

Adaptation des mesures phytosanitaires pour les ravageurs et maladies des cultures fruitières à l'égard des impacts des changements climatiques

Équipe de réalisation :

Annabelle Firlej, IRDA; Marie-Pier Ricard, IRDA; Alessandro Dieni, IRDA; Élisabeth Ménard, IRDA; Gaétan Bourgeois, AAC et Patrick Grenier, Ouranos.

Collaborateurs :

Stéphanie Tellier, MAPAQ; François Gervais, CETAQ; Didier Labarre, CETAQ; Vincent Phillion, IRDA; Gérald Chouinard, IRDA; Francine Pelletier, IRDA; Daniel Cormier, IRDA et Franz Vanoosthuyse, IRDA.

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

1	INTRODUCTION	13
2	OBJECTIFS.....	15
3	DOCUMENTER L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES ESPÈCES DE RAVAGEURS ET MALADIES PRÉSENTES AU QUÉBEC ET SUR LES ESPÈCES DE RAVAGEURS ET MALADIES EXOTIQUES SUSCEPTIBLES DE S'INTRODUIRE AU QUÉBEC.....	16
3.1	REVIEW DE LITTÉRATURE SUR L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES ESPÈCES DE RAVAGEURS ET MALADIES PRÉSENTES AU QUÉBEC.....	16
3.1.1	<i>Methodologie</i>	16
3.1.2	<i>Résultats</i>	18
3.2	REVIEW DE LITTÉRATURE SUR L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES ESPÈCES DE RAVAGEURS ET MALADIES EXOTIQUES SUSCEPTIBLES DE S'INTRODUIRE AU QUÉBEC.....	20
3.2.1	<i>Methodologie</i>	20
3.2.2	<i>Résultats</i>	20
3.3	DISCUSSION ET ÉTUDES DE CAS	22
4	ÉVALUER L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES POUR SEPT ÉTUDES DE CAS ET IDENTIFIER DES MESURES D'ADAPTATION.	26
4.1	OBJECTIFS	26
4.2	MÉTHODOLOGIE UTILISÉE	26
4.2.1	<i>Modélisation bioclimatique</i>	26
4.2.2	<i>Scénarios climatiques</i>	29
4.2.3	<i>Analogues spatiaux et ateliers avec le secteur</i>	30
4.3	ÉTUDES DE CAS POUR LA CANNEBERGE	31
4.3.1	<i>Tordeuse des canneberges</i>	31
4.3.2	<i>Pourriture amère</i>	33
4.3.3	<i>Modélisation bioclimatique</i>	34
4.3.4	<i>Analyse des impacts en combinant les modèles bioclimatiques et les scénarios de changement climatique</i>	37
4.3.5	<i>Validation des impacts et identification des mesures d'adaptation grâce aux analogues spatiaux</i> 56	37
4.4	ÉTUDES DE CAS POUR LES FRAISES ET FRAMBOISES	60
4.4.1	<i>Scarabée japonais</i>	60
4.4.2	<i>Tarsonème du fraisier</i>	61
4.4.3	<i>Anthracnose</i>	62
4.4.4	<i>Modélisation bioclimatique</i>	62
4.4.5	<i>Analyse des impacts en combinant les modèles bioclimatiques et les scénarios de changement climatique</i>	65
4.4.6	<i>Validation des impacts et mesures d'adaptation grâce aux analogues spatiaux</i>	86
4.5	ÉTUDES DE CAS POUR LA POMME	94
4.5.1	<i>Carpocapse de la pomme</i>	94
4.5.2	<i>Punaise marbrée</i>	95
4.5.3	<i>Pourriture amère</i>	96
4.5.4	<i>Brûlure bactérienne</i>	97
4.5.5	<i>Modélisation bioclimatique</i>	98
4.5.6	<i>Analyse des impacts en combinant les modèles bioclimatiques et les scénarios de changement climatique</i>	102

4.5.7	Validation des impacts et identification des mesures d'adaptation grâce aux analogues spatiaux	133
4.6	LISTE DES RECOMMANDATIONS PAR SECTEUR DE PRODUCTION	143
4.6.1	Secteur canneberge	143
4.6.2	Secteur fraise et framboise	144
4.6.3	Secteur pomme	146
5	ANALYSE ET DISCUSSION	148
5.1	REVUE DE LITTÉRATURE ET SÉLECTION DES ESPÈCES	148
5.2	MODÉLISATION DES IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	148
5.3	VALIDATION DES IMPACTS ET IDENTIFICATION DES MESURES D'ADAPTATION GRÂCE AUX ANALOGUES SPATIAUX	151
5.4	ATELIERS POUR PRÉPARER L'ADAPTATION DES SECTEURS DE PRODUCTION AUX IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	152
6	SYNTHÈSE SUR LA PHYTOPROTECTION ET LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	154
7	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	155
8	RÉFÉRENCES	156
9	ANNEXES	175
9.1	FICHES D'INFORMATIONS SUR LES ESPÈCES EXOTIQUES À RISQUE D'ENVAHIR LE QUÉBEC	175
9.1.1	<i>Epiphyas postvittana</i> (Walker)	175
9.1.2	<i>Archips fuscocupreanus</i> Walsingham	177
9.1.3	<i>Clepsis spectrana</i> (Treitsche)	179
9.1.4	<i>Adoxophyes orana</i> (FISCHER VON RÖSLERSTAMM)	181
9.1.5	<i>Amphitetranychus viennensis</i> (ZACHER)	183
9.1.6	<i>Homalodisca vitripennis</i> (Germar)	185
9.1.7	<i>Archips xylosteanus</i> (Linnaeus)	187
9.1.8	<i>Ochropleura implecta</i> Lafontaine	189
9.1.9	<i>Platynota flavedana</i> Clemens	191
9.1.10	<i>Frankliniella intonsa</i> (Trybom)	193
9.1.11	<i>Lopholeucaspis japonica</i> (Cockerell)	195
9.1.12	<i>Botryosphaeria dothidea</i> (Moug.)	197
9.1.13	<i>Rosellinia necatrix</i> Prill.	199
9.1.14	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>Fragariae</i> Winks and Williams	201
9.1.15	<i>Leptosphaeria coniothyrium</i> (Fuckel) Sacc.	203
9.2	SONDAGE ENVOYÉ AUX SPÉCIALISTES ET LISTE DE CONTACTS	205
9.2.1	Secteur de la canneberge	205
9.2.2	Secteur de la fraise et de la framboise	209
9.2.3	Secteur de la pomme	215

Liste des Figures

Figure 1. Tordeuse des canneberges (Tiré de IRIIS phytoprotection (http:// www. Iriisphytoprotection.qc.ca/), [2019-06-10])	32
Figure 2. Schéma du cycle biologique de la tordeuse des canneberges (Tiré de IRIIS phytoprotection (http:// www. Iriisphytoprotection.qc.ca/), [2019-06-10])	33
Figure 3. Pourriture des fruits causée par un complexe de pathogènes (crédit photo : Wells et McManus 2013.....	34
Figure 4. Dates moyennes du début d'apparition des différents stades phénologiques de la canneberge pour la ■ période de référence (1981-2010), le ■ scénario de changement inférieur (2041-2070) et le ■ scénario de changement supérieur (2041-2070).....	38
Figure 5. Dates moyennes du début d'apparition de la première génération de larves de la tordeuse des canneberges pour la période de référence (1981-2010)	40
Figure 6. Dates moyennes du début d'apparition de la première génération de larves de la tordeuse des canneberges selon le scénario de changement inférieur (2041-2070).....	41
Figure 7. Dates moyennes du début d'apparition de la première génération de larves de la tordeuse des canneberges selon le scénario de changement supérieur (2041-2070)	42
Figure 8. Dates moyennes du début d'apparition des adultes de la première génération de la tordeuse des canneberges pour la période de référence (1981-2010)	43
Figure 9. Dates moyennes du début d'apparition des adultes de la première génération de la tordeuse des canneberges selon le scénario de changement inférieur (2041-2070).....	44
Figure 10. Dates moyennes du début d'apparition des adultes de la première génération de la tordeuse des canneberges selon le scénario de changement supérieur (2041-2070)	45
Figure 11. Dates moyennes du début d'apparition des larves de la deuxième génération de la tordeuse des canneberges pour la période de référence (1981-2010)	46
Figure 12. Dates moyennes du début d'apparition des larves de la deuxième génération de la tordeuse des canneberges selon le scénario de changement inférieur (2041-2070).....	47
Figure 13. Dates moyennes du début d'apparition des larves de la deuxième génération de la tordeuse des canneberges selon le scénario de changement supérieur (2041-2070)	48
Figure 14. Dates moyennes du début d'apparition des adultes de la deuxième génération de la tordeuse des canneberges pour la période de référence (1981-2010)	50
Figure 15. Dates moyennes du début d'apparition des adultes de la deuxième génération de la tordeuse des canneberges selon le scénario de changement inférieur (2041-2070).....	51
Figure 16. Dates moyennes du début d'apparition des adultes de la deuxième génération de la tordeuse des canneberges selon le scénario de changement supérieur (2041-2070)	52
Figure 17. Dates moyennes du début d'apparition des larves de la troisième génération de la tordeuse des canneberges pour la période de référence (1981-2010)	53

Figure 18. Dates moyennes du début d'apparition des larves de la troisième génération de la tordeuse des canneberges selon le scénario de changement inférieur (2041-2070).....	54
Figure 19. Dates moyennes du début d'apparition des larves de la troisième génération de la tordeuse des canneberges selon le scénario de changement supérieur (2041-2070)	55
Figure 20. Indices quotidiens moyens de pourriture amère sur la canneberge	56
Figure 21. Nombre de scénarios climatiques identifiant les régions colorées comme analogues spatiaux au climat futur projeté (2041-2070) du centre d'interprétation de la canneberge considérant des indicateurs bioclimatiques pour la tordeuse des canneberges et la pourriture amère	57
Figure 22. Adulte de scarabée japonais (Tiré de IRIIS phytoprotection (http:// www. Iriisphytoprotection.qc.ca/), [2019-06-10])	60
Figure 23. Cycle de vie du scarabée japonais (Crédit photo : Oregon Department of Agriculture, Thomas Shahan)	61
Figure 24. Le tarsonème du fraisier adulte ((Tiré de IRIIS phytoprotection (http:// www. Iriisphytoprotection.qc.ca/), [2019-06-10])	61
Figure 25. L'antracnose sur fraise <i>Colletotrichum acutatum</i> (Image de Luc Urbain, MAPAQ; Tiré de IRIIS phytoprotection (http:// www. Iriisphytoprotection.qc.ca/), [2019-06-10]).....	62
Figure 26. Dates moyennes d'apparition des différents stades phénologiques du framboisier pour la région de la Montérégie (couleur pleine) et de la Capitale-Nationale (couleur hachurée) pour la ■ période de référence (1981-2010), le ■ scénario de changement inférieur (2041-2070) et le ■ scénario de changement supérieur (2041-2070).....	66
Figure 27. Dates moyennes d'apparition du stade pleine floraison (BBCH 65) chez le framboisier basées sur la période (1981-2010)	67
Figure 28. Dates moyennes d'apparition du stade pleine floraison (BBCH 65) chez le framboisier selon le scénario de changement inférieur (2041-2070)	68
Figure 29. Dates moyennes d'apparition du stade pleine floraison (BBCH 65) chez le framboisier selon le scénario de changement supérieur (2041-2070).....	69
Figure 30. Dates moyennes d'apparition des différents stades phénologiques du fraisier pour la région de la Montérégie (couleur pleine) et de la Capitale-Nationale (couleur hachurée) pour la période de référence (1981-2010), le ■ scénario de changement inférieur (2041-2070) et le scénario de changement supérieur (2041-2070)	70
Figure 31. Dates moyennes d'apparition du stade pleine floraison (BBCH 65) chez le fraisier basées sur la période (1981-2010)	71
Figure 32. Dates moyennes d'apparition du stade pleine floraison (BBCH 65) chez le fraisier selon le scénario de changement inférieur (2041-2070).....	72
Figure 33. Dates moyennes d'apparition du stade pleine floraison (BBCH 65) chez le fraisier selon le scénario de changement supérieur (2041-2070)	73

Figure 34. Dates moyennes d'apparition des différents stades phénologiques du scarabée japonais pour la région de la Montérégie (couleur pleine), de la Capitale Nationale (couleur hachurée) et chevauchement entre les deux régions (couleur pointillée) pour la période de référence (1981-2010), le scénario de changement inférieur (2041-2070) et le scénario de changement supérieur (2041-2070).....	75
Figure 35. Dates moyennes d'apparition des adultes du scarabée japonais basée sur la période de référence (1981-2010).....	77
Figure 36. Dates moyennes d'apparition des adultes du scarabée japonais selon le scénario de changement inférieur (2041-2070)	78
Figure 37. Dates moyennes d'apparition des adultes du scarabée japonais selon le scénario de changement supérieur (2041-2070).....	79
Figure 38. Nombre de générations mensuellement complétées par le tarsonème du fraisier durant la saison de croissance pour la région de la Montérégie (couleur pleine) et de la Capitale-Nationale (couleur hachurée) pour la période de référence (1981-2010), le scénario de changement inférieur (2041-2070) et le scénario de changement supérieur (2041-2070).....	80
Figure 39. Dates moyennes d'apparition des adultes du tarsonème du fraisier de la première génération basée sur la période (1981-2010)	82
Figure 40. Dates moyennes d'apparition des adultes du tarsonème du fraisier de la première génération selon le scénario de changement inférieur (2041-2070).....	83
Figure 41. Dates moyennes d'apparition des adultes du tarsonème du fraisier de la première génération selon le scénario de changement supérieur (2041-2070)	84
Figure 42. Analogues spatiaux des meilleurs 1% des points de grille MERRA pour le domaine (-131 à 35 ° E et 20 à 60°N) de l'Amérique du nord pour le climat futur (2041-2070) du site de référence de la Montérégie (Ferme Denis Charbonneau) pour le scarabée japonais et le tarsonème du fraisier	87
Figure 43. Analogues spatiaux des meilleurs 5% des points de grille MERRA pour le domaine (-131 à 35 ° E et 20 à 60°N) de l'Europe pour le climat futur (2041-2070) du site de référence de la Montérégie (Ferme Denis Charbonneau) pour le scarabée japonais et le tarsonème du fraisier	88
Figure 44. Carpocapse de la pomme (Crédit photo : F. Vanoosthuysse).....	95
Figure 45. Schéma du cycle biologique du carpocapse de la pomme (Crédit photo : F. Vanoosthuysse).....	95
Figure 46. Schéma du cycle biologique de la punaise marbrée (Crédit photo : œuf : Kim Hoelmer (USDA), larves 1 et 2 : George Hamilton (RUTGERS University), larves 3 à 5 et adultes : ((Tiré de IRIIS phytoprotection (http:// www. Iriisphytoprotection.qc.ca/), [2019-06-10]))	96
Figure 47. Pourriture amère sur une pomme (Crédit photo : OMAFRA, 2016)	97
Figure 48. Brûlure bactérienne sur pommier ((Tiré de IRIIS phytoprotection (http:// www. Iriisphytoprotection.qc.ca/), [2019-06-10]))	98

Figure 49. Exemple de sortie CIPRA du modèle de la brûlure bactérienne (CougarBlight). L'interprétation de la courbe est disponible dans le fichier d'aide de CIPRA	101
Figure 50. Dates moyennes d'apparition des différents stades phénologiques du pommier pour la région de la Montérégie (couleur pleine) et de la Capitale-Nationale (couleur hachurée) pour la ■ période de référence (1981-2010), le ■ scénario de changement inférieur (2041-2070) et le scénario de changement supérieur (2041-2070)	103
Figure 51. Dates moyennes d'apparition des différents stades du carpocapse de la pomme pour la Montérégie (couleur pleine) et pour la Capitale-Nationale (couleur hachurée) pour la période de référence (1981-2010), le ■ scénario de changement inférieur (2041-2070) et le scénario de changement supérieur (2041-2070)	104
Figure 52. Dates moyennes du début d'apparition de la première génération d'adultes du carpocapse de la pomme basées sur la période de référence (1981-2010)	105
Figure 53. Dates moyennes du début d'apparition de la première génération d'adultes du carpocapse de la pomme selon le scénario de changement inférieur (2041-2070)	106
Figure 54. Dates moyennes du début d'apparition de la première génération d'adultes du carpocapse de la pomme selon le scénario de changement supérieur (2041-2070)	107
Figure 55. Dates moyennes du début d'apparition de la deuxième génération d'adultes du carpocapse de la pomme basées sur la période de référence 1981-2010	108
Figure 56. Dates moyennes du début d'apparition de la deuxième génération d'adultes du carpocapse de la pomme selon les scénarios de changement inférieur 2041-2070	109
Figure 57. Dates moyennes du début d'apparition de la deuxième génération d'adultes du carpocapse de la pomme selon les scénarios de changement supérieur 2041-2070.....	110
Figure 58. Développement des stades larvaires sensibles à la photopériode pour la région de la Montérégie et la Capitale-Nationale pour la ■ période de référence (1981-2010), le ■ scénario de changement inférieur (2041-2070) et le ■ scénario de changement supérieur (2041-2070). Les barres verticales pâles représentent la photopériode critique pour la période de référence (1981-2010) et les barres verticales foncées représentent la photopériode critique considérant une évolution dans le futur	111
Figure 59. Dates moyennes du début d'apparition des hibernacula de la deuxième génération du carpocapse de la pomme basées sur la période de référence (1981-2010)	113
Figure 60. Dates moyennes du début d'apparition des hibernacula de la deuxième génération du carpocapse de la pomme selon les scénarios de changement inférieur (2041-2070).....	114
Figure 61. Dates moyennes du début d'apparition des hibernacula de la deuxième génération du carpocapse de la pomme selon les scénarios de changement supérieur (2041-2070)	115
Figure 62. Dates moyennes d'apparition des adultes de la première génération de punaise marbrée basées sur la période de référence (1981-2010).....	117
Figure 63. Dates moyennes d'apparition des adultes de la première génération de punaise marbrée selon le scénario de changement inférieur (2041-2070)	118

