H.R., Chen, M., Sears, M.K. et Shelton A.M. 2009. Insecticide management strategies for control of swede midge (Diptera: Cecidomyiidae) on cole crops. *Journal of Economic Entomology*. 102: 2241–2254. <http://dx.doi.org/10.1603/029.102.0629>

Harnois, M. et Lacroix, C. 2017. Tarsonème du fraisier. Réseau d'avertissements phytosanitaires. Petits fruits. Bulletin d'information No. 8. [https://www.agrireseau.net/documents/Document\\_95090.pdf](https://www.agrireseau.net/documents/Document_95090.pdf)

Harris, C.R., Manson, G.F. et Mazurek, J.H. 1962. Development of insecticidal resistance by soil insects in Canada. *Journal of Economic Entomology*. 55: 777–780.

Harris, C.R. et Svec, H.J. 1981. Colorado potato beetle resistance to carbofuran and several other insecticides in Quebec. *Journal of Economic Entomology*. 74: 421–424.

Harris, C.R. et Turnbull, S.A. 1986. Contact toxicity of some pyrethroids insecticides, alone and in combination with piperonyl butoxide, to insecticide-susceptible and pyrethroid-resistant strains of the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). *The Canadian Entomologist*. 118: 1173–1176.

Haubruge, É. et Amichot, M. 1998. Les mécanismes responsables de la résistance aux insecticides chez les insectes et les acariens. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*. 2(3): 161–174.

Herne, D.H.C. et Brown, A.W.A. 1969. Inheritance and biochemistry of OP-resistance in a New York strain of the two-spotted spider mite. *Journal of Economic Entomology*. 62: 205–209.

Herron, G.A., James, T.M., Rophail, J. et Mo, J. 2008. Australian populations of onion thrips, *Thrips tabaci* Lindeman (Thysanoptera: Thripidae), are resistant to some insecticides used for their control. *Australian Journal of Entomology*. 47: 361–364. <https://doi.org/10.1111/j.1440-6055.2008.00669.x>

Herron, G.A., Rophail, J. et James, T.M. 2006. A method to bioassay onion thrips, *Thrips tabaci* Lindeman (Thysanoptera: Thripidae) for pesticide response. *General and Applied Entomology: The Journal of the Entomological Society of New South Wales*. 35: 15–20.

Hoy, C.W. et Head, G. 1995. Correlation between behavioral and physiological responses to transgenic potatoes containing *Bacillus thuringiensis* delta-endotoxin in *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Economic Entomology*. 88: 480–486.

Huseth, A.S. et Groves, R.L. 2013. Effect of insecticide management history on emergence phenology and neonicotinoid resistance in *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Economic Entomology*. 106: 2491–2505. <https://doi.org/10.1603/EC13277>

HYPPZ. 2018. Aleurode des serres. <http://www7.inra.fr/hyppz/RAVAGEUR/3trivap.htm>

Immaraju, J.A., Paine T.D., Bethke J.A., Robb K.L. et Newman J.P. 1992. Western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) resistance to insecticides in coastal California greenhouses. *Journal of Economic Entomology*. 85(1): 9–14.

Immaraju, J.A. 1985. Insecticide resistance studies in the sweet potato whitefly, *Bemisia tabaci* Gennadius in the Imperial Valley, California. M. S. thesis, University of California. Riverside, 103 p.

İşci, M. et Ay, R. 2017. Determination of resistance and resistance mechanisms to thiacloprid in *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae) populations collected from apple orchards in Isparta Province, Turkey. *Crop Protection*. 91: 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.09.015>

- Jiang, W.-H., Wang, Z.-T., Xiong, M.-H., Lu, W.-P., Liu, P., Guo, W.-C. et Li, G.-Q. 2010. Insecticide resistance status of Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) adults in northern Xinjiang Uygur autonomous region. *Journal of Economic Entomology*. 103: 1365–1371. <https://doi.org/10.1603/EC10031>
- Jiang, W.-H., Guo, W.-C., Lu, W.-P., Shi, X.-Q., Xiong, M.-H., Wang, Z.-T. et Li, G.-Q. 2011. Target site insensitivity mutations in the AChE and LdVssc1 confer resistance to pyrethroids and carbamates in *Leptinotarsa decemlineata* in northern Xinjiang Uygur autonomous region. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 100: 74–81. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2011.02.008>
- Kain, W.C., Zhao, J.-Z., Janmaat, A.F., Myers, J., Shelton, A.M. et Wang, P. 2004. Inheritance of resistance to *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac toxin in a greenhouse-derived strain of cabbage looper (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*. 97: 2073–2078.
- Kaplanoglu, E., Chapman, P., Scott, I.M. et Donly, C. 2017. Overexpression of a cytochrome P450 and a UDP-glycosyltransferase is associated with imidacloprid resistance in the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*. *Scientific Reports* 7. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01961-4>
- Karatolos, N., Denholm, I., Williamson, M., Nauen, R. et Gorman, K. 2010. Incidence and characterisation of resistance to neonicotinoid insecticides and pymetrozine in the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Hemiptera: Aleyrodidae). *Pest Management Science*. 66: 1304–1307. <https://doi.org/10.1002/ps.2014>
- Keil, C.B., Parrella, M.P. et Morse, J.G. 1985. Method for monitoring and establishing baseline data for resistance to permethrin by *Liriomyza trifolii* (Burgess). *Journal of Economic Entomology*. 78: 419–422. <https://doi.org/10.1093/jee/78.2.419>
- Keil, C.B. et Parrella, M.P. 1990. Characterization of insecticide resistance in two colonies of *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae). *Journal of Economic Entomology*. 83: 18–26. <https://doi.org/10.1093/jee/83.1.18>
- Kim, H.J., Hawthorne, D.J., Peters, T., Dively, G.P. et Clark, J.M. 2005. Application of DNA-based genotyping techniques for the detection of kdr-like pyrethroid resistance in field populations of Colorado potato beetle. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 81: 85–96. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2004.10.002>
- Kim, H.J., Dunn, J.B., Yoon, K.S. et Clark, J.M. 2006. Target site insensitivity and mutational analysis of acetylcholinesterase from a carbofuran-resistant population of Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say). *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 84: 165–179.
- Knight, A.L. 2010. Cross-resistance between azinphos-methyl and acetamiprid in populations of codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae), from Washington State. *Pest Management Science*. 66: 865–874. <https://doi.org/10.1002/ps.1955>
- Kontsedalov, S., Weintraub, P.G., Horowitz, A.R. et Ishaaya, I. 1998. Effects of insecticides on immature and adult western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) in Israel. *Journal of Economic Entomology*. 91: 1067–1071. <https://doi.org/10.1093/jee/91.5.1067>

Krolikowski, S., Atienza, V., Daigurande, A., Skikos, R., Tran, T. et Scott, I.M. 2018. Determination of susceptibility to seven insecticides registered in Canada for the control of the Colorado potato beetle (CPB), *Leptinotarsa decemlineata* Say (Year End Report - Draft Version). Agriculture and Agri-Food Canada, London Research and Development Centre, London, Ontario. 12 p.

Labrie, G. et Voynaud, L. 2013. Guide des ravageurs de sol en grandes cultures. Centre de recherche sur les grains. Stratégie phytosanitaire québécoise en agriculture. Québec.

Labrie, G. 2017. Lutte intégrée contre les insectes ravageurs du canola au Québec. <http://docplayer.fr/64970769-Lutte-integree-contre-les-insectes-ravageurs-du-canola-au-quebec-par-genevieve-labrie-biologiste-entomologiste-ph-d-cerom.html>

Lacroix, C. 2016. Dépistage et contrôle des tétranyques dans les fraisières et les framboisières. Réseau d'avertissements phytosanitaires. Petits fruits. Bulletin d'information No. 3. [https://www.agrireseau.net/documents/Document\\_92286.pdf](https://www.agrireseau.net/documents/Document_92286.pdf)

Lambert, L., Carisse, O. et Vincent, C., 2007. Maladies, ravageurs, et organismes bénéfiques du fraisier, du framboisier et du bleuetier. Québec, Canada : Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. 344 p.

Lambert, L. 2007. Les pucerons : des bêtes de sève. Réseau d'avertissements phytosanitaires. Cultures en serres. Bulletin d'information No. 02. <https://www.agrireseau.net/Rap/documents/70687>

Lawson, D.S., Reissig, W.H. et Smith, C.M. 1997. Response of larval and adult obliquebanded leafroller (Lepidoptera: Tortricidae) to selected insecticides. Journal of economic entomology. 90: 1450–1457.

