

Diffusion : Septembre 2017

Impact des changements climatiques et mesures d'adaptations pour les ravageurs présents et potentiels en grandes cultures au Québec.

Projet PV 3.2-DP-CÉROM-5 - Revue de littérature



Projet réalisé avec
l'appui de :



Partenaire :



Ce document a été rédigé par Julien SAGUEZ, Chercheur, pour le Centre de recherche sur les grains (CÉROM) inc. à Saint-Mathieu-de-Beloeil, Québec.

Collaborateurs ayant participé à l'élaboration de ce document:

➤ **Rédaction et révision**

Annie-Ève Gagnon, Chercheure, CÉROM / AAC Saint-Jean-sur-Richelieu

Djazia Kichou, Chargée de projet, CÉROM / AAC Saint-Jean-sur-Richelieu

Jacques Brodeur, Professeur en entomologie, IRBV-Université de Montréal

Sylvie Rioux, Chercheure en phytopathologie, CÉROM

Salah Zoghlami, Conseiller aux affaires agronomiques, Producteurs de grains du Québec

Anne Blondlot, Coordonnatrice Impact et Adaptation – Agriculture, Ouranos

➤ **Collaborateurs**

Gaétan Bourgeois, Chercheur en modélisation, AAC Saint-Jean-sur-Richelieu

Geneviève Labrie, Chercheure en entomologie, CÉROM

➤ **Comité de suivi**

Guy Boivin, Chercheur en entomologie, AAC St-Jean-sur-Richelieu

Katia Colton-Gagnon, Responsable de la phytoprotection, UPA

Annabelle Firlej, Chercheure en entomologie, IRDA

Jean-Philippe Légaré, Biologiste-entomologiste, Laboratoire d'expertise et de diagnostic en phytoprotection, MAPAQ

Sylvie Therrien, Agronome, Direction de la phytoprotection, MAPAQ

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

Ce projet a été réalisé en vertu du sous-volet 3. 2 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 du Fonds vert dans le cadre du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques du gouvernement du Québec. Ouranos est un partenaire scientifique et financier du projet.

Table des matières

Contexte de l'étude	4
Objectif	5
Les changements climatiques attendus au Québec à l'horizon 2050	6
Les conséquences des changements climatiques sur les ravageurs et maladies au Québec	8
Construction de la base de données	9
Critères de sélection des espèces	10
Espèces d'insectes ravageurs déjà présents au Québec	16
Ver gris occidental du haricot <i>Striacosta albicosta</i> (Lepidoptera, Noctuidae)	17
Scarabée japonais <i>Popillia japonica</i> (Coleoptera, Scarabaeidae)	18
Cécidomyie du chou-fleur <i>Contarinia nasturtii</i> (Diptera, Cecidomyiidae)	19
Chrysomèle du haricot <i>Cerotoma trifurcata</i> (Coleoptera, Chrysomelidae)	20
Altise du navet <i>Phyllotreta striolata</i> (Coleoptera, Chrysomelidae)	21
Méligèthe des crucifères <i>Meligethes viridescens</i> (Coleoptera, Nitidulidae)	22
Charançon de la silique <i>Ceutorhynchus obstrictus</i> (Coleoptera, Curculionidae)	23
Espèces exotiques envahissantes d'insectes ravageurs	24
Chenille des épis du maïs <i>Helicoverpa armigera</i> (Lepidoptera, Noctuidae)	25
Noctuelle gamma <i>Autographa gamma</i> (Lepidoptera, Noctuidae)	26
Punaise verte ou ponctuée <i>Nezara viridula</i> (Heteroptera, Pentatomidae)	27
Prodénia <i>Spodoptera littoralis</i> (Lepidoptera, Noctuidae)	28
Ver-gris (noctuelles) <i>Euxoa auxiliaris/Chorizagrotis auxiliaris</i> (Lepidoptera, Noctuidae)	29
Punaise du Kudzu <i>Megacopta cribraria</i> (Heteroptera, Plataspididae)	30
Punaise marbrée <i>Halyomorpha halys</i> (Heteroptera, Pentatomidae)	31
Pyrale des tiges de maïs du sud <i>Diatraea crambidoides</i> (Lepidoptera, Crambidae)	32
Noctuelle du maïs <i>Sesamia nonagrioides</i> (Lepidoptera, Noctuidae)	33
Pyrale des amandes <i>Cadra cautella</i> (Lepidoptera, Pyralidae)	34
Charançon frangé de blanc <i>Naupactus leucoloma/Graphognathus leucoloma</i> (Coleoptera, Curculionidae)	35
Pyrale du haricot <i>Etiella zinckenella</i> (Lepidoptera, Pyralidae)	36
Pyrale du sud-ouest <i>Diatraea grandiosella</i> (Lepidoptera, Crambidae)	37
Légionnaire africaine <i>Spodoptera exempta</i> (Lepidoptera, Noctuidae)	38
Noctuelle <i>Helicoverpa punctigera</i> (Lepidoptera, Noctuidae)	39
Cicadelle du maïs <i>Cicadulina mbila</i> (Hemiptera, Cicadellidae)	40
Tordeuse du soya <i>Leguminivora glycinivorella</i> (Lepidoptera, Tortricidae)	41
Maladies déjà présentes au Québec	42
Maladie de Stewart Nom anglais et/ou abréviation : Stewart's wilt	43
Cercosporose (<i>Cercospora sojina</i>) Nom anglais et/ou abréviation : Frog-eye Leaf spot	44
Taches grises (<i>Cercospora zea-maydis</i>) Nom anglais et/ou abréviation : Gray leaf spot	45
Jaunisse de l'aster Nom anglais et/ou abréviation : Aster Yellow	46

Pourriture des graines (<i>Phomopsis longicolla</i>) Nom anglais et/ou abréviation : Pod and stem blight	47
Charbon commun (<i>Ustilago zeae / Ustilago maydis</i>) Nom anglais et/ou abréviation : Corn smut.....	48
Pourriture à sclérotés (<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>) Nom anglais et/ou abréviation : White mold	49
Maladies potentiellement envahissantes	50
Mosaïque nanisante du maïs Nom anglais et/ou abréviation : Maize dwarf mosaic virus (MDMV)	51
Virus américain de la mosaïque striée du blé Nom anglais et/ou abréviation : Wheat American striate mosaic virus (WASMV).....	52
Virus de la mosaïque striée du blé / Virus de la striure rouge du maïs Nom anglais et/ou abréviation : Wheat (streak) mosaic virus (WSMV/WMoV) /Maize red stripe virus (MRSV/MRStV) Aussi connu sous le nom de High Plains virus (HPV)	53
Rouille (asiatique) du soya (<i>Phakopsora pachyrhizi</i>) Nom anglais et/ou abréviation : Soybean rust	54
Nématode cécidogène de Columbia (columbia root-knot nematode) <i>Meloidogyne chitwoodi</i> (Nematoda, Meloidogynidae)	55
Nématode du maïs (Corn cyst nematode) <i>Heterodera zeae</i> (Nematoda, Heteroderidae)	56
Nématode de l'avoine (Oat cyst nematode) <i>Heterodera avenae</i> (Nematoda, Heteroderidae)	57
Références.....	58
Sources des images	67

Contexte de l'étude

Les changements climatiques (CC) constituent un enjeu planétaire. La COP21 tenue à Paris à la fin de l'année 2015 a permis de mettre en lumière les répercussions des CC qui se produisent actuellement et qui se profilent pour les prochaines décennies. Les CC, notamment caractérisés par des hausses de température, conduiraient à de nombreux bouleversements pouvant toucher entre autres à la biodiversité des divers écosystèmes. L'agriculture pourrait donc être affectée de façon importante par les CC en modifiant par exemple la croissance des plantes et l'abondance des organismes néfastes et bénéfiques associés aux cultures.

Au cours des dernières années, des changements ont déjà pu être observés sur certaines espèces végétales et animales en lien avec les variations de températures et de précipitations, favorisant ainsi la dissémination et la propagation de certaines maladies et insectes ravageurs. Certaines espèces disparaissent, d'autres apparaissent dans des environnements différents de leur aire de répartition d'origine. Couplés à l'intensification des échanges commerciaux, les CC représentent donc des facteurs de risque dans un contexte agricole. Ainsi, dans l'hémisphère nord, les CC ont conduit depuis quelques années à l'extension de l'aire de répartition de plusieurs espèces vers le nord, pouvant causer d'importants changements dans le cadre de la protection des cultures contre les maladies et les insectes ravageurs. Ces espèces qui sont parfois déjà dommageables pour les cultures, pourraient causer, dans un avenir plus ou moins lointain, des dommages plus importants qu'elles n'en causent actuellement.

De plus, des espèces exotiques envahissantes (EEE) représentent une menace pour l'environnement et l'économie d'une région, d'un pays ou d'un continent. En effet, ces espèces nuisibles (champignons, bactéries, virus, phytoplasmes, végétaux, animaux) peuvent naturellement ou accidentellement envahir des écosystèmes différents de leur aire de répartition d'origine, s'y reproduire et les coloniser et ainsi modifier la biodiversité et l'équilibre des écosystèmes. Dans un contexte agricole, ces EEE peuvent entrer en compétition avec des espèces indigènes, entraînant le déclin de ces dernières. De plus, les EEE possèdent des capacités d'adaptation qui leur permettent de coloniser efficacement leurs nouveaux territoires et il est souvent difficile de contrôler leurs populations.

Les CC auront aussi des impacts sur les cycles de vie et les paramètres biologiques (p. ex. vitesse de développement, nombre de générations) de ces espèces (indigènes et exotiques), sur le synchronisme avec leurs hôtes ou leurs ennemis naturels ou encore sur les liens trophiques. Du fait des CC, les espèces indigènes et les EEE pourraient donc provoquer des pertes de rendement majeures liées à la phytophagie ou à l'introduction et la dissémination de maladies pouvant avoir des répercussions sur des cultures ciblées.

Le Québec n'est pas épargné par cette progression des espèces et il est fort probable, que dans les prochaines décennies, on assiste à l'introduction, l'établissement et la dispersion de nouveaux ennemis des cultures, qui sont actuellement présents aux États-Unis ou dans des environnements similaires à ceux rencontrés au Québec. Dans le cadre d'une agriculture durable, il convient donc d'identifier les espèces indigènes et exotiques menaçantes et l'influence des CC sur ces espèces en grandes cultures. Ceci permettra d'évaluer et d'anticiper dès aujourd'hui les effets combinés potentiels des CC, des espèces indigènes et des EEE sur les grandes cultures. La

modélisation et l'anticipation des risques de propagation (déplacements, cycles de vie et générations) des maladies et des ravageurs rendront possible la mise en place des programmes de recherche et des stratégies visant à lutter contre ces espèces afin de minimiser l'utilisation des pesticides et de favoriser l'utilisation de méthodes de lutte alternatives.

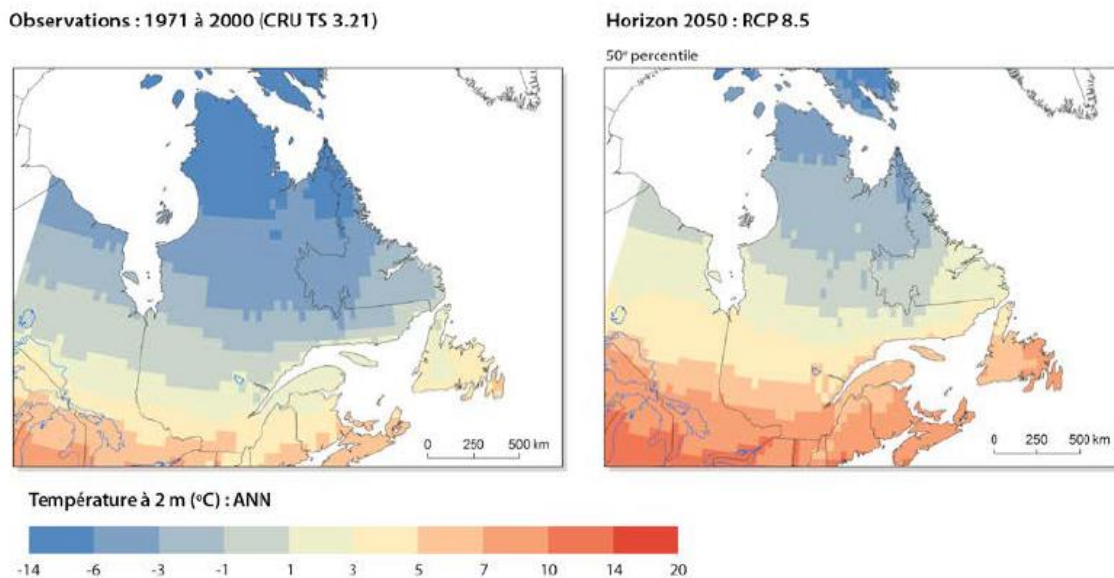
Objectif

L'objectif de ce document est d'identifier les espèces présentes et les EEE susceptibles d'affecter une ou plusieurs des grandes cultures présentes au Québec (soya, maïs, blé, orge, avoine et canola) en lien avec les CC.

Les changements climatiques attendus au Québec à l'horizon 2050

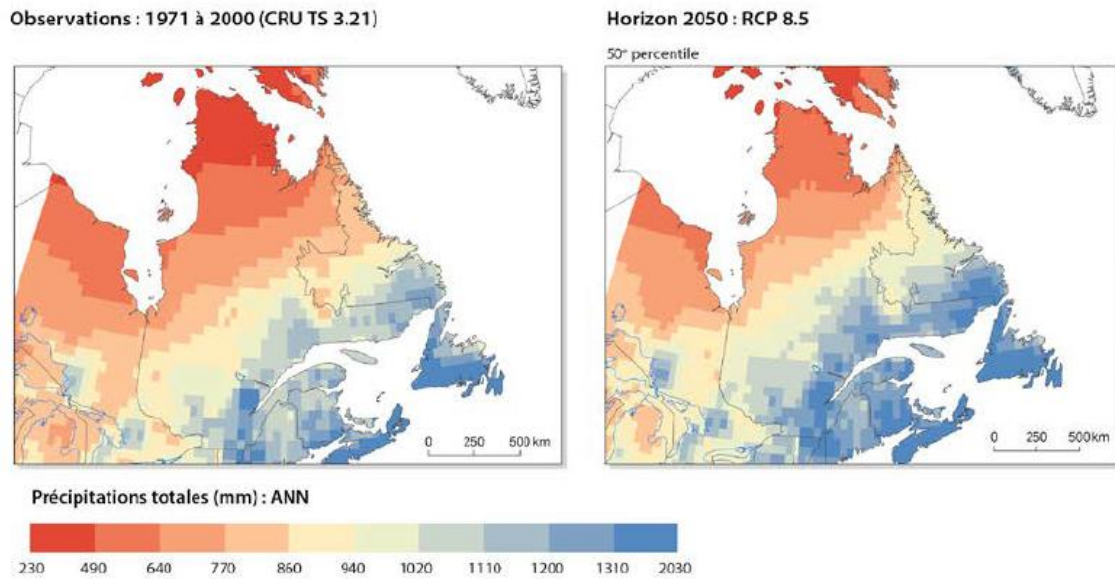
Les modifications du climat se manifestent dans toutes les régions du monde et le Québec n'y échappe pas. Les projections climatiques générées par le consortium Ouranos mettent en lumière l'ampleur des changements observés et attendus en termes de températures et de précipitations pour l'ensemble du territoire québécois. Les informations qui suivent ont été tirées du document synthèse « Vers l'adaptation » (Ouranos, 2015).

Les hausses de températures moyennes annuelles se font déjà sentir avec des augmentations observées de l'ordre de 1 à 3°C depuis 1950. Les projections climatiques, quant à elles, laissent entrevoir des hausses de températures moyennes pouvant aller jusqu'à 2-4°C pour l'horizon 2041-2070 (Figure 1). Ces changements permettront, entre autres, de hausser la fréquence des températures extrêmes maximales en été et de diminuer la fréquence, la durée et l'intensité des extrêmes froids en hiver. Il est à noter également que les augmentations de températures hivernales seront plus élevées que pour les autres saisons. Ceci pourrait engendrer une augmentation de la longueur de la saison de croissance pouvant atteindre 10 à 30 jours de plus pour l'horizon 2041-2070 par rapport aux observations faites pendant la période de référence 1971-2000.



Températures moyennes annuelles observées pour le passé récent (1971-2000) (à gauche) et l'horizon 2050 (2041-2070) (à droite).

Selon les projections climatiques, l'horizon 2041-2070 connaîtra une hausse des cumuls de précipitation, et ce, principalement durant l'hiver et le printemps. De façon générale, l'accumulation totale annuelle de précipitations augmentera de 5 à 15% pour l'horizon 2041-2070. Par ailleurs, due à une augmentation des températures hivernales, une diminution importante est prévue pour le couvert de neige ainsi que la durée de l'enneigement (45 à 65 jours) pour le sud du Québec.



Précipitations annuelles moyennes observées pour le passé récent (1971-2000) (à gauche) et l'horizon 2050 (2041-2070) (à droite).

Les conséquences des changements climatiques sur les ravageurs et maladies au Québec

Au cours des dernières années, plusieurs documents de synthèse ont été réalisés sous le thème des impacts des CC sur les insectes ravageurs et les agents pathogènes des plantes (Gagnon et al. 2013, Brodeur et al. 2013, Mimee et al. 2013). Les informations qui suivent découlent des revues réalisées dans le cadre de ces études.

Les insectes sont grandement influencés par les variations de températures. En effet, la température peut influencer la survie hivernale, la vitesse de développement des insectes et donc le taux d'accroissement des populations ainsi que le nombre de générations par an (Furher 2003; Patterson 1999; Altermatt 2010; Trnka et al. 2007). La température peut également influencer le comportement des insectes, notamment celui de la prise alimentaire en fonction de la qualité et de la disponibilité de ses ressources alimentaires, mais peut aussi avoir un effet sur le comportement de migration et de colonisation d'un nouvel écosystème. Dans la majorité des études visant à évaluer l'impact des CC sur les populations d'insectes, rares sont les espèces qui seront défavorisées par les modifications du climat. Néanmoins, l'effet global des CC sur les cultures, lorsque l'on considère le synchronisme entre l'organisme et la plante hôte, demeure inconnu dans plusieurs cas. De plus, dans certains cas, comme chez les pucerons, l'augmentation des températures hivernales favoriserait la survie des œufs, la migration et l'établissement des espèces (Zhou et al. 1995), mais l'augmentation des températures estivales induirait une forte mortalité des populations (Newmann 2006).

On associe aussi les CC avec une augmentation du taux de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère. Parmi les interactions plantes-insectes mises en jeu, notons les effets sur la physiologie de la plante (O'Neil et al. 2010) et sur les ratios carbone/azote pouvant tous deux affecter l'attractivité et l'appétence des plantes ainsi que les comportements de prise alimentaire des insectes. Par ailleurs, les modifications de la plante associées aux hausses de CO₂ peuvent augmenter les réponses de défense de la plante et induire des effets néfastes sur les insectes ravageurs (Fuhrer 2003; Zavala et al. 2008; Dermody et al. 2008).

L'effet des CC sur les agents pathogènes (bactéries, champignons, virus et nématodes) peut s'exprimer par des répercussions sur la croissance, la reproduction, la survie, et la répartition spatio-temporelle des espèces (Gregory et al. 2009, van der Putten et al. 2010). Ces effets peuvent être positifs ou négatifs selon les conditions climatiques, les espèces végétales et les pathogènes impliqués (Patterson et al. 1999). C'est essentiellement l'humidité et les températures qui peuvent affecter les paramètres biologiques de ces pathogènes. Des hivers plus doux favorisent en général la survie et la quantité de pathogènes dans le sol (Fuhrer 2003), pouvant ainsi favoriser l'expansion de leur aire de répartition. Toutefois une diminution du couvert de neige ou des sécheresses estivales pourrait éventuellement affecter les agents pathogènes. Dans plusieurs cas, notamment chez les champignons et nématodes, certains organismes ont développé des formes de résistance permettant leur protection à long terme contre des conditions défavorables à leur développement (Boland et al. 2004). De fortes précipitations et un taux d'humidité élevés sont des facteurs qui augmentent les risques de dispersion des pathogènes et de prolifération des infections.

Construction de la base de données

Une base de données a été constituée et comprend les insectes ravageurs et les maladies (fongiques, bactériennes, virales, phytoplasmiques et liées aux nématodes) associés aux grandes cultures, à savoir le soya, le maïs, le blé, l'orge, l'avoine et le canola.

Cette base de données a été réalisée à partir de différents sites internet (Plantwise, CABI, EPPO), qui tiennent à jour des fiches techniques concernant plusieurs maladies et ravageurs représentants des risques dans différentes régions de la planète. Des ouvrages et guides de références (p. ex. Noms des maladies des plantes au Canada édité par la Société de Protection des Plantes du Québec en 2003, Guide d'identification des ravageurs des grandes cultures et cultures fourragères et de leurs ennemis naturels et mesures de lutte applicables à l'Ouest Canadien publié par Agriculture et Agroalimentaire Canada en 2015) ont aussi été utilisés pour bâtir ces deux bases de données. Des articles scientifiques sont venus compléter les informations quant à la biologie des espèces.

La base de données contient les informations suivantes :

- Pour l'ensemble des espèces: nom commun, nom latin, classification, culture(s) affectée(s), hibernation ou non au Québec, stade d'hibernation et de diapause (pour les insectes), informations sur les données de températures de développement et croissance (min-max, optimales), le nombre de générations par année, les dommages causés, s'il y a un suivi par le Réseau d'Alertes Phytosanitaires (RAP), aires d'origine et de distribution.
- Pour les maladies et pathogènes seulement, nous avons aussi ajouté les données sur l'humidité relative et les précipitations favorables à leur développement.