Figure 64. Dates moyennes d'apparition des adultes de la première génération de punaise marbrée selon le scénario de changement supérieur (2041-2070).....	119
Figure 65. Dates moyennes du début de la ponte de la punaise marbrée basées sur la période de référence (1981-2010).....	120
Figure 67. Dates moyennes du début de la ponte de la punaise marbrée selon le scénario de changement supérieur (2041-2070).....	122
Figure 68. Apparition des adultes de la première génération de la punaise marbrée pour la période de référence 1981-2010, le ■ scénario de changement inférieur (2041-2070) et le ■ scénario de changement supérieur (2041-2070) pour la Montérégie	123
Figure 69. Indices quotidiens moyens d'incidence de la pourriture amère durant la nouaison du pommier basés sur la période de référence (1981-2010).....	124
Figure 70. Indices quotidiens moyens d'incidence de la pourriture amère durant la nouaison du pommier selon le scénario de changement inférieur (2041-2070)	125
Figure 71. Indices quotidiens moyens d'incidence de la pourriture amère durant la nouaison du pommier selon le scénario de changement supérieur (2041-2070)	126
Figure 72. Indices de risque moyen d'incidence de brûlure bactérienne prédit par le modèle CougarBlight en Montérégie pour la ■ période de référence (1981-2010), le ■ scénario de changement inférieur (2041-2070) et le ■ scénario de changement supérieur (2041-2070).....	127
Figure 73. Nombre d'heures moyen durant la floraison du pommier avec une humidité relative > 85% en Montérégie pour la ■ période de référence (1981-2010), le ■ scénario de changement inférieur (2041-2070) et le ■ scénario de changement supérieur (2041-2070).....	128
Figure 74. Dates moyennes du début de floraison du pommier en Montérégie pour la ■ période de référence (1981-2010), le ■ scénario de changement inférieur (2041-2070) et le ■ scénario de changement supérieur (2041-2070).....	128
Figure 75. Durées moyennes de la floraison du pommier en Montérégie pour la ■ période de référence (1981-2010), le ■ scénario de changement inférieur (2041-2070) et le ■ scénario de changement supérieur (2041-2070).....	129
Figure 76. Nombre d'heures moyen à une température supérieure à 20°C durant la floraison du pommier basé sur la période 1981-2010	130
Figure 77. Nombre d'heures moyen à une température supérieure à 20°C durant la floraison du pommier selon le scénario de changement inférieur 2041-2070.....	131
Figure 78. Nombre d'heures moyen à une température supérieure à 20°C durant la floraison du pommier selon le scénario de changement supérieur 2041-2070	132
Figure 79. Analogues spatiaux des meilleurs 1% des points de grille MERRA pour le domaine (-131 à 35 ° E et 20 à 60°N) de l'Amérique du Nord pour le climat futur (2041-2070) du site de référence de la Montérégie (Ferme Denis Charbonneau) pour la punaise marbrée.....	134
Figure 80. Analogues spatiaux des meilleurs 5% des points de grille MERRA pour le domaine (-131 à 35 ° E et 20 à 60°N) de l'Europe pour le climat futur (2041-2070) du site de référence de la Montérégie (Ferme Denis Charbonneau) pour la punaise marbrée.....	135

Figure 81. Date moyenne du début de la ponte de la punaise marbrée selon les scénarios de changements inférieurs pour le futur proche (2041-2070) dans les régions agricoles du Québec. Tiré de Mimee et al. (2014) 150

Figure 82. Dates moyennes du début de la ponte de la punaise marbrée selon les scénarios de changements supérieurs pour le futur proche (2041-2070) dans les régions agricoles du Québec. Tiré de Mimee et al. (2014) 151

Liste des tableaux

Tableau 1. Critères utilisés pour la pondération des insectes ravageurs présents et exotiques dans les quatre cultures ciblées.	17
Tableau 2. Critères utilisés pour la pondération des maladies présentes et exotiques dans les quatre cultures ciblées.	18
Tableau 3. Insectes ravageurs présents à risque d’être plus problématiques avec les changements climatiques (la cote finale est entre parenthèses).	18
Tableau 4. Maladies présentes à risque d’être plus problématiques avec les changements climatiques (la cote finale est entre parenthèses).	19
Tableau 5. Liste des 12 principaux insectes ravageurs exotiques de la canneberge, pomme, fraise, et framboise à risque d’envahir le Québec.	21
Tableau 6. Liste des 16 principales maladies exotiques de la canneberge, pomme, fraise, et framboise à risque d’envahir le Québec.	21
Tableau 7. Régions de référence sélectionnées pour couvrir le territoire touché par la production fruitière au Québec.	31
Tableau 8. Degrés-jours calculés pour l’atteinte des stades phénologiques de la canneberge ...	34
Tableau 9. Modèle phénologique de la tordeuse des canneberges. Les données en bleu ont été estimées et ne sont pas basées sur les observations au champ.	35
Tableau 10. Nombre de jours de différence entre les observations du début d’apparition des larves de la première génération pour une même station météo (Villeroy)	36
Tableau 11. Vérification des projections bioclimatiques pour l’horizon 2041-2070 par les analogues spatiaux	58
Tableau 12. Techniques utilisées dans les régions analogues pour lutter contre la tordeuse des canneberges	59
Tableau 13. Techniques utilisées dans les régions analogues pour lutter contre la pourriture amère dans la canneberge	59
Tableau 14. Modèle phénologique de la framboise Killarney (température de base de 1,7°C, début des calculs 1 ^{er} mars, méthode de calcul sinus simple).....	63
Tableau 15. Modèle phénologique de la fraise Jewel (température de base de 0°C, début des calculs 1 ^{er} mars, méthode de calcul sinus simple).....	63
Tableau 16. Modèle phénologique du scarabée japonais (température de base de 10°C, début des calculs 1 ^{er} mars, méthode de calcul sinus simple).	63
Tableau 17. Articles de références pour le modèle phénologique du scarabée japonais	64
Tableau 18. Modèle phénologique du tarsonème du fraisier (température de base de 10°C, début des calculs = début végétation du modèle phénologique du fraisier Jewel, méthode de calcul sinus simple)	64

Tableau 19. Nombre de jours avec un indice d'antracnose > 0,15* pour la période de référence (1981-2010) et les scénarios de changement inférieur et supérieur combinés pour le futur (2041-2070) durant la saison de croissance (mai à septembre).....	85
Tableau 20. 1% des meilleurs analogues en Amérique de Nord selon la région de référence pour le scarabée japonais, le tarsonème du fraisier et l'antracnose.....	88
Tableau 21. 5% des meilleurs analogues en Europe selon la région de référence pour le scarabée japonais et le tarsonème du fraisier.....	89
Tableau 22. 5% des meilleurs analogues en Europe selon la région de référence pour l'antracnose.....	89
Tableau 23. Vérification de la modélisation bioclimatique par les analogues spatiaux pour le scarabée japonais.....	90
Tableau 24. Méthodes de lutte contre le scarabée japonais répertoriées dans les régions analogues en Amérique du Nord à l'aide de revue de littérature et d'un sondage envoyé aux spécialistes des régions analogues.....	91
Tableau 25. Méthodes de lutte contre le tarsonème du fraisier répertoriées dans les régions analogues à l'aide de revue de littérature et d'un sondage envoyé aux spécialistes des régions analogues.....	93
Tableau 26. Méthodes de lutte contre l'antracnose répertoriées dans les régions analogues à l'aide de revue de littérature et d'un sondage envoyé aux spécialistes des régions analogues ..	94
Tableau 27. Modèle phénologique de la pomme McIntosh (température de base de 5°C, début des calculs 1 ^{er} mars, méthode de calcul sinus simple).....	98
Tableau 28. Modèle phénologique de degrés-jours du carpocapse de la pomme (température de base de 10°C, début des calculs 1 ^{er} mars, méthode de calcul sinus simple).....	99
Tableau 29. Stades phénologiques de la punaise marbrée (température de base de 14°C, début des calculs 1 ^{er} mars, méthode de calcul sinus simple).....	100
Tableau 30. 1% des meilleurs analogues en Amérique de Nord selon la région de référence pour le carpocapse de la pomme, la brûlure bactérienne, la pourriture amère et la punaise marbrée.....	135
Tableau 31. 5% des meilleurs analogues en Europe selon la région de référence pour la punaise marbrée.....	136
Tableau 32. 5% des meilleurs analogues en Europe selon la région de référence pour le carpocapse de la pomme et brûlure bactérienne.....	136
Tableau 33. 5% des meilleurs analogues en Europe selon la région de référence pour la pourriture amère.....	136
Tableau 34. Vérifications des projections bioclimatiques pour l'horizon 2050 par les analogues spatiaux.....	137
Tableau 35. Techniques utilisées dans les régions analogues pour lutter contre le carpocapse de la pomme dans les régions analogues.....	138

Tableau 36. Techniques utilisées dans les régions analogues pour lutter contre la punaise marbrée	140
Tableau 37. Liste des recommandations établies par le secteur de la canneberge sur les mesures à prioriser pour s'adapter aux problématiques phytosanitaires à l'horizon 2041-2070	143
Tableau 38. Listes des recommandations établies par les producteurs du secteur de la framboise et de la fraise sur les mesures à prioriser pour s'adapter aux problématiques phytosanitaires à l'horizon 2050.....	145
Tableau 39. Listes des recommandations établies par les experts du secteur de la pomme sur les mesures à prioriser pour s'adapter aux problématiques phytosanitaires à l'horizon 2050	146
Tableau 40. Bilan des modèles bioclimatiques créés ou améliorés dans le cadre du projet.....	149

1 INTRODUCTION

Les modèles de simulation du climat projettent une hausse des températures annuelles moyennes de 1,5 – 4,5°C pour le sud du Québec d’ici l’horizon 2041-2070 par rapport à 1971-2000. Cette hausse s’accompagnerait d’une diminution de la durée de la saison d’enneigement dans le sud du Québec ainsi que d’une augmentation de la durée des vagues de chaleur et de la quantité de précipitations totales annuelles (Ouranos, 2015). Ces changements climatiques auront un impact sur plusieurs secteurs d’activités économiques, dont l’agriculture.

Les scientifiques s’entendent pour dire que même si les rendements globaux des cultures à l’échelle du globe vont augmenter de 1,8% (Lobell et Gourdjji, 2012) avec les changements climatiques, certaines cultures seront cependant négativement affectées. Par exemple, les cultures de blé, de riz, de maïs et de soya pourraient voir leur rendement diminuer de 6%, 3,2%, 7,4% et 3,1% respectivement (Zhao et al., 2017). Un climat plus chaud va directement altérer les populations de ravageurs et de maladies des cultures. L’étude de Deutsch et al. (2018) prédit une augmentation de 10 à 25% des pertes de rendements attribuables aux insectes pour chaque hausse de 1 degré Celsius. Il est connu que les températures plus élevées augmentent le métabolisme des insectes avec comme conséquence d’augmenter leur consommation de nourriture. Cependant, une fois tous les facteurs pris ensemble (température, humidité, CO₂, etc.), l’effet des changements climatiques sur les insectes peut être complexe et peut varier selon l’espèce ou le groupe fonctionnel (Andrew et Hughes, 2004; Parmesan, 2006). Les changements climatiques sont susceptibles de modifier la distribution, la phénologie et l’abondance de nombreuses espèces (Root et al., 2003), mener à des changements dans la structure des communautés et à des extinctions (Bale et al., 2002; Thomas et al., 2004). Ainsi, la pression des espèces nuisibles déjà présentes ou l’introduction de nouvelles espèces exotiques au Québec pourraient engendrer des dommages supplémentaires aux cultures. Il est par exemple plausible que sous l’effet du réchauffement, les aires de répartition de certaines d’espèces se déplacent vers le nord, à un rythme de 45 à 70 km par décennie (Ouranos, 2015). Actuellement, de nouveaux ennemis des cultures étendent leur aire de répartition vers le nord des États-Unis et le sud du Canada, c’est le cas notamment du criocère des céréales, *Oulema melanopus* (L.), et de la méligète des crucifères, *Meligethes viridescens* (F.) (Olfert et Weiss, 2006; Olfert et al., 2006). D’un autre côté, les changements climatiques pourraient provoquer de formidables opportunités pour le secteur agricole (possibilités de cultiver de nouvelles variétés, étalement de la production, etc.) et bouleverser positivement le portait régional québécois.

Tous ces changements auront un impact sur la gestion des ravageurs et maladies. L’introduction d’une nouvelle espèce pourrait modifier la stratégie de lutte implantée dans une culture et augmenter son impact sur l’environnement. Un réchauffement important pourrait avoir un impact direct sur nos cultures en nuisant à la maturation des fruits qui ont besoin de températures froides. Les événements extrêmes pourraient aussi avoir un impact sur la culture et les stress hydriques et thermiques pourraient augmenter les blessures sur les plantes et favoriser l’entrée des pathogènes. L’efficacité des produits phytosanitaires pourrait être changée et les agents de lutte biologique pourraient aussi être affectés par les changements de température et humidité. Toutes ces hypothèses sont possibles et sont à investiguer. Afin de réduire notre vulnérabilité aux changements climatiques, il apparaît judicieux d’identifier les espèces nuisibles qui ont le plus de potentiel à devenir

problématiques au Québec à l'horizon 2041-2070 et de réfléchir dès maintenant aux adaptations possibles pour réduire l'impact de ces changements sur le secteur agricole québécois. À moins de mention contraire, les résultats et réflexions liés à une période future dans ce rapport concerneront l'horizon 2041-2070.

2 OBJECTIFS

Ce projet a pour objectif général de documenter l'impact des changements climatiques (CC) sur les ravageurs et maladies des principales cultures fruitières du Québec (pomme, canneberge, fraise et framboise) et d'identifier des mesures d'adaptation. Cinq objectifs spécifiques ont été établis. Premièrement, une revue de littérature sur des espèces ciblées de ravageurs et maladies déjà présentes dans les cultures de la pomme, la canneberge, la fraise et la framboise a été réalisée afin de documenter leurs caractéristiques (temps de développement, survie, cycle de vie, etc.) et les variables pour déterminer quelles espèces pourraient être favorisées par les changements climatiques (Objectif 1). Dans une deuxième étape, une revue de littérature a été effectuée pour déterminer quelles espèces exotiques envahissantes (EEE) présentent une menace pour les quatre cultures fruitières du Québec (Objectif 2). Une troisième étape visait à modéliser finement l'effet des changements climatiques sur le développement phénologique de sept études de cas choisies grâce aux revues de littératures précédentes et sur la phénologie des cultures qu'elles attaquent (Objectif 3). Enfin une quatrième étape visait à identifier et recommander des mesures d'adaptation aux effets des CC pour les ravageurs et maladies visées dans les études de cas (Objectif 4). Finalement un dernier objectif visait à réaliser une synthèse des projets réalisés au Québec sur la phytoprotection en lien avec les changements climatiques pour dégager des recommandations sur les besoins de recherches à poursuivre dans le futur.

Tous ces objectifs seront présentés dans les sections ci-dessous. Cependant, les résultats des objectifs 3 et 4 seront présentés par secteur de cultures pour faciliter une lecture ciblée.

3 DOCUMENTER L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES ESPÈCES DE RAVAGEURS ET MALADIES PRÉSENTES AU QUÉBEC ET SUR LES ESPÈCES DE RAVAGEURS ET MALADIES EXOTIQUES SUSCEPTIBLES DE S'INTRODUIRE AU QUÉBEC.

3.1 REVUE DE LITTÉRATURE SUR L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES ESPÈCES DE RAVAGEURS ET MALADIES PRÉSENTES AU QUÉBEC

Une fiche synthèse (Firlej et al. en préparation) sur la revue de littérature effectuée résume la méthode utilisée pour établir la liste des ravageurs et maladies présents au Québec à risque de devenir plus problématique avec les changements climatiques pour quatre cultures fruitières d'importance économique au Québec (canneberge, pomme, fraise et framboise). Cette fiche synthèse inclura également la liste des ravageurs et maladies exotiques à risque d'envahir le Québec dans le cadre des changements climatiques (voir section suivante).

3.1.1 Méthodologie

Pour les quatre cultures fruitières, une revue de littérature sur les ravageurs et maladies présents a été effectuée. La liste d'espèces à prioriser (ravageurs/maladies majeurs et secondaires) a été établie en consultation avec les intervenants experts de ces cultures au Québec (Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) et Club Environnemental et Technique Atocas Québec (CETAQ)): un total de 168 insectes ravageurs et 75 maladies ont été ciblés pour la canneberge, la pomme, la fraise et la framboise. De multiples sources ont ensuite été consultées afin de colliger les informations pertinentes pour chaque espèce (articles scientifiques, sites Web, guides d'identification, experts des secteurs par des sondages et rencontres individuelles, bilans de saison du Réseau d'avertissement phytosanitaire (RAP) des cinq dernières années). En tout, 20 critères préliminaires ont été considérés pour les insectes ravageurs et 27 pour les maladies.

Un système de pondération a été utilisé afin de réaliser un tri des espèces basé sur des critères les moins subjectifs possible et les plus pertinents. Un poids a été attribué à chaque critère considéré en fonction d'éléments qui pourraient favoriser l'espèce dans le contexte des changements climatiques. (voir tableaux 1 et 2). Par exemple, nous avons considéré que les espèces qui sont favorisées par des températures plus élevées et une saison de croissance plus longue seront probablement plus problématiques si elles attaquent les fruits (partie vendable de la plante cultivée), si elle causent des niveaux élevés de dommages à la culture, si elles sont vectrices de maladie, si elles affectent plusieurs cultures, ou si elles sont résistantes à un ou plusieurs pesticides. Certains critères colligés au départ (lieu d'hivernation, distribution régionale,

aire d'origine) n'ont pas été inclus dans la formule de pondération, car ils ont été jugés de moindre influence sur les risques de dommages aux cultures en lien avec les changements climatiques.

La somme au carré de l'ensemble des poids attribués à chaque critère considéré (Tableaux 1 et 2) a permis de déterminer une cote finale pour chaque espèce. Les insectes ravageurs et les maladies présents au Québec et à risque d'évoluer ont ensuite été classés en ordre décroissant selon la cote obtenue pour ne garder qu'une liste restreinte (voir liste d'espèces ci-dessous, la cote finale étant le chiffre à droite du nom commun de l'espèce).