Lebedev, G., Abo-Moch, F., Gafni, G., Ben-Yakir, D. et Ghanim, M. 2013. High-level of resistance to spinosad, emamectin benzoate and carbosulfan in populations of *Thrips tabaci* collected in Israel. Pest Management Science. 69: 274–277. <https://doi.org/10.1002/ps.3385>

Leblanc, M. 2004. Avertissement No. 01. Réseau d'avertissements phytosanitaires. Carotte, céleri, laitue, oignon, poireau. <https://www.agrireseau.net/Rap/documents/a01tn04.pdf>

Lefebvre, I., Gagnon, M. et Myrand, V. 2017. Mouche du chou. Réseau d'avertissements phytosanitaires. Crucifères. Fiche technique. 7 p. <https://www.agrireseau.net/documents/95122/cruciferes-fiche-technique-mouche-du-chou>

Lefebvre, I. et Gagnon, M. 2017. Cécidomyie du Chou-fleur. Réseau d'avertissements phytosanitaires. Crucifères Fiche technique. [https://www.agrireseau.net/documents/Document\\_95555.pdf](https://www.agrireseau.net/documents/Document_95555.pdf)

Légaré, J.-P. 2015. L'entomologie au service de l'agriculture, Laboratoire de diagnostic en phytoprotection, MAPAQ. Déjeuner-conférence pour l'Ordre des agronomes du Québec. Saint-Nicolas. [https://www.agrireseau.net/documents/Document\\_89638.pdf](https://www.agrireseau.net/documents/Document_89638.pdf)

Légaré, J.-P. 2016. Une nouvelle mineuse dans l'oignon? Présentation aux journées horticoles de Saint-Rémi. [https://www.agrireseau.net/.../une-nouvelle-mineuse-dans-l\\_oignon](https://www.agrireseau.net/.../une-nouvelle-mineuse-dans-l-oignon)

- Leibee, G.L. 1988. Toxicity of Abamectin to *Liriomyza trifolii* (Burgess) (Diptera: Agromyzidae). *Journal of Economic Entomology*. 81: 738–740. <https://doi.org/10.1093/jee/81.2.738>
- Li, H., Oppert, B., Higgins, R.A., Huang, F., Buschman, L.L. et Zhu, K.Y. 2005. Susceptibility of dipel-resistant and susceptible *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae) to individual *Bacillus thuringiensis* protoxins. *Journal of Economic Entomology*. 98(4): 1333–1340.
- Liu, Y.-B., Tabashnik, B.E., Masson, L., Escriche, B. et Ferré, J. 2000. Binding and toxicity of *Bacillus thuringiensis* protein Cry1C to susceptible and resistant diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Economic Entomology*. 93: 1–6. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.1.1>
- Ma, W., Li, X., Dennehy, T., Lei, C., Wang, M., Degain, B., et Nichols, R. 2010. Pyriproxyfen resistance of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) biotype B: metabolic mechanism. *Journal of Economic Entomology*. 103: 158–165.
- MacIntyre Allen, J.K., Scott-Dupree, C.D., Tolman, J.H. et Ron Harris, C. 2005. Resistance of *Thrips tabaci* to pyrethroid and organophosphorus insecticides in Ontario, Canada. *Pest Management Science*. 61: 809–815. <https://doi.org/10.1002/ps.1068>
- Macintyre Allen, J.K., Tolman, J.H., Scott-Dupree, C.D., Hilton, S.A. et Harris, C.R. 2002. Contact toxicity of azynphosmethyl and endosulfan to field-collected striped cucumber beetle, *Acalymma vittatum* (F.). *Journal of Entomological Society of Ontario*. 133: 63–65.
- Madden, R. 2015. Chlorpyrifos Resistance in Cabbage Maggot (*Delia radicum*). Extension and Advisory Services Team. Perennia. 2 p.
- Mohan, M. et Gujar, G.T. 2003. Local variation in susceptibility of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Linnaeus) to insecticides and role of detoxification enzymes. *Crop Protection*. 22: 495–504.
- Malek Mohamadi, M., Mossadegh, M.S., Hejazi, M.J., Goodarzi, M.T., Khanjani, M. et Galehdari, H. 2010. Synergism of resistance to phosalone and comparison of kinetic properties of acetylcholinesterase from four field populations and a susceptible strain of Colorado potato beetle. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 98: 254–262. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2010.06.016>
- Malek Mohamadi, M. et Galehdari, H. 2016. Target site insensitivity mutations in the AChE enzyme confer resistance to organophosphorous insecticides in *Leptinotarsa decemlineata* (Say). *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 126: 85–91. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2015.08.002>
- Mason, G.A., Johnson, M.W. et Tabashnik, B.E. 1987. Susceptibility of *Liriomyza sativae* and *L. trifolii* (Diptera: Agromyzidae) to Permethrin and Fenvalerate. *Journal of Economic Entomology*. 80: 1262–1266. <https://doi.org/10.1093/jee/80.6.1262>
- McDonald, S. et Swailes, G.E. 1975. Dieldrin resistance in *Hylemya brassicae* (Diptera: Anthomyiidae) in Alberta. *The Canadian Entomologist*. 107(7): 729–734.

- Melander, A.L. 1914. Can insects become resistant to sprays? *Journal of Economic Entomology*. 7: 167–173.
- Mohammadi Sharif, M., Hejazi, M.J., Mohammadi, A. et Rashidi, M.R. 2007. Resistance status of the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*, to endosulfan in East Azarbaijan and Ardabil provinces of Iran. *Journal of Insect Science*. 7: 1–7. <https://doi.org/10.1673/031.007.3101>
- Mohammadi Sharif, M., Hejazi, M.J., Mohammadi, A. et Rashidi, M.R. 2008. Identification the molecular basis of resistance to endosulfan in resistant populations of Colorado potato beetle. In *Proceeding of 18th Iranian Plant Protection Congress*. 147.
- Moore, A., Tabashnik, B.E. et Stark, J.D. 1989. Leg autotomy: a novel mechanism of protection against insecticide poisoning in diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Economic Entomology*. 82(5): 1295–1298.
- Morris, R.F. 1963. Note on strains of the cabbage maggot, *Hylemya brassica* (Bouche) (Diptera: Anthomyiidae), resistant to chlorinated hydrocarbon insecticides in western Newfoundland. *Canadian Entomology*. 95: 81–82.
- Mota-Sanchez, D. 2002. Resistance and metabolism of imidacloprid in Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* Say (Coleoptera: Chrysomelidae). Doctoral dissertation, Michigan State University, Department of Entomology. 244 p.
- Mota-Sanchez, D., Hollingworth, R.M., Grafius, E.J. et Moyer, D.D. 2006. Resistance and cross-resistance to neonicotinoid insecticides and spinosad in the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae). *Pest Management Science*. 62: 30–37. <https://doi.org/10.1002/ps.1120>
- Mota-Sanchez, D., Wise, J.C., Poppen, R.V., Gut, L.J. et Hollingworth, R.M. 2008. Resistance of codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae), larvae in Michigan to insecticides with different modes of action and the impact on field residual activity. *Pest Management Science*. 64: 881–890. <https://doi.org/10.1002/ps.1576>
- Nault, B.A., Zhao, J.-Z., Straub, R.W., Nyrop, J.P. et Hessney, M.L. 2006. Onion maggot (Diptera: Anthomyiidae) resistance to chlorpyrifos in New York onion fields. *Journal of Economic Entomology*. 99: 1375–1380.
- Naveen, N.C., Chaubey, R., Kumar, D., Rebijith, K.B., Rajagopal, R., Subrahmanyam, B. et Subramanian, S. 2017. Insecticide resistance status in the whitefly, *Bemisia tabaci* genetic groups Asia-I, Asia-II-1 and Asia-II-7 on the Indian subcontinent. *Scientific Reports* 7, 40634. <https://doi.org/10.1038/srep40634>
- Niemczyk, H.D. 1965. Cabbage maggot (*Hylemya brassicae*) resistance to aldrin in Ontario. *Journal of Economic Entomology*. 58: 163–164.
- Olson, E.R., Dively, G.P. et Nelson, J.O. 2000. Baseline susceptibility to imidacloprid and cross resistance patterns in Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) populations. *Journal of Economic Entomology*. 93: 447–458. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.2.447>
- Omer, A.D., Johnson, M.W., Tabashnik, B.W. et Ullman, D.E. 1993. Association between insecticide use and greenhouse-whitefly (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood) resistance to insecticides in Hawaii. *Pesticide Science*. 37: 253–259.

- Osborne, L. 2016. *Bemisia* Biotype-Q or Biotype B ? UF-IFAS. <http://mrec.ifas.ufl.edu/iso/bemisia/bemisia.htm>
- Owen, J., Dixon, P., Scott, I., Vernon, B. et Hann, S. 2017. *Delia* species involved in cabbage maggot damage, and prevalence of chlorpyrifos resistance: Results from a Canada-wide survey. American Society fo Horticultural Science Annual Conference. Waikoloa Village, HI, USA. <https://ashs.confex.com/ashs/2017/webprogramarchives/Paper27174.html>
- Owen, J. 2015. Species survey and testing of resistance to chlorpyrifos in *Delia* species in brassica vegetable growing areas in Canada. Project Code PRR15-020. Agriculture et Agroalimentaire Canada. <http://www.agr.gc.ca/eng/?id=1433181083383>
- Parent, C. et Roy, M. 2013. Les altises dans la culture du canola : biologie, dépistage et stratégies d'intervention. Réseau d'avertissements phytosanitaires. Grandes cultures. Bulletin d'information No. 14.
- Parent, C. et Roy, M. 2015. Les altises dans la culture du canola : biologie, dépistage et stratégies d'intervention. Réseau d'avertissements phytosanitaires. Grandes cultures. Bulletin d'information No. 15.
- Parys, K.A., Snodgrass, G.L., Luttrell, R.G., Allen, K.C. et Little, N.S. 2016. Baseline susceptibility of *Lygus lineolaris* (Hemiptera: Miridae) to novaluron. Journal of Economic Entomology. 109: 339–344. <https://doi.org/10.1093/jee/tov318>
- Pearsall, I.A. 1997. Life history and population dynamics of western flower thrips, *Frankliniella Occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) in nectarine orchards in the dry central interior, British Columbia. Doctoral dissertation, University of British Columbia.
- Pereira, E.J.G., Lang, B.A., Storer, N.P. et Siegfried, B.D. 2008. Selection for Cry1F resistance in the European corn borer and cross-resistance to other Cry toxins. Entomologia Experimentalis et Applicata. 126: 115–121.
- Perring, T.M. 2001. The *Bemisia tabaci* species complex. Crop Protection. 20: 725–737. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(01\)00109-0](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(01)00109-0)
- Prabhaker, N., Coudriet, D.L. et Meyerdirk, D.E. 1985. Insecticide resistance in the sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). Journal of Economic Entomology. 78: 748–752. <https://doi.org/10.1093/jee/78.4.748>
- Qian, L., Cao, G., Song, J., Yin, Q. et Han, Z. 2008. Biochemical mechanisms conferring cross-resistance between tebufenozide and abamectin in *Plutella xylostella*. Pesticide Biochemistry and Physiology. 91: 175–179. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2008.03.011>
- R4P Network. 2016. Trends and Challenges in Pesticide Resistance Detection. Trends in Plant Science. 21: 834–853. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.06.006>
- Read, D.C. 1964. Chemical control of the cabbage root maggot integrated with natural controls. The Canadian Entomologist. 96: 136–137.