Cette base de données a permis de dresser un profil des insectes ravageurs et des maladies affectant les grandes cultures. Elle inclut 230 insectes ravageurs et 267 maladies dont 26 nématodes. Vous pouvez obtenir une copie du fichier Excel en adressant votre demande à cerom@cerom.qc.ca.

Un des objectifs du projet PV 3.2-DP-CÉROM-5 est de modéliser les impacts des CC pour cinq espèces d'insectes ravageurs et/ou maladies. Ce document constitue donc une première étape qui vise à effectuer la sélection, à partir de certains critères (voir ci-après), d'une quarantaine d'espèces que nous avons jugées potentiellement à risque pour les grandes cultures dans le contexte des changements climatiques. Un résumé des informations amassées pour cet ensemble d'espèces est présenté plus loin dans ce document sous forme de fiches synthèses.

Critères de sélection des espèces

ÉTAPE 1 – Aire de répartition

Afin d'établir la sélection des espèces qui feront l'objet d'une étude de cas, nous les avons catégorisées en fonction de leur lieu d'origine et de distribution :

Espèces présentes au Québec :

- les espèces déjà établies au Québec (catégorie 1);
- les espèces migratrices présentes durant la saison estivale, et qui pourraient migrer de plus en plus tôt au Québec grâce aux modifications du climat (catégorie 2);

Espèces exotiques envahissantes:

- celles dont l'aire de répartition s'accroît vers le nord en Amérique du Nord et qui sont déjà implantées dans des régions proches ou qui pourraient naturellement s'implanter au Québec en cas de réchauffement climatique (catégorie 3);
- les espèces présentes sous des climats similaires à ceux du Québec mais qui ne devraient s'implanter qu'en cas d'introductions accidentelles liées aux activités humaines (notamment lors d'échanges commerciaux) (catégorie 4);
- les espèces présentes uniquement sous des climats tropicaux et qui n'ont pas le potentiel de s'établir au Québec dans un avenir proche, mais qui pourraient potentiellement s'adapter au climat futur (catégorie 5).

ÉTAPE 2 – Critères de sélection

Grâce à un partage d'informations effectué par l'Agence Canadienne d'Inspection des Aliments (ACIA), nous nous sommes également basés sur leurs critères de sélection concernant les EEE dans le cadre d'échanges commerciaux et les avons légèrement adaptés pour les CC. Pour établir une cotation, les critères suivants ont donc été pris en compte pour l'ensemble des espèces (présentes et exotiques). La cote A s'appliquait uniquement aux espèces exotiques envahissantes. Les autres côtes s'appliquaient aux espèces exotiques envahissantes et aux espèces déjà présentes au Québec.

- **Potentiel d'introduction (COTE A).** Ce critère était principalement basé sur la proximité géographique (présence en Ontario ou au Canada ou dans le nord des États-Unis vs présence dans le sud des États-Unis vs un autre continent) et les risques liés aux échanges commerciaux.
- **Potentiel d'établissement (COTE B).** Ce critère était basé sur la biologie des espèces et notamment leurs températures minimales/maximales/optimales de développement et la possibilité de survivre à l'hiver.
- **Potentiel de dispersion (COTE C).** Ce critère était essentiellement basé sur le nombre de générations, la fécondité des espèces et la mobilité de l'espèce (vol, dispersion par le vent, ...).
- **Potentiel destructeur (COTE D).** Ce critère était basé sur le nombre de grandes cultures possiblement touchées et les pertes de rendements potentielles.

Une cotation de 1 à 3 a été attribuée pour chacune des espèces et chacun des critères, 1 étant le moins probable et 3 le plus probable. En multipliant les cotes pour les quatre critères ci-dessus, nous avons obtenu une cote finale.

ÉTAPE 3- Choix des espèces qui sont présentées dans cette revue de littérature :

Espèces présentes au Québec :

Pour les espèces déjà présentes au Québec (catégories 1 et 2), en plus de tenir compte de la cote obtenue pour chaque espèce, nous avons sélectionné soit des espèces récemment introduites et qui causent ou causeraient des dommages importants aux grandes cultures ou soit des espèces indigènes pour lesquelles les dommages sont présentement faibles mais qui pourraient s'accroître avec les modifications du climat. Plusieurs espèces ont été écartées puisqu'elles ont déjà fait l'objet d'études de modélisation face aux CC dans deux autres projets de recherche (Gagnon et al. 2013, Mimee et al. 2013), notamment la pyrale du maïs, la fusariose de l'épi, le nématode à kyste du soya et le ver de l'épi.

Espèces exotiques envahissantes:

Pour établir la liste des EEE qui figurent dans ce document, en plus de tenir compte de la cote obtenue pour chaque espèce, nous n'avons gardé que les catégories 3, 4 et 5 et qui possèdent une cote D de 3. Ces espèces d'insectes ou de maladies pourraient causer des pertes économiques notables comme observé ailleurs dans le monde. Parmi ces espèces, nous avons retenu un sous-ensemble d'espèces pour lesquelles la cote finale était la plus élevée. Chacune des listes (insectes ou maladies) a été traitée indépendamment pour le tri des espèces.

Ci-après se trouvent des tableaux récapitulatifs indiquant les cotations attribuées à chaque espèce d'insecte ravageur et de maladie pour les EEE et les espèces présentes.

Tableau 1. Cotations attribuées pour les sept espèces retenues d'insectes ravageurs présents au Québec.

Nom commun	Nom d'espèce	Cat.	Cote A	Cote B	Cote C	Cote D	Cote finale
Ver gris occidental du haricot	<i>Striacosta albicosta</i>	1	NA	3	3	3	27
Scarabée japonais	<i>Popillia japonica</i>	2	NA	3	2	3	18
Cécidomyie du chou-fleur	<i>Contarinia nasturtii</i>	1	NA	3	3	2	18
Chrysomèle du haricot	<i>Cerotoma trifurcata</i>	2	NA	3	2	3	18
Altise du navet	<i>Phyllotreta striolata</i>	1	NA	3	2	2	12
Méligèthe des crucifères	<i>Meligethes viridescens</i>	1	NA	3	2	2	12
Charançon de la silique	<i>Ceutorhynchus obstrictus</i>	2	NA	3	2	2	12

Tableau 2. Cotations attribuées pour les dix-sept espèces exotiques envahissantes d'insectes ravageurs retenues.

Nom commun	Nom d'espèce	Cat.	Cote A	Cote B	Cote C	Cote D	Cote finale
Chenille des épis du maïs	<i>Helicoverpa armigera</i>	4	2	3	3	3	54
Noctuelle gamma	<i>Autographa gamma</i>	4	2	3	3	3	54
Punaise verte ou ponctuée	<i>Nezara viridula</i>	3	3	3	2	3	54
Prodénia	<i>Spodoptera littoralis</i>	5	2	3	3	3	54
Ver-gris (noctuelles)	<i>Euxoa auxiliaris/Chorizagrotis auxiliaris</i>	3	3	3	2	3	54
Punaise du Kudzu	<i>Megacopta cribraria</i>	4	3	3	2	3	54
Punaise marbrée	<i>Halyomorpha halys</i>	3	3	3	2	3	54
Pyrale des tiges de maïs du sud	<i>Diatraea crambidoides</i>	3	2	3	3	3	54
Noctuelle du maïs	<i>Sesamia nonagrioides</i>	5	2	2	3	3	36
Pyrale des amandes	<i>Cadra cautella</i>	4	3	2	2	3	36
Charançon frangé de blanc	<i>Naupactus leucoloma/Graphognathus leucoloma</i>	4	2	3	2	3	36
Pyrale du haricot	<i>Etiella zinckenella</i>	3	3	2	2	3	36
Pyrale du sud-ouest	<i>Diatraea grandiosella</i>	3	3	2	2	3	36
Légionnaire africaine	<i>Spodoptera exempta</i>	3	3	2	2	3	36
Noctuelle	<i>Helicoverpa punctigera</i>	5	1	3	3	3	27
Cicadelle du maïs	<i>Cicadulina mbila</i>	5	1	3	3	3	27
Tordeuse du soya	<i>Leguminivora glycinivorella</i>	5	1	3	3	3	27

Tableau 3. Cotations attribuées pour les sept espèces retenues de maladies présentes au Québec.

Nom commun	Agent pathogène et/ou vecteur	Cat.	Cote A	Cote B	Cote C	Cote D	Côte finale
Maladie de Stewart	Bactérie : <i>Pantoea stewartii</i> transmise par l'altise du maïs <i>Chaetocnema pulicaria</i>	2	NA	3	3	2	18
Cercosporose	Champignon : <i>Cercospora sojina</i>	2	NA	3	2	2	12
Taches grises	Champignon : <i>Cercospora zea-maydis</i>	1-2	NA	3	2	2	12
Jaunisse de l'aster	Phytoplasme : <i>Candidatus phytoplasmi asteris</i> transmis par des cicadelles (<i>Macrostelus quadrilineatus</i> en particulier)	2	NA	2	2	2	8
Pourriture des graines	Champignon : <i>Phomopsis longicolla</i>	2	NA	2	2	2	8
Charbon commun	Champignon : <i>Ustilago zea/U. maydis</i>	2	NA	3	1	2	6
Pourriture à sclérotés	Champignon : <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	1	NA	2	1	2	4

Tableau 4. Cotations attribuées pour les sept espèces retenues de maladies potentiellement envahissantes.

Nom commun	Agent pathogène et/ou vecteur	Cat.	Cote A	Cote B	Cote C	Cote D	Côte finale
Mosaïque nanisante du maïs	Virus transmis par des pucerons (<i>Sitobion avenae</i> , <i>Rhopalosiphum padi</i> et <i>R. maidis</i>)	3	3	3	3	3	81
Virus américain de la mosaïque striée du blé	Virus transmis par une cicadelle (<i>Endria inimica</i>)	3-4	3	3	2	3	54
Virus de la mosaïque striée du blé	Virus transmis par un acarien (<i>Aceria tosichella</i>)	4	3	3	3	2	54
Rouille (asiatique) du soya	Champignon : <i>Phakopsora pachyrhizi</i>	3-4	3	3	3	2	54
Nématode cécidogène de Columbia	Nématode : <i>Meloidogyne chitwoodi</i> (Nematoda, Meloidogynidae)	3	3	2	2	3	36
Nématode du maïs	Nématode: <i>Heterodera zea</i> (Nematoda, Heteroderidae)	3	3	1	2	3	18
Nématode à kystes des céréales	Nématode : <i>Heterodera avenae</i> (Nematoda, Heteroderidae)	3	3	2	1	3	18

Espèces d'insectes ravageurs déjà présents au Québec

Ver gris occidental du haricot

Striacosta albicosta (Lepidoptera, Noctuidae)

Aire de répartition : Sa présence est rapportée dans plusieurs états américains. Originnaire de l'Ouest américain, l'espèce a migré vers l'est en 1999 et depuis la fin des années 2000, on le retrouve en Ontario et dans plusieurs régions au Québec.

Cultures cibles/Plantes hôtes potentielles : Le ver-gris occidental des haricots s'alimente principalement sur le maïs et les haricots secs.

Domages : Les dommages sont causés par les larves qui se nourrissent sur les épis de maïs et les gousses de haricot dans lesquels elles pénètrent. Plusieurs larves peuvent s'alimenter sur un même épi. Des pourritures secondaires peuvent se développer au point d'entrée des larves. L'ensemble de ces dommages peut causer des pertes de qualité et de rendement importantes.

Paramètres bioclimatiques concernant l'espèce : C'est une espèce univoltine. Les adultes émergent de mi- juillet à début août (Labrie et Roy, 2010). Ils sont attirés par les champs de maïs au stade verticille avant la sortie des croix. Lorsque le maïs atteint le stade de floraison mâle, ils colonisent les champs de haricots. Sur maïs, les femelles pondent des masses d'œufs (une cinquantaine en moyenne) sur la face adaxiale des feuilles apicales. Les larves éclosent au bout d'une semaine environ. Les jeunes larves sont très mobiles et se nourrissent d'abord de la panicule mâle puis de l'épi. En Illinois, le développement larvaire dure environ un mois. Les larves tombent ensuite sur le sol et entrent dans un stade pré-pupal qui est la forme d'hivernation. En mai de l'année suivante, les individus entrent en pupaison, avant l'émergence. Dans l'Illinois, pour une base 10°C commençant le 1^{er} mai, l'émergence des adultes atteint 25% pour 1319 degrés-jours cumulés, 50% pour 1422 degrés-jours cumulés et 75% pour 1536 degrés-jours cumulés. Michel et al. (2010) décrivent la biologie et l'écologie de cet insecte dont l'aire de répartition est en expansion. Hanson et al. (2015) ont développé des modèles degrés-jours au Nebraska pour l'étude des vols de cette espèce. Étant donné l'extension de l'aire de répartition de l'espèce, ils ont pris en compte les températures avant le mois de mai et ont construit des modèles de degrés-jours débutant entre le 1^{er} janvier et le 1^{er} mai, avec des seuils inférieurs de développement (-5 à 15°C) et supérieurs (20 à 43°C). Le meilleur modèle pour prédire le moment de vol de *S. albicosta* commence le 1^{er} mars avec un seuil inférieur de 3°C et un seuil supérieur de 24°C. Les observations de terrain devraient débuter après 1432 degrés-jours cumulés. De nombreux travaux ont été effectués ces dernières années en Ontario (p. ex. Goudis 2014).

Risques d'évolution au Québec : La présence de l'espèce sur maïs est surtout liée à la synchronicité entre les cycles de la plante et de l'insecte. Il est possible que *S. albicosta* soit capable de compléter son cycle vital au Québec, mais cela n'a pas encore été confirmé. Un réchauffement climatique renforcerait sûrement l'implantation de cet insecte au Québec.



Scarabée japonais

Popillia japonica (Coleoptera, Scarabaeidae)



Aire de répartition : Originare du Japon, l'espèce est présente en Asie, mais aussi sporadiquement en Europe (Fiche web CABI). Elle est présente dans plusieurs états aux États-Unis où l'espèce a été introduite en 1916. Ce ravageur est présent au Canada, dans les provinces de l'Est, notamment en Nouvelle-Écosse (entrée en 1939), Ontario et au Québec. C'est une espèce réglementée aux États-Unis et au Canada (Directive D-96-15).

Cultures cibles/Plantes hôtes potentielles : Le scarabée japonais peut s'attaquer à plus de 300 espèces végétales. Il s'attaque aussi bien aux gazons qu'aux cultures ornementales qu'aux grandes cultures. En grandes cultures, le soya et le maïs sont parmi les cultures cibles

Dommmages : Les larves s'alimentent sur les racines des graminées alors que les adultes sont des défoliateurs importants. Au niveau des gazons (notamment dans les golfs) et dans les plantes ornementales, le scarabée japonais génère plusieurs millions de dollars en dégâts.

Paramètres bioclimatiques concernant l'espèce : Les conditions estivales favorables sont des températures comprises entre 21 et 35°C et 60% d'humidité relative. L'espèce est univoltine (une génération par an) mais parfois le cycle complet peut prendre deux années dans des régions plus fraîches. La température et en particulier l'humidité du sol sont les principaux facteurs limitant la propagation possible de l'espèce dans différents milieux. Selon Fleming (1972), le scarabée japonais est adapté aux régions dont la température du sol est comprise entre 17.5 et 27.5°C pendant l'été, et au-dessus de -9,4°C en hiver. Les femelles vivent 30 à 45 jours pendant lesquels elles s'accouplent plusieurs fois. Chaque accouplement est suivi d'une ponte de 4 à 6 œufs. Les femelles peuvent pondre 40 à 60 œufs chacune. Les œufs éclosent environ 2 semaines plus tard. Les larves se nourrissent de racines. Le deuxième stade larvaire est atteint après 2-3 semaines et le troisième stade après 3-4 semaines supplémentaires. Les larves se nourrissent jusqu'à la fin de l'automne avant de s'enfoncer un peu plus dans le sol lorsque les températures chutent. Elles remontent à la surface au printemps suivant, complètent leur développement larvaire avant d'entrer en pupaison pour deux semaines. Les adultes émergent vers le mois de juillet. Régnière et al. (1981) ont montré que le développement des stades immatures du scarabée japonais dépend de la température. Ils ont quantifié l'effet de la température sur le développement des larves de 3^{ième} stade hivernantes et la période de maturation sexuelle des adultes. L'émergence des adultes n'est pas affectée par l'humidité du sol. Les adultes sont capables de voler pour des températures supérieures à 21°C sur plusieurs kilomètres. Allsopp (1996) a utilisé un modèle pour prédire la distribution mondiale potentielle de *P. japonica*. Les prédictions faites ont été largement dépassées depuis en Amérique du Nord.

Risques d'évolution au Québec : L'espèce est déjà établie au Québec, mais les CC pourraient favoriser l'expansion de l'aire de répartition de cette espèce et augmenter les dommages causés aux plantes.

Cécidomyie du chou-fleur

Contarinia nasturtii (Diptera, Cecidomyiidae)

Aire de répartition : Originnaire d'Eurasie, la présence de ce diptère a été rapportée en Ontario en 2000, puis par la suite au Québec, en Nouvelle-Écosse, en Saskatchewan et dans plusieurs États américains.

Cultures cibles/Plantes hôtes potentielles : Cette cécidomyie à galle est un ravageur des crucifères, dont le canola.

Dommmages : Ce sont les larves qui sont les plus dommageables pour les cultures de canola. Les problèmes liés à cette espèce affectent les plants jusqu'au stade rosette. Elles attaquent les fleurs aux extrémités des grappes florales avant la montaison, entraînant un brunissement et un dessèchement des points végétatifs, une inhibition de la croissance des tiges et la formation de bouquet de siliques. L'alimentation des larves après la floraison n'a aucun impact sur le rendement. Les pertes dépendent du synchronisme entre la phénologie de la plante hôte et de l'insecte. Les cultures de canola d'hiver et de printemps hâtif auront de meilleures chances d'échapper aux dommages causés par la cécidomyie, car leur stade vulnérable (formation des bourgeons) est terminé quand les populations de l'insecte sont à leur plus haut (Fiche web ACIA).

Paramètres bioclimatiques concernant l'espèce : Après avoir été réglementée par l'USDA et l'ACIA, cette espèce a été dérèglementée (ACIA, DGR-08-03). Cette espèce est déjà présente au Québec et elle possède jusqu'à trois générations par année lorsque les conditions d'humidité du sol et les températures sont propices. En Europe, jusqu'à 4 générations se chevauchent chaque année. Elle hiverne au stade de pupes, dans le sol. Les femelles deviennent inactives lorsque la température tombe sous les 20°C. Readshaw (1966) décrit le cycle de vie de ce ravageur et l'effet des températures et de l'humidité sur son développement. Les adultes de la première génération émergent de mi-mai à mi-juin, avec un pic en début juin. Au Québec, Corlay et Boivin (2008) ont montré que le pic d'émergence des adultes avait lieu entre 344 et 731 degrés-jours (base 7,2°C). Les adultes, qui ne vivent que quelques jours, se nourrissent de nectar et ne sont pas dommageables pour les cultures. Les femelles pondent entre 2 et 50 œufs, déposés en grappes sur la plante hôte et qui éclosent après 1 à 10 jours (à 30 et 10°C, respectivement). Les larves et les pupes ont besoin d'humidité pour se développer. Selon les conditions climatiques, les larves complètent leur développement en 1 à 3 semaines (à 25 et 15°C, respectivement). À maturité, les larves tombent au sol où elles entrent en pupaison pour plusieurs jours. Olfert et al. (2006) ont développé un modèle pour cette espèce au Canada.

Risques d'évolution au Québec : Une forte augmentation des températures pourraient éventuellement être néfaste pour cette espèce qui meurt à des températures supérieures à 30°C. En effet, les larves peuvent entrer en diapause en cas de sécheresse. À 32°C, les pupes meurent et sous cette température les mâles se développent plus vite que les femelles pouvant causer la perte de synchronisme reproductif.



Chrysomèle du haricot

Cerotoma trifurcata (Coleoptera, Chrysomelidae)



Aire de répartition : L'espèce est originaire des États-Unis (Delta du Missisipi) et elle est aujourd'hui présente au Canada (Ontario, Québec).

Cultures cibles/Plantes hôtes potentielles : Soya

Dommmages : Les larves s'alimentent de racines. Les adultes s'attaquent aux feuilles et peuvent s'attaquer aussi aux gousses, favorisant l'attaque par d'autres pathogènes. *C. trifurcata* est un vecteur du virus de la marbrure des gousses du haricot qui cause une dépréciation des graines. En Ontario, un seul individu par mètre carré peut causer des pertes de rendement de 3 kg/ha.

Paramètres bioclimatiques concernant l'espèce : D'abord considéré comme ravageur mineur en Amérique du Nord, l'espèce est vite devenue abondante et s'est propagée aux États-Unis et au Canada. Au Québec, la chrysomèle du haricot possède une génération par année, et chaque femelle pond environ 300 œufs dans le sol.

Berzitis (2013) dresse une liste des paramètres concernant les températures seuils et optimales pour cette espèce. La température minimale de développement est 7,8°C, les températures optimales sont comprises entre 18 et 32°C et le seuil supérieur est de 35°C. La diapause peut être induite à 10°C ou pour une photopériode de 12h. L'étude des CC sur cette espèce et sa plante hôte principale, le soya, a été réalisée (Berzitis 2013, Berzitis et al. 2014). Plusieurs modèles (un norvégien, un russe et un canadien) existent et montrent des différences concernant l'expansion de cette espèce.

Risques d'évolution au Québec : Les modèles montrent qu'au Canada, les conditions seraient favorables pour l'expansion en Ontario, au Québec et au Manitoba. En revanche, l'espèce pourrait disparaître de son aire de répartition d'origine. La date de plantation et le choix de cultivars peuvent aussi affecter les populations de *C. trifurcata* (Tiroesele et al. 2013). C'est une espèce qu'il conviendrait donc de suivre.