Tableau 1. Critères utilisés pour la pondération des insectes ravageurs présents et exotiques dans les quatre cultures ciblées.

Critères considérés	Catégories	Pondération	Ravageurs présents	Ravageurs exotiques
Nombre de cultures ciblées affectées	1 à 2	1	X	X
	3 à 4	2		
Niveau de dommage sur la culture ciblée*	Important	2	X	X
	Faible	1		
	Pas d'information	0		
Parties endommagées par le ravageur	Fruits / Fleurs	2	X	X
	Autres	1		
Vecteur de maladie	Oui	2	X	
	Non	1		
Résistance aux pesticides	Deux familles chimiques et +	2	X	
	Une famille chimique	1		
	Aucune résistance documentée	0		
Nombre de générations par année	Univoltin (obligatoire)	1	X	X
	2 à 4 générations	2		
	5 générations et plus	1		
	Pas d'information	0		
Proximité géographique	Présent en Amérique du Nord	2		X
	Pas présent en Amérique du Nord	1		
Historique d'introduction	Introduction hors de son aire d'origine	2		X
	Aucune introduction documentée	1		

*Pour les ravageurs présents au Québec, seulement le niveau de dommage observé au Québec a été considéré et pondéré.

Tableau 2. Critères utilisés pour la pondération des maladies présentes et exotiques dans les quatre cultures ciblées.

Critères considérés	Catégories	Pondération	Maladies présentes	Maladies exotiques
Niveau de dommage sur la culture ciblée*	Important	2		
	Faible	1	X	X
	Pas d'information	0		
Maladie fatale	Oui	2		
	Rarement	1	X	X
	Non	0		
Résistance aux pesticides	Deux familles chimiques et +	2		
	Une famille chimique	1	X	
	Aucune résistance documentée	0		
Période de dormance ou de latence	Oui	2	X	X
	Non	1		
Nombre de générations (infections) par saison	Plusieurs	2	X	X
	Une seule	1		
Proximité géographique	Présent en Amérique du Nord	2		X
	Pas présent en Amérique du Nord	1		
Historique d'introduction	Introduction hors de son aire d'origine	2		X
	Aucune introduction documentée	1		

*Pour les maladies présentes au Québec, seulement le niveau de dommage observé au Québec a été considéré et pondéré.

3.1.2 Résultats

Les listes finales d'espèces d'insectes ravageurs et maladies présentes à risque de devenir plus problématiques sont présentées ci-dessous pour les quatre cultures ciblées. Elles représentent le résultat d'un travail rigoureux de l'équipe de travail, mais ne peuvent en rien assurer à 100% que ce seront bel et bien les espèces qui deviendront plus problématiques d'ici 2070.

Tableau 3. Insectes ravageurs présents à risque d'être plus problématiques avec les changements climatiques (la cote finale est entre parenthèses).

Canneberge	
Tordeuse soufrée, <i>Sparganothis sulfureana</i> (Clemens) (18)	Anthonome de l'atoca, <i>Anthonomus musculus</i> Say (11)
Tordeuse des canneberges, <i>Rhopobota naevana</i> (Hübner) (14)	Pyrale des atocas, <i>Acrobasis vaccinii</i> Riley (11)
Cécidomyie des atocas, <i>Dasineura oxycoccana</i> (Johnson) (14)	Ver-gris des fleurs d'atocas, <i>Epiglaea apiata</i> (Grote) (11)
Altise à tête rouge, <i>Systema frontalis</i> (Fabricius) (13)	
Pomme	

Punaise terne, <i>Lygus lineolaris</i> (Palisot de Beauvois) (24)	Tordeuse orientale du pêcher, <i>Grapholita molesta</i> (Busck) (17)
Carpocapse de la pomme, <i>Cydia pomonella</i> (18)	Cicadelle de la pomme de terre, <i>Empoasca fabae</i> (Harris) (16)
Tordeuse à bandes obliques, <i>Choristoneura roseceana</i> (18)	Tétranyque à deux points, <i>Tetranychus urticae</i> (15)
Cicadelle blanche du pommier, <i>Typhlocyba pomaria</i> McA. (18)	Tétranyque rouge, <i>Panonychus ulmi</i> (Koch) (15)
Fraise	
Punaise terne, <i>Lygus lineolaris</i> (Palisot de Beauvois) (24)	Tétranyque à deux points, <i>Tetranychus urticae</i> (12)
Tordeuse à bandes obliques, <i>Choristoneura roseceana</i> (14)	Scarabée japonais, <i>Popillia japonica</i> Newman (11)
Tordeuse soufrée, <i>Sparganothis sulfureana</i> (Clemens) (14)	Drosophile à ailes tachetées, <i>Drosophila suzukii</i> (11)
Thrips des petits fruits, <i>Frankliniella occidentalis</i> (Pergande) (14)	Tarsonème du fraisier, <i>Phytonemus pallidus</i> (Banks) (11)
Cicadelle de la pomme de terre, <i>Empoasca fabae</i> (Harris) (13)	
Framboise	
Punaise terne, <i>Lygus lineolaris</i> (Palisot de Beauvois) (21)	Tétranyque de McDaniel, <i>Tetranychus mcdanieli</i> McG. (12)
Scarabée japonais, <i>Popillia japonica</i> Newman (15)	Drosophile à ailes tachetées, <i>Drosophila suzukii</i> (11)
Cicadelle de la pomme de terre, <i>Empoasca fabae</i> (Harris) (13)	Anthonome de la fleur du fraisier, <i>Anthonomus signatus</i> Say (11)
Tétranyque à deux points, <i>Tetranychus urticae</i> (12)	

Tableau 4. Maladies présentes à risque d'être plus problématiques avec les changements climatiques (la cote finale est entre parenthèses).

Canneberge	
Pourriture amère, <i>Colletotrichum acutatum</i> (10)	Pourriture hâtive, <i>Phyllosticta vaccinii</i> (6)
Pourriture sclérotique, <i>Monilinia oxycocci</i> (9)	Pourriture hâtive à <i>Botryosphaeria</i> , <i>Botryosphaeria vaccinii</i> (6)
Pourriture de la baie, <i>Coleophoma empetri</i> (6)	Pourriture tachetée, <i>Physalospora vaccinii</i> (6)
Pomme	
Feu bactérien, <i>Erwinia amylovora</i> (14)	Pourriture amère, <i>Colletotrichum acutatum</i> (13)
Pourriture des racines et du collet, <i>Phytophthora cactorum</i> (14)	Alternariose, <i>Alternaria mali</i> (9)
Tavelure du pommier, <i>Venturia inaequalis</i> (14)	

Fraise	
Anthraxose, <i>Colletotrichum acutatum</i> (14)	Stèle rouge, <i>Phytophthora fragariae</i> var. <i>fragariae</i> (11)
Pourriture cuir/amère, <i>Phytophthora cactorum</i> (14)	Blanc, <i>Spaerotheca macularis</i> f. sp. <i>fragariae</i> ou <i>Podosphaera aphanis</i> (10)
Verticilliose, <i>Verticillium dahliae</i> (13)	Moisissure grise, <i>Botrytis cinerea</i> (10)
Tache angulaire, <i>Xanthomonas fragariae</i> (13)	
Framboise	
Pourridié des racines, <i>Phytophthora fragariae</i> var. <i>rubi</i> (17)	Rouille jaune tardive, <i>Pucciniastrum americanum</i> (6)
Moisissure grise, <i>Botrytis cinerea</i> (16)	Tache septorienne, <i>Sphaerulina rubi</i> ou <i>Cylindrosporium rubi</i> (6)
Anthraxose, <i>Elsinoe veneta</i> (14)	Verticilliose, <i>Verticillium dahliae</i> (6)
Feu bactérien, <i>Erwinia amylovora</i> (11)	

3.2 REVUE DE LITTÉRATURE SUR L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES ESPÈCES DE RAVAGEURS ET MALADIES EXOTIQUES SUSCEPTIBLES DE S'INTRODUIRE AU QUÉBEC

3.2.1 Méthodologie

L'approche utilisée pour la revue de littérature et la pondération des espèces présentes au Québec a été répétée avec les insectes ravageurs et maladies exotiques à risque d'envahir le Québec dans le cadre des changements climatiques. Les sources bibliographiques indiquées précédemment ont été consultées, mais aussi les experts de l'Agence Canadienne d'Inspection des Aliments (ACIA), les sites Web de Plant Wise, CABI, EPPO, NAPPO, Pest tracker, et des guides américains des cultures. La liste d'espèces exotiques à prioriser a atteint un total de 84 ravageurs et 100 maladies pour les quatre cultures. Sensiblement, les mêmes critères que pour les espèces présentes au Québec ont été utilisés pour la pondération, mais certains critères permettant d'estimer le potentiel d'introduction des espèces ont été ajoutés (voir Tableaux 1 et 2). Les espèces exotiques ont été évaluées pour les quatre cultures fruitières confondues.

3.2.2 Résultats

Les 12 principaux ravageurs et les 16 principales maladies exotiques à risque d'introduction au Québec et potentiellement envahissants sont listés dans les tableaux 5 et 6 respectivement. Comme la situation évolue rapidement, il est possible que certains ravageurs ou maladies non considérés au moment de l'analyse puissent prendre une importance inattendue. Par exemple, depuis le criblage des organismes à l'étude, le champignon *Marssonina coronaria* a été nouvellement rapporté comme agent pathogène du pommier dans le Nord-Est des États-Unis (ACIMOVIC LAB, 2018). Il est possible que les changements climatiques aient pu contribuer à l'essor de cette nouvelle maladie, mais il est trop tôt pour l'affirmer de manière certaine. Également, la punaise marbrée (*Halyomorpha halys*) a été classée dans les espèces exotiques (Tableau 5) lors de la réalisation de la revue de littérature en 2016, mais elle est maintenant probablement établie sur le sol québécois (sur l'île de Montréal) et représente une menace pour

les cultures fruitières (Chouinard et al., 2018). La tordeuse de la vigne (*Clepsis spectrana*) a été observée à quelques reprises par le laboratoire d'expertise et de diagnostic en phytoprotection, mais ne semble pas causer de dommages pour l'instant.

Tableau 5. Liste des 12 principaux insectes ravageurs exotiques de la canneberge, pomme, fraise, et framboise à risque d'envahir le Québec.

Nom commun	Nom latin	Cultures affectées	Cote	1 ^{re} mention au Québec
Pyrale brun pâle de la pomme	<i>Epiphyas postvittana</i>	Fraise Framboise Pomme	24	
Punaise marbrée	<i>Halyomorpha halys</i>	Fraise Framboise Pomme	24	2014
Tordeuse cuivrée du pommier	<i>Archips fuscocupreanus</i>	Fraise Framboise Pomme	21	
Tordeuse noire	<i>Clepsis spectrana</i>	Canneberge Fraise Framboise Pomme	20	2009
Petite tordeuse verte	<i>Adoxophyes orana</i>	Fraise Framboise Pomme	18	
Acarien rouge de l'aubépine	<i>Amphitetranychus viennensis</i>	Fraise Pomme	18	
Cicadelle pisseuse	<i>Homalodisca vitripennis</i>	Pomme	18	
Non disponible	<i>Ochroleuca implecta</i>	Canneberge	18	
Non disponible	<i>Platynota flavedana</i>	Fraise Pomme	18	
Tordeuse du chèvrefeuille	<i>Archips xylosteanus</i>	Framboise Pomme	17	
Non disponible	<i>Frankliniella intonsa</i>	Fraise Framboise	17	
Kermès japonais	<i>Lopholeucaspis japonica</i>	Pomme	17	

Tableau 6. Liste des 16 principales maladies exotiques de la canneberge, pomme, fraise, et framboise à risque d'envahir le Québec.

Canneberge		Fraise		Framboise		Pomme	
Nom commun et latin	Cote						

Anthracnose, <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	17	Fusariose vasculaire du fraisier, <i>Fusarium oxysporum f. sp. Fragariae</i>	21	<i>Rhizobium rhizogenes</i>	18	<i>Valsa ceratosperma</i>	24
		Pourriture charbonneuse, <i>Macrophomina phaseolina</i>	21	Dessèchement des cannes du framboisier, <i>Leptosphaeria coniothyrium</i>	15	<i>Botryosphaeria dothidea</i>	24
		Pourridié des arbres fruitiers, <i>Rosellinia necatrix</i>	21	<i>Hapalosphaeria deformans</i>	14	Rhizoctone du Texas, <i>Phymatotrichopsis omnivore</i>	24
		Nématode foliaire du riz, <i>Aphelenchoides besseyi</i>	20	Mildiou du rosier, <i>Peronospora sparsa</i>	14	Pourridié des arbres fruitiers, <i>Rosellinia necatrix</i>	21
		Anguillule du fraisier, <i>Aphelenchoides fragariae</i>	20	Gale foliaire, <i>Rhodococcus fascians</i>	14	Pourriture des racines, <i>Sclerotium rolfsii</i>	21

La revue de littérature a permis de dresser une liste de 12 espèces d'insectes exotiques et 16 organismes (champignons, bactéries ou nématodes) exotiques provoquant des maladies susceptibles de s'établir au Québec en culture fruitière dans un avenir proche, que ce soit dans le contexte de changement climatique ou d'introduction accidentelle sur le territoire. La diffusion de connaissances sur ces espèces est importante pour permettre au secteur de surveiller l'arrivée potentielle de ces espèces et de prendre des mesures rapides pour minimiser leur impact. Des fiches résumées ont été produites dans ce but et seront transmises à IRIIS phytoprotection pour faciliter leur intégration dans la banque de données en cas de risque imminent d'introduction au Québec. Nous avons choisi de réaliser les fiches des 11 insectes exotiques (la punaise marbrée a été retirée puisqu'elle fait l'objet d'une étude de cas en soi) et de 4 maladies exotiques. Le choix des maladies s'est appuyé sur la proximité de ces dernières par rapport au Québec et sur la sévérité des dommages engendrés. Les espèces choisies sont présentées en annexe 9.1 et feront l'objet d'une publication vulgarisée.

3.3 DISCUSSION ET ÉTUDES DE CAS

Plusieurs insectes ravageurs et maladies présents au Québec qui ont été évalués à risque de poser plus de problématiques ont été listés communément dans plusieurs cultures (ex : punaise terne, thrips, tétranyques, cicadelle de la pomme de terre, anthracnose...). Ce sont surtout des espèces polyphages, avec peu de contraintes de développement et qui peuvent réaliser plusieurs cycles de développement (générations) tant que les conditions climatiques le permettent. Ces espèces peuvent aussi migrer d'une culture à l'autre dépendamment du moment de la saison. Nos résultats concordent avec les études de Musolin (2007) qui prédisent que les Heteroptera (i.e.

punaises) seront plus problématiques dans le futur avec un nombre de générations plus important et un devancement de leur phénologie. Également, Stoeckli et al. (2012) ont montré que le carpocapse de la pomme sera plus problématique dans le futur en Europe (Suisse) avec la réalisation d'une troisième génération. L'étude récente de Lehmann et al. 2018 prédit aussi que les changements climatiques vont affecter la phénologie du carpocapse de la pomme, mais également celle du scarabée japonais et de nombreux autres lépidoptères, coléoptères et hémiptères. Les ravageurs et maladies listés ci-dessus soulignent donc les besoins de recherche pour établir des méthodes de gestion intégrée qui seront nécessaires pour diminuer les risques phytosanitaires dans le futur. Dans le cas des espèces exotiques, ce sont des méthodes de surveillance qui seront à développer ou à adapter pour le contexte québécois.

Lors de la sélection des espèces devant faire l'objet des études de cas (objectif 3), les espèces pour lesquelles des données de modélisations (T-Optimale, T-minimale, T-maximale, T-base) étaient disponibles ont été priorisées afin d'être en mesure de développer les modèles bioclimatiques. Un poids important a également été accordé aux recommandations et observations des experts des quatre secteurs de production fruitière ainsi qu'aux données de la littérature.

Dans la culture de la canneberge, le ravageur sélectionné pour les études de cas est la tordeuse de la canneberge (*Rhopobota naevana*). Cette espèce a été sélectionnée en raison des dommages importants qu'elle cause dans la canneberge et de son nombre (2) de générations. Toutefois, une proportion importante des œufs de 2^e génération de cette espèce entre en diapause obligatoire (Fitzpatrick et Troubridge, 1993). La tordeuse soufrée (*Sparganothis sulfureana*) et la pyrale des atocas (*Acrobasis vaccinii*) avaient été considérées comme choix d'étude de cas initialement. Cependant, même si la biologie et la résistance aux pesticides de la tordeuse soufrée sont bien documentées, selon les experts consultés, cette espèce serait considérée moins problématique au Québec que la tordeuse de la canneberge. La pyrale des atocas, une espèce univoltine obligatoire (Landry et al., 2000), provoque quant à elle, d'importantes pertes de rendement surtout en régie biologique, cependant, les fenêtres limitées d'application de pesticides ainsi que leur nombre de pesticides homologués restreint sont principalement à l'origine des problèmes de gestion de ce ravageur et non pas le climat.

Pour le secteur des fraises et des framboises, la drosophile à ailes tachetées (*Drosophila sukuzii*) avait été sélectionnée en priorité puisque cette espèce réalise des dommages très importants au point qu'elle est le ravageur numéro un pour la framboise d'automne et qu'elle devient aussi problématique en fraise d'automne (Bolda et al., 2010). Cependant, le modèle actuellement élaboré par l'équipe de bioclimatologie et modélisation n'arrive pas à prédire la date d'arrivée des adultes correctement avec les données actuellement observées. En effet les premières captures sont souvent réalisées dans les parcelles de fruits cultivées puisque c'est là que les pièges du RAP sont placés alors que la drosophile hiverne dans les boisés (Stephens et al., 2015; Rossi-Stacconi et al., 2016). De plus, la drosophile attaque essentiellement les fraises à jours neutres et les framboises d'automne pour lesquelles nous n'avons pas de données et de modèles bioclimatiques disponibles. La mise en parallèle du ravageur avec la phénologie des cultures n'aurait pu être possible. Le thrips des petits fruits (*Frankliniella occidentalis*) était la deuxième espèce sélectionnée par le comité d'expert pour la culture de la fraise. Cependant, les thrips ne passent pas l'hiver au Canada et ils arrivent chaque année avec les vents chauds du sud (MAAARO, 2009b). Il est donc difficile de prédire l'arrivée de cette espèce à l'aide d'un modèle de degrés-jours. De plus, le thrips des petits fruits côtoie une deuxième espèce similaire dans la fraise qui est le thrips des fleurs (*Frankliniella tritici*), une espèce apparentée qui complexifie le dépistage

sur fruits. Le tarsonème du fraisier (*Phytonemus pallidus*) a donc été choisi comme étude de cas malgré qu'un seul auteur ait étudié le nombre de jours nécessaires pour passer du stade œuf à nymphe à adulte en fonction de la température (Easterbrook et al., 2003). Ce ravageur provoque actuellement une problématique importante considérant la difficulté à atteindre ce ravageur avec des pesticides, le peu de produits phytosanitaires disponibles pour son contrôle et les soupçons de résistance des experts du secteur.