- Reissig, W.H., Stanley, B.H. et Hebding, H.E. 1986. Azinphosmethyl resistance and weight-related response of obliquebanded leafroller (Lepidoptera: Tortricidae) larvae to insecticides. *Journal of Economic Entomology*. 79: 329–333.
- Reissig, W.H. et Hull, L.A. 1991. Hexythiazox resistance in a field population of european red mite (Acari: Tetranychidae) on apples. *Journal of Economic Entomology*. 84: 727–735. <https://doi.org/10.1093/jee/84.3.727>
- Reyes, M., Franck, P., Olivares, J., Margaritopoulos, J., Knight, A. et Sauphanor, B. 2009. Worldwide variability of insecticide resistance mechanisms in the codling moth, *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae). *Bulletin of Entomological Research*. 99: 359. <https://doi.org/10.1017/S0007485308006366>
- Reyes, M., Pierre, F., Charmillot, P.J., Ioriatti, C., Olivares, J., Pasqualini, E. et Sauphanor, B. 2007. Diversity of insecticide resistance mechanisms and spectrum in european populations of the codling moth, *Cydia pomonella*. *Pest Management Science* 63(9): 890-902. <https://doi.org/10.1002/ps.1421>.
- Reyes, M., Collange, B., Rault, M., Casanelli, S. et Sauphanor, B. 2011. Combined detoxification mechanisms and target mutation fail to confer a high level of resistance to organophosphates in *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 99: 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2010.09.004>
- Reyes, M. et Sauphanor, B. 2008. Resistance monitoring in codling moth: a need for standardization. *Pest Management Science*. 64: 945–953. <https://doi.org/10.1002/ps.1588>
- Richard, C. et Boivin, G. 1994. Maladies et ravageurs des cultures légumières au Canada. Éd. La Société canadienne de phytopathologie et la Société d'entomologie du Canada. 590 p.
- Riedl, H., Seaman, A. et Henrie, F. 1985. Monitoring susceptibility to azinphosmethyl in field populations of the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) with pheromone traps. *Journal of Economic Entomology*. 78: 692–699.
- Rodríguez, M.A., Marques, T., Bosch, D. et Avilla, J. 2011. Assessment of insecticide resistance in eggs and neonate larvae of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology* 100(2): 151-159. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2011.03.003>.
- Rodríguez, M.A., Bosch, D. et Avilla, J. 2012. Azinphos-methyl and carbaryl resistance in adults of the codling moth (*Cydia pomonella* (L.), Lepidoptera: Tortricidae) from Northeastern Spain. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 103: 43–48. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2012.03.002>
- Roy, M. 2004. La cécidomyie du chou-fleur *Contarinia nasturtii* Kieffer (Diptera: Cecidomyiidae). Laboratoire de diagnostic en phytoprotection, DIST, MAPAQ. [https://www.agrireseau.net/agriculturebiologique/documents/Rapport final PSDAB 08-BIO-36.pdf](https://www.agrireseau.net/agriculturebiologique/documents/Rapport%20final%20PSDAB%2008-BIO-36.pdf)
- Sauphanor, B., Bouvier, J.-C. et Brosse, V. 1998. Spectrum of insecticide resistance in *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) in Southeastern France. *Journal of Economic Entomology*. 91: 1225–1231.
- Sauphanor, B. et Bouvier, J.C. 1995. Cross-resistance between benzoylureas and benzoylhydrazines in the codling moth, *Cydia pomonella* L. *Pesticide Science*. 45: 369–375. <https://doi.org/10.1002/ps.2780450412>

Sayed, A.H. et Crickmore, N. 2007. Selection of a field population of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) with acetamiprid maintains, but does not increase, cross-resistance to pyrethroids. *Journal of Economic Entomology*. 100: 932–938. [https://doi.org/10.1603/0022-0493\(2007\)100\[932:SOAFPO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0022-0493(2007)100[932:SOAFPO]2.0.CO;2)

Schellman, A. 2008. Squash bugs - integrated pest management for home gardeners and landscape professionals. [www.maine.gov/dacf/php/gotpests/bugs/factsheets/squash-bug-cal.pdf](http://www.maine.gov/dacf/php/gotpests/bugs/factsheets/squash-bug-cal.pdf)

Scott, I.M., Tolman, J.H. et MacArthur, D.C. 2014. Insecticide resistance and cross-resistance development in Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* Say (Coleoptera: Chrysomelidae) populations in Canada 2008–2011. *Pest Management Science*. 71: 712–721. <https://doi.org/10.1002/ps.3833>

Senécal, M. 2012. Poinsettia: Contrôle des mouches blanches. Réseau d'avertissements phytosanitaires. Cultures en serres- No. 11. <https://www.agrireseau.net/documents/83843/avertissement-no-11-26-juillet-2012>

Shelton, A.M., Wyman, J.A., Cushing, N.L., Apfelbeck, K., Dennehy, T., Mahr, S.E.R. et Eigenbrode, S.D. 1993. Insecticide resistance of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in North America. *Journal of Economic Entomology*. 86: 11–19.

Sial, A.A., Brunner, J.F. et Doerr, M.D. 2010. Susceptibility of *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae) to two new reduced-risk insecticides. *Journal of Economic Entomology*. 103: 140–146. <https://doi.org/10.1603/EC09238>

Sial, A.A., Brunner, J.F. et Garczynski, S.F. 2011. Biochemical characterization of chlorantraniliprole and spinetoram resistance in laboratory-selected obliquebanded leafroller, *Choristoneura rosaceana* (Harris) (Lepidoptera: Tortricidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 99: 274–279. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2011.01.006>

Sial, A.A. et Brunner, J.F. 2011. Selection for resistance, reversion towards susceptibility and synergism of chlorantraniliprole and spinetoram in obliquebanded leafroller, *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Pest Management Science*. 68: 462–468. <https://doi.org/10.1002/ps.2294>

Siegwart, M. 2018. Bio-agresseur résistant à des produits de protection des plantes (PPP) - Carpocapse des pommes et des poires (*Cydia pomonella*). Fichet technique. Réseau de Réflexion et de Recherches sur les Résistances aux pesticides. 1p.

<https://www.r4p-inra.fr/wp-content/uploads/2018/02/FicheR%C3%A9sistanceCARPPO-R4P.pdf>

Siegwart, M., Thibord, J.-B., Olivares, J., Hirn, C., Elias, J., Maugin, S. et Lavigne, C. 2017. Biochemical and molecular mechanisms associated with the resistance of the european corn borer (Lepidoptera: Crambidae) to lambda-cyhalothrin and first monitoring tool. *Journal of Economic Entomology*. 110: 598–606. <https://doi.org/10.1093/jee/tow267>

Siegwart, M., Graillet, B., Blachere Lopez, C., Besse, S., Bardin, M., Nicot, P.C. et Lopez-Ferber, M. 2015. Resistance to bio-insecticides or how to enhance their sustainability: a review. *Frontiers in Plant Science* 6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00381>

Siegwart, M., Thibord, J.B., Maugin, S., Doucet, R. et Flodrops, Y. 2012. Premier cas de résistance de la pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis*) à la lambda-cyhalothrine (pyréthrianoïde). *Phytoma* 658: 3. <http://www.phytoma-ldv.com/revue-1754-PHYTOMA-658>

Siegwart, M., Maugin, S., Thibord, J.-B., Doucet, R. et Flodrops, Y. 2014. Insecticides: La pyrale du maïs résiste aux pyréthrianoïdes. *Perspectives agricoles*. 408: 10–12.

Smirle, M.J., Thomas Lowery, D. et Zurowski, C.L. 2002. Resistance and cross-resistance to four insecticides in populations of obliquebanded leafroller (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Economic Entomology*. 95: 820–825. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-95.4.820>

Smirle, M.J., Vincent, C., Zurowski, C.L. et Rancourt, B. 1998. Azinphosmethyl resistance in the obliquebanded leafroller, *Choristoneura rosaceana*: reversion in the absence of selection and relationship to detoxication enzyme activity. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 61: 183–189. <https://doi.org/10.1006/pest.1998.2358>

Smith, H.A., et Nagle, C.A. 2014. Susceptibility of *Bemisia tabaci* to group 4 insecticides. Dans Ozores-Hampton, M. et Snodgrass (Éds.), *The Florida Tomato Proceedings*. Naples, Florida, USA. 59p.