Altise du navet

Phyllotreta striolata (Coleoptera, Chrysomelidae)



Aire de répartition : C'est une espèce introduite d'Eurasie. Elle est présente au Canada et au Québec.

Cultures cibles/Plantes hôtes potentielles : Canola

Dommmages : Les altises sont responsables en Amérique du Nord de plusieurs dizaines de millions de dollars de pertes. Les dégâts majeurs ont lieu principalement en début de saison (début mai à mi-juin). Les adultes hivernants se nourrissent sur les cotylédons et les premières feuilles, les tiges et les gousses de canola. Une infestation peut causer la cassure ou le flétrissement du plant et dans les cas graves, induire un mûrissement hâtif des graines. Les larves, bien que s'alimentant de racines, ne semblent pas avoir d'impact apparent sur les plantes hôtes.

Paramètres bioclimatiques concernant l'espèce : *P. striolata* passe l'hiver au stade adulte dans le couvert végétal des mauvaises herbes et les débris de cultures. Les adultes redeviennent actifs après le dégel. Chen et al. (1991) ont montré qu'en conditions de laboratoire, 11 générations peuvent se succéder en un an, le temps de génération pouvant varier de 33-38 jours (juin-août) à 60-67 jours (novembre-janvier). Les adultes ont une longévité de 20 à 23 jours en été et de 40 à 52 jours en automne. En conditions de laboratoire, *P. striolata* n'a pas survécu à des températures inférieures à 16°C et le taux de développement augmente lorsque la température est supérieure à 20°C. La mortalité est plus élevée lorsque les températures sont inférieures à 20°C et supérieures à 32°C. À Taïwan, l'espèce est présente toute l'année (2 générations) avec un pic de population pendant la saison sèche (température optimale 20-28°C). Des précipitations fortes ou prolongées ainsi que des températures élevées affectent négativement la croissance des populations (Chen et al. 1991). Gao et al. (2005) ont mis en évidence qu'en Chine, la température et les vents sont favorables à la dispersion de l'espèce, mais que de fortes températures sont négativement corrélées à la dispersion. Le type de plante hôte est aussi un facteur important. En revanche, l'humidité ne semble pas jouer sur la dispersion de l'espèce.

Risques d'évolution au Québec : L'espèce est déjà présente au Québec et possède une génération par année. Une température de 14°C (vers la mi-mai) permet l'envol et la colonisation des champs de canola (Soroka et Elliott 2011). La ponte s'étale de mai à fin juin, chaque femelle pouvant pondre une centaine d'œufs déposés individuellement ou en groupe près des racines dans le sol. L'éclosion se produit une douzaine de jours plus tard et les larves s'alimentent dans le sol. Leur développement larvaire est d'environ un mois. Les larves entrent en pupaison vers la mi-juillet et les adultes émergent sept à neuf jours plus tard et sont actifs jusqu'au début septembre. Il y a présentement un synchronisme avec les cultures de canola, mais cette culture est en régression au Québec. Le risque d'évolution de l'espèce est modéré.

Méligèthe des crucifères

Meligethes viridescens (Coleoptera, Nitidulidae)



Aire de répartition : Au Canada, l'espèce semble avoir été collectée pour la première fois en Nouvelle-Écosse en 1947 et a étendu son aire de répartition jusqu'en Montérégie (St-Hyacinthe en 2001). Par ailleurs, les populations sont en augmentation ces dernières années au Québec, notamment dans les régions du Bas-Saint-Laurent et du Saguenay Lac-Saint-Jean.

Cultures cibles/Plantes hôtes potentielles : Ce ravageur s'attaque aux crucifères, dont le canola.

Domages : Se nourrissant de pollen, les larves et adultes détruisent un grand nombre de fleurs et de boutons floraux, empêchant la formation de siliques et de graines. La colonisation des régions productrices de canola pose un risque de pertes considérables pour les producteurs. L'espèce peut causer jusqu'à 70 % de pertes de rendement dans le colza en Europe (Labrie 2012).

Paramètres bioclimatiques concernant l'espèce : L'espèce possède 1 génération par an, mais peut en avoir deux dans les méridionales en Europe (INRA). L'établissement de *M. viridescens* dans l'est de l'Amérique du Nord représente un risque dans les régions canadiennes productrices de canola. Les adultes sont capables de se déplacer en volant sur plusieurs kilomètres (Fiche web INRA). Un modèle CLIMEX a été élaboré pour l'Europe. Au Canada, le modèle prédit que le ravageur peut survivre là où du canola est cultivé. La répartition actuelle de *M. viridescens* dans l'est du Canada correspond bien à la répartition prédite par le modèle (Mason et al. 2003). Les auteurs prévoient la dispersion et l'établissement de *M. viridescens* dans l'ouest de sa zone actuelle (Ontario et Manitoba).

Mason et al. (2003) montrent que le seuil inférieur de développement serait de 7°C, les températures optimales de développement comprises entre 13 et 25°C et le seuil supérieur de développement de 33°C. Olfert et Weiss (2006) ont montré qu'une hausse des températures de 1 à 7°C conduirait à l'augmentation de l'aire de répartition et de l'abondance de l'espèce. Les femelles pondent environ 250 œufs (par groupe de 2 ou 3) dans les boutons floraux. Le développement embryonnaire dure environ 12 jours. Les 2 stades larvaires se nourrissent de pollen mais si les larves sont abondantes (5 individus par bouton floral) elles peuvent attaquer les ovaires de la fleur. Le développement larvaire dure environ un mois à 16°C. Les larves tombent ensuite sur le sol et se nymphosent pendant 2 à 3 semaines environ.

Risques d'évolution au Québec : Cette espèce cause actuellement peu de dommages au Québec où elle arrive trop tard pour attaquer les boutons floraux. La sortie d'hibernation est trop tardive actuellement. Cette espèce ne possède pas d'ennemi naturel au Québec et possède une bonne reproduction. Si un réchauffement climatique permettait une sortie plus hâtive des individus et une meilleure synchronicité entre le cycle de la plante et de l'insecte, il pourrait y avoir une augmentation des dommages sur les plantes.

Charançon de la silique

Ceutorhynchus obstrictus (Coleoptera, Curculionidae)

Aire de répartition : *C. obstrictus* est originaire d'Europe et a été introduit en Amérique du Nord. Découvert en Colombie-Britannique en 1931, son aire de dispersion s'est agrandie vers le sud et l'est. Il est aussi présent aux États-Unis et au Canada (Carcamo et al. 2001). On le trouve aussi au Québec.



Cultures cibles/Plantes hôtes potentielles : Ce ravageur s'attaque aux crucifères, dont le canola.

Dommmages : Les larves consomment 5 à 6 graines par gousse et réduisent donc les rendements (p. ex. de 15 à 35% de pertes de rendement sur le canola d'hiver). Le coût estimé des pertes pour l'industrie canadienne du canola est de 5 millions de dollars canadiens (Haye et al. 2013). La présence de trous dans les siliques peut aussi induire des infections secondaires liées aux champignons ou bactéries.

Paramètres bioclimatiques concernant l'espèce : L'espèce est présente au Québec depuis 2001 (Brodeur et al. 2001). Elle possède une génération par année. La dispersion est très rapide et peut être de 55 km/année (Doddall et al. 2002). L'activité de vol dépend des conditions climatiques (Tansay et al. 2010).

Les adultes hivernent dans les débris végétaux. Au printemps, le pic d'émergence a lieu quand la température du sol atteint 15°C (fin mai à mi-juin). Deux à trois semaines plus tard les femelles commencent à pondre (environ 250 œufs) à raison d'un œuf par silique. Les 3 stades larvaires se déroulent pendant 2 à 3 semaines. Les larves tombent sur le sol et entrent en pupaison pour 2 à 4 semaines, avant l'émergence de nouveaux adultes vers la mi-août.

Doddall et al. (2002) ont réalisé des modèles de prédiction pour l'Alberta et la Saskatchewan et ont déterminé les valeurs de CLIMEX pour cette espèce, 5°C étant le seuil inférieur de développement, 6 à 25°C les températures optimales et 35°C le seuil supérieur de développement.

Risques d'évolution au Québec : Le modèle d'Olfert et Weiss (2006) montre qu'avec une augmentation de 3,8°C (mais sans changements de précipitations), les conditions ne seraient pas favorables pour la dispersion de ce charançon au Québec. De plus, cette espèce est actuellement bien contrôlée par son parasitoïde.

Espèces exotiques envahissantes d'insectes ravageurs

Chenille des épis du maïs

Helicoverpa armigera (Lepidoptera, Noctuidae)

Aire de répartition : Asie, Afrique, Europe (surtout le sud) et Océanie. Récemment établi en Amérique du Sud. Aux États-Unis, l'espèce a été détectée pour la première fois en Floride en juin 2015 et est placée sous surveillance (Fiche web CABI).

Cultures cibles : Maïs, blé, orge, avoine, soya

Dommmages : Cet insecte est considéré comme pouvant avoir des impacts majeurs sur les cultures puisque très polyphage. Les coûts annuels mondiaux pour contrôler ce ravageur, ainsi que les pertes de rendement, atteignent 5 milliards \$ US. En Inde et en Chine, 50% des pesticides utilisés en agriculture sont dédiés au contrôle de ce ravageur.

Paramètres bioclimatiques concernant l'espèce : Les oeufs d'*H. armigera* peuvent éclore en moins de 3 jours à la température optimale de 27-28°C. Il existe de nombreuses données thermiques sur le développement de cette espèce qui possède 3 à 11 générations par an selon les régions et les conditions (Fiche web CABI). Plusieurs modèles de développement thermique existent pour cette espèce. Bartekova et Praslicka (2006) ont déterminé que les seuils inférieurs de température et la constante thermique pour le développement sont de 14,8°C et de 64 degrés-jours pour les oeufs, 11,3°C et 345 degrés-jours pour les larves, et 8,2°C et 222 degrés-jours pour les pupes. Le seuil thermique minimal pour le développement complet d'*H. armigera* est de 11,5°C et la constante thermique de 625 degrés-jours. Mironidis et Savopoulou-Soultani (2008) ont démontré que *H. armigera* ne se développe pas de l'œuf à l'adulte pour des températures situées en dehors des températures comprises entre 17,5 et 32,5°C quand les individus sont élevés à température constante. Des conditions de températures variables permettent d'étendre ces seuils entre 10 et 35°C. La longévité de l'adulte varie de 34,4 jours à 15°C à 7,6 jours à 35°C. Les femelles élevées sous des températures quotidiennes variables pondent plus d'œufs que les femelles élevées à températures constantes (sauf à 25°C). Le taux intrinsèque d'accroissement (r_m) est plus élevé à 27,5°C, aussi bien pour un élevage à température constante qu'avec des températures variables (0,147 et 0,139, respectivement).

Potentiel d'établissement au Québec : Les seuils de températures semblent favorables à une introduction au Québec. *Helicoverpa armigera* pourrait donc s'établir au Québec puisque très proche d'*Helicoverpa zea*, une espèce abondante aux États-Unis et qui migre aussi au Canada, mais n'y hiverne pas. Les adultes peuvent migrer sur de longues distances, et les échanges commerciaux (plantes ornementales, fleurs coupées, coton et tomates) pourraient favoriser son introduction.



Noctuelle gamma

Autographa gamma (Lepidoptera, Noctuidae)

Aire de répartition : L'espèce est présente en Europe, en Afrique du Nord et en Asie. En Europe, l'adulte migre du sud vers le nord au printemps et des individus migrent du nord au sud pour passer l'hiver dans les régions méditerranéennes.

Cultures cibles : Maïs, blé, orge, avoine, soya et crucifères.

Domages : Les larves sont très polyphages et causent des dommages plus ou moins importants dans plusieurs cultures (Fiche web Plantwise).



Paramètres bioclimatiques concernant l'espèce : La température optimale de développement est de 20-25°C. Le total de degrés-jours nécessaires pour le développement d'une génération est de 515°C au seuil de 10°C. Les températures optimales pour le développement des larves sont de 23-30°C, de 25°C pour les pupes, et de 20-25°C pour les adultes. L'humidité relative optimale est de 80-95% (Fiche web AgroAtlas).

L'espèce possède plusieurs générations par an (plurivoltine). Au Royaume-Uni, 1 à 3 générations par année sont observées. Les adultes sont capables de se reproduire continuellement grâce aux migrations. Par exemple, des individus arrivent en Grande-Bretagne au printemps et après plusieurs générations, lorsque les températures deviennent défavorables, ils migrent vers le sud en direction de l'Afrique du Nord ou du Moyen-Orient où ils trouvent des conditions idéales pour poursuivre leur reproduction.

La durée de la période pré-reproductive (PRP) peut agir sur le potentiel migratoire (capacité de vol et distance), les individus d'automne ayant une PRP plus longue que celle des individus d'été. En conditions de laboratoire, la PRP est plus longue à faibles températures et pour de courtes photopériodes. La PRP s'allonge lorsque la photopériode décroît graduellement. L'augmentation de la PRP est une adaptation en réponse aux conditions environnementales automnales qui permet aux individus d'accroître les vols migratoires, afin de trouver des sites adéquats pour passer l'hiver avant la reproduction (Hill et Gatehouse, 1992).

Enfin, en fonction de la température, du type de plante et de sa composition en eau et en azote, le taux de croissance varie et le nombre de degrés-jours pour compléter le développement peut aller de 167 à 353 (Honek et al. 2002).

Potentiel d'établissement au Québec : Si l'espèce venait à être introduite accidentellement en Amérique du Nord, les températures seraient potentiellement favorables à sa reproduction au Québec.

Punaise verte ou ponctuée

Nezara viridula (Heteroptera, Pentatomidae)

Aire de répartition : Présente en Asie, en Afrique, aux États-Unis, Caraïbes, en Amérique du Sud et en Europe. Commune dans les régions tropicales et subtropicales, elle progresse rapidement vers les zones tempérées suite à l'augmentation des températures. Elle est présente au Massachusetts (Fiche web CABI).



Cultures cibles : C'est une espèce très polyphage mais avec une préférence pour les légumineuses tel que le soya. Le blé et le maïs font aussi partie des hôtes potentiels (Fiche web CABI).

Dommmages : Les piqûres engendrées par l'alimentation de l'insecte génèrent des retards de croissance des fruits immatures et affectent les graines. En Australie, ce pentatomide cause des pertes de production de 183 à 492 kg/ha dans le soya (Brier et Rogers 1991), soit environ 20% du rendement moyen (environ 2,5t/ha). Les piqûres causées par l'espèce favorisent également le développement de maladies opportunistes.

Paramètres bioclimatiques concernant l'espèce : La température optimale de développement varie de 25 à 30°C, et le nombre de degrés-jours s'établit à 609 pour un développement complet (en base 10°C). La durée du cycle de développement est de 65 à 70 jours et il peut y avoir jusqu'à 4 générations par année. Mais ces données varient selon les pays. Par exemple, en Australie, le taux de développement des nymphes dépend de la température et de la qualité nutritionnelle. A 30°C, les stades nymphaux durent 23 jours et 8 semaines à 20°C (Todd 1989). Une alternance de températures (30°C le jour et 20°C la nuit) avec une photopériode (14 h jour et 10 h nuit) entraîne une durée de développement nymphal de 5 semaines (Velasco and Walter 1993). Quand elles sont élevées sur leur hôte primaire (exemple le soya), les nymphes peuvent se développer deux fois plus vite que sur d'autres plantes hôtes à 27±5°C (Velasco and Walter 1992). Une étude récente (Chanthy 2015), menée en conditions de laboratoire à différentes températures sur différentes populations australiennes, montre que la température et l'humidité affectent le développement de cette espèce. Une augmentation des températures induit une diminution du temps de développement nymphal, une diminution du taux de survie nymphale (aussi diminué à une humidité de 80% HR). La longévité et la reproduction des adultes sont aussi affectées par des températures élevées et un fort taux d'humidité. Au Brésil, les nymphes ne survivent pas bien à 30°C, et une meilleure oviposition est observée à 20°C, ce qui pourrait suggérer que l'espèce est mieux adaptée aux températures plus fraîches (Cividanes and Parra 1994).

Potentiel d'établissement au Québec : Si cette punaise migrerait davantage vers le nord, elle pourrait probablement se reproduire au Québec.

Prodénia

Spodoptera littoralis (Lepidoptera, Noctuidae)

Aire de répartition : Afrique, Madagascar, Europe (localisée) et Moyen Orient

Cultures cibles/Plantes hôtes potentielles : Maïs, blé.

Dommmages : C'est l'un des ravageurs les plus destructeurs en milieu tropical et subtropical qui cause des dommages importants sur les pommes de terre, le coton, les légumes, le maïs, etc. La destruction du feuillage et des fruits (pour le cotonnier) sont très dommageables pour les cultures. Aucune donnée n'est disponible quant à l'impact économique qu'elle puisse causer sur le maïs et le soya (Fiche web CABI).



Paramètres bioclimatiques concernant l'espèce : En Europe, l'aire maximale de répartition s'étend surtout au pourtour Méditerranéen. Les basses températures hivernales sont un facteur limitant la distribution de l'espèce qui n'hiverné pas en France ni en Italie, mais dans le sud de l'Espagne. En Grèce, l'insecte hiverne sous forme de pupé. La température constante minimale pour un développement complet de tous les stades est de 13-14°C. À 18°C, les stades œuf, larve et pupé durent respectivement 9, 34 et 27 jours. À 36°C, ces mêmes stades durent respectivement 2, 10 et 8 jours.

Plusieurs études sur le développement de cette espèce ont été réalisées. Par exemple, Baker et Miller (1974) ont estimé la durée de développement en degrés-jours sur différentes cultures. Ainsi, le temps de développement des œufs a été estimé à 29 degrés-jours au-dessus de 14,8°C. Pour les larves, il a été estimé à 266 degrés-jours au-dessus de 11,5°C sur luzerne, et 257 degrés-jours au-dessus de 13°C. Pour le développement des pupes, au-dessus de 13°C, le nombre de degrés-jours pour les mâles était de 177 et pour les femelles de 154.

Les adultes vivent entre 5 à 10 jours. Ils volent durant la nuit, leur activité étant plus élevée lorsque l'humidité relative augmente et que la température diminue. La fécondité peut atteindre 1000 œufs par femelle et les œufs sont généralement pondus la nuit. Les larves se nourrissent essentiellement la nuit.

Sur coton, l'espèce peut avoir jusqu'à 7 générations si les conditions sont optimales.

Potentiel d'établissement au Québec : En Europe, le principal risque d'introduction est lié aux cultures de plantes ornementales en serres. L'espèce n'est pas présente dans les Amériques, mais pourrait être introduite accidentellement lors d'échanges commerciaux. Les risques d'introduction restent toutefois limités.

Ver-gris (noctuelles)

Euxoa auxiliaris/Chorizagrotis auxiliaris (Lepidoptera, Noctuidae)

Aire de répartition : Amérique du Nord (États-Unis, Canada : Alberta, Saskatchewan et Manitoba). L'espèce est communément trouvée dans plusieurs provinces dans l'ouest Canadien (notamment en Alberta et en Saskatchewan. Elle entraîne rarement des dégâts au Manitoba).

Cultures cibles/Plantes hôtes potentielles : Maïs, céréales, canola.

Dommmages : Les larves s'alimentent généralement en fin de journée et pendant la nuit et vivent dans le sol. Elles se déplacent en masse (comme une armée, d'où son nom anglais « army cutworm ») vers de nouvelles zones à ravager. Les infestations peuvent causer des dégâts importants (jusqu'à 75% de pertes de rendement) mais de façon localisée et sporadique dans les champs.

Cette espèce constitue une menace pour les cultures précoces de canola.

Paramètres bioclimatiques concernant l'espèce : Aux États-Unis, l'espèce migre à la fin mai et au début juin de l'Iowa et du Missouri vers les Rocky Mountains (migration de l'est vers l'ouest). En 2012, en raison d'un printemps plus chaud, des adultes effectuant leur migration ont été observés avec 5 semaines d'avance au Nebraska, des températures de 32°C ayant favorisées les vols (Bottrell, 2012).

Il n'y a qu'une génération par année. Les femelles pondent environ 1000 œufs dans le sol de la fin août au mois d'octobre, les œufs éclosent entre 2 et 15 jours plus tard et les larves débutent leur développement à l'automne. Le développement s'arrête quand le sol commence à geler. Les larves recommencent à s'alimenter en avril et jusqu'à la pupaison en mai-juin. Des conditions particulières sont nécessaires pour un bon développement de l'espèce et pour être favorables à une augmentation des populations. En effet, l'année avant une épidémie, le mois de juillet doit être sec (moins de 3,8 cm de précipitation et 17°C ou plus). Une grande accumulation de précipitations en juillet peut noyer les individus. De plus, l'automne (d'août à octobre) doit présenter beaucoup de précipitations avec plus de 11,4 cm de précipitations, notamment avec une grosse accumulation en septembre. Des automnes secs retardent l'éclosion des œufs jusqu'à deux mois. Les œufs et les premiers stades larvaires sont sensibles à la déshydratation et meurent dans le sol. La présence de nombreuses femelles au début de l'automne n'est donc pas signe d'une épidémie l'année suivante, puisque les conditions automnales sont un facteur important chez cette espèce.

Potentiel d'établissement au Québec : Même si elle est présente dans les grandes plaines de l'Ouest Canadien, les chances que cette espèce soit présente au Québec sont faibles, car elle migre d'est en ouest et les conditions ne semblent pas être favorables à son établissement.