Pour le secteur de la framboise, c'est le scarabée japonais (*Popillia japonica*) qui a été priorisé pour plusieurs raisons. D'une part, cette espèce est extrêmement polyphage (Agence canadienne d'inspection des aliments, 2012). Dans les cultures fruitières, le scarabée japonais peut s'attaquer aussi à la fraise et à la pomme, mais il est aussi considéré comme un ravageur important en production ornementale, en plus d'être un problème pour les cultures de maïs et de soya. D'autre part, on s'attend à ce que ce ravageur soit de plus en plus problématique à contrôler chimiquement puisqu'il est résistant aux organochlorés et tolère les organophosphorés et les carbamates (Niemczyk, 1975). Son aire de répartition semble s'étendre de plus en plus au nord selon les experts du laboratoire d'expertise et de diagnostic en phytoprotection du MAPAQ, ce qui confirme l'intérêt de considérer cette espèce pour une étude de cas dans un contexte de changements climatiques.

Dans la culture de la pomme, le ravageur sélectionné pour les études de cas est le carpocapse de la pomme (*Cydia pomonella*). Cette espèce a été considérée en raison des dommages importants qu'elle cause dans la pomme au Québec (en plus de sa réputation mondiale en tant que ravageur primaire de la pomme), son nombre de générations par saison (pouvant aller jusqu'à 4) et sa résistance connue à plusieurs pesticides (Kumar et al., 2015). Les espèces ayant aussi été considérées dans la pomme sont le tétranyque à deux points (*Tetranychus urticae*) et le tétranyque rouge (*Panonychus ulmi*). Les populations de ces deux acariens dans les vergers du Québec nécessitent régulièrement des applications d'acaricides, mais les nombreuses résistances de ces deux espèces compliquent la tâche (Van Leeuwen et al., 2010). Cependant, la modélisation de ces ravageurs (acariens) et l'interprétation de ces modèles auraient été difficiles considérant que les générations de ces types de ravageurs se chevauchent constamment durant la saison de croissance rendant impossible l'évaluation de l'impact que peut avoir chacune de ces dernières sur la culture étudiée.

Pour les maladies présentes au Québec dans les quatre cultures fruitières ciblées, deux organismes ont été sélectionnés : le complexe d'espèces associées à *Colletrotrichum acutatum*¹ qui provoque l'antracnose/ pourriture amère et *Erwinia amylovora* qui provoque le feu bactérien. *Colletrotrichum acutatum* a été sélectionné puisqu'il se retrouve dans trois des quatre cultures ciblées. Ce champignon provoque la maladie de la pourriture amère dans la canneberge et la pomme, mais se nomme anthracnose dans la fraise. Cet organisme a gagné en importance depuis les cinq dernières années, notamment pour la culture de la canneberge qui est présentement épargnée par les problèmes causés par les maladies puisqu'elles sont généralement bien contrôlées au Québec vu les conditions climatiques actuelles (Vivancos, 2015). Toutefois on craint que l'importance des dommages causés par ces dernières plus au sud (dont *C. acutatum*) s'étendent vers le nord, et ce surtout dans un contexte de changement climatique. *Erwinia amylovora* a été sélectionné en raison des importants dommages que cette bactérie peut

¹ Voir l'article en lien pour le complexe d'espèces associées à *C. acutatum* : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3458416/>

causer aux plants (mort de plusieurs parties ou de la totalité du plant) chez la pomme et des difficultés de lutte rencontrées présentement (période de latence dans son développement et symptômes parfois difficiles à reconnaître) (Plantwise, 2017a).

Quant aux ravageurs exotiques à risque d'envahir le Québec, le choix c'est finalement posé sur la punaise marbrée (*Halyomorpha halys*). Cette espèce fut sélectionnée pour plusieurs raisons. D'une part, elle se trouve présentement au Québec (depuis 2014), en milieu urbain, et les dommages et les pertes de rendements chez nos voisins américains sont extrêmement importants, ce qui suggère qu'elle a aussi le potentiel d'être un ravageur important dans les cultures du Québec si jamais elle réussit à s'y établir (Haye et al., 2015). D'autre part, elle a le potentiel de s'attaquer à chacune des cultures ciblées (Rice et al., 2014), son étude de cas bénéficierait donc à l'ensemble des secteurs. Deux autres espèces ont aussi retenu l'attention du comité de suivi : la tordeuse de la vigne (*Clepsis spectrana*) et la petite tordeuse verte (*Adoxophyes orana*). Tous deux sont des ravageurs pouvant s'attaquer à plusieurs cultures et sont considérés comme des ravageurs importants dans leur aire d'origine. Cependant, il ne semble pas avoir de données de modélisation pour *C. spectrana* et elle ne semble pas avoir encore causé des dommages préoccupants au Québec malgré le fait qu'elle y est présente depuis 2009. Quant à *A. orana*, elle est une espèce exotique préoccupante pour plusieurs pays producteurs de pomme en raison des dommages qu'elle cause dans son aire d'origine (Eurasie), toutefois elle n'a encore jamais été observée à l'extérieur de son territoire naturel (Factsheet, 2014). Les membres du comité ont donc manifesté une réserve à réaliser une étude de cas avec une espèce dont les risques d'introduction et d'établissement sont faibles, alors que d'autres espèces sont présentement établies sur le territoire nord-américain et potentiellement en voie de progresser jusqu'au Québec. Finalement, une espèce de lépidoptère très intéressante, *Epiphyas postvittana*, ne fut pas retenue par le comité de suivi, car sa physiologie ne lui permet pas de survivre aux hivers québécois, et ce même si des plants sont entreposés à -1 °C durant l'hiver, comme c'est le cas actuellement avec certains framboisiers au Québec (Venette et al., 2003).

4 ÉVALUER L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES POUR SEPT ÉTUDES DE CAS ET IDENTIFIER DES MESURES D'ADAPTATION.

4.1 OBJECTIFS

L'objectif de ce travail est, en premier lieu, d'étudier comment les changements climatiques risquent d'influencer les cultures fruitières (canneberge, fraise, framboise et pomme) en considérant des insectes ravageurs et des maladies de ces cultures. Plus spécifiquement, pour la culture de la canneberge, nous avons considéré la présence de l'un des insectes ravageurs principaux de cette culture : la tordeuse de la canneberge *Rhopobota naevana* (Hübner) (Lepidoptera : Tortricidae) ainsi qu'un champignon causant la pourriture amère, actuellement présent au Québec et attaquant cette culture : *Colletotrichum acutatum*. Pour les cultures de framboise et de fraise, nous avons étudié deux insectes ravageurs et un champignon présent au Québec dans la culture de la fraise : le scarabée japonais *Popillia japonica* (Newman) (Coleoptera : Scarabaeidae), le tarsonème du fraisier *Phytonemus pallidus* (Banks) (Acari : Tarsonemidae) et le champignon *Colletotrichum acutatum* causant l'anthracnose. Pour la culture de la framboise, nous avons étudié le scarabée japonais. Pour la culture de la pomme, nous avons considéré la présence de certains insectes ravageurs de cette culture : le carpocapse de la pomme *Cydia pomonella* (Linnaeus) (Lepidoptera : Tortricidae) et la punaise marbrée *Halyomorpha halys* (Hemiptera : Pentatominae) ainsi que deux maladies : un champignon causant la pourriture amère : *Colletotrichum acutatum* et une bactérie cause la brûlure bactérienne *Erwinia amylovora* (Burr.).

En deuxième lieu, nous identifierons les mesures d'adaptation aux changements climatiques pour la protection phytosanitaire contre ces espèces dans les différentes cultures fruitières au Québec.

4.2 MÉTHODOLOGIE UTILISÉE

4.2.1 Modélisation bioclimatique

La modélisation s'est appuyée sur la disponibilité de données historiques pour les espèces choisies.

Secteur canneberge

Afin de prédire l'impact des changements climatiques sur la phénologie de la canneberge, sur le développement de la tordeuse des canneberges ainsi que sur les risques d'infection par la pourriture amère, trois modèles bioclimatiques ont été conçus et implantés dans le logiciel CIPRA d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (<http://www.agr.gc.ca/fra/science-et-innovation/resultats-de-recherches-en-agriculture/centre-informatique-de-prevision-des-ravageurs-en-agriculture-cipra/?id=1376403227682>) afin de vérifier leur dynamique au cours de la saison de croissance. Les modèles pour la phénologie de la canneberge et le développement de la tordeuse ont été développés à l'aide de données recueillies par le CETAQ (stades

phénologiques, capture des larves au filet, capture des adultes dans des pièges à phéromones) chaque été entre les années 2004 à 2016 sur 73 fermes distribuées autour de neuf stations météorologiques. Le logiciel DJPhéno, développé par Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC), a été utilisé afin de déterminer la température de base, ainsi que les degrés-jours pour atteindre chaque stade phénologique important de la canneberge et de la tordeuse. Le modèle prévisionnel pour la pourriture amère est une adaptation d'un modèle bioclimatique utilisé en Floride qui permet de prédire les risques d'infection par les agents pathogènes de l'antracnose et de la moisissure grise dans les fraisières (MacKenzie et Peres, 2012). Le modèle a été modifié afin de s'intégrer dans le modèle proposé par Launay et al. (2014). La plage de températures optimales utilisées est de 23,0 à 27,7°C (Leandro et al. 2003), la température minimale de 6°C et la température maximale de 35°C (Magarey et al. 2005). À l'aide du logiciel TableCurve2D (Systat Software Inc., Chicago, É.-U.) et de l'équation sigmoïdale de Weibull, les constantes requises par le modèle de Launay et al. (2014) ont été dérivées à partir des équations de réponse à la température et à la mouillure du feuillage du modèle utilisé en Floride (MacKenzie et Peres, 2012). De plus, la fonction de réponse linéaire en 4 points a été remplacée par la fonction non linéaire de réponse à la température développée par Yan et Hunt (1999) et appliquée sur le taux de développement de l'équation de Weibull. Ce modèle, bien que développé pour la fraise, n'a aucunement été évalué pour la pomme et les indices de risque ne sont donc pas adaptés. Cependant, son utilisation nous permettra de dresser un patron général pour la pourriture amère dans la canneberge. Ce modèle nous renseigne sur la croissance de ce champignon et non sur les seuils d'infection.

Secteur fraises et framboises

Afin de bien cibler les impacts des changements climatiques sur le scarabée japonais, le tarsonème du fraisier et l'antracnose, des modélisations bioclimatiques des cultures cibles (framboise et fraise), des ravageurs et de la maladie ont été effectuées. Pour ce faire, des modèles phénologiques de la framboise et de la fraise ont été utilisés afin de projeter le développement de la culture dans le futur. Les modèles choisis sont ceux qui étaient disponibles au moment de l'étude et dont les données proviennent du Québec. Le choix était restreint et ne représente pas l'entière des types de productions et des variétés utilisées par les producteurs québécois. Les modèles utilisés pour la framboise et pour la fraise sont des modèles développés avec les données du Réseau d'avertissements phytosanitaires du MAPAQ de 2005 à 2016 pour la variété Killarney (framboise) et pour la variété Jewel de type jour court (fraise). Pour la framboise, des données récoltées dans une expérience au champ de 2014 à 2016 par Agriculture et Agroalimentaire Canada ont aussi été utilisées.

Un modèle phénologique a été développé afin de prédire le développement du scarabée japonais en fonction de la température. Ce modèle a été conçu avec les données d'un article scientifique publié au Massachusetts (Vittum, 1986). Les données disponibles sont la présence d'œufs, de larves et d'adultes non matures dans le sol ainsi que de capture d'adultes dans les pièges sur deux années pour un site.

Un modèle phénologique théorique de degrés-jours a été conçu pour décrire le développement du tarsonème du fraisier dans le temps. Le modèle est basé sur les temps de développement des

œufs et des larves, calculés en laboratoire, à des températures de 10, 12,5, 15, 17,5, 20 et 25°C (Easterbrook et al., 2003). Outre cet article, très peu d'informations sont disponibles sur la dynamique de population du tarsonème.

Le modèle prévisionnel pour l'antracnose est une adaptation d'un modèle bioclimatique utilisé en Floride qui permet de prédire les risques d'infection par les agents pathogènes de l'antracnose et de la moisissure grise dans les fraisières (MacKenzie et Peres, 2012). Le modèle a été modifié afin de s'intégrer dans le modèle proposé par Launay et al. (2014). La plage de températures optimales utilisées est de 23,0 à 27,7°C (Leandro et al. 2003), la température minimale de 6°C et la température maximale de 35°C (Magarey et al. 2005). À l'aide du logiciel TableCurve2D (Systat Software Inc., Chicago, É.-U.) et de l'équation sigmoïdale de Weibull, les constantes requises par le modèle de Launay et al. (2014) ont été dérivées à partir des équations de réponse à la température et à la mouillure du feuillage du modèle utilisé en Floride (MacKenzie et Peres, 2012). De plus, la fonction de réponse linéaire en 4 points a été remplacée par la fonction non linéaire de réponse à la température développée par Yan et Hunt (1999) et appliquée sur le taux de développement de l'équation de Weibull. La punaise marbrée sera présentée dans le secteur de la pomme comme elle n'occasionne pas assez de dommages pour nécessiter de traitement dans les petits fruits (Rice et al. 2014).

Secteur pomme

Afin de prédire l'impact des changements climatiques sur la phénologie du pommier, sur le développement du carpocapse de la pomme, sur l'établissement et la dispersion de la punaise marbrée ainsi que sur l'incidence de la brûlure bactérienne et de la pourriture amère, des modèles phénologiques ont été conçus. Le modèle utilisé pour décrire la phénologie du pommier est le modèle de degrés-jours « McIntosh » disponible dans CIPRA. La température de base utilisée est de 5°C et la date de départ du cumul de degrés-jours est le 1^{er} mars. De plus, à l'aide du modèle Dynamique, la levée de la dormance du pommier a été vérifiée pour le futur 2041-2070 (Fishman et al., 1987) ainsi que la date moyenne de levée de dormance. Ce modèle cumule le nombre d'unités de froid nécessaire à la levée de dormance des bourgeons de pommier. Le nombre de degrés-jours cumulés pour chaque mois (janvier, février, mars) a été calculé. Ces vérifications ont permis de valider, malgré les scénarios de changement climatique, la date de départ (1^{er} mars) du modèle phénologique en saison de croissance.

Une adaptation du modèle de prédiction des populations de carpocapse établie par Agropomme a été implantée dans CIPRA et utilisée pour prédire les stades phénologiques du carpocapse. Une modification a été apportée pour la prédiction du vol nuptial et de l'activité de ponte étant donné que le modèle Agropomme utilise des équations dynamiques nécessitant des données horaires. Une température de base de 10°C, constante pour tous les stades, a été utilisée lors de la modélisation. Le nombre de degrés-jours requis pour le début de la ponte a été fixé à 35 et la température optimale à 30°C. Afin de trouver la courbe de réponse relative à la température de la population pour chaque stade, l'équation sigmoïdale de Weibull a été utilisée. De plus, la photopériode critique à laquelle la diapause est induite a été intégrée à nos analyses. Une étude mesurant l'effet de la latitude sur la photopériode critique (photopériode à laquelle la diapause est induite) a trouvé les seuils critiques auxquels 50% de la population et 90% de la population

étaient sensibles à la photopériode. Ces seuils se calculent de la façon suivante (Riedl et Croft, 1978) :

Seuil 50% = $10.242 + 0.1226 * NL$ (latitude)

Seuil 90% = $9.962 + 0.121 * NL$ (latitude)

Le modèle utilisé pour décrire le développement de la punaise marbrée est une version modifiée de Nielsen *et al.* 2008. Les calculs des différents stades de la punaise marbrée sont basés sur les articles de Nielsen *et al.* (2008) et Nielsen *et al.* (2016). Ce modèle a été élaboré par l'équipe du CÉROM et AAC. La température de base utilisée est de 14°C. Le début des calculs de degrés-jours est le 1^{er} mars.

Pour la brûlure bactérienne, le modèle sélectionné est le modèle CougarBlight (déjà intégré dans CIPRA et dans Agrométéo Québec). Ce modèle a été choisi pour sa simplicité ainsi que pour son utilisation fréquente dans le milieu de la pomme (MAAARO, 2016). Ce modèle débute le calcul du risque au stade bouton rose. Le risque cumulé se calcule en degrés-heures avec une température minimale de 15,5°C, une température optimale de 31°C et une température maximale de 37°C. La mouillure des fleurs est considérée lorsque l'humidité relative est supérieure à 85% (Rowlandson et al., 2015).

Le modèle prévisionnel pour la pourriture amère est une adaptation d'un modèle bioclimatique utilisé en Floride qui permet de prédire les risques d'infection par les agents pathogènes de l'antracnose et de la moisissure grise dans les fraisières (MacKenzie et Peres, 2012). Le modèle a été modifié afin de s'intégrer dans le modèle proposé par Launay et al. (2014). La plage de températures optimales utilisées est de 23,0 à 27,7°C (Leandro et al., 2003), la température minimale de 6°C et la température maximale de 35°C (Magarey et al., 2005). À l'aide du logiciel TableCurve2D (Systat Software Inc., Chicago, É.-U.) et de l'équation sigmoïdale de Weibull, les constantes requises par le modèle de Launay et al. (2014) ont été dérivées à partir des équations de réponse à la température et à la mouillure du feuillage du modèle utilisé en Floride (MacKenzie et Peres, 2012). De plus, la fonction de réponse linéaire en 4 points a été remplacée par la fonction non linéaire de réponse à la température développée par Yan et Hunt (1999) et appliquée sur le taux de développement de l'équation de Weibull. Ce modèle, bien que développé pour la fraise, n'a aucunement été évalué pour la pomme et les indices de risque ne sont donc pas adaptés. Cependant, son utilisation nous permettra de dresser un patron général pour la pourriture amère dans la pomme.