Snodgrass, G.L. 1996a. Insecticide resistance in field populations of tarnished plant bug (Heteroptera: Miridae) in cotton in the mississippi delta. *Journal of Economic Entomology*. 89: 783–790.

Snodgrass, G.L. 1996b. Glass-vial bioassay to estimate insecticide resistance in adult tarnished plant bugs (Heteroptera: Miridae). *Journal of Economic Entomology*. 89: 1053–1059.

Snodgrass, G.L., Abel, C., Jackson, R. et Gore, J. 2008. Bioassay for determining resistance levels in tarnished plant bug 1 populations to neonicotinoid insecticides. *Southwestern Entomologist*. 33: 173–180. <https://doi.org/10.3958/0147-1724-33.3.173>

Snodgrass, G.L., Gore, J., Abel, C.A. et Jackson, R. 2009. Acephate resistance in populations of the tarnished plant bug (Heteroptera: Miridae) from the Mississippi River Delta. *Journal of Economic Entomology*. 102: 699–707.

Snodgrass, G.L. et Scott, W.P. 2000. Seasonal changes in pyrethroid resistance in tarnished plant bug (Heteroptera: Miridae) populations during a three-year period in the delta area of Arkansas, Louisiana, and Mississippi. *Journal of Economic Entomology*. 93: 441–446. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.2.441>

Soleño, J., Anguiano, L., de D'Angelo, A.P., Cichón, L., Fernández, D. et Montagna, C. 2008. Toxicological and biochemical response to azinphos-methyl in *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae) among orchards from the Argentinian Patagonia. *Pest Management Science*. 64: 964–970. <https://doi.org/10.1002/ps.1582>

Sonada, S. 2010. Molecular analysis of pyrethroid resistance conferred by target insensitivity and increased metabolic detoxification in *Plutella xylostella*. *Pest Management Science*. 66: 572-575. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ps.1918>

Sparks, T.C., Dripps, J.E., Watson, G.B. et Paroonagian, D. 2012. Resistance and cross-resistance to the spinosyns – A review and analysis. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 102: 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2011.11.004>

Sparks, T.C., Nauen, R. 2015. IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 121: 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.11.014>

Stankovic, S., Kostić, M., Sivcev, I., Jankovic, S., Kljajić, P., Goran, T. et Jevđović, R. 2012. Resistance of Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) to neonicotinoids, pyrethroids and nereistoxins in Serbia. *Romanian Biotechnological Letters*. 17: 7599–7609.

Stará, J. et Kocourek, F. 2007. Insecticidal resistance and cross-resistance in populations of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) in Central Europe. *Journal of Economic Entomology*. 100: 1587–1595. [https://doi.org/10.1603/0022-0493\(2007\)100\[1587:IRACIP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0022-0493(2007)100[1587:IRACIP]2.0.CO;2)

Stevenson, A.B., Chaput, J. 2016. Fiche technique- Les insectes ravageurs de la carotte. Ministère de l'agriculture, de l'alimentaire et des affaires rurales. MAAO. <http://www.omafr.gov.on.ca/french/crops/facts/93-078.htm#anchor844261>

Tabashnik, B.E., Liu, Y.-B., Malvar, T., Heckel, D.G., Masson, L., Ballester, V., Granero, F., Ménsua, J.L., Ferré, J. 1997. Global variation in the genetic and biochemical basis of diamondback moth resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 94: 12780–12785.

Tansey, J.A., Dossall, L.M., Keddie, B.A. et Sarfraz, R.M. 2008. Differences in *Phyllotreta cruciferae* and *Phyllotreta striolata* (Coleoptera: Chrysomelidae) responses to neonicotinoid seed treatments. *Journal of Economic Entomology*. 101: 159–167. [https://doi.org/10.1603/0022-0493\(2008\)101\[159:DIPCAP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0022-0493(2008)101[159:DIPCAP]2.0.CO;2)

Telfer, Z.D.S. 2017. An investigation of sustainable management of carrot weevil in the Holland marsh, Ontario. Thesis Presented to the University of Guelph. Guelph, Ontario, Canada. 126p.

Tellier, S. 2017. Le bronzage sur fraises associé aux thrips. Vol. 14. Bulletin d'information - Petits fruits. Réseau d'avertissements phytosanitaires. [https://www.agrireseau.net/documents/Document\\_95276.pdf](https://www.agrireseau.net/documents/Document_95276.pdf).

Thériault, L. 2007. Le charançon de la carotte. Réseau d'avertissements phytosanitaires. Carotte, céleri, laitue, oignon, poireau. Bulletin d'information permanent. <https://www.agrireseau.net/Rap/documents/bp01tn07.pdf>

Tousignant, É. 2018. Thrips des petits fruits et thrips de l'oignon. Réseau d'avertissements phytosanitaires. Cultures ornementales en serre. Fiche technique. 6 p. [https://www.agrireseau.net/documents/Document\\_97052.pdf](https://www.agrireseau.net/documents/Document_97052.pdf)

Tremblay, L., Pageau, D., Labrie, G. et Fédération de l'UPA du Saguenay–Lac-Saint-Jean. 2011. Gestion intégrée des insectes nuisibles dans la culture du canola au Québec. Jonquière, Québec: Fédération de l'U.P.A. du Saguenay–Lac-Saint-Jean. Consulté en décembre 2018 à l'adresse <https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/80951/gestion-integree-des-insectes-nuisibles-dans-la-culture-du-canola-au-quebec>

Trisyono, A. et Whalon, M.E. 1997. Fitness costs of resistance to *Bacillus thuringiensis* in Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Economic Entomology*. 90(2): 267–271.

University of Minnesota, 2015. Cyclamen Mite. <http://cues.cfans.umn.edu/old/Web/104CyclamenMite.pdf>

University of California, 2012. Thrips of California, *Frankliniella tritici*. [http://keys.lucidcentral.org/keys/v3/thrips\\_of\\_california/identify-thrips/key/california-thysanoptera-2012/Media/Html/browse\\_species/Frankliniella\\_tritici.htm](http://keys.lucidcentral.org/keys/v3/thrips_of_california/identify-thrips/key/california-thysanoptera-2012/Media/Html/browse_species/Frankliniella_tritici.htm)

University of Hertfordshire, 2007. The PPDB: Pesticide Properties Database. <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm>

Van Dyk, D. 2017. Mise à jour sur la lutte contre le charançon de la carotte. Ministère de l'agriculture, de l'alimentaire et des affaires rurales. MAAO. Consulté en janvier 2018 à l'adresse : <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/hort/news/hortmatt/2017/03hrt17a2.htm>

Van Leeuwen, T., Vontas, J., Tsagkarakou, A., Dermauw, W. et Tirry, L., 2010. Acaricide resistance mechanisms in the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* and other important acari: a review. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*. 40(8): 563–572.

Voudouris, C.C., Sauphanor, B., Franck, P., Reyes, M., Mamuris, Z., Tsitsipis, J.A. et Margaritopoulos, J.T. 2011. Insecticide resistance status of the codling moth *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) from Greece. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 100(3): 229–238. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2011.04.006>

Waldstein, D.E., Reissig, W.H., Scott, J.G. et Straub, R.W. 1999. Susceptibility of obliquebanded leafroller (Lepidoptera: Tortricidae) populations from commercial apple orchards and an unsprayed habitat in New York to tebufenozide. *Journal of Economic Entomology*. 92(6): 1251–1255.

Wang, Z.-H., Gong, Y.-J., Jin, G.-H., Li, B.-Y., Chen, J.-C., Kang, Z.-J., Zhu, L., Gao, Y.-L., Reitz, S. et Wei, S.-J. 2016. Field-evolved resistance to insecticides in the invasive western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) in China: Western flower thrips resistance to insecticides. *Pest Management Science*. 72: 1440–1444. <https://doi.org/10.1002/ps.4200>

Wang, P., Zhao, J.-Z., Rodrigo-Simón, A., Kain, W., Janmaat, A.F., Shelton, A. M., Ferré, J. et Myers, J. 2007. Mechanism of resistance to *Bacillus thuringiensis* toxin Cry1Ac in a greenhouse population of the cabbage looper, *Trichoplusia ni*. *Applied and Environmental Microbiology*. 73(4): 1199–1207. <https://doi.org/10.1128/AEM.01834-06>

Weires R. et Riedl, H. 1991. 5.3 Other tortricids on pome and stone fruits – 5.3.1 North America Species. Dans van der Geest L.P.S et Evenhuis H.H. (Éds), *Tortricid pests their biology, natural enemies and control*. Elsevier, Amsterdam, Pays-Bas. 808p.

Wilkinson, J.D., Bieber, K.D. et Hostetter, D.L. 1983. Resistance of cabbage looper *Trichoplusia ni* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) to methomyl in Missouri. *Journal of the Kansas Entomological Society*. 56(1): 59–61.