Punaise du Kudzu

Megacopta cribraria (Heteroptera, Plataspididae)

Aire de répartition : Cette punaise est native d'Asie, où on la trouve dans de nombreux pays (p. ex. Chine, Inde, Japon) et elle est présente aux États-Unis. En 2009, son pont d'entrée a été la Géorgie avant d'être observée en Caroline du Sud et Caroline du Nord. Son expansion vers le nord est étroitement surveillée puisqu'elle est maintenant établie en Virginie et qu'elle pourrait continuer sa progression vers le nord.



Cultures cibles/Plantes hôtes potentielles : Soya.

Dommmages : Cette punaise infeste essentiellement les bordures des champs de soya (Seiter et al. 2012a), attaque le feuillage et cause des pertes de rendement d'environ 20 %. En laboratoire, les pertes peuvent atteindre près de 60% sur des plants de soya infestés (Seiter et al. 2012b).

Paramètres bioclimatiques concernant l'espèce : L'espèce possède une aire de répartition qui s'agrandit rapidement vers le nord. Avec 2 à 3 générations par an en Géorgie, l'espèce possède un bon taux de reproduction.

L'augmentation de la température engendre une réduction du temps de développement pour les stades œuf et nymphe. Le temps complet de développement (œuf à adulte) est de 115; 76; 45 et 39 jours aux températures respectives de 17, 21, 25, et 29°C. Le développement des nymphes n'est pas complété à une température constante de 33°C. La température seuil estimée pour le développement de l'œuf à l'adulte est de 14°C, avec une constante thermique de 850 degrés-jours. Les femelles ont une période de pré-oviposition plus longue à 21°C (54 jours) et celle-ci est raccourcie lorsque la température augmente. De plus, la période de ponte est plus longue (35 jours) et la fécondité plus élevée (160 œufs/femelle) à 25°C. Il n'y a pas de ponte à 17°C. La longévité des femelles est plus courte (44 jours) à 29°C, qu'à 17-25°C (76 à 82 jours). L'index de population est plus élevé à 25°C (46 jours), puis à 29°C (11 jours) et à 21°C (7 jours) (Shi et al. 2014).

En plus des dégâts qu'elles causent dans les cultures, ces punaises peuvent causer différentes nuisances pour les humains. À l'automne, elles cherchent un site d'hibernation et se rassemblent en grand nombre sur les maisons. Elles émettent une odeur désagréable et produisent une substance jaune qui tache. L'espèce peut aussi causer des irritations cutanées.

Potentiel d'établissement au Québec : Bien qu'elle ne soit pas une menace actuelle, la surveillance effectuée aux États-Unis indique que l'espèce est à suivre en raison de son aire de répartition qui s'accroît rapidement. Un réchauffement climatique pourrait potentiellement permettre son établissement sous nos latitudes.

Punaise marbrée

Halyomorpha halys (Heteroptera, Pentatomidae)

Aire de répartition : Originare d'Asie, l'espèce est largement répandue aux USA. Elle a été détectée en Ontario et elle a été observée au Québec à partir de 2014, d'abord dans un verger de la région de Franklin puis sur l'île de Montréal où des nymphes ont été capturées. L'espèce se disperse relativement lentement en Amérique du Nord, mais sa progression est constante.



Cultures cibles et dommages : Il s'agit d'un insecte généraliste qui peut affecter de nombreuses cultures. Leskey et al. (2012) rapportent des diminutions de rendement supérieures à 50% dans le soya (nymphes et adultes attaquent les grains en maturation). Cette espèce s'attaque aux légumes mais également aux vergers de pommes et de pêchers. Elle effectue des piqûres dans les plants et fruits, générant une dépréciation de la qualité des aliments. Elle représente une nuisance pour l'homme puisqu'elle envahit les habitations.

Paramètres bioclimatiques concernant l'espèce : Les travaux de Nielsen et al. (2008; 2009) ont permis d'élaborer un modèle basé sur les degrés-jours et ont déterminé des températures de base de 14°C et optimale de 30°C avec un début des cumuls le 31 mai (en Pennsylvanie). Les seuils thermiques pour l'atteinte des stades « début de ponte », « premières nymphes » et « premiers adultes » ont été établis respectivement à 148, 201 et 686 degrés-jours. Le développement de l'œuf à l'adulte nécessite 538 degrés-jours avec un seuil minimal de température de 14°C et un seuil maximal de 35°C (Nielsen et al. 2008). À 30°C, *H. halys* complète son cycle en 32 à 35 jours sur pêcher, mais cela peut varier en fonction de la culture.

Potentiel d'établissement au Québec : L'espèce est sous haute surveillance au Canada. Plusieurs individus ont déjà été collectés dans le cadre d'échanges commerciaux ou sur des véhicules en provenance des États-Unis. Mimee et al. (2013) ont réalisé des cartes présentant le potentiel d'établissement de cette espèce dans les régions agricoles au Québec. Bien que des nymphes et des adultes aient été collectés sur l'île de Montréal, il n'a pas encore été montré formellement que l'espèce puisse compléter son cycle de développement au Québec de façon pérenne. Toutefois, les scénarios de modélisation montrent que ce ravageur pourrait s'y établir d'ici 2041-2070. Les premières pontes seraient devancées de 10 à 15 jours. De plus, les premiers adultes de la punaise marbrée (génération d'été) pourraient coloniser plusieurs régions agricoles du sud du Québec. Le Réseau d'avertissements phytosanitaires effectue des piégeages permettant de détecter l'arrivée de la punaise marbrée et son aire de répartition au Québec.

Cette espèce de punaise est très compétitrice et pourrait affecter les populations de punaises indigènes au Québec et même avoir des répercussions négatives sur certaines populations d'ennemis naturels comme le parasitoïde *T. podisii* (Abram et al. 2014). En effet, le parasitoïde pourrait pondre dans la punaise marbrée, mais ne serait pas en mesure de compléter son développement. Ce phénomène porte le nom de cul-de-sac évolutif. Une attention particulière devra donc de mise concernant l'établissement de cette punaise en milieu agricole.

Pyrale des tiges de maïs du sud ***Diatraea crambidoides* (Lepidoptera, Crambidae)**

Aire de répartition : Présent dans le sud des États-Unis.

Cultures cibles/Plantes hôtes potentielles : Maïs, céréales.

Domages : Sur l'herbe de Gama (*Tripsacum dactyloides*), une culture proche du maïs, les dégâts peuvent atteindre 1 100 kg/ha ou 45 \$US/ha dans les zones sévèrement touchées. L'insecte réduit la vigueur des plantes et le nombre d'inflorescences (Maas et Springer, 2005). En Caroline du Sud, sur maïs, il a causé une perte de 15% de rendement. (Cartwright, 1934).

Paramètres bioclimatiques concernant l'espèce : L'espèce possède 2 à 3 générations par année en Oklahoma. Springer et al. (2011) ont réalisé un modèle en degrés-jours cumulés pour cette espèce, sur 3 générations, en Oklahoma. Ils ont utilisé le seuil inférieur de 10°C et supérieur de 30°C pour bâtir leur modèle. Le cycle de vie de développement complet de ce lépidoptère peut être complété en 911 degrés-jours cumulés (Springer et al. 2011).

La diapause non-obligatoire peut être induite par un environnement à 21°C, 50–60% d'humidité relative, et sous une photopériode de 12h:12h (jour:nuit). La diapause est levée lorsque les conditions environnementales sont les suivantes: 27,6°C, 50-60% d'humidité relative et une photopériode de 16h:8h (jour:nuit).

Les conditions pour l'oviposition sont 27,6°C, 50–60% d'humidité relative, et une photopériode 14h :10h (jour:nuit) (Davis et al. 1999).

Potentiel d'établissement au Québec : L'espèce n'étant pour le moment présente que dans le sud des États-Unis et son aire de répartition ne s'étendant pas vers le Nord, les risques d'établissement au Québec semblent limités.



Noctuelle du maïs

Sesamia nonagrioides (Lepidoptera, Noctuidae)

Aire de répartition : Europe (essentiellement le bassin méditerranéen), Moyen-Orient et Afrique (Eizaguirre et Fantinou, 2012).

Cultures cibles/Plantes hôtes potentielles : Maïs, blé, orge, avoine.

Domages : Chez le maïs, selon le stade phénologique, les dégâts peuvent avoir lieu à différents endroits : les jeunes plants de maïs fanent et meurent, alors que sur des plants plus âgés, on observe un forage des chaumes et des panicules mâles causant un dessèchement et des cassures. Les dégâts les plus importants touchent les épis, attaqués à différentes étapes de croissance. Tout cela induit une réduction du nombre de grains et donc des pertes de rendement.

Paramètres bioclimatiques concernant l'espèce : Dans les régions méditerranéennes, les adultes apparaissent au début du printemps (fin mars-début avril). De 3 à 4 générations peuvent être observées par année. La fécondité moyenne peut atteindre 800 œufs/femelle. Les premières éclosions se produisent vers avril-mai et s'étendent jusqu'en juin. Elles surviennent une semaine après la ponte et le développement larvaire dure environ 45 jours avant la formation de la chrysalide.

Le temps de développement diminue lorsque les températures sont comprises entre 14 et 25°C. La survie est plus élevée pour des températures de 17 à 25°C alors qu'elle est réduite à des températures extrêmes (14 et 31°C). Les œufs et les premiers stades larvaires sont ceux où l'on observe le plus de mortalité, quelle que soit la température. Les températures pour le seuil inférieur de développement sont comprises entre 7 et 10°C alors que celles pour le seuil supérieur sont de 31 à 36°C et la température optimale de développement est comprise entre 28 et 30°C. La constante thermale pour un développement complet est estimée à 1000 degrés-jours. La longévité adulte peut être affectée par la température, les températures élevées (21-31°C) la réduisant en comparaison avec les températures plus basses (14-17°C).

Maiorano et al. (2012) ont modélisé la distribution potentielle et le développement phénologique de cet insecte, avec un scénario de réchauffement climatique et notamment à l'horizon 2030 et 2050 en Europe. Les résultats montrent que les basses températures hivernales qui peuvent affecter la survie à l'hiver ne seraient pas un facteur limitant la distribution de l'espèce. Le réchauffement climatique permettrait aussi d'augmenter le nombre de générations par année en Turquie, dans les Balkans et même en Allemagne mais pas dans les régions méditerranéennes, à cause d'un effet stressant lié aux fortes températures.

Potentiel d'établissement au Québec : L'espèce n'étant pas présente dans les Amériques, le risque d'introduction et d'établissement semblent faibles.



Pyrale des amandes

Cadra cautella (Lepidoptera, Pyralidae)

Aire de répartition : Présente dans le monde entier, mais essentiellement dans les régions tropicales et sous tropicales. Elle peut toutefois survivre à l'intérieur d'installations chauffées dans les zones tempérées.



Cultures cibles/Plantes hôtes potentielles : Maïs, blé, légumineuses (denrées stockées).

Dommmages : C'est un ravageur important pour les meuneries et les usines de transformation alimentaire et ne semble pas s'attaquer ou peu aux cultures en champs. *C. cautella* s'attaque aux denrées stockées en faisant des trous dans les grains. Les chenilles infestent aussi les aliments ensachés et en vrac, mais seulement les couches superficielles et s'attaquent principalement au germe et au son (Fiche web ACIA).

Paramètres bioclimatiques concernant l'espèce : Selon la Commission Canadienne des Grains (Fiche web CCG), *C. cautella* fait partie des ravageurs secondaires des grains. Mais compte tenu du fait qu'elle peut vivre dans les denrées stockées, elle peut engendrer des pertes économiques liées à l'exportation des denrées.

Les femelles déposent leurs œufs (jusqu'à 300) sur la source de nourriture. À 30°C, l'éclosion des œufs est rapide (3 jours environ). Les chenilles pénètrent dans les grains en creusant des galeries.

Dans des conditions optimales (32,5°C et 70% d'humidité relative), le développement larvaire (5 stades) est complété en 22 jours. Dans les régions tempérées, si les conditions ne sont pas favorables (diminution de la température et de la durée du jour), les chenilles peuvent entrer en diapause pendant plusieurs mois. Les chenilles tolèrent une faible humidité ambiante et dans leur nourriture. Les chenilles sortent des grains, forment un cocon et entrent en nymphose. La pupaison est complétée en une semaine environ. Dans les meilleures conditions, le développement de l'œuf à l'adulte prend de 29 à 31 jours. Les adultes ne s'alimentent pas et ont donc une courte espérance de vie (quelques jours).

Potentiel d'établissement au Québec : Bien que cette espèce soit détectée au Québec, elle n'affectera probablement que les stocks et non les cultures.

Charançon frangé de blanc

Naupactus leucoloma/*Graphognathus leucoloma* (Coleoptera, Curculionidae)



Aire de répartition : L'espèce a été décrite pour la première fois en Floride dans les années 1930, mais elle est originaire d'Amérique du Sud. On la trouve dans de nombreux États du sud des États-Unis (jusqu'en Virginie). Sa présence est aussi rapportée en Australie, Nouvelle-Zélande et Afrique du Sud. C'est un organisme de quarantaine en Europe (Fiche web EPPO).



Cultures cibles/Plantes hôtes potentielles : C'est une espèce très polyphage. Elle peut affecter le soya, le maïs et l'avoine aux États-Unis.

Dommmages : De faibles populations peuvent induire d'importantes pertes de rendement. Comme la larve de l'insecte s'alimente de racines, il est difficile de détecter sa présence avant d'observer un jaunissement et un dépérissement des plantes. Les adultes se nourrissent sur le feuillage.

Paramètres bioclimatiques concernant l'espèce : L'espèce ne possède qu'une génération par an, avec un cycle de développement d'environ 300 jours à 20°C. Certains individus peuvent passer 18 mois au stade larvaire, ayant un cycle de développement sur 2 ans. L'espèce aime les conditions humides ou les régions irriguées.

Les adultes émergent du sol entre mai et octobre et s'alimentent de feuillages et l'oviposition a lieu au cours des 5 à 25 jours suivants. En général, les femelles sont parthénogénétiques (elles peuvent pondre jusqu'à 1500 œufs) et ces femelles semblent être meilleures pour la colonisation de nouveaux environnements que les populations bisexuelles (Guzmán et al. 2012). Les œufs sont pondus en grappes de 11 à 14 œufs sur les tiges, les racines ou directement dans le sol. L'éclosion des œufs a lieu 11 à 100 jours après l'oviposition selon la saison à laquelle ils ont été pondus. En été, l'éclosion a lieu au bout de 17 jours environ alors que s'ils sont pondus l'hiver, l'éclosion se produit après 100 jours (Dixon 2014). Sato et al. (2002) ont étudié le développement de cet insecte en laboratoire et à différentes températures. Des températures élevées favorisent le développement, mais aucune larve ne nymphose à 33°C. La température de seuil de développement des stades larvaires est estimée à 12°C. La température de 27°C semble être optimale pour les larves, les pupes et l'émergence des adultes qui sont plus fertiles à 24°C. La longévité des adultes dépend du type de nourriture. Les larves complètent leur développement dans le sol et s'alimentent de racines et de tiges souterraines. *N. leucoloma* hiverne dans le sol au stade larvaire et la pupaison a lieu d'avril à juin. L'été la pupaison dure environ 13 jours les mois d'été et plus longtemps les mois plus frais (Young et al. 1950).

Potentiel d'établissement au Québec : Étant donné que le cycle de développement nécessite 300 jours à 20°C, les chances d'établissement au Québec sont très faibles.

Pyrale du haricot

Etiella zinckenella (Lepidoptera, Pyralidae)

Aire de répartition : Lépidoptère d'origine asiatique, cet insecte est présent en Russie, en Afrique, en Asie et en Inde. Cette espèce est aussi présente en Australie et aux États-Unis. Quelques individus ont également été échantillonnés au Manitoba et en Saskatchewan. L'espèce est présente aussi dans le sud de l'Europe et a été introduite au Royaume-Uni lors d'importations d'aliments.



Cultures cibles/Plantes hôtes potentielles : Soya

Dommmages : Les larves se nourrissent dans les gousses de légumineuses. Pour une raison inconnue, cet insecte est ravageur majeur du soya en Asie, alors qu'en Amérique du Nord il ne s'attaque pas à cette culture (Fiche web Plantwise).

Paramètres bioclimatiques concernant l'espèce : Une étude menée en Inde montre que l'espèce peut avoir 5 générations par an (Singh et Dhooria, 1971), mais en Amérique du Nord, l'espèce ne semble compléter qu'une génération par an sur les plantes annuelles, excepté en Californie où elle a 3-4 générations sur le haricot de Lima. *E. zinckenella* est capable de survivre dans de nombreux environnements variés. Dans certaines régions, une sécheresse printanière ou estivale semblent favoriser la reproduction de cette espèce.

Singh et Dhooria (1971) ont montré que le type de plante sur lequel ce ravageur se développe influence les paramètres de développement, le développement larvaire étant plus court sur pois (13 jours), que sur lentilles (18 jours) ainsi que la durée du cycle de vie complet (de l'éclosion à la mort de l'adulte) qui a respectivement duré 36 et 44 jours. La température peut aussi affecter le développement de l'œuf qui varie de 4 à 21 jours, celui de la larve de 19 à 40 jours et de la nymphe de 12 à 18 jours. Après l'émergence, les adultes vivent environ 3 semaines, pendant lesquelles les femelles pondent environ 100 à 300 œufs (maximum 600). En Égypte, Fargalla et Fahim (2014) ont observé des populations d'œufs et de larves de cette espèce dans deux écosystèmes différents et ont montré que les fluctuations de températures quotidiennes affectent grandement la dynamique de population d'*E. zinckenella*. Les résultats obtenus ont montré une relation négative entre la température et la population d'insectes. Les seuils de développement et le nombre de degrés-jours ont été déterminés à 14°C et 678 DJ pour les œufs, à 15°C et environ 167 DJ pour les larves et 15°C et 140 DJ pour les pupes. La longévité des adultes varie de 6 jours à 30°C à 10 jours à 25°C (Naito, 1965).

Potentiel d'établissement au Québec : Dans l'éventualité où la souche de lépidoptères établie en Amérique du Nord retrouverait les mêmes préférences alimentaires que celle présente en Asie, des problèmes phytosanitaires seraient à envisager.

Pyrale du sud-ouest

Diatraea grandiosella (Lepidoptera, Crambidae)

Aire de répartition : Amérique du Sud et sud des États-Unis.

Cultures cibles/Plantes hôtes potentielles : Maïs et céréales

Domages : Les larves infestent les parties aériennes de la plante en les forant, ce qui peut entraîner des cassures des feuilles et des tiges. Les plantes attaquées présentent un retard de croissance. Ces insectes peuvent réduire les rendements de maïs et de sorgho de 15 à 50%.



Paramètres bioclimatiques concernant l'espèce : L'espèce possède de 1 à 3 générations par année. Chippendale et al. (1992) ont montré que l'espèce s'est adaptée aux conditions climatiques existantes dans le sud des États-Unis (photopériode, hivers plus froids, ...) par rapport à celles présentes au Mexique.

Le froid est un facteur limitant la progression de l'espèce (Baskauf et McCauley 2001). La mortalité des larves en diapause est l'une des raisons pour lesquelles la distribution de l'espèce n'évolue pas vers le nord. Les larves en diapause sont sensibles au gel et ne résistent pas aux hivers lorsque les températures chutent en dessous de -7°C . Les larves gèlent à -2°C et une mortalité importante est observée lorsque les larves sont exposées à -4°C pendant 2 ou 4 semaines. (Chippendale et Reddy 1974).

La température optimale de développement des larves est d'environ 30°C . L'induction de la diapause est dépendante de la température. Les larves élevées à 23°C sous des conditions de jours courts entrent toutes en diapause alors qu'à 27°C elles se développent presque toutes normalement et sans interruption. À 25°C , la photopériode peut influencer le développement des larves. Une exposition continue à la lumière augmente les taux d'entrée en diapause par comparaison avec des larves élevées avec une photopériode quotidienne variant de 8 à 14h. Une période de refroidissement (5°C) n'accélère pas le développement de la diapause (Chippendale et Reddy 1973).

Potentiel d'établissement au Québec : Compte tenu que l'espèce ne résiste pas au froid, les chances d'établissement à court ou moyen terme semblent peu envisageables.

Légionnaire africaine *Spodoptera exempta* (Lepidoptera, Noctuidae)

Aire de répartition : L'espèce est présente en Asie, Afrique, Océanie. En Amérique du Nord, sa répartition est décrite sur la côte ouest des États-Unis (Washington, Oregon, Californie), au Kansas et au Wisconsin.

Cultures cibles/Plantes hôtes potentielles : Maïs et céréales (orge, blé, avoine) (Fiche web CABI).

Dommmages : Les larves attaquent le feuillage et les jeunes tiges. Une grosse infestation peut conduire à la destruction complète des plants.



Paramètres bioclimatiques concernant l'espèce : En Afrique du Sud, où les conditions sont optimales, l'espèce peut avoir jusqu'à 15 générations par année. C'est une espèce qui peut migrer sur plusieurs centaines de kilomètres avec les vents et elle se concentre là où les vents la mènent.

Des travaux menés en laboratoire, sur maïs et diète artificielle ont montré qu'à 25°C, les œufs éclosent environ 74 h après la ponte. Le développement larvaire dure de 12 à 16 jours et la période nymphale de 10 à 12 jours avec une survie de l'état larvaire à l'état adulte. La fécondité moyenne par femelle en 5 jours est d'environ 600 à 700 œufs mais seulement la moitié éclot. À 20°C, le développement est beaucoup plus lent. L'éclosion a lieu après 174 h environ; la durée de la vie larvaire varie de 25 à 30 jours et la période nymphale de 18 à 19 jours, soit une durée totale de développement de l'œuf à l'adulte, plus long d'environ 26 jours (David et al, 1975).

La ponte a lieu généralement en début de soirée et les œufs sont pondus en grappes. En quelques jours, une femelle peut pondre jusqu'à 1000 œufs. Une température minimale de 20°C est requise pour qu'il y ait ponte. Les œufs éclosent en 2 à 5 jours et leur température seuil de développement est de 10-12°C.