4.2.2 Scénarios climatiques

Afin d'obtenir des informations sur les stades clés de la phénologie des cultures, du développement des ravageurs et des risques d'infection des maladies, des données météorologiques quotidiennes avec une résolution spatiale de 10 km ont été utilisées annuellement sur deux périodes de 30 ans, soit le passé récent (1981-2010) et le futur (2041-2070). Pour le futur, un ensemble de simulations climatiques, fourni par Ouranos, a été utilisé par

l'équipe d'AAC, afin d'effectuer le traitement spatio-temporel des modèles bioclimatiques associés aux quatre cultures de ce projet. Chaque simulation climatique (segment futur) est associée à l'un des quatre scénarios relatifs à l'évolution des gaz à effet de serre établis par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (il s'agit des *Representative concentration pathways* – RCP, avec intensités de 2.6, 4.5, 6.0 ou 8.5 W/m² en 2100, nommés ci-après scénarios d'émissions, à distinguer du concept de scénario climatique, introduit dans ce qui suit). Cet ensemble de 20 simulations, générées par 13 modèles climatiques globaux liés au *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5), a été utilisé pour bien couvrir l'incertitude quant aux changements de température et de précipitations attendus pour l'horizon 2041-2070. Les simulations sont post-traitées statistiquement, afin de corriger leurs biais et de les convertir à l'échelle spatiale d'environ 10 km (une simulation climatique post-traitée correspond à un scénario climatique). L'utilisation des scénarios climatiques comme intrants des modèles phénologiques permet d'obtenir des valeurs plausibles de décalage (dans l'année) pour les différents stades phénologiques des cultures et ravageurs ainsi que des modifications plausibles des risques d'infection des maladies. Finalement, des cartes du potentiel d'évolution des résultats de modélisation spatio-temporelle ont été produites à l'aide du logiciel ArcGIS et des modules rédigés en langage informatique « Python » permettant d'automatiser le traitement de ces résultats. Afin de couvrir l'amplitude des scénarios, nous allons présenter le scénario de changement inférieur (10^e percentile des résultats) et le scénario de changement supérieur (90^e percentile des résultats) pour la période 2041-2070. Afin qu'un point apparaisse sur les cartes, l'information devait être disponible pour au moins huit scénarios sur dix et pour au moins 26 années sur 30.

4.2.3 Analogues spatiaux et ateliers avec le secteur

Une méthode originale pour identifier des stratégies d'adaptation aux changements climatiques est de trouver des régions ayant actuellement un climat similaire à celui qu'aura potentiellement une certaine région (cible) du Québec dans le futur. Cette méthode, dite des analogues spatiaux, a été appliquée pour différentes régions cibles (Tableau 7), et les analogues ont été recherchés dans certaines parties de l'Amérique du Nord et de l'Europe (dans la bande -131 à 35°E et 20 à 60°N). Les climats du passé récent – 1981-2010 – pour la zone de recherche d'analogues, et du futur pour la région cible – 2041-2070 ont été comparés sur la base de trois indicateurs bioclimatiques annuels soit la durée de saison de croissance, les précipitations moyennes journalières durant la saison de croissance et le cumul de degrés-jours (avec température de base variant selon l'espèce de ravageur considérée). Les températures de base utilisées sont les mêmes que celles utilisées pour le volet modélisation bioclimatique. Il est important de noter que les climats analogues identifiés peuvent différer de celui de la région cible pour des indicateurs non considérés, par exemple la couverture neigeuse, la fréquence de jours de gel, etc. Les régions analogues sont présentées sur une carte en fonction d'un pourcentage de similarité. Le nombre de scénarios prédisant la région analogue est aussi présenté sur cette carte en fonction d'un code de couleur (voir figure 79). Pour l'Amérique du Nord, pour qu'une région soit considérée analogue, elle doit apparaître dans le premier pourcent de similarité avec le climat futur de la région cible et être productrice de la culture. Pour les régions analogues choisies pour l'Europe, les mêmes critères sont utilisés à l'exception que ce sont les premiers cinq pourcents des régions colorées qui sont considérés. Cette décision s'explique par le fait que le premier pourcent des régions similaires se retrouve en général en Amérique du Nord.

En étudiant la biologie de l'espèce ainsi qu'en répertoriant les problèmes engendrés et les solutions d'adaptation dans la région analogue, nous pourrions mieux préparer des stratégies d'intervention futures pour les régions cibles du Québec. L'identification des régions analogues a été effectuée par Ouranos, en utilisant les mêmes scénarios climatiques que ceux utilisés pour la modélisation phénologique. Tous les détails méthodologiques liés à cette étape sont contenus dans Grenier et al. 2019 (accepté à *Climate Services*). Quand l'information issue des sondages des experts des régions analogues semblait insuffisante (taux de réponse faible), une revue de littérature a permis de compléter les informations manquantes sur les méthodes de lutte.

Tableau 7. Régions de référence sélectionnées pour couvrir le territoire touché par la production fruitière au Québec.

Sites de référence	Région	Latitude (°N)	Longitude (°W)
Ferme Denis Charbonneau	Montérégie	45.347543	73.149469
Ferme Léonce Plante	Capitale-Nationale	46.862689	71.029501
Les Jardins de St-Martin	Saguenay-Lac-St-Jean	48.410426	70.88095
Les Jardins de France	Gaspésie	49.22378	65.1391199
Centre d'interprétation (St-Louis-de-Blandford)	Centre-du-Québec	46.249315	72.00212

Une fois les analogues identifiés, nous avons recherché, pour ces régions, les informations pertinentes sur la biologie des insectes et maladies à l'étude, afin de valider les prédictions des modélisations phénologiques projetées pour l'horizon 2041-2070, ainsi que les méthodes de lutte employées. Pour chaque secteur, un sondage a été envoyé aux spécialistes des régions analogues (Annexe 9.2). De plus, pour chaque secteur, nous avons organisé un atelier d'échange avec les intervenants et producteurs. Le but des rencontres était d'évaluer avec eux leur capacité à gérer les problèmes phytosanitaires identifiés comme plausibles dans le futur. À la suite de ces ateliers, des listes de recommandations pertinentes et adaptées ont été définies pour élaborer une stratégie globale d'adaptation afin d'aider les secteurs à faire face aux changements climatiques au Québec. Pour le secteur de la canneberge, nous avons rencontré un groupe composé d'une trentaine d'agronomes et de producteurs du secteur québécois. Pour le secteur de la fraise et framboise, nous avons rencontré un groupe composé de neuf producteurs du comité scientifique de l'Association des producteurs de fraises et framboises du Québec (APFFQ) ainsi que trois agronomes pour leur présenter les résultats du projet. Pour le secteur de la pomme, nous avons rencontré 11 experts du secteur.

4.3 ÉTUDES DE CAS POUR LA CANNEBERGE

4.3.1 Tordeuse des canneberges

La tordeuse des canneberges (Figure 1), *Rhopobota naevana* (Hübner) (Lepidoptera : Tortricidae), est un insecte d'origine eurasiatique. Il s'agit d'un papillon très répandu en Europe et se retrouvant particulièrement sur le houx (*Ilex aquifolium*) (Alford, 1994). Au Québec, ce ravageur est spécifique à la culture de la canneberge et produit deux générations par année (Drolet et al., 2018). Une troisième génération partielle ou complète peut être observée en Colombie-

Britannique, au Massachusetts et au Wisconsin, lorsque les températures printanières et estivales sont élevées (Sylvia et Averill, 2005).



Figure 1. Tordeuse des canneberges (Tiré de IRIIS phytoprotection ([http:// www.Iriisphytoprotection.qc.ca/](http://www.Iriisphytoprotection.qc.ca/)), [2019-06-10])

La tordeuse des canneberges hiberne au stade d'œuf. Les œufs éclosent au mois de mai. La première génération de chenilles se nourrit de vieilles feuilles et de bourgeons. Les adultes de la première génération émergent en juin. La seconde génération de chenilles s'attaque aux fleurs, aux fruits et aux jeunes feuilles favorisant ainsi l'installation des champignons responsables des pourritures et provoquant la déformation des fruits et/ou leur chute (Gianessi, 2009). L'émergence des adultes de la seconde génération a lieu du début août à la mi-septembre (Figure 2) (Landry et al., 2000). Les femelles des deux générations pondent leurs œufs individuellement, sous les feuilles des plants, dans un intervalle de 24 à 96 heures suivant l'accouplement. En laboratoire, la fécondité des femelles avoisine les 80 œufs (Fitzpatrick et Troubridge, 1993; Landry et al., 2000). Entre 80 et 90 % des œufs pondus par les femelles de la première génération éclosent durant les deux semaines suivant la ponte, alors que la plupart (70-95%) des œufs pondus par les femelles de la deuxième génération entrent en diapause pour l'hiver (Fitzpatrick et Troubridge, 1993). Les chenilles se nourrissent des bourgeons et des feuilles, causant potentiellement une diminution de la production l'année suivante. Elles se nourrissent aussi des fruits. Des pourcentages de dommages atteignant près de 60% ont été observés dans des parcelles ou des champs non traités ayant eu un haut niveau d'infestation (Deland et al., 2014; Guilbert et al., 2007)).

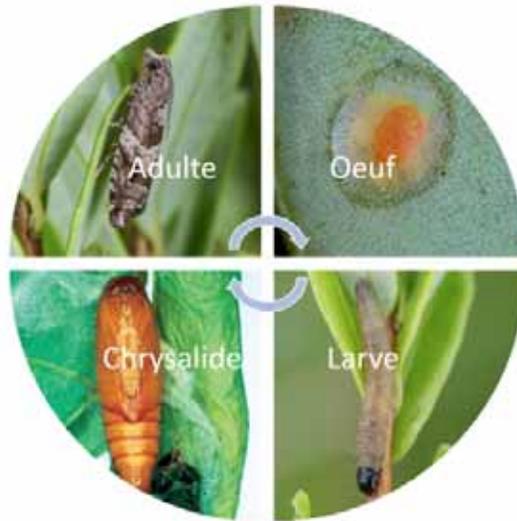


Figure 2. Schéma du cycle biologique de la tordeuse des canneberges (Tiré de IRIIS phytoprotection ([http:// www. Iriisphytoprotection.qc.ca/](http://www.Iriisphytoprotection.qc.ca/)), [2019-06-10])

4.3.2 Pourriture amère

Les pourritures infectant les fruits de la canneberge sont causées par un complexe de champignons pathogènes des genres *Phylosticta*, *Allantophomopsis*, *Botryosphaeria*, *Coleophoma*, *Colletotrichum* et *Godronia* (Figure 3) (Wells et McManus, 2013). Certains champignons causeront de la pourriture sur les fruits encore présents dans les champs alors que d'autres entraîneront des symptômes visibles en entrepôt. Les infections de champignons menant à la pourriture des fruits dans les champs débutent durant la floraison et la nouaison (Saalau Rojas et Oudemans, 2015). Par contre, leur incidence au Québec est rarement suffisante pour justifier des traitements (Vivancos, 2015). La pourriture amère (« Bitter rot ») est causée par le champignon *C. acutatum* (McManus, 2001). Celui-ci hiverne dans les vieux tissus tels les tiges ligneuses et les feuilles mortes à la surface du sol. Au printemps, une fois la sporulation débutée, les spores (conidies) peuvent être dispersées sur les fruits par les éclaboussures d'eau, les insectes, le vent et les travailleurs (Breton, 2016). Plusieurs facteurs influencent l'apparition des symptômes de cette pourriture : la température, l'humidité relative et le temps de contact entre le fruit et le pathogène.



Figure 3. Pourriture des fruits causée par un complexe de pathogènes (crédit photo : Wells et McManus 2013)

4.3.3 Modélisation bioclimatique

Phénologie de la canneberge

Les degrés-jours calculés à partir du 1^{er} mars avec la méthode de calcul sinus simple et une température de base de 5°C pour l'atteinte de chaque stade phénologique de la canneberge sont présentés dans le tableau 8. Le modèle développé montre une efficacité (« Model efficiency » : EF) de 0,93 (Si le modèle est parfait, l'EF=1), ce qui veut dire que le modèle global prédit bien les différents stades phénologiques de la canneberge avec une précision de 4,65 jours selon l'erreur quadratique (« Root mean square error » : RMSE).

Tableau 8. Degrés-jours calculés pour l'atteinte des stades phénologiques de la canneberge

Stades phénologiques	Degrés-jours
Début gonflement des bourgeons	174
Éclatement des bourgeons	214
Début élongation	276
Élongation	344
Début crochet « Roughneck »	433
Crochet	502
Début floraison (moins de 20%)	590
Pic floraison (entre 20 et 80%)	675
Fin floraison (plus de 80%)	713
Début nouaison (moins de 20%)	714
Pic nouaison (entre 20 et 80%)	798
Fin nouaison (plus de 80%)	848

Phénologie de la tordeuse des canneberges

Les degrés-jours calculés à partir du 1^{er} mars avec la méthode de calcul sinus simple et une température de base de 10°C pour l'atteinte de chaque stade de développement de la tordeuse des canneberges sont présentés dans le tableau 2. Afin de vérifier si une troisième génération est possible dans un futur proche et parce qu'aucune donnée d'observation au champ n'est disponible, nous avons estimé les degrés-jours à partir du temps de développement de la première et deuxième génération (Tableau 9). Le modèle développé montre un EF de 0,92 et une

RMSE de 5,490. Par contre, les statistiques pour la prédiction de chaque stade laissent entrevoir que le modèle ne prédit pas avec exactitude les différents stades de développement de l'insecte (5% larve G1 : EF= -0,4165; 5% adulte G1 : EF=0,245; 5% adulte G2 : EF= 0,198). Ainsi, la faiblesse du modèle augmente ainsi la variabilité dans les prédictions du futur pour les différents stades et le modèle devrait donc faire l'objet d'amélioration.

Tableau 9. Modèle phénologique de la tordeuse des canneberges. Les données en bleu ont été estimées et ne sont pas basées sur les observations au champ.

Stades de développement	Degrés-jours
1 ^{re} génération, 5% larves	103
1 ^{re} génération, 50% larves	142
1 ^{re} génération, 95% larves	192
1 ^{re} génération, 5% adultes	295
1 ^{re} génération, 50% adultes	390
1 ^{re} génération, 95% adultes	495
2 ^e génération, 5% adultes	719
2 ^e génération, 50% adultes	806
2 ^e génération, 95% adultes	901
2 ^e génération, 5% larves	527
2 ^e génération, 50% larves	567
2 ^e génération, 95% larves	617
3 ^e génération, 5% larves	952
3 ^e génération, 50% larves	992
3 ^e génération, 95% larves	1042
3 ^e génération, 5% adultes	1143
3 ^e génération, 50% adultes	1222
3 ^e génération, 95% adultes	1307

La performance limitée du modèle développé pourrait s'expliquer par différents facteurs :

- L'éclosion des œufs hibernants ne suit pas une relation linéaire avec la température (Cockfield et al., 1994) et nous observons une très grande variabilité d'éclosion des œufs entre les fermes autour d'une même station météorologique pour une même année (Tableau 10);

- Le taux de développement des larves est fortement lié à la nature des feuilles. Les larves se développeront plus rapidement sur de nouvelles pousses que sur d'anciennes feuilles (Cockfield et Mahr, 1993);
- Les différences marquées des méthodes de lutte en production conventionnelle versus biologique;
- Les inondations printanières causant un stress additionnel pendant lesquelles le cumul de degrés-jours est arrêté lorsque les bassins sont remplis d'eau.

Tableau 10. Nombre de jours de différence entre les observations du début d'apparition des larves de la première génération pour une même station météo (Villeroy)

Années	Nombre de jours de différence d'apparition des premières larves
2004	8
2005	5
2006	14
2007	19
2008	12
2009	8
2011	13
2012	15
2013	19
2014	23
2015	10
2016	26

Pourriture amère

L'équation du modèle développé pour prédire les risques d'infection (Launay et al. 2014) est la suivante :

$$\text{ClimInfeR}(h) = 1 - \exp(-f(T) \cdot A(LWD)^B)$$

ClimInfeR(h) représente le taux d'infection de la maladie à l'heure *h* en fonction du nombre d'heures de mouillure du feuillage (*LWD*) et d'une fonction de température *f(T)*. Le paramètre *A* est un taux intrinsèque de développement et le paramètre *B* est la portion de la période de mouillure durant laquelle la réponse ralentit.

Pour les analyses subséquentes, l'indice d'infection quotidien est défini comme la valeur maximale des dernières 24 heures, soit entre midi et midi. La durée de la période de mouillure et la température moyenne durant cette période sont déjà considérées dans les calculs du taux horaire d'infection. La durée de mouillure est calculée avec le nombre d'heures à une humidité relative supérieur à 90%. Les précipitations journalières sont transformées en précipitation horaire à l'aide d'une équation qui estime le nombre d'heures de précipitations pour une journée (Nombre d'heures = f (quantité de pluie)) et elles sont ensuite distribuées dans la journée à partir d'une heure de départ aléatoire. Le modèle de Launay ne prend pas en compte les interruptions de mouillure. Cette décision s'avère adéquate dans un contexte de changements climatiques étant donné qu'il est très difficile de prédire des précipitations quotidiennes sur une base horaire pour le climat futur.

Le seuil de risque d'infection de 0,15 utilisé dans la fraise ne peut pas être utilisé directement dans la canneberge. Dans la fraise, lorsque l'indice de risque d'infection de 0,15 est atteint, il y a généralement un traitement, car le risque est considéré comme élevé (Wilson et al. 1992; MacKenzie et Peres, 2012).

Aucune donnée n'est disponible pour adapter le seuil à la canneberge. L'indice de risques d'infection de la maladie sera comparé entre les périodes (1981-2010 et 2041-2070), mais ne peut être interprété.