Yu, S.J. et Nguyen, S.N. 1992. Detection and biochemical characterization of insecticide resistance in the diamondback moth. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 44: 74–81. [https://doi.org/10.1016/0048-3575\(92\)90011-N](https://doi.org/10.1016/0048-3575(92)90011-N)

Zhang, S., Zhang, X., Shen, J., Mao, K., You, H. et Li, J. 2016. Susceptibility of field populations of the diamondback moth, *Plutella xylostella*, to a selection of insecticides in Central China. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 132: 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2016.01.007>

Zhang, X., Tiewisiri, K., Kain, W., Huang, L. et Wang, P. 2012. Resistance of *trichoplusia ni* to *Bacillus thuringiensis* toxin Cry1Ac is independent of alteration of the cadherin-like receptor for cry Toxins. *PLOS ONE* 7, e35991. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035991>

Zhao, G., Liu, W., Brown, J.M. et Knowles, C.O. 1995. Insecticide resistance in field and laboratory strains of western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae). *Journal of Economic Entomology*. 88: 1164–1170. <https://doi.org/10.1093/jee/88.5.1164>

Zichová, T., Kocourek, F., Salava, J., Nad'ová, K., Stará, J. 2010. Detection of organophosphate and pyrethroid resistance alleles in Czech *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae) populations by molecular methods. *Pest Management Science*. 66 : 853–860. <https://doi.org/10.1002/ps.1952>

## 5 GROUPES DE RECHERCHE, SITES DE RÉFÉRENCES

---

### *Arthropod Pesticide Resistance Database (APRD)*

Ce site web est un portail américain vers une base de données de rapports de résistance des arthropodes aux pesticides. Elle regroupe l'information pour la majorité des arthropodes que l'on retrouve partout dans le monde et pour lesquels de la résistance a été répertoriée depuis 1914.

L'information s'y retrouve classée de façon taxonomique pour les arthropodes par : Ordre (*Order*); Famille (*Family*); Genre (*Genus*); matière active (*Active Ingredient*); numéro de famille de pesticide (*MOA Abbr*); année de détection de la résistance (*Resistance Year*); année de publication (*Publication Year*) et pays (*Country*)

<https://www.pesticideresistance.org/search.php>

Contacts : [motasanc@msu.edu](mailto:motasanc@msu.edu), [wisejohn@msu.edu](mailto:wisejohn@msu.edu)

### *Centre for Agriculture and Biosciences International (CABI) – Invasive Species Compendium*

Le Centre pour l'agriculture et les biosciences internationales (CABI) – Compendium sur les espèces invasives est une base de données d'informations détaillées des espèces envahissantes menaçant les moyens de subsistance et l'environnement dans le monde. Elle relève de CABI qui est une organisation internationale sans but lucratif qui se donne comme mandat « d'améliorer la vie des gens dans le monde entier en fournissant des informations et en appliquant l'expertise scientifique pour résoudre les problèmes dans l'agriculture et l'environnement ».

<https://www.cabi.org/isc/search/?q=&types=7,19&sort=DateDesc>

### *Centre de la lutte antiparasitaire*

À partir de diverses installations de recherche agricole à l'échelle du Canada, les chercheurs d'Agriculture et agroalimentaire Canada (AAC) effectuent des essais au champ et recueillent des données sur les produits et les méthodes qui aideront les producteurs de cultures du Canada à protéger la quantité, la valeur et la qualité de leurs cultures.

Projet en lien avec la résistance aux insecticides : Relevé d'Espèces et évaluation de la résistance au chlorpyrifos des espèces de *Delia* dans les régions productrices de crucifères du genre *Brassica* au Canada

<http://www.agr.gc.ca/fra/?id=1433181083383>

<http://www.agr.gc.ca/fra/a-propos-de-nous/bureaux-et-emplacements/lutte-antiparasitaire-en-agriculture/centre-de-la-lutte-antiparasitaire/?id=1466083437376>

Contact: [pmc.cla.info@agr.gc.ca](mailto:pmc.cla.info@agr.gc.ca)

### *Insecticide Resistance Action Committee (IRAC)*

L'IRAC, fondée en 1984, est un regroupement de spécialistes de l'association industrielle CropLife. La mission de l'IRAC est de : faciliter la communication et l'éducation concernant les caractères de la résistance aux insecticides; promouvoir le développement et faciliter la mise en œuvre de stratégies de gestion de la résistance aux insecticides pour maintenir leur efficacité et soutenir l'agriculture durable et l'amélioration de la santé publique. L'IRAC est le comité créateur de la classification des pesticides selon leur mode d'action (MoA). Cette classification que l'on retrouve sur les étiquettes des insecticides et acaricides au Canada et dans plusieurs autres pays est à la base de la gestion de la résistance des arthropodes aux insecticides.

Informations pertinentes : État de la résistance aux insecticides pour 48 espèces d'insectes et acariens et 12 cultures d'importance économique dans le monde; Références pour la classification selon les MoA; Référence pour 34 méthodes approuvées de détections de la résistance.

<http://www.irac-online.org/>

Contact : [aporter.apa@gmail.com](mailto:aporter.apa@gmail.com)>

### *IRIS phytoprotection*

IRISS phytoprotection est une banque d'images et de connaissances sur les ennemis et les alliés des cultures ainsi que sur les symptômes causés par les problèmes non parasitaires affectant les plantes cultivées au Québec.

L'information rattachée aux images découle des connaissances acquises par l'équipe du Laboratoire d'expertise et de diagnostic en phytoprotection et des intervenants ayant fourni ces images. Les experts du Laboratoire d'expertise et de diagnostic en phytoprotection assurent la vérification des renseignements fournis avant leur diffusion. Le Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) gère et administre le site.

<https://www.iriisphytoprotection.qc.ca/>

Contact : [iriisphytoprotection@craaq.qc.ca](mailto:iriisphytoprotection@craaq.qc.ca)

### *Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)*

La **Division de la production végétale et de la protection des plantes (AGP)** de la FAO promeut une intensification durable de la production végétale. Cette division est à la base de la création du Code de conduite international sur la gestion des pesticides (CCIGP). Il constitue le cadre international concernant la gestion des pesticides, destiné à toutes les instances publiques et privées directement ou indirectement concernées par la production, la réglementation et la gestion des pesticides. Le nouveau CCIGP a été approuvé par la conférence de la FAO en juin 2013. De plus, la FAO publie et rend disponible les directives pour la prévention et la gestion de la résistance aux pesticides issues du Programme interorganisation pour une gestion rationnelle des produits chimiques (IOMC).

Informations pertinentes : Code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides;

[http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests\\_Pesticides/Code/code.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/Code/code.pdf)

Directives pour la prévention et la gestion de la résistance aux pesticides.

[http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests\\_Pesticides/Code/FAO\\_RMGM\\_FR.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/Code/FAO_RMGM_FR.pdf)

### *Pesticide Properties Database (PPDB)*

La PPDB a été développée par l'Agriculture and Environment Research Unit (AERU) de l'University of Hertfordshire au Royaume-Uni. C'est une base de données de référence pour les pesticides qui regroupe de l'information sur l'identité chimique, physico-chimique, santé humaine et d'écotoxicologie pour chaque matière active, qu'elle soit ancienne, récente ou obsolète.

<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm>

### *Réseau de Réflexion et de Recherches sur les Résistances aux Pesticides (R4P Network)*

Les R4P Network est un réseau de recherche français qui a pour objectifs : d'entretenir une expertise publique sur les produits de protection des plantes (PPP) et répondre aux sollicitations de la profession; de partager les connaissances et méthodologies sur la résistance aux PPP; de favoriser les transferts d'expertise bilatéraux entre recherche et profession; de favoriser une approche évolutive de l'étude de la résistance aux PPP pour pouvoir l'anticiper et la prédire ainsi que de concentrer les forces disponibles en France sur la thématique des résistances aux PPP et élaborer des projets de recherche communs.

[http://www.spe.inra.fr/Le-departement/reseaux-scientifiques/reseau-r4p/\(key\)/8](http://www.spe.inra.fr/Le-departement/reseaux-scientifiques/reseau-r4p/(key)/8)

<https://www.r4p-inra.fr/fr/home/>

Contacts : [anne-sophie.walker@versailles.inra.fr](mailto:anne-sophie.walker@versailles.inra.fr), [myriam.siegwart@avignon.inra.fr](mailto:myriam.siegwart@avignon.inra.fr)

### *SAGE Pesticides*

SAGE Pesticides est un outil d'information propulsé par le Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). Il rend accessible sur une même plateforme web l'information concernant les caractéristiques toxicologiques, écotoxicologiques et sur le devenir des pesticides dans l'environnement. Il permet de faire un choix éclairé parmi les produits de protection des cultures homologués au Canada en fonction de leurs toxicités potentielles pour la santé, leurs effets potentiels sur les organismes non ciblés et l'environnement et leurs modes d'actions et compatibilité avec les programmes de lutte intégrée.

<https://www.sagepesticides.qc.ca/>

Contact : [sagepesticides@craaq.qc.ca](mailto:sagepesticides@craaq.qc.ca)

### *Société d'entomologie du Canada (SEC)*

La Société d'entomologie du Canada/The Entomological Society of Canada (SEC/ESC) est l'organisation responsable de promouvoir, faciliter, communiquer et défendre les intérêts de la recherche et l'éducation sur les insectes et leurs apparentés, de faire le mentorat du développement des jeunes entomologistes, et mettra en valeur l'expertise entomologique du Canada nationalement et internationalement.