La température et la qualité des plantes hôtes affectent différents paramètres biologiques de cette espèce. Le développement larvaire dure entre 11-24 jours et la pupaison entre 7-12 jours, avec un seuil de température de 13-14°C. Le temps de développement, la survie et le poids des individus dépendent de la température. Le temps de développement augmente significativement lorsque la température diminue et des plantes subissant un stress hydrique allongent leur temps de développement. La survie est diminuée si les températures sont inférieures à 20-24°C et si les plantes sont stressées.

Potentiel d'établissement au Québec : La gamme de températures nécessaire au développement de l'espèce ne semble pas être adaptée à l'établissement de ce ravageur.

Noctuelle *Helicoverpa punctigera* (Lepidoptera, Noctuidae)

Aire de répartition : L'espèce semble être présente en Australie uniquement (Fiche web Plantwise).



Cultures cibles/Plantes hôtes potentielles : Maïs et canola



Domages : Les larves se nourrissent de feuilles mais les dommages les plus importants sont causés lorsqu'elles s'attaquent aux jeunes pousses, bourgeons, fleurs, gousses ou fruits, puisque cela induit des pertes de rendement et de qualité.

Paramètres bioclimatiques concernant l'espèce : C'est une espèce proche d'*Helicoverpa armigera*. Ces deux espèces causent les dégâts les plus importants en Australie avec des pertes de rendements atteignant environ 10% et plusieurs millions de dollars. Toutefois *H. armigera* semble être l'espèce la plus dommageable des deux (cette espèce possède une résistance aux pesticides) alors que *H. punctigera* est l'espèce la plus abondante. Les adultes sont capables de faire de longues migrations en Australie.

Cela prend 4 à 6 semaines pour un développement complet de l'œuf à l'adulte en été (Australie) et de 8 à 12 semaines au printemps et à l'automne. Les adultes vivent environ 10 jours et les femelles peuvent pondre environ 1000 œufs. Les œufs éclosent en 3 jours à 25°C et en 3 à 10 jours dans des conditions plus fraîches. Le développement larvaire est plus rapide à de fortes températures (jusqu'à 38°C). L'activité des larves et la prise alimentaire s'arrêtent quand les températures sont inférieures à 12°C. La pupaison a lieu dans le sol et une diapause peut avoir lieu.

Des modèles et logiciels sont disponibles pour prévoir la durée de la pupaison, de la diapause et de l'émergence des adultes, à partir du site internet CottAssist.

Potentiel d'établissement au Québec : Étant donné que l'espèce est uniquement présente en Australie, il y a peu de chance qu'elle s'installe sous nos latitudes.

Cicadelle du maïs

Cicadulina mbila (Hemiptera, Cicadellidae)

Aire de répartition : Originaires des régions subsahariennes, on la retrouve en Afrique australe et orientale.



Cultures cibles/Plantes hôtes potentielles : Maïs

Dommmages : Les nymphes et adultes causent des piqûres dans les plantes et sucent le contenu des cellules végétales et de la sève, ce qui peut affecter la vigueur des plantes. *C. mbila* est l'un (le principal) des vecteurs du virus de la striure du maïs.

Paramètres bioclimatiques concernant l'espèce : Les valeurs de CLIMEX sont disponibles pour *C. mbila*. Le seuil de température de stress au froid est de 0°C. Le seuil inférieur est de 15°C, les températures optimales pour le développement sont comprises entre 25°C et 30°C (van der Merwe 1926; van Rensburg 1982) et le seuil maximum est de 33°C. Le nombre de degrés-jours nécessaires pour compléter une génération est de 300.

La production d'œufs (100/femelle) est plus importante à 28°C. Les œufs, pondus dans les tissus végétaux peuvent entrer en dormance pour plusieurs mois voire une année. S'ils n'entrent pas en dormance, les œufs se développent dans les semaines suivantes.

À 25°C, les œufs éclosent après une semaine à dix jours. Les nymphes complètent leur développement en subissant 5 mues en 14 à 20 jours. Les adultes s'accouplent rapidement après l'émergence (2 à 6 jours). La durée de vie moyenne des adultes est de 8 à 28 jours pour les mâles et 14 à 33 jours pour les femelles.

La fécondité et la longévité dépendent de la température et de la qualité de la plante hôte.

Les adultes peuvent se disperser par le vol.

Des températures supérieures à 35°C sont néfastes pour l'espèce.

Potentiel d'établissement au Québec : Étant donné l'aire de répartition de l'espèce, il y a peu de chance qu'elle s'installe sous nos latitudes.

Tordeuse du soya

Leguminivora glycinivorella (Lepidoptera, Tortricidae)

Aire de répartition : La tordeuse du soya, *L. glycinivorella* est l'un des principaux ravageurs de cette culture en Asie (Sakagami et al. 1985). On la trouve actuellement en Chine, au Japon et en Russie.

Cultures cibles/Plantes hôtes potentielles : Soya

Dommmages : Les larves s'alimentent des gousses et graines en formation, ce qui affecte fortement le rendement des cultures.

Paramètres bioclimatiques concernant l'espèce : L'espèce peut avoir une ou deux générations par année.

Les vols d'adultes sont observés de fin juillet à début septembre. Chaque femelle peut pondre 160 à 170 œufs sur les gousses en développement. L'éclosion a lieu entre 7 et 9 jours après la ponte. Entre 17°C et 33°C, le taux de développement des œufs augmente avec la température. Par contre le taux d'éclosion n'est pas influencé par la température.

Le taux de développement des larves augmente avec la hausse des températures lorsque celles-ci sont inférieures à 33°C. Les deuxièmes et troisièmes stades larvaires ont une croissance plus rapide que les autres stades (ralentissement du taux de croissance des 1^{er}, 4^{ème} et 5^{ème} stades à 33°C).

Shi et al. (2014) ont développé des modèles pour les taux de développement des œufs et des larves. Le seuil de température a été déterminé à 7°C et 118 degrés-jours pour le développement des œufs et à 5°C et 285 degrés-jours pour celui des larves.

La survie des larves est influencée par la température et plus elles sont âgées, plus les larves s'adaptent mieux à leur environnement, la température influençant la nutrition des larves. Les larves matures sont plus grosses à 25°C qu'aux autres températures.

Potentiel d'établissement au Québec : En Asie, certaines populations vivent sous un climat assez similaire à celui du sud du Québec (Sakagami et al. 1985). Toutefois, compte tenu son aire de répartition actuelle, à moins d'être introduite lors d'échanges commerciaux, cette espèce a peu de chance de s'établir au Québec.



Maladies déjà présentes au Québec

Maladie de Stewart

Nom anglais et/ou abréviation : Stewart's wilt

Type de pathogène : L'agent pathogène causant cette maladie est la bactérie *Pantoea stewartii*.



Vecteur : Le vecteur est l'altise du maïs *Chaetocnema pulicaria* qui est aussi l'hôte hivernal de la bactérie qui survit dans l'intestin de son hôte. L'altise du maïs possède 3 à 4 générations par an et est active à des températures supérieures à 18°C. Le taux d'émergence des adultes au printemps dépend de la température hivernale, les hivers doux favorisant sa survie.



Aire de répartition : La maladie est présente dans plusieurs états américains et elle a aussi été détectée au Canada (notamment en Ontario où elle sévit partout et principalement dans le sud-ouest où elle est préoccupante – Guide des grandes cultures de l'OMAFRA).

Culture cible : Le maïs est la culture cible de cette maladie.

Domages : La maladie de Stewart et la bactérie sont propagées par leur vecteur et sont plus dommageables dans le maïs sucré et le maïs de semence que dans le maïs-grain. Cette maladie touche les feuilles et est caractérisée par l'apparition de lésions linéaires aux contours ondulés. Les plants atteints se flétrissent et arrêtent de croître. Les risques de maladie sont plus élevés lorsque les altises de 1^{ère} génération attaquent le maïs jusqu'au stade plantule 5 feuilles. On observe de 40 à 100% de pertes de rendement alors que des infestations plus tardives n'entraînent que des pertes inférieures à 10%. Les symptômes de la maladie sont plus importants lorsque les températures augmentent (Boland et al. 2004).

Risques d'évolution au Québec : Des hivers doux, comme on les observe actuellement en Ontario et au Québec, permettent aux altises du maïs de survivre dans les résidus de culture.

Boland et al. (2004) suggéraient qu'en Ontario, les CC favoriseraient le développement de la maladie. Toutefois, un Bulletin des agriculteurs (2014), rapporte que d'après l'OMAFRA et AAC, la maladie a quasiment disparue du fait du contrôle de l'altise du maïs grâce aux traitements de semences avec des insecticides. Toutefois, l'espèce pourrait peut-être développer des mécanismes de résistance aux pesticides, ou la réduction de l'utilisation des traitements de semences permettrait une recrudescence de l'altise, favorisant à nouveau la propagation de la maladie.

Cercosporose (*Cercospora sojina*)

Nom anglais et/ou abréviation : Frogeye Leaf spot

Type de pathogène : La maladie est causée par un champignon ascomycète.

Aire de répartition : Originnaire du Japon, la maladie s'est répandue sur tous les continents. Commun dans le sud des États-Unis, *C. sojina* est aujourd'hui établi plus au nord, comme en Ohio et en Illinois (où il survit à l'hiver) et a été retrouvé en Ontario et au Québec.



Culture cible : Le soya est la culture cible de ce pathogène et de la maladie.

Domages : *Cercospora sojina* cause une défoliation des plantes infectées, pouvant conduire à des pertes de rendement variant de 20 à 50% selon les régions (35% en Ohio selon Cruz et Dorrance 2009) avec des pertes économiques estimées à plusieurs millions de dollars par année. Plus les températures augmentent, plus les pertes causées par ce champignon dans le nord-est des États-Unis augmentent. Entre 1996 et 2007, les estimations de pertes ont été multipliées par au moins 10 dans plusieurs régions. Ces pertes sont multifactorielles et dépendent notamment des températures plus douces l'hiver, l'utilisation de cultivars sensibles et les pratiques culturales (travail de conservation du sol qui maintient le pathogène sur les débris végétaux, à la surface du sol) (Zhang 2012). En Ontario, *C. sojina* ne cause pas encore de dégâts importants.

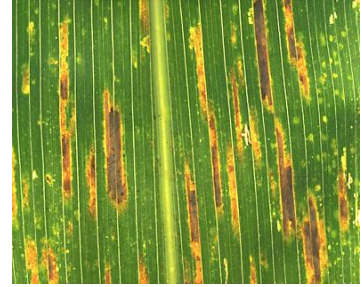
Risques d'évolution au Québec : Un réchauffement climatique pourrait permettre un meilleur établissement de ce champignon au Québec. Dans les régions où il résiste à l'hiver, le champignon survit dans des débris de végétation et notamment de soya. Toutefois il semble que le champignon ne résiste pas et meurt à des températures inférieures à -4°C. La propagation de ce champignon est favorisée lorsque les températures varient entre 25 et 30 °C et une humidité relative importante (> 90%). Cruz et Dorrance (2009) ont également montré qu'en conditions de laboratoire, la température seuil inférieure est de 17°C et la température optimale de développement du mycélium est d'environ 25°C. Entre 28 et 32°C, la croissance du mycélium est ralentie, voire nulle. Les graines peuvent être contaminées par des conidies ou du mycélium, ce qui peut affecter les cotylédons lors de la germination. Les spores présentes sur les cotylédons peuvent infecter les jeunes feuilles en croissance qui sont plus sensibles que les feuilles plus âgées. Les conidies apparaissent dans les lésions 8 à 12 jours après l'infection, mais si les conditions d'humidité et de températures sont propices, les conidies peuvent apparaître en 48h. Les conidies sont ensuite transportées par le vent sur de courtes distances pour causer des infections secondaires (Zhang, 2012).

Taches grises (*Cercospora zea-maydis*)

Nom anglais et/ou abréviation : Gray leaf spot

Type de pathogène : Champignon ascomycète

Aire de répartition : Ce champignon pathogène a été mentionné pour la première fois aux États-Unis dans les années 1920 et son aire de distribution n'a cessé de se répandre depuis. Certaines années cette maladie peut être grave dans les états et provinces situés près des Grands Lacs, incluant l'Ontario (Site web de l'OMAFRA). En plus de l'Amérique du Nord, elle est présente en Afrique, en Amérique du Sud et en Chine (Ward et al. 1999).



Culture cible : La maladie touche la culture du maïs.

Domages : La maladie touche essentiellement les feuilles mais peut être très destructrice et causer des pertes de rendement pouvant aller jusqu'à 70% (Ward et al. 1999).

Risques d'évolution au Québec : *Cercospora zea-maydis* est déjà présente au Québec, mais les conditions climatiques futures pourraient favoriser la dispersion et la prolifération de cette maladie dans la province.

Les spores sont capables de survivre dans les débris végétaux (Nazareno et al. 1992, Payne et Waldron 1983) et de se propager grâce aux vents. En Ontario, le champignon semble pouvoir survivre sous forme de mycélium dans des résidus de maïs (site internet de l'OMAFRA).

La température optimale de germination et de croissance a été établie entre 22 et 30°C avec la germination de près de 90% des spores après 12h, même à 17°C (Beckman et Payne 1982, 1983). Des températures supérieures à 36°C ralentissent la croissance de ce champignon et l'extension des lésions (Paul et Munkvold 2005). Une photopériode de 12h, une humidité relative abondante et des températures de 22-28°C favorisent le développement des lésions. Ces lésions apparaissent après environ 9 jours et s'étendent sur les feuilles en 3 semaines. Rupe et al. (1982) ont aussi montré que le stade phénologique de la plante influence la progression de la maladie.

Jaunisse de l'aster

Nom anglais et/ou abréviation : Aster Yellow

Type de pathogène : Phytoplasme *Candidatus phytoplasmi asteris*. Les phytoplasmes sont des organismes procaryotes dépourvus de paroi cellulaire et qui possèdent deux hôtes obligatoires, une plante et un insecte. Les phytoplasmes passent l'hiver dans les racines des plantes pérennes.

Vecteur : Cicadelle de l'aster, *Macrostelus quadrilineatus*. L'adulte migre sur de grandes distances, notamment des États-Unis vers le Canada. Elle possède 5 à 6 générations par an. En Ontario, les adultes ne survivent pas aux froids intenses et *M. quadrilineatus* peut hiverner sous forme d'œufs pondus dans les tissus foliaires des céréales d'hiver et le couvert de neige favorise leur survie. Les œufs éclosent après 130 degrés-jours au-dessus de 9°C et les nymphes nécessitent 270 degrés-jours pour atteindre le stade adulte. Les céréales de printemps abritent parfois d'importantes populations de cicadelles pendant la saison de croissance (Site web OMAFRA). Les cicadelles sont actives à des températures au-dessus de 15°C.

Aire de répartition : La maladie est très répandue aux États-Unis et au Canada.

Culture cible : La jaunisse de l'aster est l'un des phytoplasmes les plus répandus à travers le monde (Weintraub et Beanland 2006), touchant plus de 300 espèces végétales. Au Canada, le canola est la principale culture cible, mais la jaunisse de l'aster touche aussi les autres grandes cultures. De nombreuses plantes (herbacées, graminées) peuvent servir de réservoir de phytoplasmes l'hiver.

Domages : Les phytoplasmes qui causent la jaunisse de l'aster sont injectés dans les plantes lors de la prise alimentaire par les cicadelles. Les phytoplasmes se propagent alors dans toute la plante par l'intermédiaire du phloème. La plante développe des symptômes 2 à 6 semaines suivant l'infection. Ils sont caractérisés par le jaunissement, l'enroulement des feuilles, l'apparition de balais de sorcière, la transformation des fleurs en structures foliaires et la diminution des rendements. Dans le canola, les plants infestés par la jaunisse de l'aster peuvent présenter de 30 à 60% de graines déformées alors que les gousses peuvent paraître normales et dans certains cas, 8 à 12 % des plants ne présentent aucune graine.

Risques d'évolution au Québec : Même si aucune étude n'a été menée dans les grandes cultures au Québec, la jaunisse de l'aster et la cicadelle de l'aster sont présentes au Québec puisqu'elles ont été détectées dans les vignobles au cours des dernières années (Olivier et al. 2014). Il se peut donc que le pathogène et son vecteur soient présents mais qu'on n'y ait pas encore porté attention. Au cours des dernières années, les hivers doux causés par les CC ont favorisé la survie hivernale des cicadelles, de leurs plantes hôtes et donc des phytoplasmes, notamment dans les Prairies (Saskatchewan, Manitoba, Alberta) (Olivier *comm. pers.*) et en Ontario (Boland et al. 2004). Il n'est donc pas exclu que cela puisse se passer également au Québec. Les plantes infectées montrent généralement des symptômes après 8 à 9 jours à 25°C et 18 jours à 20°C, aucun symptôme n'apparaît à 10°C. Les températures supérieures à 32°C semblent défavorables au développement des phytoplasmes.



Pourriture des graines (*Phomopsis longicolla*)

Nom anglais et/ou abréviation : Pod and stem blight



Type de pathogène : *Phomopsis longicolla* est un champignon ascomycète.

Aire de répartition : La maladie est présente partout à travers le monde, y compris le Canada et au Québec (Fiche web Plantwise).

Cultures cibles : Ce champignon affecte uniquement le soya et est souvent associé à d'autres champignons du genre *Diaporthe*.

Domages : Le pathogène hiverne sur les graines ou dans les résidus de culture. Au printemps, la pluie projette les spores sur les plantules qui sont infectées. Toutefois, les symptômes ne paraissent qu'après la mi-saison. *Phomopsis longicolla* infecte les gousses de soya en formation, puis les grains qui se trouvent ratatinés, déformés, fendus, et revêtus d'une pellicule blanche (Site web de l'OMAFRA). C'est une maladie qui s'attaque aux graines au cours de la maturation et entraîne leur pourriture. En progressant, l'infection peut aussi toucher les tiges. Les graines peuvent aussi être infectées et ne pas présenter de symptômes, mais elles ne germeront pas, causant d'importantes pertes de rendement (Mengistu et al. 2009).

Risques d'évolution au Québec : Du temps chaud, pluvieux et humide durant le remplissage des gousses est propice à l'évolution de la maladie. Balducchi et McGee (1987) ont étudié l'effet des facteurs environnementaux (températures et humidité) sur l'infection des graines de soya en maturation dans les gousses par *P. longicolla*. Ils ont montré qu'une forte humidité relative (85-100%) est nécessaire pendant plusieurs jours consécutifs à 25°C pour le développement de l'infection. Une alternance de courtes périodes humides et sèches ne permet pas le développement de la maladie. À 20°C, le développement est plus long qu'à 25°C. Rupe et Ferris (1987) ont réalisé un modèle qui montre que les températures optimales pour la croissance du pathogène sont comprise entre 25 et 30°C. Rupe (1990) a aussi montré que l'infection est optimale à 30°C et qu'elle décroît quand les températures sont inférieures. Des températures de 35°C et plus et en deçà de 15°C ne sont pas favorables à la croissance du champignon.

Gleason et Ferris (1987) ont aussi montré que la température, l'humidité et la pression osmotique du sol ont un effet sur le taux de croissance de l'hôte et du pathogène.

Le recours à l'irrigation est un facteur favorisant l'infestation.

L'augmentation des températures et des précipitations au cours des prochaines décennies pourrait causer une hausse de l'incidence de cette maladie au Québec.

Charbon commun (*Ustilago zea* / *Ustilago maydis*)

Nom anglais et/ou abréviation : Corn smut

Type de pathogène : Il s'agit d'un champignon appartenant aux basidiomycètes.

Aire de répartition : Originare d'Amérique centrale (Mexique), la maladie est maintenant largement répandue à travers le monde où elle cause des dégâts plus ou moins importants. Les pertes de rendement sont variables, mais dépassent rarement 10 à 20%.



Culture cible : Le maïs est la culture cible de cette maladie.

Dommmages : Toutes les parties aériennes peuvent être affectées, à n'importe quel stade de développement, mais les dommages sont plus graves lorsque la maladie touche les épis qui sont alors plus petits, déformés et présentent des tumeurs qui rendent l'épi impropre à la consommation (à l'exception de certains pays d'Amérique du Sud où l'on consomme ces tumeurs lorsqu'elles sont jeunes). Les spores s'échappent des tumeurs et peuvent survivre pendant plusieurs années dans le sol et les résidus. En Ontario, 25% des épis peuvent être touchés (Site web de l'OMAFRA).

Risques d'évolution au Québec : La maladie est déjà présente au Québec. C'est l'une des moisissures les plus importantes dans la province, avec la fusariose de l'épi et la pourriture de l'épi (RAP grandes cultures 2015). Toutefois, un réchauffement climatique pourrait favoriser le développement de la maladie puisque les fortes températures favorisent la croissance du champignon et sa sporulation. La température optimale pour la germination des spores est de 26-33°C. L'humidité, les fortes précipitations, et des températures élevées favorisent le développement de la maladie. Il se forme ensuite des tumeurs contenant du mycélium qui se transforme en spores noires. Seymour Jones (1923) a montré que le seuil de température inférieur pour le développement se situe entre 8 et 9°C, que la température optimale est de 26 à 35°C, le seuil maximum se situant autour de 38°C. Pour des températures plus élevées, les spores ne germent plus. La germination se produit en quelques heures seulement dans les conditions optimales.

Le vent favorise aussi la dispersion de la maladie.

Au Québec, la gestion phytosanitaire de cette maladie s'effectue principalement par le choix des cultivars plus résistants et des rotations avec des cultures non-hôtes. L'augmentation de la pression de ce ravageur pourrait diminuer l'efficacité des méthodes de lutte présentement utilisées.