4.3.4 Analyse des impacts en combinant les modèles bioclimatiques et les scénarios de changement climatique

Les dates présentées dans la section suivante font référence au site sélectionné pour la région du Centre-du-Québec soit St-Louis-de-Blandford.

Culture de la canneberge

Les changements climatiques vont avoir un effet direct sur la culture de la canneberge, pour l'horizon 2041-2070, et les scénarios suggèrent une grande probabilité pour que (Figure 4) :

- Le débourrement soit devancé de 8 à 24 jours.
- L'élongation soit devancée de 8 à 25 jours.
- Le début de la floraison soit devancé de 8 à 27 jours.
- Le pic de nouaison soit devancé de 9 à 28 jours.

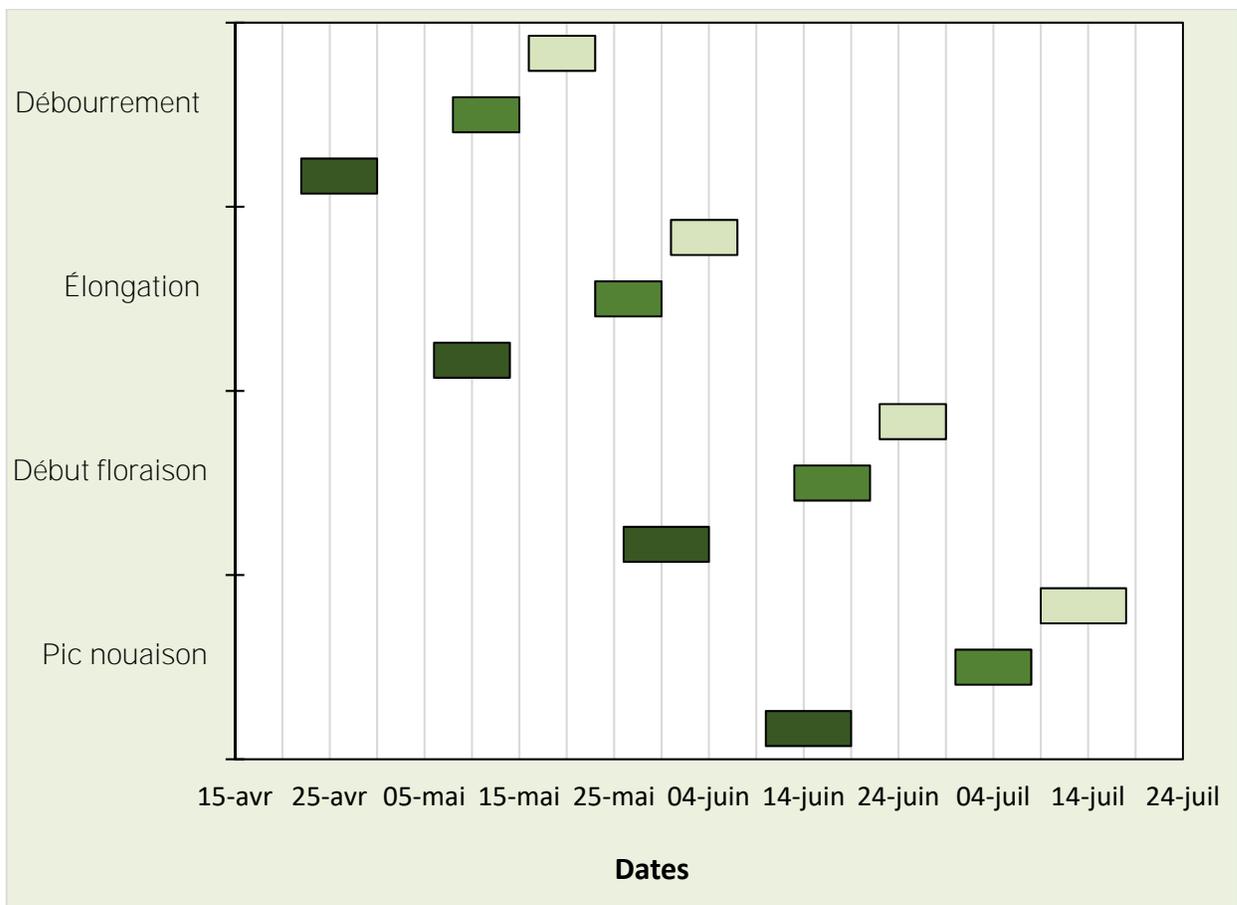


Figure 4. Dates moyennes du début d'apparition des différents stades phénologiques de la canneberge pour la période de référence (1981-2010), le scénario de changement inférieur (2041-2070) et le scénario de changement supérieur (2041-2070).

Tordeuse des canneberges

Le début d'apparition des larves de la première génération pour la période de référence 1981-2010 survient entre le 19 et le 27 mai selon les années (Figure 5). Ces résultats ont aussi été validés avec la date moyenne calculée avec les observations du CETAQ entre 2004 et 2016, soit le 22 mai. Les scénarios de changements climatiques projettent pour la période 2041-2070 un devancement de la date d'apparition des larves de tordeuse du 10 au 18 mai pour le scénario inférieur (Figure 6) et jusqu'au 22 au 30 avril pour le scénario supérieur (Figure 7). Cela implique donc que :

- Le dépistage des larves de tordeuse devrait débuter de 2 à 4 semaines plus tôt pour la période 2041-2070.
- Dans les scénarios de changements, les larves pourraient apparaître avant le débourement des bourgeons et provoquer ainsi leur chute

Le début d'apparition des adultes de la première génération pour la période de référence survient entre le 24 juin et le 03 juillet selon les années (Figure 8). Les scénarios de changements climatiques projettent pour la période 2041-2070 un devancement de la date d'apparition des

premiers adultes de tordeuse du 15 au 23 juin pour les changements inférieurs (Figure 9) et du 26 mai au 4 juin pour les changements supérieurs (Figure 10). Cela implique donc que :

- L'arrivée des adultes serait devancée de 10 à 30 jours².

Le début d'apparition des larves de la deuxième génération pour la période de référence (1981-2010) est du 13 au 23 juillet (Figure 11). Les scénarios de changements climatiques projettent pour la période 2041-2070 un devancement de la date d'apparition des premiers adultes de tordeuse au 3 juillet pour les changements inférieurs (Figure 12) et au 11 juin pour les changements supérieurs (Figure 13). Cela implique donc que :

- L'arrivée des larves de la deuxième génération serait devancée de 10 à 30 jours.
- Les dommages à la culture seront devancés, mais la phénologie de la canneberge sera aussi devancée, donc il y aura une certaine synchronisation entre la plante et le ravageur.

² Ces chiffres sont obtenus en prenant le milieu de chaque intervalle de dates prédites pour les climats projetés par les scénarios de changement inférieurs et supérieurs. Cette méthode est appliquée tout au long du rapport.

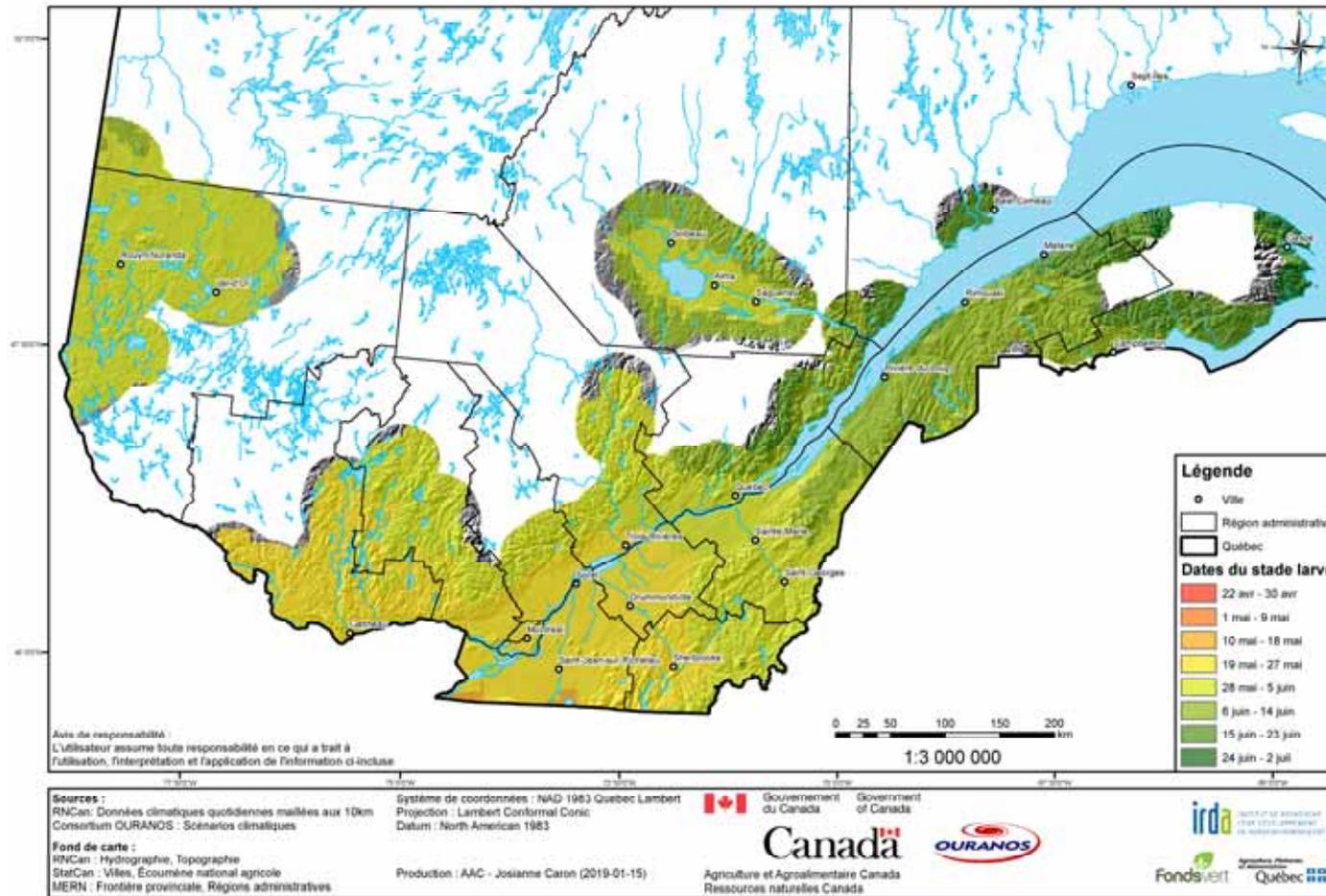


Figure 5. Dates moyennes du début d'apparition de la première génération de larves de la tordeuse des canneberges pour la période de référence (1981-2010)

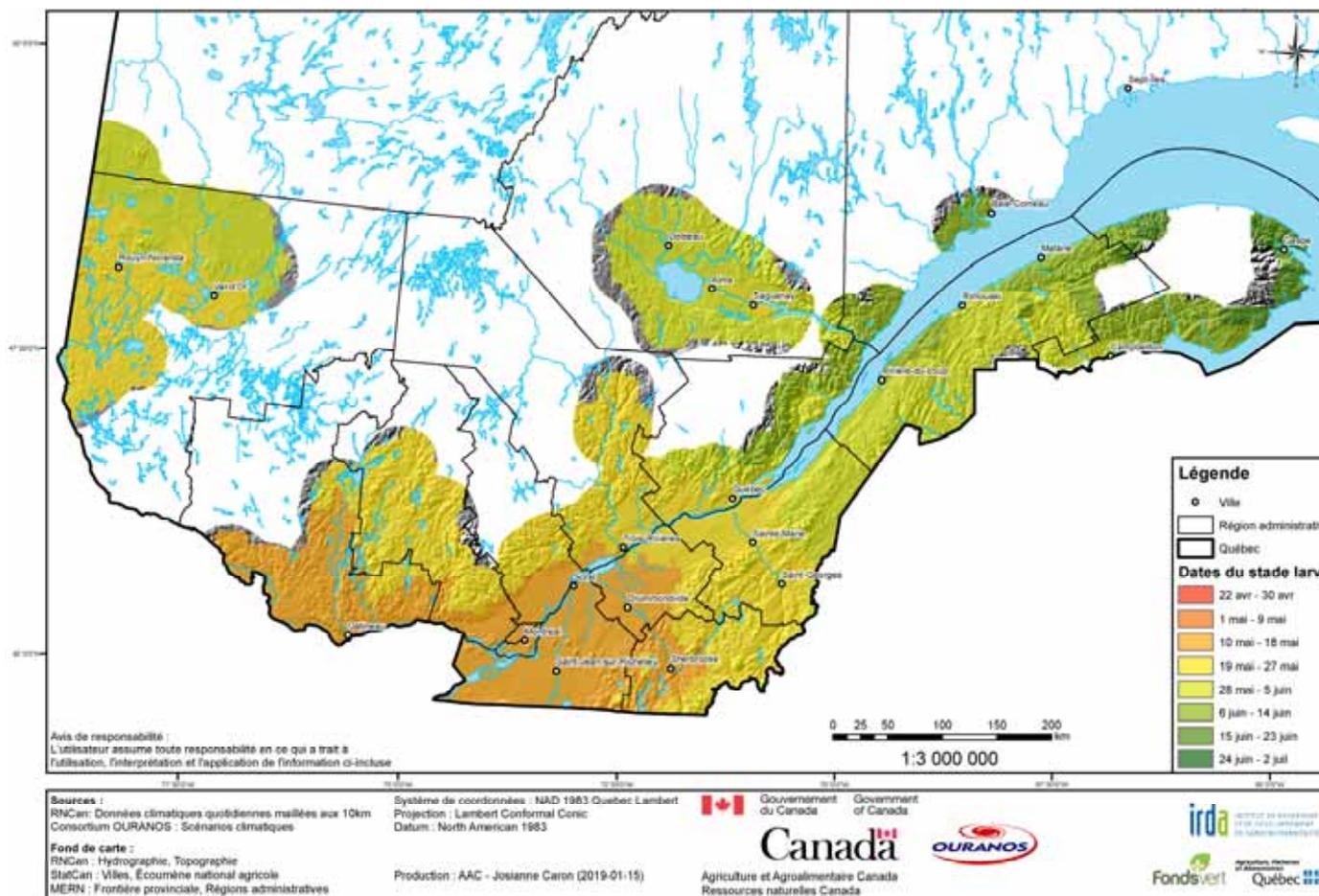


Figure 6. Dates moyennes du début d'apparition de la première génération de larves de la tordeuse des canneberges selon le scénario de changement inférieur (2041-2070)

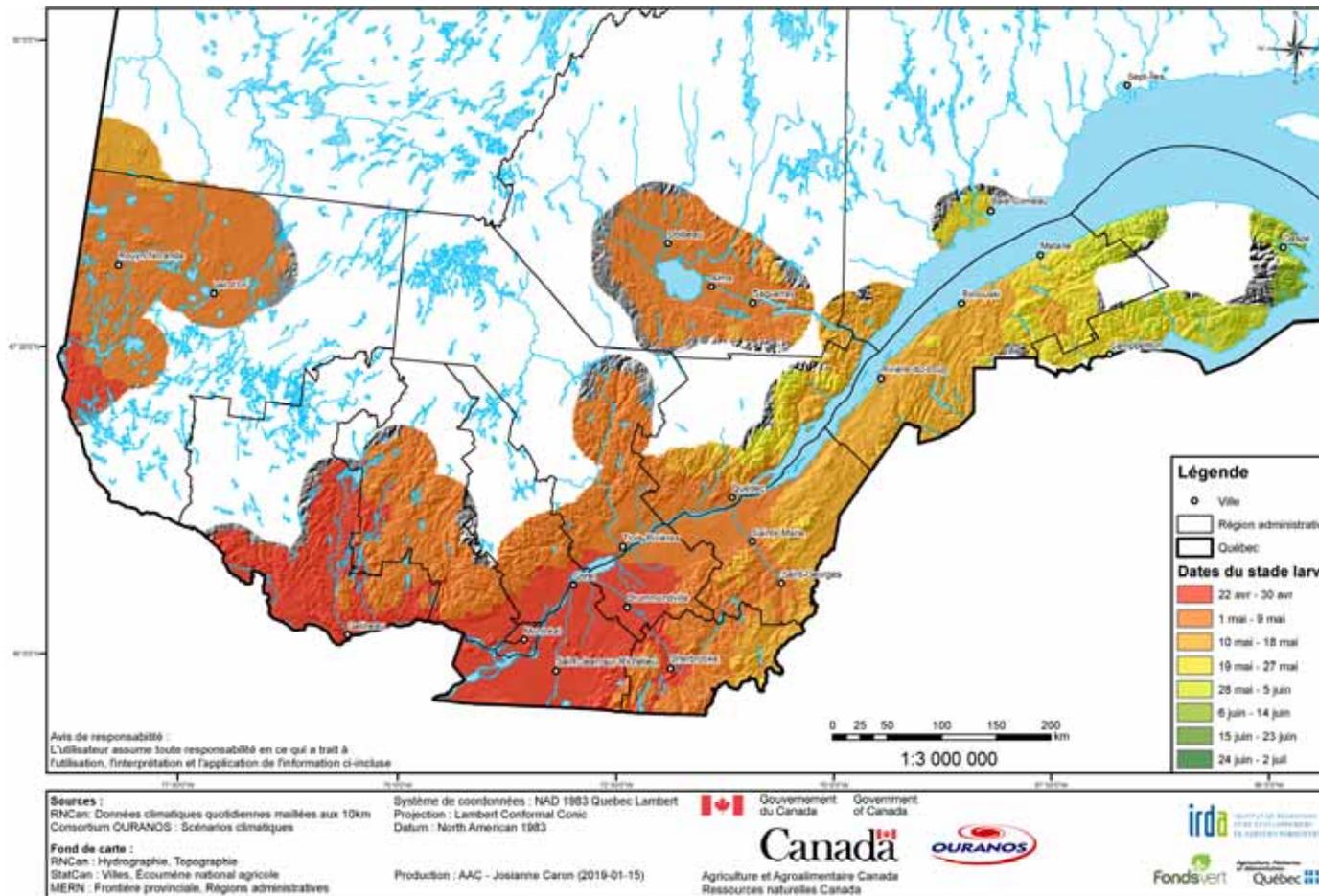


Figure 7. Dates moyennes du début d'apparition de la première génération de larves de la tordeuse des canneberges selon le scénario de changement supérieur (2041-2070)