<http://esc-sec.ca/fr/>

## 6 LISTE DES PERSONNES CONSULTÉES

Nom	Fonction	Domaine d'expertise	Organisation	Ville	Site Web
Alan Porter	Coordonateur de l'IRAC	Résistance aux insecticides	IRAC		<a href="http://www.irc-online.org/alan-porter/">http://www.irc-online.org/alan-porter/</a>
Anne-Marie Fortier	Directrice scientifique adjointe	<i>Delia</i> sp.	Phytodata Inc.	Sherrington, QC, Canada	<a href="https://prisme.ca/a-propos/equipe/">https://prisme.ca/a-propos/equipe/</a>
Evelyne Barriault	Agronome, conseillère Vigne et vin	Viticulture et Pomiculture	MAPAQ	Saint-Jean-Sur-Richelieu, QC, Canada	<a href="https://www.agrireseau.net/rap/nous-joindre">https://www.agrireseau.net/rap/nous-joindre</a>
Brigitte Duval	Agronome, conseillère en maïs sucré	Grandes cultures et maïs sucré	MAPAQ	Nicolet, QC, Canada	<a href="https://www.agrireseau.net/rap/nous-joindre">https://www.agrireseau.net/rap/nous-joindre</a>
Bruno Gosselin	Coordonnateur du Réseau d'avertissements phytosanitaires	Phytoprotection	MAPAQ	Québec, QC, Canada	<a href="https://www.agrireseau.net/rap/nous-joindre">https://www.agrireseau.net/rap/nous-joindre</a>
Chandra Moffat	Chercheur	Pomme de terre/ Doryphore de la pomme de terre	AAC	Fredericton, NB, Canada	<a href="http://www.agr.gc.ca/eng/science-and-innovation/research-centres/atlantic-provinces/fredericton-research-and-development-centre/scientific-staff-and-expertise/moffat-chandra-phd/?id=1480606303273">http://www.agr.gc.ca/eng/science-and-innovation/research-centres/atlantic-provinces/fredericton-research-and-development-centre/scientific-staff-and-expertise/moffat-chandra-phd/?id=1480606303273</a>
Charles Vincent	Chercheur, agronome	Lutte intégrée/ Entomologie	AAC	Saint-Jean-Sur-Richelieu, QC, Canada	<a href="http://www.agr.gc.ca/fra/science-et-innovation/centres-de-recherche/quebec/centre-de-recherche-et-de-developpement-de-saint-jean-sur-richelieu/personnel-et-expertise-scientifiques/vincent-charles-ph-d-agronome/?id=1181924968727">http://www.agr.gc.ca/fra/science-et-innovation/centres-de-recherche/quebec/centre-de-recherche-et-de-developpement-de-saint-jean-sur-richelieu/personnel-et-expertise-scientifiques/vincent-charles-ph-d-agronome/?id=1181924968727</a>
Christian Lacroix	Agronome, conseiller en petits fruits	Petits fruits	MAPAQ	Sainte-Marie, QC, Canada	<a href="https://www.agrireseau.net/rap/nous-joindre">https://www.agrireseau.net/rap/nous-joindre</a>
Dominique Choquette	Agronome, conseillère aux entreprises d'arbres de Noël et petits fruits	Arbres de Noël et petits fruits	MAPAQ	Sherbrooke, QC, Canada	<a href="https://www.agrireseau.net/rap/nous-joindre">https://www.agrireseau.net/rap/nous-joindre</a>
Gaétan Racette	Technicien	Entomologie/ Acarologie	AAC	Saint-Jean-sur-Richelieu	<a href="http://www.goc411.ca/fr/10281/Gaetan-Racette">http://www.goc411.ca/fr/10281/Gaetan-Racette</a>
Geneviève Labrie	Chercheur	Grande culture/ Entomologie	CÉROM		
Gérald Chouinard	Chercheur entomologiste, agronome	Pomiculture/ Entomologie	IRDA	Saint-Bruno-de-Montarville, QC, Canada	<a href="https://www.irda.qc.ca/fr/equipe/gerald-chouinard/">https://www.irda.qc.ca/fr/equipe/gerald-chouinard/</a>
Isabelle Couture	Agronome, conseillère en Légumes de champ	Cultures maraîchères, courges	MAPAQ	Saint-Hyacinthe	<a href="https://www.agrireseau.net/rap/nous-joindre">https://www.agrireseau.net/rap/nous-joindre</a>

Nom	Fonction	Domaine d'expertise	Organisation	Ville	Site Web
Isabelle Fréchette	Agronomes, Coordonnatrice du RAP - Grandes Cultures	Grandes cultures	CÉROM	Saint-Mathieu- de-Beloeil, QC, Canada	<a href="http://cerom.qc.ca/organisation/notre-equipe/chercheurs.html">http://cerom.qc.ca/organisation/notre-equipe/chercheurs.html</a>
Isabelle Lefebvre	Professionnelle de recherche et Avertisseuse RAP	Crucifères	CIEL	L'assomption, QC, Canada	<a href="http://www.ciel-cvp.ca/joindre.html">http://www.ciel-cvp.ca/joindre.html</a>
Jade Savage	Professeur	<i>Delia</i> sp.	Université Bishop	Sherbrooke, QC, Canada	<a href="http://www.ubishops.ca/academic-programs/faculty-of-arts-and-science/natural-sciences-and-mathematics/biological-sciences/faculty/name/jade-savage/">http://www.ubishops.ca/academic-programs/faculty-of-arts-and-science/natural-sciences-and-mathematics/biological-sciences/faculty/name/jade-savage/</a>
Jean-Philippe Légaré	Entomologiste	Diagnostic et identification	Laboratoire d'expertise et de diagnostic en phytoprotection - MAPAQ	Québec, QC, Canada	<a href="https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Productions/Protectiondescultures/diagnostic/Pages/entomologiefiche.aspx">https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Productions/Protectiondescultures/diagnostic/Pages/entomologiefiche.aspx</a>
Jocelyne Lessard	Conseillère en serriculture	Serriculture	IQDHO	Saint-Jean-Sur- Richelieu, QC, Canada	<a href="http://www.iqdho.com/index.php/fr/equipe">http://www.iqdho.com/index.php/fr/equipe</a>
Josée Owen	Biologiste	Cultures maraîchères	AAC	Fredericton, NB, Canada	<a href="http://www.agr.gc.ca/eng/science-and-innovation/research-centres/atlantic-provinces/fredericton-research-and-development-centre/scientific-staff-and-expertise/owen-josee-msc/?id=1181853276551">http://www.agr.gc.ca/eng/science-and-innovation/research-centres/atlantic-provinces/fredericton-research-and-development-centre/scientific-staff-and-expertise/owen-josee-msc/?id=1181853276551</a>
Karine Bergeron	Agronome, conseillère en pomiculture et viticulture	Pomiculture et viticulture	MAPAQ	Sherbrooke, QC, Canada	<a href="https://www.agrireseau.net/rap/nous-joindre">https://www.agrireseau.net/rap/nous-joindre</a>
Karine Toulouse	Agente approbatrice de SAGe Pesticides	Phytoprotection	MAPAQ	Québec, QC, Canada	<a href="https://www.sagepesticides.qc.ca/">https://www.sagepesticides.qc.ca/</a>
Liette Lambert	Agronome, conseillère en petits fruits et serriculture maraîchère	Cultures maraîchères et petits fruits	MAPAQ	Sainte-Martin, QC, Canada	<a href="https://www.agrireseau.net/rap/nous-joindre">https://www.agrireseau.net/rap/nous-joindre</a>
Marie-Claude Lavoie	Documentaliste	Horticulture ornementale	IQDHO	Saint-Jean-Sur- Richelieu, QC, Canada	<a href="http://www.iqdho.com/index.php/fr/les-nouvelles-de-liqdho/16-francais/equipe/gestion-et-diffusion-des-connaissances/19-marie-claude-lavoie-bsc-bio-agr-documentaliste">http://www.iqdho.com/index.php/fr/les-nouvelles-de-liqdho/16-francais/equipe/gestion-et-diffusion-des-connaissances/19-marie-claude-lavoie-bsc-bio-agr-documentaliste</a>
Mario Leblanc	Agronome, conseiller en horticulture	Carotte et céleri, Laitue et chicorée, Oignon, ail et poireau	MAPAQ	Sainte-Martin, QC, Canada	<a href="https://www.agrireseau.net/rap/nous-joindre">https://www.agrireseau.net/rap/nous-joindre</a>
Mélissa Gagnon	Agronome, Co- avertisseuse du RAP Crucifères	Cultures légumières	MAPAQ	L'assomption, QC, Canada	<a href="https://www.agrireseau.net/rap/nous-joindre">https://www.agrireseau.net/rap/nous-joindre</a>