Pourriture à sclérotés (*Sclerotinia sclerotiorum*)

Nom anglais et/ou abréviation : White mold

Type de pathogène : *Sclerotinia sclerotiorum* est un champignon pathogène appartenant aux ascomycètes.



Aire de répartition : La maladie est présente dans toutes les régions tempérées. Si la maladie est principalement présente dans des régions plus fraîches et humides, on la retrouve aussi dans des régions plus chaudes mais avec un fort taux d'hygrométrie.

Cultures cibles : *Sclerotinia sclerotiorum* peut affecter plusieurs cultures parmi lesquelles le canola et le soya font partie des grandes cultures les plus à risques.

Domages : Ce pathogène cause l'apparition de pourriture blanche sur les plants infectés. En Europe, la maladie peut causer des pertes de rendement allant jusqu'à 1 tonne/ha. Les sclérotés sont les formes de résistance du champignon qui peuvent se conserver pendant plusieurs années dans le sol.

Risques d'évolution au Québec : *Sclerotinia sclerotiorum* est déjà présent dans le soya au Québec (Rousseau, 2005). La maladie est monocyclique (un seul cycle d'infection) et les tissus malades ne sont pas contagieux de plante à plante. Toutefois, l'espèce possède un cycle de reproduction particulier. À partir des sclérotés, il peut se développer des apothécies ou des mycéliums. Les apothécies développent des ascospores qui sont éjectées et transportées par les mouvements d'air jusqu'aux parties sensibles de la plante (notamment les fleurs). La maladie finit par gagner les autres tissus végétaux à partir desquels vont se reformer des sclérotés (Heffer Link et Johnson 2007).

Des températures relativement fraîches (10 à 20°C), des sols humides et une humidité relative proche de la saturation (suivant une pluie ou une irrigation abondante) permettent aux sclérotés présents dans le sol de produire des apothécies qui libèrent des ascospores. Une humidité à la surface des feuilles de longue durée (16 à 48 heures) et des températures comprises entre 12 et 24°C favorisent la germination des ascospores et l'infection des plants au niveau des tissus les plus sensibles (fleurs turgescentes ou sénescentes et gousses et feuilles sénescentes). Le stade floraison est donc souvent l'un des stades au cours duquel les infections sont majeures. La germination et la propagation des hyphes mycéliens sont optimales pour des températures comprises entre 12 et 24°C et une humidité supérieure à 90% (Butzen 2008). Une augmentation des températures printanières accompagnée d'une hausse du cumul de précipitations favoriserait potentiellement la maladie en début de saison au Québec.

Caesar et Pearson (1983) ont étudié les effets de la température et de l'humidité sur la survie des ascospores et ont établi des modèles pour prédire la mortalité.

Maladies potentiellement envahissantes

Mosaïque nanisante du maïs

Nom anglais et/ou abréviation : Maize dwarf mosaic virus (MDMV)

Type de pathogène : Potyvirus transmis selon le mode non-persistant (le virus est retenu sur les pièces buccales de son vecteur quand ce dernier se nourrit sur une plante infectée, puis est inoculé dans une autre plante lors d'une piqûre subséquente, sans transiter à l'intérieur du vecteur).

Vecteur : De nombreux pucerons peuvent être vecteurs de la maladie, dont *Sitobion avenae*, *Rhopalosiphum padi* et *Rhopalosiphum maidis*, des espèces présentes au Canada et au Québec mais qui hivernent dans le sud des États-Unis. *Rhopalosiphum maidis* serait le meilleur vecteur de la maladie. Singh et al. (1996) ont étudié le développement et les paramètres démographiques de *R. maidis* à différentes températures, en laboratoire, avec une photopériode de 10h:14h (jour/nuit) et une humidité de 70-80%. Sur maïs, ils ont déterminé que le temps de développement varie de 12 jours à 15°C à 5 jours à 27,5°C et sur l'orge de 14 jours à 15°C à 7 jours à 27,5°C. Ils ont aussi déterminé que le nombre de degrés-jours pour un développement complet varie selon la plante et le morphe aptère (177 DJ sur maïs et 270 DJ sur orge) ou ailé (225 DJ sur maïs et 263 DJ sur orge). Le développement complet jusqu'au stade adulte et la fécondité étaient optimaux à 27,5°C. Kuo et al. (2006) ont aussi étudié l'effet des températures sur *R. maidis* et ont montré qu'en laboratoire, au-delà de 35°C, les nymphes survivent moins bien et ne se reproduisent pas rendues à l'âge adulte. Enfin, Foott (1977) a montré que dans le sud de l'Ontario, une température de 13°C minimum est nécessaire pour le vol des morphes ailés.

Aire de répartition : Mondiale, incluant le Canada. Aucune donnée n'est disponible sur ce virus au Québec.

Culture cible : La maladie touche principalement le maïs, mais aussi certaines céréales comme l'orge et l'avoine.

Domages : Le virus entraîne l'apparition de mosaïque sur les feuilles, mais induit aussi un nanisme, une stérilité et une mort précoce des plants. Sur le maïs, des pertes de rendement de 40 à 75% ont pu être observées (Fiche web Plantwise). Des températures chaudes sont favorables à la multiplication du virus dont les symptômes apparaissent 6 semaines après l'infection.

Potentiel d'établissement au Québec : Les pucerons ont plusieurs générations par année et de fortes capacités de dispersion grâce à leurs morphotypes ailés. Toutefois, les risques de transmission de la maladie dépendent aussi des capacités du puceron à véhiculer le virus. Étant donné qu'il s'agit d'un virus transmis selon un mode non-persistant, le virus reste très peu de temps sur les pièces buccales du puceron. Toutes les formes (nymphes, adultes aptères et adultes ailés) peuvent transmettre le virus, les ailés assurant la transmission de plante à plante. L'inoculum viral doit être en quantités suffisantes pour que le puceron acquière le virus.



Virus américain de la mosaïque striée du blé
**Nom anglais et/ou abréviation : Wheat American
striate mosaic virus (WASMV)**



Type de pathogène : Rhabdovirus (nucleorhabdovirus) transmis selon un mode persistant (le virus a la capacité de se multiplier dans le vecteur).

Vecteur : La cicadelle *Endria inimica* est l'un des meilleurs vecteurs. L'espèce possède deux générations par année. Au Manitoba, la première génération est complétée au début juillet sur graminées et la deuxième génération a lieu sur céréales (complétée en 42 jours). *Endria inimica* possède un seuil de développement de 15°C et un potentiel de développement très élevé à 32°C. A 26°C, le cycle de vie est complété en 46 jours (Westdal et Richardson, 1966).

Tous les stades de développement peuvent acquérir et transmettre le virus, mais il n'est pas transmis de la mère aux descendants (Sinha et Behki, 1972). L'acquisition est rapide (<1 min), le temps de latence est de 4 à 24 jours. Toutefois, plus l'insecte passe de temps sur une plante infectée, plus le temps de préinfection est court (Slykhuis, 1963). Une piqûre de 15 min permet d'inoculer une plante. L'insecte peut transmettre le virus durant plusieurs semaines. Slykhuis et Sherwood (1964) ont aussi démontré que la température influence la transmission du virus par *E. inimica* (12,5% de plantes infestées à 10°C contre 81% à 33°C). De même, à 16°C, cela prend 29 jours pour que l'insecte soit capable de transmettre le virus alors qu'à des températures supérieures ou égales à 27°C, cela ne prend que 5 jours.

Aire de répartition : Le virus est présent dans sa zone de répartition d'origine, *i.e.* en Amérique du Nord. Il a été détecté au Canada (e.g. Manitoba, Ontario). Aucune information n'est disponible pour le Québec. Toutefois, *E. inimica* est présente au Québec.

Culture cible : les céréales (blé, orge, avoine) et le maïs.

Domages : Ce virus est l'un de ceux qui causent la mosaïque striée du blé. Aux États-Unis, jusqu'à 25% de la culture peut présenter des signes d'infection (Timian et al. 1978), mais l'incidence de la maladie au Canada est quasi négligeable (Slykhuis, 1963). Des pertes de rendement d'environ 1 à 3% peuvent être observées.

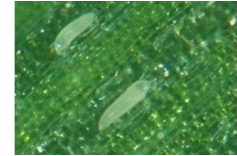
Potentiel d'établissement au Québec : *Endria inimica* est une espèce de cicadelle déjà présente au Canada et au Québec. Bien qu'aucune étude n'ait été menée au Québec, il est possible que le virus soit présent et que la cicadelle soit déjà vectrice. En cas de réchauffement climatique, les températures peuvent modifier la physiologie de la plante hôte et sa susceptibilité au virus. Les CC peuvent aussi affecter les populations d'insectes vecteurs (Jones 2009, Malmstrom et al. 2011). En cas de CC, cela augmenterait donc les risques de transmission et causerait davantage de dommages aux cultures.

Virus de la mosaïque striée du blé / Virus de la striure rouge du maïs

Nom anglais et/ou abréviation : Wheat (streak) mosaic virus (WSMV/WMoV) /Maize red stripe virus (MRSV/MRStV)

Aussi connu sous le nom de High Plains virus (HPV)

Type de pathogène : Ces maladies sont causées par un même virus (Navia et al. 2013).



Vecteur : Le vecteur de ces maladies est l'acarien ériophyide *Aceria tosichella* (Phytote de l'enroulement du blé/ Wheat curl mite). Cet acarien est considéré comme un ravageur important du fait qu'il transmette le virus. Des conditions chaudes et humides favorisent son développement. Cette espèce se reproduit rapidement à des températures comprises entre 24 et 27°C, et les adultes vivent environ 8-10 jours. Une seule femelle pond 12 à 20 œufs, ce qui peut conduire à plus de 3 millions de descendants en 2 mois.

L'espèce peut être facilement dispersée par les vents sur de longues distances lorsque les températures sont supérieures à 18°C. Dans les grandes plaines de l'Ouest canadien, l'espèce est capable de passer l'hiver sur des graminées sauvages et sur du blé d'hiver. Des températures supérieures à 27°C et la sécheresse ralentissent le développement de l'espèce (Philip 2015).

Aire de répartition : La maladie est principalement présente dans plusieurs États américains où elle a été décrite pour la première fois en 1993, notamment dans les grandes plaines. Elle est aussi présente en Amérique du Sud (Brésil et Chili). L'acarien vecteur est présent en Europe, Australie, Amérique du Sud et Amérique du Nord y compris au Canada (Grandes plaines de l'Ouest canadien). L'acarien peut survivre au moins 3 mois à des températures proches du point de congélation et même pendant plusieurs jours à -18°C (Navia et al. 2013). Aucune donnée n'est disponible pour la présence de la maladie au Québec.

Cultures cibles : Les cultures cibles sont le blé et le maïs, mais l'orge et l'avoine peuvent être aussi des plantes hôtes du virus et de son vecteur.

Domages : Sur le blé, le virus entraîne un enroulement et le jaunissement des feuilles. Le virus entraîne aussi l'apparition de stries et de taches sur les feuilles, le rabougrissement de la plante, l'inhibition de la croissance, l'absence de formation de grains et voire même la mort du plant. La présence de ce virus peut entraîner jusqu'à 100% de pertes dans le blé.

Potentiel d'établissement au Québec :

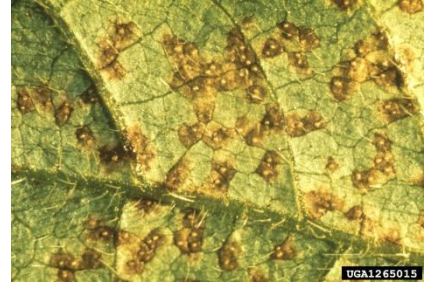
La maladie et le vecteur sont présents au Canada. De plus, ce sont des virus qui touchent plusieurs cultures et causent des dégâts majeurs. Les conditions climatiques au Québec pourraient être favorables au développement de l'acarien et des maladies virales.

Rouille (asiatique) du soya (*Phakopsora pachyrhizi*)

Nom anglais et/ou abréviation : Soybean rust

Type de pathogène : Rouille causée par le champignon obligatoire *Phakopsora pachyrhizi*.

Aire de répartition : Originaires du Japon, elle est présente en Australie, en Inde, en Chine, en Afrique équatoriale et en Afrique du Sud. La rouille a également été détectée en Amérique du Sud (Mexique) et dans une vingtaine d'états américains (la plupart au sud et pour ceux plus au nord : Illinois, Indiana, Iowa, Minnesota, Missouri) (Fiche web CABI).



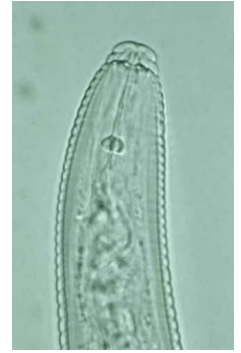
Culture cible : Le soya, mais également le kudzu (qui sert aussi d'hôte hivernal en Floride), très largement répandu en Amérique du Nord et notamment aux États-Unis.

Domages : Une infestation par le champignon cause la chute prématurée des feuilles, une maturation précoce et une réduction du rendement (jusqu'à 80 %) (Fiche web CABI).

Potentiel d'établissement au Québec : Dans les conditions climatiques actuelles, le champignon ne peut pas hiverner au Québec (ni en Ontario). Des tests *in vitro* ont montré que des températures inférieures ou égales à -4°C induisent une forte mortalité qui réduit drastiquement la germination des spores (Jurick, Présentation powerpoint). De plus, Pivonia et Yang (2004, 2006) ont créé des modèles pour estimer l'établissement de ce champignon à travers le monde et ont montré que les risques sont faibles au Canada. Toutefois, les probabilités d'introduction sont grandes, car les spores qui hivernent dans le sud des États-Unis sont transportées par le vent sur de très grandes distances. La germination des spores dépend des conditions environnementales particulières : températures entre 15 et 30 °C, une humidité relative élevée due à de longues périodes de mouillage des feuilles (6h minimum et 10-12h optimales) et du stade de croissance de la culture, les jeunes feuilles étant plus sensibles que les plus matures (Bonde et al. 2012). Les températures optimales de développement varient de 15 et 28°C. Des conditions sèches, accompagnées de températures supérieures à 29°C ralentissent le développement de la maladie. Plusieurs études ont été menées en Inde, Asie et Australie et ont permis de mettre en évidence les meilleures températures et conditions d'humidité pour chacun des stades de développement du champignon. Les données varient selon les pays (Fiche web CABI). Toutefois, des températures inférieures à 9°C inhibent la germination des spores. Les urédies apparaissent après quelques jours puis les urédiospores sont dispersées par le vent pour contaminer d'autres plants (Lacroix 2004). Les urédies peuvent produire des spores pendant 3 semaines et les urédiospores sont viables pendant plusieurs jours à 23-24°C et 55-60% d'humidité relative (Kelly et al. 2015). Des températures inférieures à 20°C pendant au moins 15 jours induisent la formation de téliosporos qui entrent en dormance. Enfin, Li (2007), dresse un portrait des risques épidémiologiques liés à ce pathogène aux États-Unis, en comparant les températures américaines à celles de la Chine.

Nématode cécidogène de Columbia (columbia root-knot nematode) *Meloidogyne chitwoodi* (Nematoda, Meloidogynidae)

Aire de répartition : L'espèce est présente en Turquie, au Mozambique et en Afrique du Sud, de façon sporadique en Europe et en Argentine. En Amérique du Nord, l'espèce est présente dans plusieurs États américains, notamment sur la côte ouest et le centre-ouest. Les dernières données montrent que l'espèce n'est pas présente au Canada (Fiche web CABI).



Cultures cibles/Plantes hôtes potentielles : *Meloidogyne chitwoodi* peut s'attaquer à différentes cultures, les solanacées (pommes de terre et tomates) étant des hôtes privilégiés. Toutefois, le maïs, le blé, l'orge et l'avoine peuvent aussi être des cultures hôtes.

Domages : Les symptômes causés par *M. chitwoodi* varient selon l'hôte, l'abondance d'individus et les conditions environnementales. Sur céréales et maïs, le nématode entraîne l'apparition de galles racinaires (plus visibles sur le blé et l'avoine que sur l'orge ou le maïs) et une réduction de la quantité de racines. Les plantes infestées peuvent présenter des retards de croissance et des pertes de rendement.

Potentiel d'établissement au Québec : L'espèce se trouve sur la liste des espèces de quarantaine de l'ACIA. Selon les régions et les conditions climatiques, le nématode peut avoir 2 à 4 générations par année (Fiche technique CABI). Toutefois, c'est une espèce peu mobile et qui se déplace sur quelques centimètres. Le principal risque d'introduction puis d'établissement au Québec pourrait être lié à l'introduction ou l'utilisation de matériel contaminé (plantes, sols, outils, eau).

Ce nématode est capable de résister à de longues périodes de températures inférieures à zéro et passe l'hiver sous forme d'œufs ou de juvéniles. Il faut environ 20 jours à 20°C et 82-84 jours à 10°C pour que le développement embryonnaire soit complété (Inserra et al. 1983, 1985). La température minimale pour l'éclosion et la pénétration des racines est de 4°C, et pour son développement de 6°C. Un cycle de développement complet dure 3 à 4 semaines et 600 à 800 degrés-jours sont nécessaires pour compléter la première génération, alors que 500 à 600 degrés-jours sont suffisants pour les générations suivantes (Charchar et Santo 2001). Des températures comprises entre 25 et 30°C sont favorables à *M. chitwoodi* pour l'infection des plantes (Santo et O'Bannon 1981, Griffin et Jensen 1997) et des températures du sol comprises entre 10 et 25°C sont favorables à la reproduction (O'Bannon et Santo 1984). Les seuils de températures de développement pour cette espèce laissent donc présager un fort potentiel d'établissement au Québec, suite à son introduction. Étant donné qu'il a la capacité de parasiter différentes cultures, la rotation des cultures n'est pas un moyen de lutte très efficace.

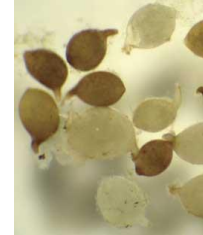
Nématode du maïs (Corn cyst nematode) *Heterodera zae* (Nematoda, Heteroderidae)

Aire de répartition : États-Unis (Virginie, Maryland), Asie (Inde, Pakistan, Afghanistan, Thaïlande, Népal), Égypte, Portugal, Grèce.

Cultures cibles : Maïs, orge, avoine, blé, millet, riz, sorgho, canne à sucre et plusieurs espèces de mauvaises herbes.

Domages : Un petit nombre de ce nématode peut causer de sérieux dommages (EPPO, 2015). Les pertes de rendement annuelles varient de 5,5 à 39,2 % (Fiche web APHIS) et causent environ 320 millions de dollars US de pertes aux États-Unis (Srivastava et Chawla, 2005). D'autres recherches indiquent une baisse de rendement de 21 à 73% dans du maïs cultivé en milieu contrôlé (Plant Health Australia, 2013).

Potentiel d'établissement au Québec : *Heterodera zae* complète son cycle de vie en 15-17 jours à une température optimale de 33°C et en 42 jours à 25°C. Dans le maïs, la reproduction parthénogénétique de ce nématode est plus rapide à 36°C et les mâles sont rares. Les juvéniles de stades 2 (J2) émergent du kyste à 30°C (Hutzell et Krusberg 1990, Krusberg et al. 1997) alors qu'à 20°C, seulement quelques J2 se développent dans le kyste, mais n'émergent pas (Hutzell et Krusberg, 1990). Après émergence, les J2 pénètrent dans les racines et forment le syncytium les reliant à la plante hôte. Dans des conditions optimales, *H. zae* peut avoir 6-7 générations par année (Tylka 2007, Ferris 2013, EPPO 2015). *Heterodera zae* est un nématode semi-endoparasite sédentaire. Les juvéniles et les mâles sont les seuls stades du nématode qui peuvent se déplacer dans le sol sur une courte distance. Les juvéniles et les kystes peuvent persister dans le sol pendant deux années. Les moyens de propagation sont souvent par le sol, l'eau et le matériel contaminé par des kystes (e.g. machinerie, équipement, chaussures, plantes). Les changements climatiques pourraient permettre l'établissement de cette espèce au Québec, bien que les seuils de température soient relativement élevés. Les structures de survie (kystes) permettraient à l'espèce de se développer uniquement lorsque les températures sont favorables.



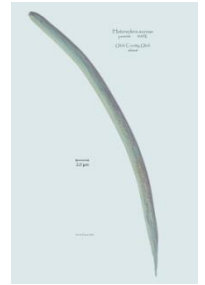
Nématode de l'avoine (Oat cyst nematode) *Heterodera avenae* (Nematoda, Heteroderidae)

Aire de répartition : L'espèce est présente en Europe, Asie, Océanie, Afrique, Amérique du Sud et Amérique du Nord (États-Unis, Canada : Manitoba et Ontario).

Cultures cibles : Avoine, blé, orge, maïs, seigle

Domages : *Heterodera avenae* est un ravageur majeur dans les cultures de blé, d'avoine et d'orge. Les pertes économiques annuelles dues à ce nématode est estimée à plusieurs millions de dollars mondialement, résultant de pertes de rendement d'environ 25 à 50 % (Fiche web Plantwise; Nicol et al. 2011). Des populations de 2 à 4 œufs/g de sol réduisent le rendement de blé de 20% à 35% (Fiche web Plantwise).