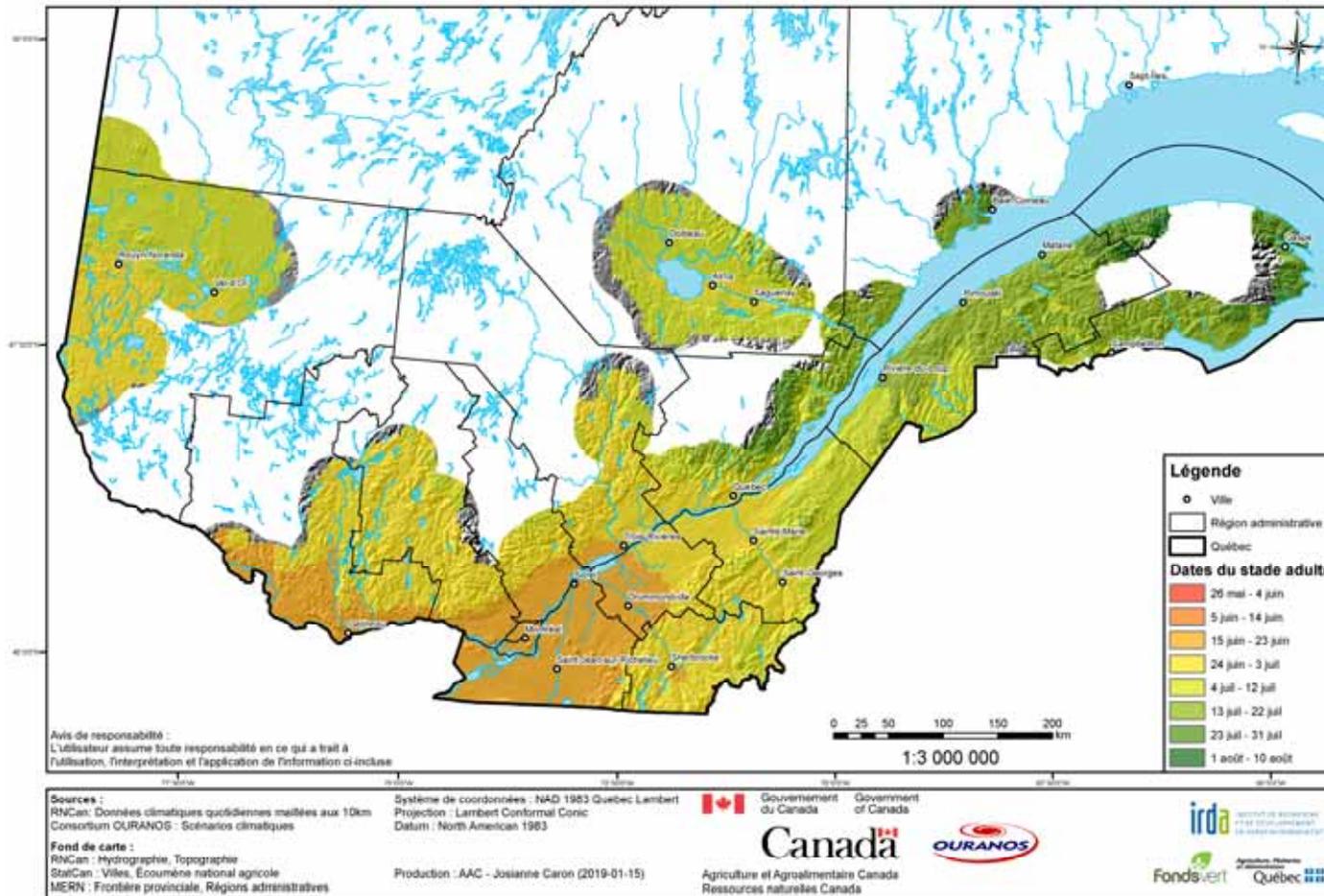


Figure 8. Dates moyennes du début d'apparition des adultes de la première génération de la tordeuse des canneberges pour la période de référence (1981-2010)

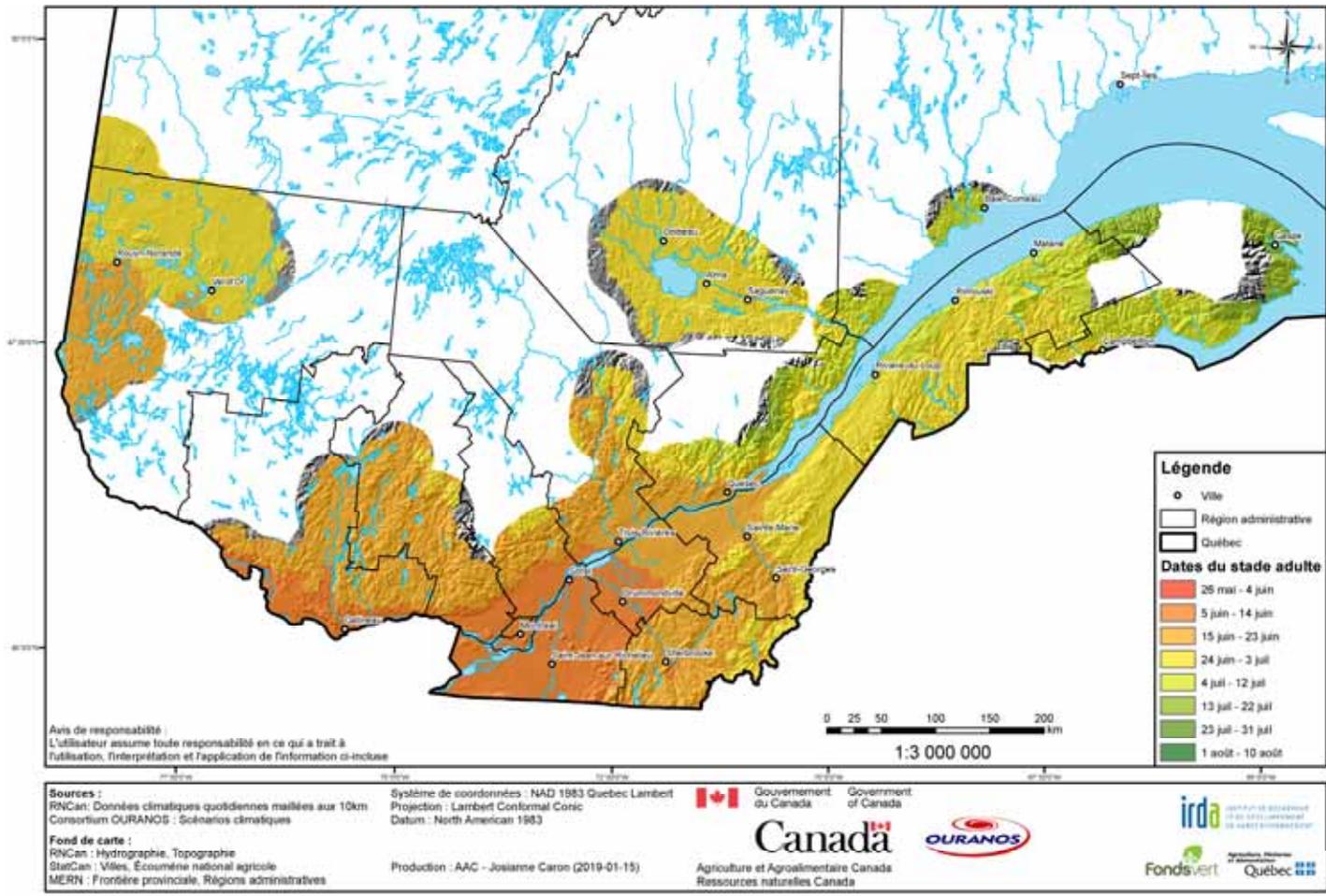


Figure 9. Dates moyennes du début d'apparition des adultes de la première génération de la tordeuse des canneberges selon le scénario de changement inférieur (2041-2070)

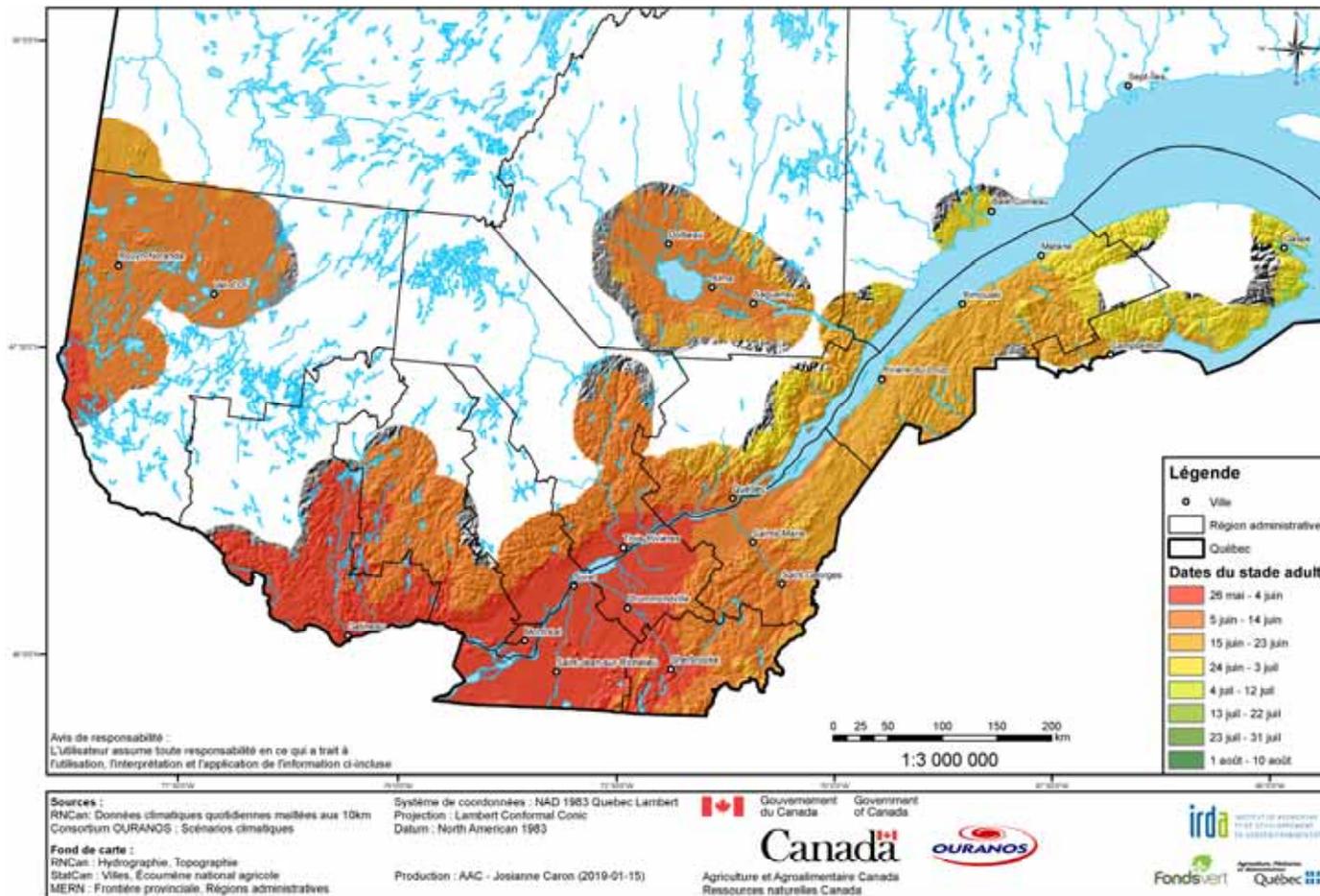


Figure 10. Dates moyennes du début d'apparition des adultes de la première génération de la tordeuse des canneberges selon le scénario de changement supérieur (2041-2070)

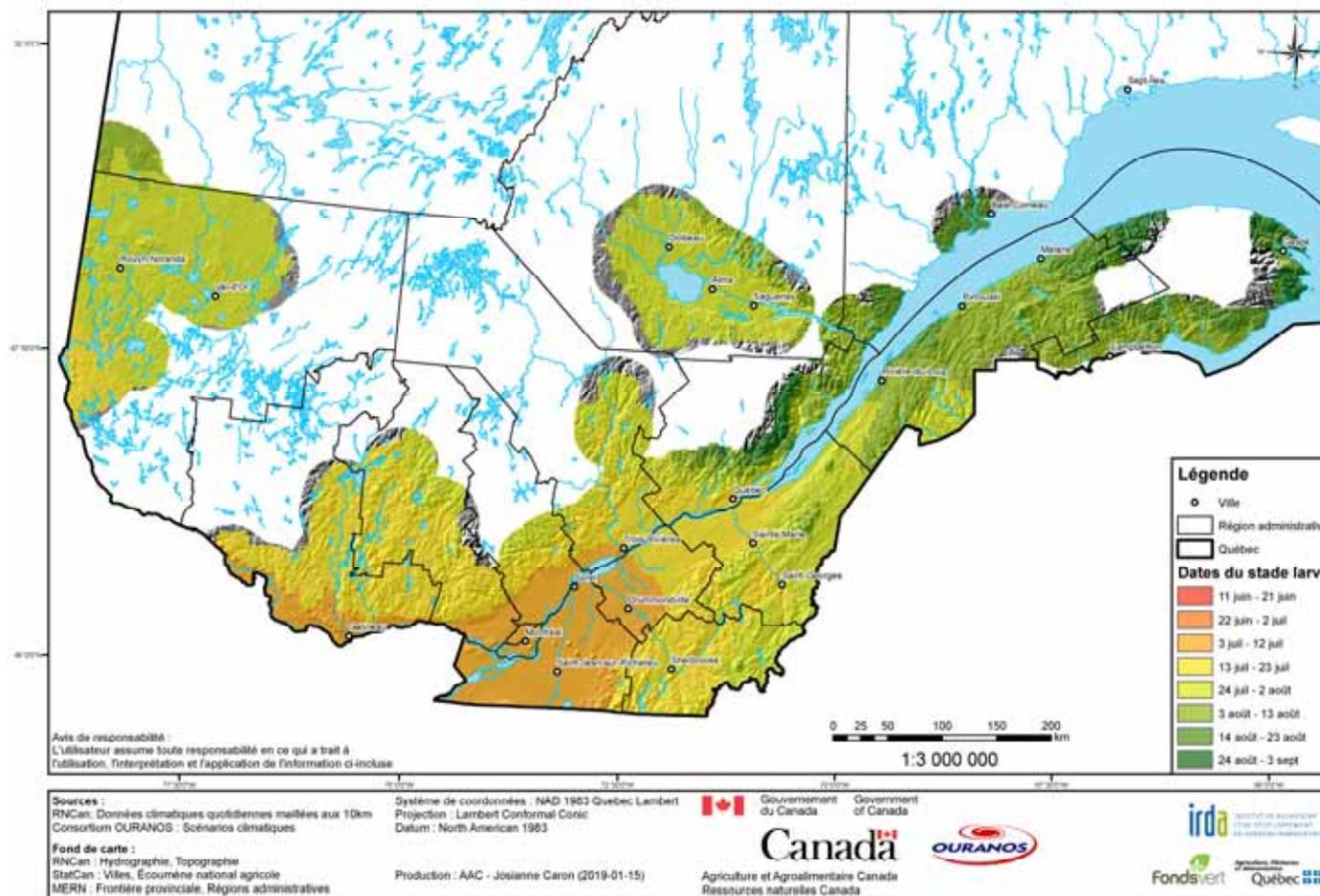


Figure 11. Dates moyennes du début d'apparition des larves de la deuxième génération de la tordeuse des canneberges pour la période de référence (1981-2010)

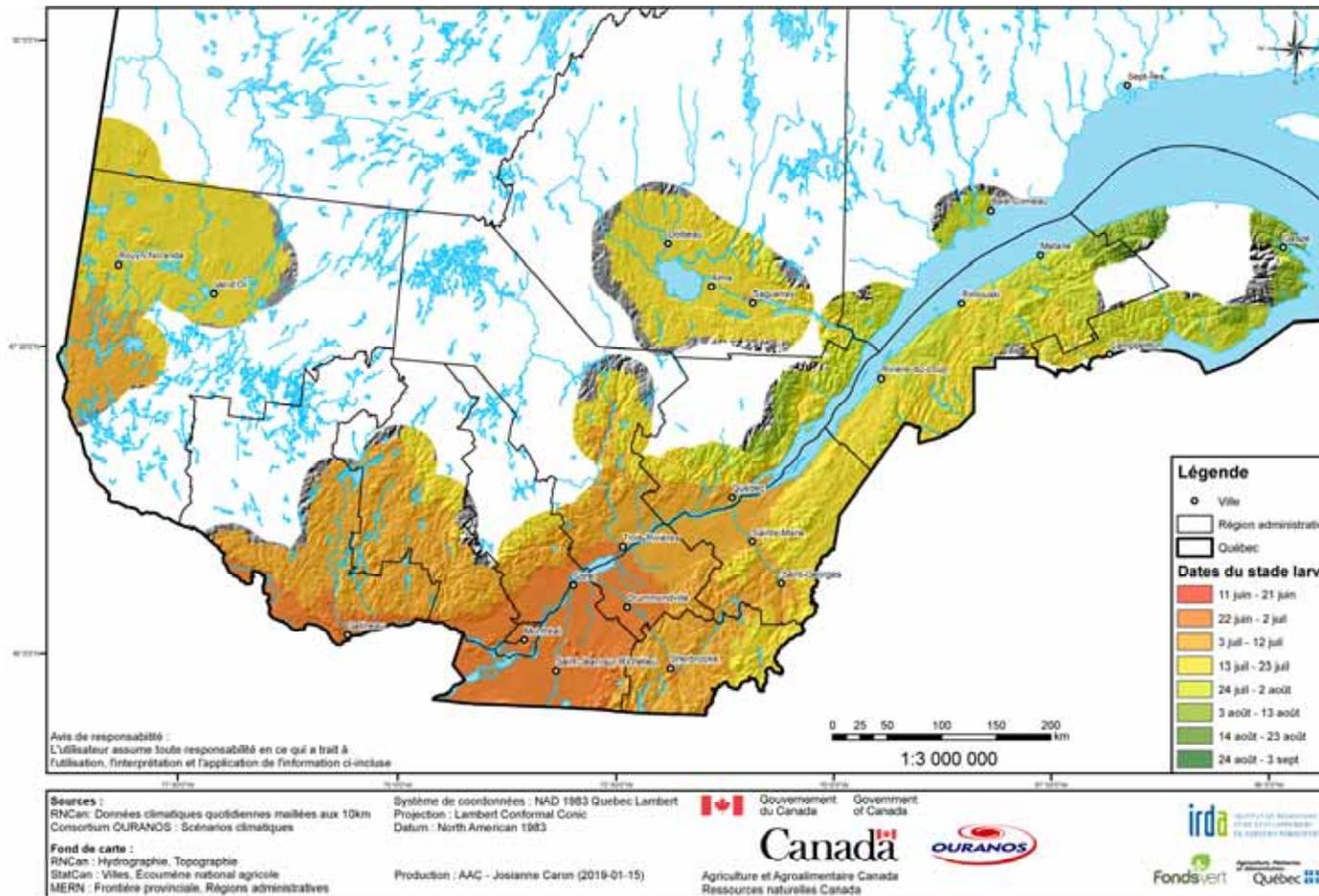


Figure 12. Dates moyennes du début d'apparition des larves de la deuxième génération de la tordeuse des canneberges selon le scénario de changement inférieur (2041-2070)