Nom	Fonction	Domaine d'expertise	Organisation	Ville	Site Web
Myriam Siegwart	Ingénieure	Résistance aux insecticides	INRA	Avignon, France	<a href="https://www6.paca.inra.fr/psh/Equipes-de-recherche/Equipe-3-Contrôle-Biologique-par-Conservation/Le-personnel-de-l-equipe-3/Myriam-Siegwart">https://www6.paca.inra.fr/psh/Equipes-de-recherche/Equipe-3-Contrôle-Biologique-par-Conservation/Le-personnel-de-l-equipe-3/Myriam-Siegwart</a>
Nicola Authier	Agronome, dta, conseiller en pépinière et en serre	Serriculture	IQDHO	Saint-Jean-Sur-Richelieu, QC, Canada	<a href="http://www.iqdho.com/index.php/fr/equipe">http://www.iqdho.com/index.php/fr/equipe</a>
Pierre Lafontaine	Directeur général		CIEL	L'assomption, QC, Canada	<a href="http://www.ciel-cvp.ca/joindre.html">http://www.ciel-cvp.ca/joindre.html</a>
Pierrot Ferland	Agronome, avertisseur - maïs sucré	Maïs sucré	MAPAQ	Trois-Rivières	<a href="https://www.agrireseau.net/legumeschamp/nous-joindre?o=56">https://www.agrireseau.net/legumeschamp/nous-joindre?o=56</a>
Sheldon Hann	Technicien	Sols	AAC	Fredericton, NB, Canada	
Stéphanie Tellier	Agronome, conseillère en petits fruits	Horticulture et petits fruits	MAPAQ	Québec, QC, Canada	<a href="https://www.agrireseau.net/rap/nous-joindre">https://www.agrireseau.net/rap/nous-joindre</a>

<sup>1</sup> Les personnes listées étaient à l'emploi de ses organisations au moment des consultations. Nous ne pouvons certifier que ces personnes seront à l'emploi de ses organismes au moment de la lecture de ce document.

## 7 LISTE DES INSECTES ET ACARIENS NOMMÉS

Nom commun français	Nom commun anglais	Nom latin	Famille	Résistance au Québec	Cultures visées
Aleurode des serres	Greenhouse whitefly	<i>Trialeurodes vaporariorum</i> (Westw.)	Aleyrodidae	Soupçons AS	Serres ornementales, tomates
Aleurode du tabac*	Sweetpotato whitefly	<i>Bemisia tabaci</i> (Genn.)	Aleyrodidae	Soupçons AS	Poinsettias en serres ornementales
Altise des navets	Striped flea beetle	<i>Phyllotreta striolata</i> (F.)	Chrysomelidae	Soupçons	Canola
Carpocapse de la pomme	Codling moth	<i>Cydia pomonella</i> (Linnaeus)	Tortricidae	Résistant	Pommes
Cécidomyie du chou-fleur	Swede midge	<i>Contarinia nasturtii</i> (Kieffer)	Cecidomyiidae	Soupçons	Crucifères
Charançon de la carotte	Carrot weevil	<i>Listronotus oregonensis</i> (LeC.)	Curculionidae	Soupçons	Carottes
Chrysomèle rayée du concombre	Striped cucumber beetle	<i>Acalymma vittatum</i> (F.)	Chrysomelidae	Soupçons	Concombres
Doryphore de la pomme de terre	Colorado potato beetle	<i>Leptinotarsa decemlineata</i> (Say)	Chrysomelidae	Résistant	Pommes de terre
Fausse-arpenteuse du chou	Cabbage looper	<i>Trichoplusia ni</i> (Hübner)	Noctuidae	Soupçons	Crucifères
Fausse-teigne des crucifères	Diamondback moth	<i>Plutella xylostella</i> (Linnaeus)	Yponomeutidae	Résistant	Crucifères
Mouche de l'oignon	Onion maggot	<i>Delia antiqua</i> (Meig.)	Anthomyiidae	Soupçons	Oignons
Mouche du chou	Cabbage maggot	<i>Delia radicum</i> (L.)	Anthomyiidae	Soupçons AS	Crucifères
Mouche mineuse serpentine américaine*	American serpentine leafminer*	<i>Liriomyza trifolii</i> (Burgess)*	Agromyzidae	Soupçons	Oignons verts
Puceron de la digitale	Foxglove aphid	<i>Aulacorthum solani</i> (Kltb.)	Aphididae	Soupçons	Serres ornementales
Punaise de la courge	Squash bug	<i>Anasa tristis</i> (DeG.)	Coreidae	Soupçons	Courges
Punaise terne	Tarnished plant bug	<i>Lygus lineolaris</i> (P. de B.)	Miridae	Soupçons AS	Fraises, framboises, pommes
Pyrale du maïs*	European corn borer	<i>Ostrinia nubilalis</i> (Hübner)*	Crambidae	Soupçons AS	Maïs
Tarsonème du fraisier	Cyclamen mite	<i>Phytonemus pallidus</i> (Banks)	Tarsonemidae	Soupçons	Fraises
Tétranyque à deux points	Twospotted spider mite	<i>Tetranychus urticae</i> Koch	Tetranychidae	Soupçons AS	Fraises, framboises, pommes, serres ornementales
Tétranyque de McDaniel	McDaniel spider mite	<i>Tetranychus mcdanieli</i> McG.	Tetranychidae	Soupçons AS	Fraises, framboise, pommes
Tétranyque rouge du pommier	European red mite	<i>Panonychus ulmi</i> (Koch)	Tetranychidae	Soupçons	Pommes
Thrips de l'oignon	Onion thrips	<i>Thrips tabaci</i> Lind.	Thripidae	Soupçons AS	Oignons
Thrips des fleurs	Flower thrips	<i>Frankliniella tritici</i> (Fitch)	Thripidae	Soupçons	Fraises
Thrips des petits fruits	Western flower thrips	<i>Frankliniella occidentalis</i> (Perg.)	Thripidae	Soupçons AS	Fraises, poivrons en serres, serres ornementales
Torreuse à bandes obliques	Obliquebanded leafroller	<i>Choristoneura rosaceana</i> (Harris)	Tortricidae	Résistant	Pommes

L'orthographe et le nom des espèces de cette liste sont basés sur la liste du Comité des noms communs de la SEC <http://esc-sec.ca/fr/entomology-resources/common-names/#toggle-id-1>.

\*Dénomination non référencée par le Comité des noms communs de la SEC.

<sup>1</sup> La résistance pour chaque espèce varie en fonction des matières actives et des localisations (cf. section 2).

<sup>2</sup> Cultures pour lesquels des cas de résistance sont confirmés ou soupçonnés

AS : État de la résistance au Québec à surveiller

## 8 GLOSSAIRE

---

Les définitions données dans cette section sont issues des documents suivants : N, est pa Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) (<http://www.fao.org/3/a-bt561f.pdf>); Entomological Society of America (ESA) (<https://www.entsoc.org/sites/default/files/files/ESA-EPA-SME-Report-Attachment-1-July-26-2011.pdf>); National Center for Biology Information (NCBI) (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>); Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail (CCHST) (<http://www.cchst.ca/>); Terminium Plus®, la banque de données terminologiques et linguistiques du gouvernement du Canada (<http://www.btb.termiumplus.gc.ca/tpv2alpha/alpha-fra.html?lang=fra>) et Réseau de réflexion et de recherches sur les résistances aux pesticides (R4P Network) (<https://www.r4p.inra.fr/fr/glossaire/>).

**Concentration efficace moyenne (CE<sub>50</sub>)** : Effective concentration 50%, EC<sub>50</sub> : Concentration de pesticide inhibant 50% d'une activité biologique généralement mesurée dans des conditions contrôlées ; syn. DE<sub>50</sub> (dose efficace à 50%), CI<sub>50</sub>(concentration inhibitrice à 50%), DL<sub>50</sub>(dose létale à 50%).

**Courbe de dose-réponse** : La courbe de dose-réponse est obtenue en exposant les ravageurs à différentes concentrations de pesticides et en déterminant par la suite leurs valeurs de concentration efficace moyenne (CE<sub>50</sub>).

**Dose discriminante** : Dose utilisée pour déterminer si les ravageurs collectés et testés sont résistants au point que les échecs de la lutte au champ sont possibles.

**Familles d'insecticides** : (SYN. Sous-groupes) Les familles d'insecticides sont des regroupements de matières actives pouvant avoir des classes structurales différentes, mais ayant un même mode d'action.

**Fréquence des gènes** : Souvent appelé la fréquence d'allèle, la proportion de toutes les copies d'un gène effectuée à partir de la variante particulière d'un gène.

**Génotypage** : Le génotypage consiste à caractériser dans l'ADN les variations génétiques entre des individus. Il permet d'étudier la transmission de ces variantes (ou marqueurs) entre parents et enfants, puis d'établir une corrélation entre ces informations et les caractères héréditaires (relations phénotype-génotype).

**Groupe chimique** : Les différents groupes représentent les molécules qui ont des modes d'action similaire.

**Hétérozygote** : Organisme dont les cellules (diploïdes) contiennent deux copies (ou allèles) différentes d'un même gène. Dans le cas des organismes résistants, les individus hétérozygotes possèdent une seule copie du trait génétique qui leur confère la résistance (symbole RS). Les individus RS peuvent ou non transmettre le gène de la résistance à la génération suivante.

**Homozygote** : Organisme dont les cellules (diploïdes) contiennent deux copies (ou allèles) identiques d'un même gène. Dans le cas des organismes résistants, les individus homozygotes possèdent deux copies du trait génétique qui leur confère la résistance (symbole RR). Les individus RR transmettent systématiquement le gène de résistance à la génération suivante.

**Mécanismes de résistance** : Tout mécanisme permettant à un génotype de survivre à une concentration de pesticide qui tue ou inhibe la croissance ou le développement de génotypes sensibles.