Potentiel d'établissement au Québec : *Heterodera avenae* possède une génération annuelle (McDonald & Nicol 2005, Smiley et Yan 2010, Griffin 1988). Son développement nécessite une période de dormance de 8 semaines à 0-7°C (Fushtey et Johnson, 1966). La hausse des températures conduit à l'émergence des juvéniles de stade 2 (J2) qui pénètrent les racines et induisent la formation du syncytium (structure d'alimentation) (McDonald & Nicol 2005). Au Canada, les J2 émergent à 15-20°C au printemps (Valdeolivas et al. 1991) et les températures maximales d'émergence sont comprises entre 25° et 30°C. Les kystes d'*H. avenae* peuvent survivre plusieurs années à 5°C sous une faible humidité relative (McDonald & Nicol, 2005). Les moyens de propagation sont souvent via le sol, l'eau, et le matériel contaminé par des kystes (e.g. machinerie, équipement, animaux, plantes) (Griffin, 1988). *Heterodera avenae* pourrait représenter un risque majeur pour la production de céréales au Québec dans un contexte de changements climatiques puisque ce nématode est déjà présent en Ontario et aux États-Unis. De plus, les changements climatiques provoqueront des conditions stressantes pour la plante-hôte. Des études menées en Chine ont montré que les populations de nématodes y sont souvent plus virulentes. Leur introduction de ces espèces au Québec pourrait représenter un risque pour les variétés de blé cultivées ici (Sabeh et al. sous presse).



Références

- Abram PK, Garipey TD, Boivin G, Brodeur J (2014). An invasive stink bug as an evolutionary trap for an indigenous egg parasitoid. *Biological Invasions*. 16: 1387-1395.
- ACIA, DGR-08-03. Révision du statut de la cécidomyie du chou-fleur (*Contarinia nasturtii*) au Canada. <http://www.inspection.gc.ca/vegetaux/phytoravageurs-especes-envahissantes/directives/gestion-du-risque/dgr-08-03/fra/1304794114305/1304822057238>
- Allsopp PG (1996). Japanese beetle *Popillia japonica* Newman (Coleoptera: Scarabaeidae): Rate of movement and potential distribution of an immigrant species. *Coleopterists Bulletin*. 50: 81-95.
- Altermatt F (2010). Climatic warming increases voltinism in European butterflies and moths. *Proceedings of the Royal Society of Biological Sciences*. 277: 1281-1287.
- Baker CRB et Miller GW (1974). Some effects of temperature and larval food on the development of *Spodoptera littoralis*. *Bulletin of Entomological Research*. 63: 495-511.
- Balducchi AJ et McGee DC (1987). Environmental factors influencing infection of soybean seeds by *Phomopsis* and *Diaporthe* species during seed maturation. *Plant Disease*. 71 : 209-212.
- Bartekova A et Praslicka J (2006). The effect of ambient temperature on the development of cotton bollworm (*Helicoverpa armigera* Hübner, 1808). *Plant Protection Sciences*. 42: 135-138.
- Baskauf SJ et McCauley DE (2001). Evaluation of low temperature mortality as a range-limiting factor for the Southwestern Corn Borer (Lepidoptera: Crambidae). *Environmental Entomology*. 30: 181-188.
- Beckman PM et Payne GA (1982). External growth, penetration, and development of *Cercospora zeaemaydis* in corn leaves. *Phytopathology*. 72: 810-815.
- Beckman PM et Payne GA (1983). Cultural techniques and conditions influencing growth and sporulation of *Cercospora zeaemaydis* and lesion development in corn. *Phytopathology*. 73: 286-289.
- Berzitis EA (2013). Climate change effects on the pest status and distribution of the Bean Leaf Beetle (*Cerotoma trifurcata*) Thèse de doctorat de l'Université de Guelph.
- Berzitis EA, Minigan JN, Hallett RH, Newman JA (2014). Climate and host plant availability impact the future distribution of the bean leaf beetle (*Cerotoma trifurcata*). *Global Change Biology*. 20: 2778-2792. doi: 10.1111/gcb.12557
- Boland GJ, Melzer MS, Hopkin A, Higgins V, Nassuth A (2004). Climate change and plant diseases in Ontario. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 26: 335-350.
- Bonde MR, Nester SE, Berner DK (2012). Effects of soybean leaf and plant age on susceptibility to initiation of infection by *Phakopsora pachyrhizi*. *Plant Health Progress*. doi:10.1094/PHP-2012-0227-01-RS.
- Bottrell A (2012). Warm temperatures bring in miller moths North Platte Telegraph. http://lexch.com/news/regional/article_cd619afe-8eed-11e1-90d9-0019bb2963f4.html
- Brier HB et Rogers DJ (1991). Susceptibility of soybeans to damage by *Nezara viridula* (L.)(Hemiptera: Pentatomidae) and *Riptortus serripes* (F.)(Hemiptera: Alydidae) during three stages of pod development. *Australian Journal of Entomology*. 30: 123-128.
- Brodeur J, Boivin G, Bourgeois G, Doyon J, Grenier P, Gagnon, A.-È (2013). Impact des changements climatiques sur le synchronisme entre les ravageurs et leurs ennemis naturels : conséquences sur la lutte biologique en milieu agricole au Québec. Rapport final Ouranos. 124 p. <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportBrodeur2013.pdf>
- Brodeur J, Leclerc L-A, Fournier M, Roy M (2001). Cabbage seedpod weevil (Coleoptera: Curculionidae): new pest of canola in northeastern North America. *The Canadian Entomologist*. 133: 709-711.

- Bulletin des agriculteurs (2014). Évolution des maladies du maïs. <http://www.lebulletin.com/cultures/evolution-des-maladies-du-mais-69039>
- Butzen S (2008). Gérer la pourriture sclérotique du soja. *Vision Cultures*. 18: 1-5.
- Caesar AJ et Pearson RC (1983). Environmental factors affecting survival of ascospores of *Sclerotinia sclerotiorum*. *Phytopathology*. 73: 1024-1030.
- Carcamo HA, Dosdall L, Dolinski M, Olfert O, Byers JR (2001). The cabbage seedpod weevil, *Ceutorhynchus obstrictus* (Coleoptera: Curculionidae) - a review. *Journal of the Entomological Society of British Columbia*. 98: 201-210.
- Cartwright OL (1934). The southern corn stalk borer in South Carolina. South Carolina Agricultural Experiment Station. Bull 294.
- Chanty P, Martin RJ, Gunning RV, Andrew NR (2015). Influence of temperature and humidity regimes on the developmental stages of green vegetable bug, *Nezara viridula* (L.) (Hemiptera: Pentatomidae) from inland and coastal populations in Australia. *General and Applied Entomology*. 43: 37-55.
- Charchar JM et Santo GS (2001). Effect of temperature on the embryonic development and hatching of *Meloidogyne chitwoodi* race 1 and 2 and *M. hapla*. *Nematologia Brasileira*. 25: 71-77.
- Chen CC, Shy JF, Ko WF, Hwang TF, Lin CS (1991). Studies on the ecology and control of *Phyllotreta striolata* (Fab.) (II) Developmental duration and population fluctuation. *Plant Protection Bulletin (Taipei)*. 33: 354-363.
- Chippendale GM et Reddy AS (1973). Temperature and photoperiodic regulation of diapause of the southwestern corn borer, *Diatraea grandiosella*. *Journal of Insect Physiology*. 19: 1397-1408.
- Chippendale GM et Reddy AS (1974). Diapause of the southwestern corn borer, *Diatraea grandiosella*: low temperature mortality and geographical distribution. *Environmental Entomology*. 3: 233-238.
- Chippendale GM, Breden F, McCauley DE. (1992). Factors controlling the distribution of a subtropical corn borer, *Diatraea grandiosella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Studies on Neotropical Fauna and Environment*. 27: 83-90.
- Cividanes FJ et Parra JRP (1994). Ecological zoning of *Nezara viridula* (L.), *Piezodorus guildinii* (West.) and *Euschistus heros* (Fabr.) (Heteroptera: Pentatomidae) in four soyabean-producing states of Brazil. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*. 23: 219-226.
- Corlay F et Boivin G (2008). Seasonal development of an invasive exotic species, *Contarinia nasturtii* (Diptera: Cecidomyiidae), in Quebec. *Environmental Entomology*. 37: 907-913.
- CottAssist. <http://www.crdc.com.au/cottassist>
- Coyne DL, Nicol JM, Claudius-Cole B (2010). Les nematodes des plantes: un guide pratique des techniques de terrain et de laboratoire. Secrétariat SP-IPM, Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA), Cotonou, Bénin. 82 pp.
- Cruz CD et Dorrance AE (2009). Characterization and survival of *Cercospora sojae* in Ohio. *Plant Health Progress* doi:10.1094/PHP-2009-0512-03-RS.
- David WAL, Ellaby S, Taylor G (1975). Rearing Spodoptera exempta on semi-synthetic diets and on growing maize. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 18: 226-237.
- Davis FM, William WP, Sorenson CE (1999). Evaluation of six maize hybrids for their susceptibility to feeding by three *Diatraea* spp. (Lepidoptera: Crambidae) by using laboratory bioassay. *Journal of Agriculture and Urban Entomology*. 16: 107-112.
- Dermody O, O'Neill BE, Zangerl AR, Berenbaum MR, DeLucia EH (2008). Effects of elevated CO₂ and O₃ on leaf damage and insect abundance in a soybean agroecosystem. *Arthropod-Plant Interactions*. 2:125-135.

- Dixon WN (2014). Whitefringed beetles, *Naupactus* (= *Graphognathus*) spp. (Insecta: Coleoptera: Curculionidae). Document EENY-294. <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/IN/IN57200.pdf>
- Dosdall LM, Weiss RM, Olfert O, Carcamo HA (2002). Temporal and geographical distribution patterns of cabbage seedpod weevil (Coleoptera: Curculionidae) in canola. *The Canadian Entomologist*. 134: 403-418.
- Eizaguirre M et Fantinou AA (2012). Abundance of *Sesamia nonagrioides* (Lef.) (Lepidoptera: Noctuidae) on the edges of the mediterranean basin. *Psyche*, Article ID 854045, 7 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2012/854045>
- Fargalla FH et Fahim MA (2014). Comparative studies for the arthropod fauna of cowpea plantations and their associated predators in two agro-ecological zones with climatic studies on the lima bean pod borer, *Etiella zinckenella* (Treit.). *Researcher*. 6: 43-52.
- Ferris (2013). *Heterodera zeae*. <http://plpnemweb.ucdavis.edu/nemaplex/taxadata/G060s57.htm>
- Fleming WE (1972). Biology of the Japanese beetle. USDA Technical Bulletin 1449.
- Foott WH (1977). Biology of the corn leaf aphid, *Rhopalosiphum maidis* (Homoptera: Aphididae), in southwestern Ontario. *The Canadian Entomologist*. 109: 1129-1135.
- Fuhrer J (2003) Agroecosystem responses to combinations of elevated CO₂, ozone, and global climate change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 97: 1-20.
- Fushtey et Johnson (1966). The biology of the oat cyst nematode, *Heterodera avenae* in Canada. I. The effect of temperature on the hatchability of cysts and emergence of larvae. *Nematologica*. 12: 313-320.
- Gagnon A-È, Roy M, Roy A (2011). Impacts directs et indirects des changements climatiques sur les ennemis des cultures. Document de synthèse. 80 pages. https://www.agrireseau.net/lab/documents/Revue%20de%20littérature%20CC_phyto.pdf
- Gagnon A-È, Arseneault-Labrecque G, Bourgeois G, Bourdages L, Grenier P et Roy M (2013). Études de cas pour faciliter une gestion efficace des ennemis des cultures dans le contexte de l'augmentation des risques phytosanitaires liés aux changements climatiques. Rapport final Ouranos Projet 550004-PXI, Québec, Canada. 183 p. https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/2016/03/RapportGagnon2013_FR.pdf
- Gao Z, Wu W, Cui Z, Liang G (2005). Effects of environmental factors on *Phyllotreta striolata* dispersion. *Chinese Journal of Applied Ecology*. 16: 1082-1085.
- Gleason ML et Ferriss RS (1987). Effects of soil moisture and temperature on *Phomopsis* seed decay of soybean in relation to host and pathogen growth rates. *Phytopathology*. 77: 1152-1157.
- Goudis LA (2014). Oviposition preference, larval survival, flight trends, and control measures for Western Bean Cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) in dry bean. Dissertation, Université de Guelph
- Gregory PJ, Johnson SN, Newton AC, Ingram JSI (2009). Integrating pests and pathogens into the climate change/food security debate. *Journal of Experimental Botany*. 60: 2827-2838,
- Griffin (1988). The cereal cyst nematode *Heterodera avenae*. *Nematology Circular*. 158.
- Griffin GD, Jensen KB (1997). Importance of temperature in the pathology of *Meloidogyne hapla* and *M. chitwoodi* on legumes. *Journal of Nematology*. 29: 112-116.
- Guzmán NV, Lanteri AA, Confalonieri VA (2012). Colonization ability of two invasive weevils with different reproductive modes. *Evolutionary Ecology*. 26: 1371-1390.
- Hanson et al. (2015). Degree-Day prediction models for the flight phenology of Western Bean Cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) assessed with the concordance correlation coefficient. *Journal of Economical Entomology*. 108: 1728-38.

- Haye T, Mason PG, Dosdall LM, Gillespie DR, Gibson GAP, Kuhlmann U (2013). Chapitre 16 *Ceutorhynchus obstrictus* (Marsham), Cabbage Seedpod weevil (Coleoptera : Curculionidae). in Biological Control Programmes in Canada 2001-2012 (Mason, et Gillespie).
- Heffer Link V et Johnson KB (2007). White mold. The Plant Health Instructor. DOI: 10.1094/PHI-I-2007-0809-01.
- Hill JK et Gatehouse AG (1992). Effects of temperature and photoperiod on development and pre-reproductive period of the silver Y moth *Autographa gamma* (Lepidoptera: Noctuidae). Bulletin of Entomological Research 82: 335-341.
- Honek A, Jarosik V, Martinkova Z, Novak I (2002). Food induced variation of thermal constants of development and growth of *Autographa gamma* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. European Journal of Entomology 99: 241-252.
- Hutzell PA et Krusberg LR (1990). Temperature and the life cycle of *Heterodera zae*. Journal of Nematology. 22: 414.
- Inserra RN, Griffin GD, Sisson DV (1983). Effects of temperature and root leachates on embryonic development and hatching of *Meloidogyne chitwoodi* and *M. hapla*. Journal of Nematology. 15: 123-127.
- Inserra RN, Vovlas N, O'Bannon JH, Griffin GD (1985). Development of *Meloidogyne chitwoodi* on wheat. Journal of Nematology. 17: 322-326.
- Jones RAC (2009). Plant virus emergence and evolution: origins, new encounter scenarios, factors driving emergence, effects of changing world conditions, and prospects for control. Virus Research. 141: 113-130.
- Kelly et al. (2015). From select agent to an established pathogen: the response to *Phakopsora pachyrhizi* (soybean rust) in North America. Phytopathology 105: 905-916.
- Krusberg LR, Sardanelli S, Grybauskas AP (1997). Damage potential of *Heterodera zae* to *Zea mays* as affected by edaphic factors. Fundamental and Applied Nematology. 20: 593-599.
- Kuo MH, Chiu MC, Perng JJ (2006). Temperature effects on life history traits of the corn leaf aphid, *Rhopalosiphum maidis* (Homoptera: Aphididae) on corn in Taiwan. Applied Entomology and Zoology. 41: 171-177.
- Labrie (2012). Distribution, incidence et contrôle naturel du méligèthe des crucifères dans le canola. PROJET NO 811235.
- Labrie et Roy (2010). Le ver-gris occidental des haricots, un nouveau venu au Québec. Antennae. 17: 8-9.
- Lacroix (2004). La rouille du soya. Fiche technique MAPAQ. <https://www.agrireseau.net/lab/documents/Rouille%20soya%20final.pdf>
- Leskey TC, Hamilton GC, Nielsen AL, Polk DF, Rodriguez-Saona C, Bergh JC, Herbert DA., Kuhar TP, Pfeiffer D, Dively GP, Hooks CRR, Raupp MJ, Shrewsbury PM, Krawczyk G, Shearer PW, Whalen J, Koplinka-Loehr C, Myers E, Inkley D, Hoelmer KA, Lee D-H, Wright SE (2012). Pest status of the brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys* in the USA. Outlooks on Pest Management. 23: 218-226.
- Li X (2007). Soybean rust in the United States: assess its potential epidemic ranges and frequency based on disease limiting factors, disease attributes, and comparative epidemiology. Thèse de Doctorat. Iowa State University.
- Maiorano A, Donatelli M, Fumagalli D (2012). Potential distribution and phenological development of the Mediterranean Corn Borer (*Sesamia nonagrioides*) under warming climate in Europe. International Congress on Environmental Modelling and Software - Managing Resources of a Limited Planet, Sixth Biennial Meeting p. 658-665.

- Malmstrom CM, Melcher U, Bosque-Pérez NA (2011). The expanding field of plant virus ecology: historical foundations, knowledge gaps, and research directions. *Virus Research*. 159: 84-94.
- Mason PG, Olfert O, Sluchinski L, Weiss RM, Boudreault C, Grossrieder M, Kuhlmann U (2003). Actual and potential distribution of an invasive canola pest, *Meligethes viridescens* (Coleoptera: Nitidulidae), in Canada. *The Canadian Entomologist*. 135: 405-413.
- Mass DL et Springer TL (2005). Southern corn stalk borer, *Diatraea crambidoides* (Grote), feeding damage on eastern gamagrass in Oklahoma. *Southwestern Entomologist*. 30: 67-68.
- McDonald AH et Nicol JM (2005). Nematode parasites of cereals. *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture* (Ed. 2). 131-191.
- Mengistu A, Castelbury L, Smith R, Ray J, Bellaloul N (2009). Seasonal progress of *Phomopsis longicolla* infection on soybean plant parts and its relationship to seed quality. *Plant Disease*. 93: 1009-1018.
- Michel AP, Krupke CH, Baute TS, Difonzo C (2010). Ecology and management of the western bean cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) in corn and dry beans. *Journal of Integrated Pest management*. 10 p. DOI: 10.1603/IPM10003
- Mimee B, Brodeur J, Bourgeois G, Moiroux J, Gendron St-Marseille A-F, Gagnon A-È(2013). Quels enjeux représentent les changements climatiques en lien avec les espèces exotiques envahissantes pour la culture du soya au Québec? Rapport final Ouranos. 51 p. <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportMimee2014.pdf>
- Mironidis GK et Savopoulou-Soultani M (2008). Development, survivorship, and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) under constant and alternating temperatures. *Environmental Entomology*. 37: 16-28.
- Naito (1965). Effect of temperature and moisture on the development of the lima bean pod borer, *Etiella zinckenella* Treitschke. *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology*. 5: 98-102.
- Nazareno NRX, Lipps PE, Madden LV (1992). Survival of *Cercospora zea-maydis* in corn residue in Ohio. *Plant Disease*. 76: 560-563.
- Newman JA (2006). Using the output from global circulation models to predict changes in the distribution and abundance of cereal aphids in Canada: a mechanistic modeling approach. *Global Change Biology*. 12: 1634-1642.
- Nicol JM, Turner SJ, Coyne DL, den Nijs L, Hockland S, Tahna Maafi Z (2011). Current nematode threats to world agriculture, in *Genomics and molecular genetics of plant-nematode interactions*. Pp. 21-43.
- Nielsen AL, Hamilton GC (2009). Life history of the invasive species *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) in northeastern United States. *Annals of the Entomological Society of America*. 102: 608-616.
- Nielsen AL, Hamilton GC, Mathada D (2008). Developmental rate estimation and life table analysis for *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae). *Environmental Entomology*. 37: 348-355.
- O'Bannon JH et Santo GS (1984). Effect of soil temperature on reproduction of *Meloidogyne chitwoodi* and *M. hapla* alone and in combination on potato and *M. chitwoodi* on rotation plants. *Journal of Nematology*. 16: 309-312.
- O'Neill BE, Zangerl AR, Dermody O, Bilgin DD, Casteel CL, Zavala JA, DeLucia EH, Berenbaum MR (2010). Impact of elevated levels of atmospheric CO₂ and herbivory on flavonoids of soybean (*Glycine max* Linnaeus). *Journal of Chemical Ecology*. 36: 35-45.
- Olfert O et Weiss RM (2006). Impact of climate change on potential distributions and relative abundances of *Oulema melanopus*, *Meligethes viridescens* and *Ceutorhynchus obstrictus* in Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 113: 295-301.

- Olfert O, Hallett R, Weiss RM, Soroka J, Goodfellow S (2006). Potential distribution and relative abundance of swede midge, *Contarinia nasturtii*, an invasive pest in Canada. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 120: 221–228
- Olivier C (2012). Présentation powerpoint. 2012 Aster yellow outbreak in Saskatchewan. Agronomy update, Lethbridge, January 14th 2012.
- Olivier C, Saguez J, Stobbs L, Lowery T, Galka B, Whybourne K, Bittner L, Chen X, Vincent C (2014). Occurrence of phytoplasmas in leafhoppers and cultivated grapevines in Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 195: 91-97.
- Ouranos (2015). Vers l'adaptation. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec. Édition 2015.
- Patterson DT, Westbrook JK, Joyce RJV, Lingren PD, Rogasik J (1999) Weeds, insects and diseases. *Climatic Change*. 43: 711-727.
- Paul PA et Munkvold GP (2005). Influence of temperature and relative humidity on sporulation of *Cercospora zae-maydis* and expansion of gray leaf spot lesions on maize leaves. *Plant Disease*. 89: 624-630.
- Payne GA et Waldron JK (1983). Overwintering and spore release of *Cercospora zae-maydis* in corn debris in North Carolina. *Plant Disease*. 67: 87-89.
- Pivonia S et Yang XB (2004). Assessment of the potential year-round establishment of soybean rust throughout the world. *Plant Disease*. 88: 523-529.
- Pivonia S et Yang XB (2006). Relating epidemic progress from a general disease model to seasonal appearance time of rusts in the United States: Implications for soybean rust. *Phytopathology* 96: 400-407.
- Plant Health Australia. (2013). Generic contingency plan - Exotic grain affecting nematodes. <http://www.planthealthaustralia.com.au/wp-content/uploads/2014/01/Exotic-nematodes-of-grains-CP-2013.pdf>
- RAP grandes cultures (2015). Les moisissures de l'épi du maïs grain. Bulletin d'information 26. 10-ix-2015.
- Readshaw JL (1966). The ecology of the swede midge, *Contarinia nasturtii* (Kieff.)(Diptera, Cecidomyiidae). I.—Life-history and influence of temperature and moisture on development. *Bulletin of Entomological Research*. 56: 685-700.
- Régnière J, Rabb RL, Stinner RE (1981). *Popillia japonica*: simulation of temperature-dependent development of the immatures, and prediction of adult emergence. *Environmental Entomology*. 10: 290-296.
- Rousseau (2005). Analyses multidimensionnelles des effets de la rotation et d'un compost urbain sur la sclérotiniose du soja et la santé du sol Thèse de Doctorat, Université Laval.
- Rupe JC (1990). Effect of temperature on the rate of infection of soybean seedlings by *Phomopsis longicolla*. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 12: 43-47.
- Rupe JC et Ferris RS (1987). A model for predicting the effects of microclimate on infection of soybean by *Phomopsis longicolla*. *Phytopathology*. 77: 1162-1166.
- Rupe JC, Siegel MR, Hartman JR (1982). Influence of environment and plant maturity on gray leaf spot of corn caused by *Cercospora zae-maydis*. *Phytopathology*. 72: 1587-1591.
- Sabeh et al. (sous presse). *Canadian Journal of Plant Pathology*.
- Sakagami SF, Tanno K, Tsutsui H, Honma K (1985). The role of cocoons in overwintering of the soybean pod borer *Leguminivora glycinivorella* (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of the Kansas Entomological Society* 1: 240-247.

- Santo GS et O'Bannon JH (1981). Effect of soil temperature on the pathogenicity and reproduction of *Meloidogyne chitwoodi* and *M. hapla* on Russet Burbank potato. *Journal of Nematology*. 13: 483–486.
- Sato M, Kaneda, Sugimoto T (2002). Development and reproductive ability of white fringed weevil, *Naupactus leucoloma* (Boheman) (Coleoptera: Curculionidae). <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=JP2002004741>.
- Seiter NJ, Greene JK, Reay-Jones FPF (2012b). Reduction of soybean yield components by *Megacopta cribraria* (Hemiptera: Plataspidae). *Journal of Economic Entomology*. 106: 1676-1683.
- Seiter NJ, Reay-Jones FPF, Greene JK (2012a). Within-field spatial distribution of *Megacopta cribraria* (Hemiptera: Plataspidae) in soybean (Fabales: Fabaceae). *Environmental Entomology*. 42: 1363-1374.
- Seymour Jones E (1923). Influence of temperature on the spore germination of *Ustilago zaeae*. *Journal of Agricultural Research*. 24: 593-597.
- Shi SS, Cui J, Xu W, Wu TT, Qi LZ, Li WY, Song PX, Zhang M (2014). Effects of temperature on growth of *Leguminivora glycinivorella* eggs and larva. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*. 36: 250-255.
- Shi SS, Cui J, Zang LS (2014). Development, survival, and reproduction of *Megacopta cribraria* (Heteroptera: Plataspidae) at different constant temperatures. *Journal of Economic Entomology*. 107: 2061-2066.
- Singh H et Dhooria MS (1971). Bionomics of the pea pod borer, *Etiella zinckenella* (Treitschke). *Indian Journal of Entomology*. 33: 123-130.
- Singh R, Upadhyay BS, Srivastava PN (1996). Effect of temperature on the development and life-table of *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) (Homoptera: Aphididae) on three food plants. *Journal of Aphidology*. 10: 19-29.
- Sinha et Behki (1972). American wheat striate mosaic virus. <http://www.dpvweb.net/dpv/showdpv.php?dpvno=99>
- Slykhuis JT et Sherwood PL (1964). Temperature in relation to the transmission and pathogenicity of wheat striate mosaic virus. *Canadian Journal of Botany*. 42: 1123-1133.
- Slykhuis JT (1963). Vector and host relations of North American wheat striate mosaic virus. *Canadian Journal of Botany*. 41: 1171-1185.
- Smiley RW et Yan G (2010). Cereal cyst nematodes: biology and management in Pacific Northwest wheat, barley, and oat crops. Pacific Northwest Extension Publication. PNW 620.
- Soroka J et Elliott C (2011). Innovative methods for managing flea beetles in Canola. *Prairie Soils & Crops Journal*. 4: 1-7.
- Springer TL, Puterka GJ, Mass DL, Thacker ET (2011). The southern cornstalk borer (*Diatraea crambidoides* (Grote), Lepidoptera: Crambidae) a new pest of eastern gamagrass (*Tripsacum dactyloides* (L.) L., Poaceae). *Journal of the Kansas Entomological Society*. 84: 209-216.
- Srivastava AN et Chawla G (2005). Maize cyst nematode, *Heterodera Zeae*: A key nematode pest of maize and its management. 18 p.
- Tansay JA, Dosdall LM, Keddie A, Olfert O et al. (2010). Flight activity and dispersal of the cabbage seedpod weevil (Coleoptera: Curculionidae) are related to atmospheric conditions. *Environmental Entomology* 39: 1092-1100.
- Timian RG, Jons VL, Lamey HA (1978). Maize dwarf mosaic virus in North Dakota. *Plant Disease Reporter*. 62 : 674-675.

- Tiroesele B, Hunt TE, Wright R, Foster JE (2013). Population dynamics of bean leaf beetle, *Cerotoma trifurcata* (Coleoptera: Chrysomelidae) on edamame soybean plants in Nebraska. *European Journal of Sustainable Development* 2: 19-30.
- Todd JW (1989). Ecology and behavior of *Nezara viridula*. *Annual Review of Entomology*. 34: 273-292.
- Trnka M, Muska F, Semerádová D, Dubrovský M, Kocmánková E, Žalud Z (2007). European corn borer life stage model: regional estimates of pest development and spatial distribution under present and future climate. *Ecological Modelling*. 207: 61-84.
- Tylka GL (2007). New cyst nematode species on corn. *Integrated Crop Management*. IC-498(21): 239-240.
- Valdeolivas A, Romero MD, Muniz M (1991). Effect of temperature on juvenile emergence of Spanish populations of *Heterodera avenae*. *Nematologia Mediterranea*. 19: 37-40.
- van der Merwe CP (1926). The maize jassid (*Balclutha mbila* Naudé). *Journal Department of Agriculture, Union of South Africa* 12: 75-77.
- Van der Putten WH, Macel M, Visser ME. (2010). Predicting species distribution and abundance responses to climate change: why it is essential to include biotic interactions across trophic levels. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 365: 2025–2034.
- van Rensburg GDJ (1982). Laboratory observations on the biology of *Cicadulina mbila* (Naude) (Homoptera: Cicadellidae), a vector of maize streak disease. 2. The effect of selected host plants. *Phytophylactica*. 14: 99-107.
- Velasco LRI et Walter GH (1992). Availability of different host plant species and changing abundance of the polyphagous bug *Nezara viridula* (Hemiptera: Pentatomidae). *Environmental Entomology*. 21: 751-759.
- Velasco LRI et Walter GH (1993). Potential of host-switching in *Nezara viridula* (Hemiptera: Pentatomidae) to enhance survival and reproduction. *Environmental Entomology*. 22: 326-333.
- Ward JMJ, Stromberg EL, Nowell DC, Nutter Jr. FW (1999). Gray leaf spot: a disease of global importance in maize production. *Plant Disease*. 83: 884-895.
- Westdal PH et Richardson HP (1966). The painted leafhopper, *Endria inimica* (Say), a vector of wheat striate mosaic virus in Manitoba. *The Canadian Entomologist*. 98: 922-931.
- Young HC, App BA, Gill JB, Hollingworth HS (1950). White-fringed beetles and how to combat them. *United States Department of Agriculture. Circular* 850. 1-15.
- Zavala JA, Casteel CL, DeLucia EH, Berenbaum MR (2008). Anthropogenic increase in carbon dioxide compromises plant defense against invasive insects. *PNAS* 105: 5129-5133.
- Zhang (2012). *Cercospora* soja: over-winter survival and fungicide resistance. *Dissertation. Université de l'Illinois*. 111 p.
- Zhou X, Harrington R, Woiwod IP, Perry JN, Bale JS, Clark SJ (1995). Effects of temperature on aphid phenology. *Global Change Biology*. 1: 303-313.

Fiches techniques internet:

- *Cadra cautella* Walker, 1863 - Tropical Warehouse Moth. Fiche web BioNET-EAFRINET. http://keys.lucidcentral.org/keys/v3/eafrinet/maize_pests/key/maize_pests/Media/Html/Cadra_cautella_Walker_1863_-_Tropical_Warehouse_Moth.htm
- *Cicadulina mbila* (Naude) - Maize Leafhopper. Fiche web BioNET-EAFRINET. http://keys.lucidcentral.org/keys/v3/eafrinet/maize_pests/key/maize_pests/Media/Html/Cicadulina_mbila_%28Naude%29_-_Maize_Leafhopper.htm
- Cécidomie du chou fleur. Fiche web ACIA. <http://www.inspection.gc.ca/vegetaux/phytoravageurs-especes-envahissantes/insectes/cecidomyie-du-chou-fleur/fiche-de-renseignements/fra/1326212430732/1326212527789>
- *Autographa gamma*. Fiche web AgroAtlas. http://www.agroatlas.ru/en/content/pests/Autographa_gamma/
- *Heterodera zae*. Fiche web APHIS. <http://nematode.unl.edu/Heteroderazeae.html>
- *Helicoverpa* life cycle and behaviour. Queensland Government. <https://www.daf.qld.gov.au/plants/field-crops-and-pastures/broadacre-field-crops/integrated-pest-management/a-z-insect-pest-list/helicoverpa/helicoverpa-biology-and-ecology/life-cycle-and-behaviour>
- *Helicoverpa armigera*. Fiche web CABI. <http://www.cabi.org/isc/datasheet/26757#20137000319>
- *Spodoptera exempta*. Fiche web CABI. <http://www.cabi.org/isc/datasheet/29809>
- Leguminivora glycinivorella. <http://wbd.etibioinformatics.nl/bis/tortricidae.php?menuentry=soorten&id=229>
- *Meloidogyne chitwoodi*. Fiche web CABI. <http://www.cabi.org/isc/datasheet/33235>
- *Nezara viridula*. Fiche web CABI. <http://www.cabi.org/isc/datasheet/36282>
- *Phakopsora pachyrhizi*. Fiche web CABI. <http://www.cabi.org/isc/datasheet/40019>
- *Popillia japonica*. Fiche web CABI. <http://www.cabi.org/isc/datasheet/43599>
- *Spodoptera littoralis*. Fiche web CABI. <http://www.cabi.org/isc/datasheet/51070/aqb>
- Pyrale des amandes *Cadra cautella*. Fiche web CCG. <https://www.grainscanada.gc.ca/storage-entrepouse/sip-irs/am-pa-fra.htm>
- *Naupactus leucoloma*. Fiche web EPPO. https://www.eppo.int/QUARANTINE/data_sheets/insects/GRAGLE_ds.pdf
- Méligèthe des crucifères. Fiche web INRA. <http://www7.inra.fr/hyppz/RAVAGEUR/3melvir.htm>
- *Autographa gamma*. Fiche web Plantwise. <http://www.plantwise.org/KnowledgeBank/Datasheet.aspx?dsid=46179>
- *Phomopsis longicolla*. Fiche web Plantwise. <http://www.plantwise.org/KnowledgeBank/Datasheet.aspx?dsid=40477>
- *Heterodera avenae*. Fiche web Plantwise. <http://www.plantwise.org/knowledgebank/datasheet.aspx?dsid=27020>
- *Helicoverpa punctigera*. Fiche web Plantwise. <http://www.plantwise.org/KnowledgeBank/Datasheet.aspx?dsid=26772>
- Maize dwarf mosaic virus. Fiche web Plantwise. <http://www.plantwise.org/KnowledgeBank/Datasheet.aspx?dsid=8157>
- *Etiella zinckenella*. Fiche web Plantwise. <http://www.plantwise.org/KnowledgeBank/Datasheet.aspx?dsid=22195>
- EPPO (2015). Fiche technique *Heterodera zae* (Nematoda: Heteroderidae) - Corn cyst nematode https://www.eppo.int/QUARANTINE/Alert_List/deleted%2520files/nematodes/Heterodera_zae.docx
- Maladies des grandes cultures : Maladies du maïs. Site web de l'OMAFRA. <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/pub811/14corn.htm>
- La cicadelle de l'aster et la jaunisse de l'aster. Site web de l'OMAFRA. <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/98-058.htm>

Sources des images

Helicoverpa armigera :

Chenille. Gyorgy Csoka sur Wikipédia. https://en.wikipedia.org/wiki/Helicoverpa_armigera

Adulte. Eric Sylvestre sur Wikipédia. https://en.wikipedia.org/wiki/Helicoverpa_armigera

Autographa gamma :

Chenille. <http://www7.inra.fr/hyppz/IMAGES/7030873.jpg>

Adulte. <http://www.entomart.be/nouveaux/NEO-0061-Autographaprofil.jpg>

Nezara viridula :

Adulte. Tristan Bantock. http://www.britishbugs.org.uk/heteroptera/Pentatomidae/nezara_viridula.html

Spodoptera littoralis :

Chenille. http://www.pyrgus.de/Spodoptera_littoralis_en.html

Adulte. Martin Honey. <http://www.ukmoths.org.uk/species/spodoptera-littoralis/adult/>

Euxoa auxiliaris :

Chenille. <http://entoweb.okstate.edu/ddd/insects/armycutworm.htm>

Adulte. <http://entomology.k-state.edu/extension/insect-information/crop-pests/wheat/armycutworm.html>

Megacopta cribraria :

Adulte. Charles Lam sur Wikipédia. https://en.wikipedia.org/wiki/Megacopta_cribraria

Nymphe. Photo#565670. Iowa State University. <http://ipetrus.blogspot.ca/2011/10/new-invasive-species-asian-kudzu-bug.html>

Halyomorpha halys :

MAPAQ. <http://www.agrireseau.qc.ca/lab/documents/La%20punaise%20marbr%C3%A9e.pdf>

Diatraea crambidoides :

Chenille.

https://en.wikipedia.org/wiki/Diatraea_crambidoides#/media/File:Diatraea_crambidoides_larva.jpg

Adulte. Ken Childs. <http://bugguide.net/node/view/782260>

Diatraea crambidoides

Larve : Issue de wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Diatraea_crambidoides_larva.jpg

Adulte : Ken Childs – Photo#782260 sur Bugguide. <http://bugguide.net/node/view/782260>

Sesamia nonagrioides

Larve : http://www.pyrgus.de/bilder_en.php

Adulte : Philippe Mothiron. Sur le site internet :

<http://www.lepinet.fr/especes/nation/lep/index.php?id=44780>

Cadra cautella : <https://www.grainscanada.gc.ca/storage-entrepote/sip-irs/am-pa-fra.htm>

Naupactus leucoloma

Larve : Wayne N. Dixon. http://entnemdept.ufl.edu/creatures/field/beetles/whitefringed_beetles.htm

Adulte : Ashley Bradford - Photo#859737 sur Bugguide. <http://bugguide.net/node/view/859737>

Etiella zinckenella

Larve : <http://www.nbair.res.in/insectpests/images/Etiella-zinckenella4.jpg>

Adulte : John Davis - Photo#145186 sur Bugguide. <http://bugguide.net/node/view/145186>

Diatraea grandiosella

Larve : Franck Peairs. http://www.nature.com/nclimate/journal/v1/n8/fig_tab/nclimate1266_F1.html

Adulte : Ken Childs - Photo#753385 sur Bugguide. <http://bugguide.net/node/view/753385>

Spodoptera exempta

Larve : <https://cabiplantwise.files.wordpress.com/2012/12/armyworm.jpg>

Adulte : Buck Richardson. <http://lepidoptera.butterflyhouse.com.au/amph/exempta.html>

Helicoverpa punctigera

<http://agspsrv34.agric.wa.gov.au/Ento/images/budworm1.jpg>

Cicadulina mbila

PaDIL Pests and Diseases Image Library.

[http://keys.lucidcentral.org/keys/v3/eafrinet/maize_pests/key/maize_pests/Media/Html/Cicadulina_mbila_\(Naude\)_-Maize_Leafhopper.htm](http://keys.lucidcentral.org/keys/v3/eafrinet/maize_pests/key/maize_pests/Media/Html/Cicadulina_mbila_(Naude)_-Maize_Leafhopper.htm)

Leguminivora glycinivorella

Larve : <http://pests.agridata.cn/showimg3.asp?DB=5&id=13>

Adulte :

http://www.ipmoth.org/~dmoth/51_Tortricidae/5002%20Olethreutinae/500211201_Leguminivora_glycinivorella_0611/Leguminivora_glycinivorella_030810063.jpg

Popillia japonica

Bruce Marlin — Own work http://www.cirrusimage.com/beetles_japanese.htm

Phyllotreta striolata

Harvey Schmidt - Photo#651540 - <http://bugguide.net/node/view/651540>

Cerotoma trifurcata

Scott Justis - Photo#194362 - <http://bugguide.net/user/view/12130>

Striacosta albicosta

Larve : Adam Sisson, Iowa State University, Bugwood.org.

<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5465716>

Adulte : Marlin E. Rice - <http://www.ipm.iastate.edu/ipm/icm/2006/4-10/wbc.html>

Contarinia nasturtii

Larve : http://www.inspection.gc.ca/DAM/DAM-plants-vegetaux/STAGING/images-images/pestrava_connas_factsheet_image7_1326205887191_fra.jpg

Adulte : http://www.inspection.gc.ca/DAM/DAM-plants-vegetaux/STAGING/images-images/pestrava_connas_factsheet_image1_1326205586021_fra.jpg

Meligethes viridescens: U.Schmidt - https://www.kaefer-der-welt.de/meligethes_viridescens.htm

Ceutorhynchus obstrictus : U.Schmidt - https://www.kaefer-der-welt.de/ceutorhynchus_obstrictus.htm

Mosaïque nanisante du maïs

Dommages: http://eap.mcgill.ca/CPMP_1.htm

Vecteur: *Rhopalosiphum maidis* :

[http://www.nbair.res.in/Aphids/images/Rhopalosiphummaidis/Rhopalosiphummaidis%20\(6\).jpg](http://www.nbair.res.in/Aphids/images/Rhopalosiphummaidis/Rhopalosiphummaidis%20(6).jpg)

Virus américain de la mosaïque striée du blé

Vecteur : *Endria inimica* - Claude Pilon.

http://entomofaune.qc.ca/entomofaune/cicadelles/photos_E_H.htm

Virus de la mosaïque striée du blé

Vecteur : *Aceria tosichella*

http://agrilife.org/plantpathresearch/files/2014/02/WCM_3_mites_on_foliage.jpg

Symptômes : http://agrilifecdn.tamu.edu/plantpathresearch/files/2014/03/wsmv_symptoms.jpg

Rouille asiatique du soya (*Phakopsora pachyrhizi*) :

Joe Hennen, Botanical Research Institute of Texas, Bugwood.org -

<http://www.invasive.org/browse/detail.cfm?imgnum=1265015>

Nématode cécidogène de Columbia (*Meloidogyne chitwoodi*) :

EPPO Gallery <http://photos.eppo.int/index.php/image/1859-melgch-01/images/200-meloidogyne-chitwoodi-melgch->

Nématode du maïs (*Heterodera zea*) :

Kyste : R. Heinz and M. Mitchum <http://www.ipm.iastate.edu/ipm/icm/2007/7-30/nematode.html>

Juvenile : Tom Powers <http://nematode.unl.edu/hetezea1.jpg>

Nématode de l'avoine (*Heterodera avenae*):

Juvenile : Tom Powers <http://nematode.unl.edu/havenut1.jpg>

Kyste : Tom Powers <http://nematode.unl.edu/hetemont1.jpg>

Charbon commun (*Ustilago zea* / *Ustilago maydis*):

Clemson University USDA Corporative Extension Slide Series. Bugwood.org Image UGA 1235022

<https://images.bugwood.org/series.cfm?coll=3600&color=transparent>

Cercosporose (*Cercospora soja*):

<http://extension.missouri.edu/p/G4442-5>

Pourriture à sclérotés (*Sclerotinia sclerotiorum*)

<http://www.aganytime.com/Soybeans/Pages/Article.aspx?article=859>

Taches grises (*Cercospora zea-maydis*)

Erik L. Stromberg

<http://www.apsnet.org/publications/apsnetfeatures/PublishingImages/1998%20Features/May/strom5.htm>

Jaunisse de l'aster

Vecteur (*Macrostelus quadrilineatus*) : Tom Murray Photo#25993 <http://bugguide.net/node/view/25993>

Canola affecté par la maladie : Canola watch <http://www.canolawatch.org/wp-content/uploads/2012/05/Aster-yellows-small.jpg>

Maladie de Stewart :

Domage aux plantules : OMAFRA <http://www.omafra.gov.on.ca/IPM/english/sweet-corn/diseases-and-disorders/stewerts-wilt.html>

Vecteur: *Chaetocnema pulicaria* Photo#353196 <http://bugguide.net/node/view/353196/bgpage>

Pourriture des graines (*Phomopsis longicolla*): Adam Sisson, Iowa State University, Bugwood.org

<http://www.forestryimages.org/browse/subthumb.cfm?sub=19149>

Contact :



Julien SAGUEZ

Chercheur Biologiste-entomologiste

Téléphone : (450) 464-2715 # 249

740, chemin Trudeau

Saint-Mathieu-de-Beloeil, QC J3G 0E2

Télec. : 450 464-8767

Julien.saguez@cerom.qc.ca

www.cerom.qc.ca

Diffusion : Septembre 2017