**Mode d'action (MoA)** : Se réfère à la cible biochimique d'un pesticide. Les pesticides peuvent être classés en fonction de leur cible.

**Niveau de résistance (NR) = facteur de résistance (FR) = ratio de résistance (RR)** : Rapport des concentrations de pesticide nécessaires pour obtenir la même efficacité sur des génotypes résistants que sur des génotypes sensibles de référence d'une même espèce de ravageurs. Le NR est habituellement exprimé sous la forme du rapport ( $CE_{50}$  résistant /  $CE_{50}$  sensible), déterminé en exposant ces génotypes à des gammes de concentration du pesticide testé (dans des conditions identiques et contrôlées). Attention, le niveau de résistance est souvent confondu à tort avec la fréquence de résistance.

**Population sensible de référence (PSR)** : *Sensitive reference*. Population ne contenant que des génotypes sensibles aux pesticides. Elle devrait idéalement être représentative de l'ensemble des populations de l'espèce de ravageurs considérée *avant* l'utilisation du ou des pesticide(s) concerné(s).

**Protection induite par le gène "R"** : Si le gène de la résistance fournit un degré élevé de protection contre le pesticide, les individus porteurs de ce gène ont de très hautes probabilités de survivre à l'application du pesticide et de transmettre le gène résistant à la génération suivante. Toutefois, si le gène de la résistance induit seulement un niveau de protection modéré, les individus porteurs du gène résistant seront protégés contre de faibles dosages du pesticide, mais non pas contre des doses élevées. Les doses réduites et la couverture médiocre permettent l'accumulation des gènes résistants dans la population.

**Pesticide** : Composé (synthétique ou naturel) qui tue les ravageurs, ou inhibe leur croissance ou leur développement, syn. : produit de protection des plantes. Les principales catégories de pesticides sont les fongicides, les herbicides, les acaricides et les insecticides.

#### **Résistance :**

- 1) Capacité intrinsèque et héritable de certains génotypes de ravageurs leur permettant de survivre à des concentrations de pesticides qui tuent ou inhibent le développement de génotypes sensibles de la même espèce. Cette capacité est déterminée par une ou plusieurs mutation(s) naturelles présentes dans le génome des génotypes résistants.

- 2) Résultat de l'évolution adaptative de populations de ravageurs ayant permis la sélection, et donc l'augmentation en fréquence, des génotypes les moins sensibles suite à l'exercice d'une pression de sélection par les pesticides.

**Résistance comportementale** : Changements héréditaires dans le comportement qui réduisent l'exposition à l'insecticide et de ce fait, diminue la mortalité (due à un manque d'exposition à l'insecticide). L'organisme ravageur est toujours sensible au pesticide et sera tué s'il est exposé à une dose létale.

**Résistance croisée** : Résistance à plusieurs pesticides déterminée par le même allèle (ou par extension le même mécanisme). La résistance croisée peut être positive (résistance à plusieurs pesticides) ou dans certains cas négative (résistance à certains pesticides entraînant une hypersensibilité à d'autres).

**Résistance liée à la cible (RLC) : *Target Site Resistance***. Résistance causée par des mutations affectant le gène de la protéine cible du pesticide (modification de la protéine cible, amplification ou surexpression de ce gène).

**Résistance métabolique** : Résistance qui se développe par la modification ou l'augmentation de l'expression des enzymes impliqués dans le métabolisme et la séquestration des toxines.

**Résistance multiple** : Résistance à plusieurs pesticides déterminée par différents allèles (ou par extension par différents mécanismes).

**Résistance non-liée à la cible (RNLC) : *Non-Target Site Resistance***. Regroupement des mécanismes de résistance ne touchant pas aux sites cibles des pesticides, c'est-à-dire les mécanismes comportementaux, physiques et métaboliques.

**Résistance physiologique** : résistance qui résulte de l'excrétion des toxines par l'insecte ou le développement d'un trait résistant développé par des mécanismes qui préviennent la pénétration de l'insecticide dans la cuticule et/ou l'épiderme atteignant l'hémolymphe et le site ciblé.

**Sélection antérieure** : La « sélection antérieure » est le terme utilisé pour parler de sélection antérieure de gènes résistants. Cette sélection peut faciliter le développement d'une résistance à de nouveaux composés parce que l'utilisation antérieure a probablement accru la fréquence du gène résistant. Ainsi, les possibilités de développement d'une résistance sont plus élevées que si aucun composé apparenté n'avait été utilisé précédemment. Toutefois, si le niveau de résistance croisée est élevé et s'il y a eu par le passé un sérieux problème de résistance, alors il y a de fortes chances qu'une résistance au nouveau composé se développe rapidement.

**Séquençage** : Processus utilisé pour obtenir l'arrangement séquentiel des nucléotides pour une molécule d'ADN.

**Sous groupes** : Voir Familles d'insecticides

**Tolérance** : Habileté naturelle d'une espèce (insecte ou acarien) à résister à l'exposition d'un insecticide. Pour des insecticides synthétiques, cela est généralement dû aux capacités métaboliques de certaines espèces. Pour les toxines du *Bt*, il s'agirait de différences dans les liaisons de récepteurs, dans l'excrétion des toxines, etc. Attention, ce terme est parfois utilisé à tort pour signaler l'apparition d'une faible résistance dans une population de ravageur. Mais il ne s'agit pas de faible résistance ou d'une diminution de sensibilité pour un insecticide. La tolérance est l'estimation de spectre naturel de survie de la population avant l'exposition à un pesticide.

**Valeur adaptative** : *Fitness*. Capacité d'un génotype à survivre en compétition avec d'autres et à produire des descendants viables.

## 9 INDEX DES NOMS COMMUNS ET SCIENTIFIQUES

<b>A</b>	
<i>Acalymma vittatum</i> (F.) .....	81, 112
Aleurode des serres .....	49, 60, 68, 112
Aleurode du tabac .....	9, 10, 49, 61, 68, 112
Altise des navets .....	51, 62, 68, 112
<i>Anasa tristis</i> (DeG.) .....	82, 112
<i>Aulacorthum solani</i> (Kltb.) .....	63, 112
<b>B</b>	
<i>Bemisia tabaci</i> (Genn.) .....	61, 112
<b>C</b>	
Carpocapse de la pomme .....	24, 26, 27, 28, 29, 30, 112
Cécidomyie du chou-fleur .....	51, 80, 84, 112
Charançon de la carotte.....	51, 81, 84, 112
<i>Choristoneura rosaceana</i> (Harris) .....	11, 44, 113
Chrysomèle rayée du concombre .....	51, 81, 84, 112
<i>Contarinia nasturtii</i> (Kieffer) .....	80, 112
<i>Cydia pomonella</i> (Linnaeus).....	26, 112
<b>D</b>	
<i>Delia antiqua</i> (Meig.) .....	71, 72, 78, 112
<i>Delia radicum</i> (L.) .....	72, 112
Doryphore de la pomme de terre.....	9, 10, 24, 31, 33, 35, 36, 112
<b>F</b>	
Fausse arpenreuse du chou .....	51, 70, 78, 112
Fausse teigne des crucifères .....	9, 10, 12, 24, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 59, 112
<i>Frankliniella occidentalis</i> (Perg.) .....	67, 79, 113
<i>Frankliniella tritici</i> (Fitch) .....	77, 113
<b>L</b>	
<i>Leptinotarsa decemlineata</i> (Say) .....	9, 10, 31, 36, 43, 112
<i>Liriomyza trifolii</i> (Burgess) .....	73, 112
<i>Listronotus oregonensis</i> (LeC.) .....	81, 112
<i>Lygus lineolaris</i> (P. de B.) .....	74, 113
<b>M</b>	
Mouche de l'oignon .....	52, 71, 78, 112
Mouche du chou .....	52, 78, 112
Mouche mineuse serpentine américaine .....	52, 73, 78, 112

**O**

*Ostrinia nubilalis* (Hübner) ..... 63, 113

**P**

*Panonychus ulmi* (Koch) ..... 9, 10, 66, 78, 113

*Phyllotreta striolata* (F.) ..... 62, 112

*Phytonemus pallidus* (Banks) ..... 83, 113

*Plutella xylostella* (Linnaeus) ..... 9, 10, 12, 37, 112

Puceron de la digitale ..... 53, 63, 68, 112

Punaise de la courge ..... 53, 82, 84, 112

Punaise terne ..... 53, 74, 78, 113

Pyrale du maïs ..... 53, 63, 68, 113

**T**

Tarsonème du fraisier ..... 54, 83, 84, 113

*Tetranychus mcdanieli* McG. .... 75, 113

*Tetranychus urticae* Koch ..... 9, 10, 64, 78, 113

Tétranyque à deux points ..... 54, 64, 69, 113

Tétranyque de McDaniel ..... 56, 75, 78, 113

Tétranyque rouge du pommier ..... 9, 10, 56, 66, 69, 113

Thrips de l'oignon ..... 57, 76, 79, 113

Thrips des fleurs ..... 58, 77, 79, 113

Thrips des petits fruits ..... 58, 67, 69, 113

*Thrips tabaci* Lind. .... 76, 113

Tordeuse à bandes obliques ..... 25, 44, 45, 46, 47, 113

*Trialeurodes vaporariorum* (Westw.) ..... 60, 112

*Trichoplusia ni* (Hübner) ..... 70, 112