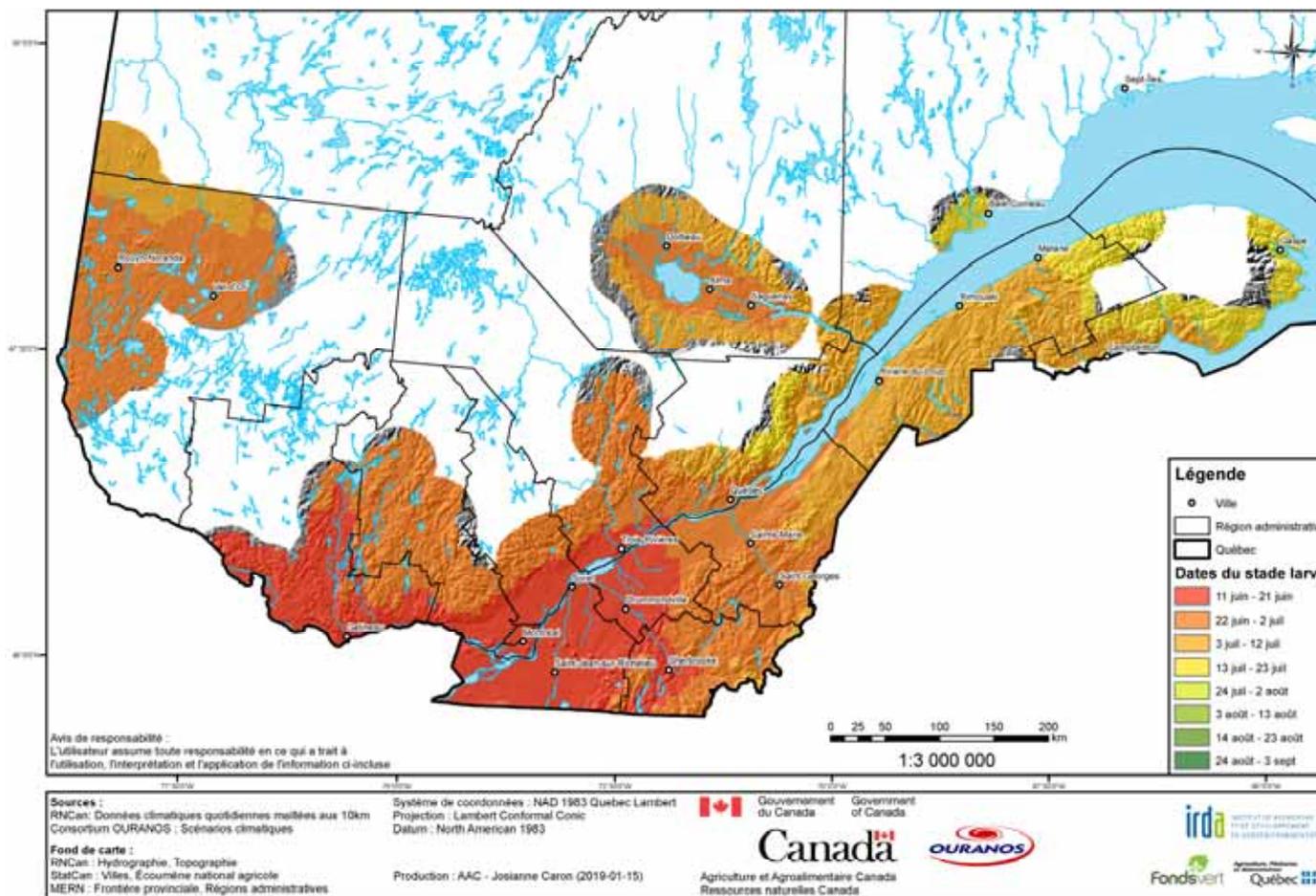


Figure 13. Dates moyennes du début d'apparition des larves de la deuxième génération de la tordeuse des canneberges selon le scénario de changement supérieur (2041-2070)

La date d'apparition des adultes de la deuxième génération pour la période de référence (1981-2010) est du 8 au 16 août (Figure 14). Les scénarios de changements climatiques projettent pour la période 2041-2070 un devancement de l'apparition des adultes de deuxième génération du 20 au 28 juillet pour les changements inférieurs (Figure 15) et du 1^{er} au 9 juillet pour les changements supérieurs (Figure 16). Cela implique donc que :

- L'arrivée des adultes de la deuxième génération serait devancée de 19 à 45 jours.

Selon les observations passées du CETAQ (données non publiées), une troisième génération de tordeuse peut s'observer très occasionnellement les années où les températures sont beaucoup plus chaudes que la normale. La Figure 17 indique l'arrivée des larves de la troisième génération entre le 7 et 15 septembre. Les facteurs induisant la diapause sont inconnus et ne sont pas pris en compte dans cette analyse. Par contre, les scénarios de changements climatiques projettent pour la période 2041-2070 l'apparition d'une troisième génération de larves de tordeuse du 11 au 19 août pour les changements inférieurs (Figure 18) et du 24 juillet au 1^{er} août pour les changements supérieurs (Figure 19). Cela implique donc que :

- Selon les facteurs induisant la diapause, une troisième génération de larves serait dorénavant possible à l'horizon 2041-2070.

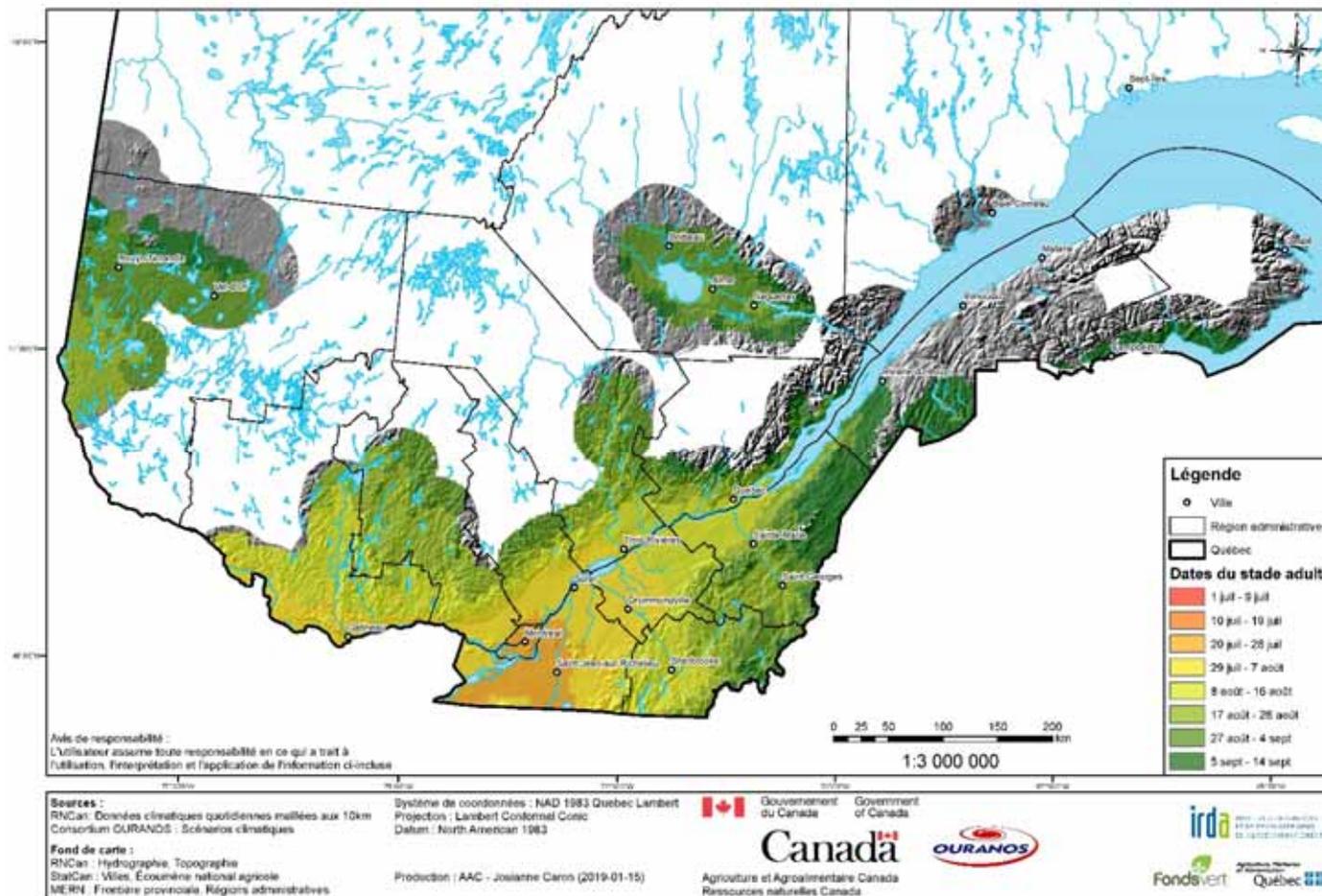


Figure 14. Dates moyennes du début d'apparition des adultes de la deuxième génération de la tordeuse des canneberges pour la période de référence (1981-2010)

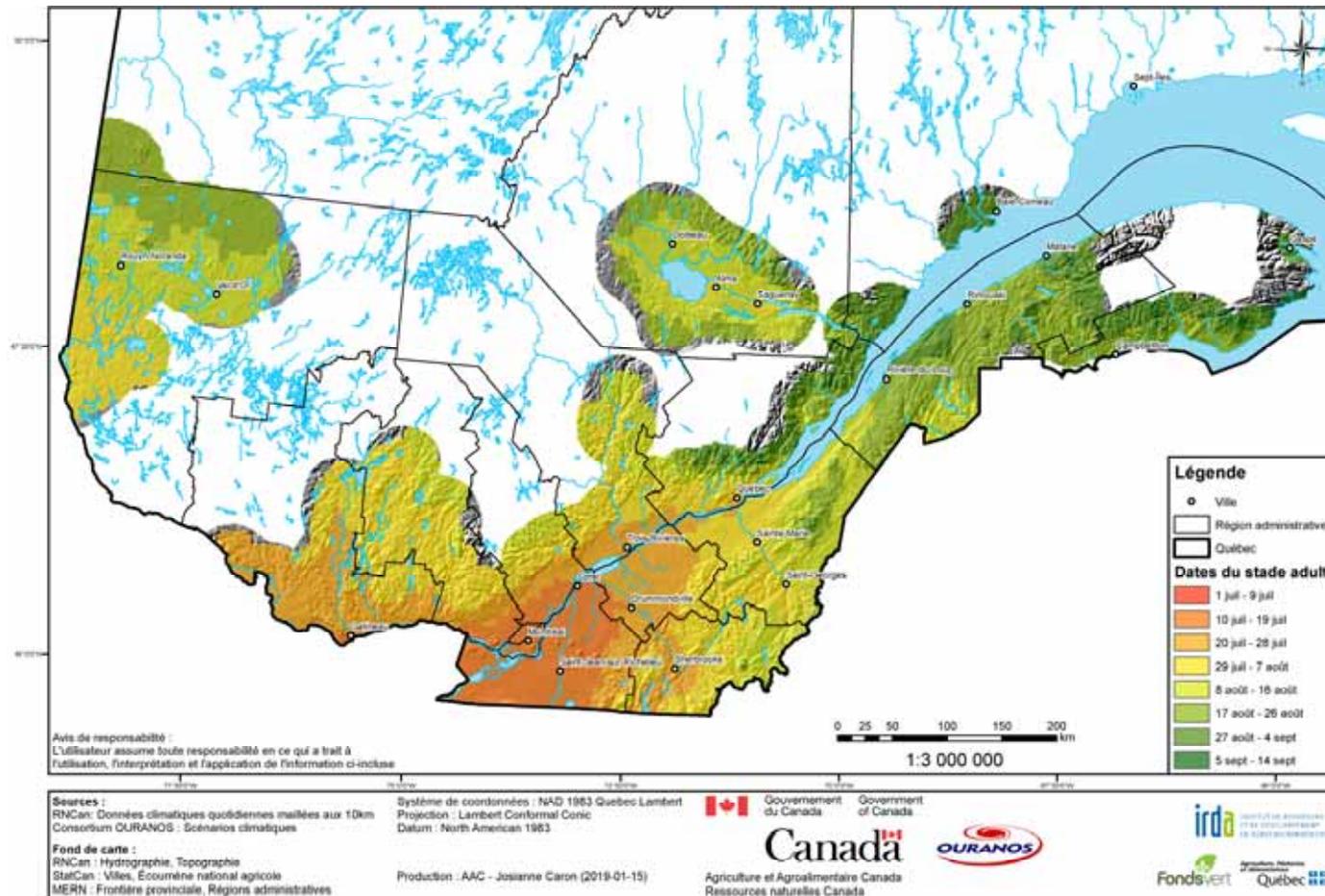


Figure 15. Dates moyennes du début d'apparition des adultes de la deuxième génération de la tordeuse des canneberges selon le scénario de changement inférieur (2041-2070)

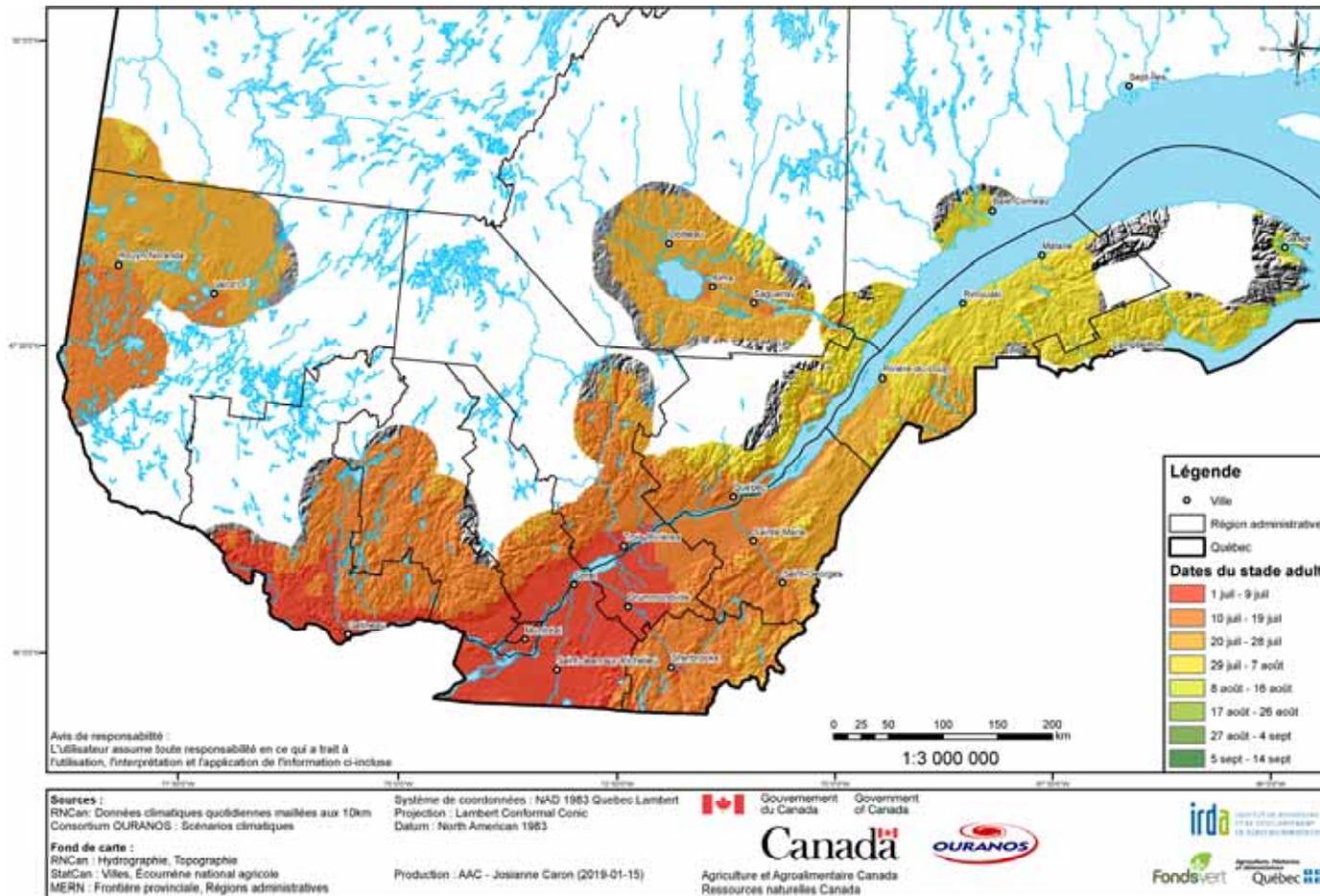


Figure 16. Dates moyennes du début d'apparition des adultes de la deuxième génération de la tordeuse des canneberges selon le scénario de changement supérieur (2041-2070)

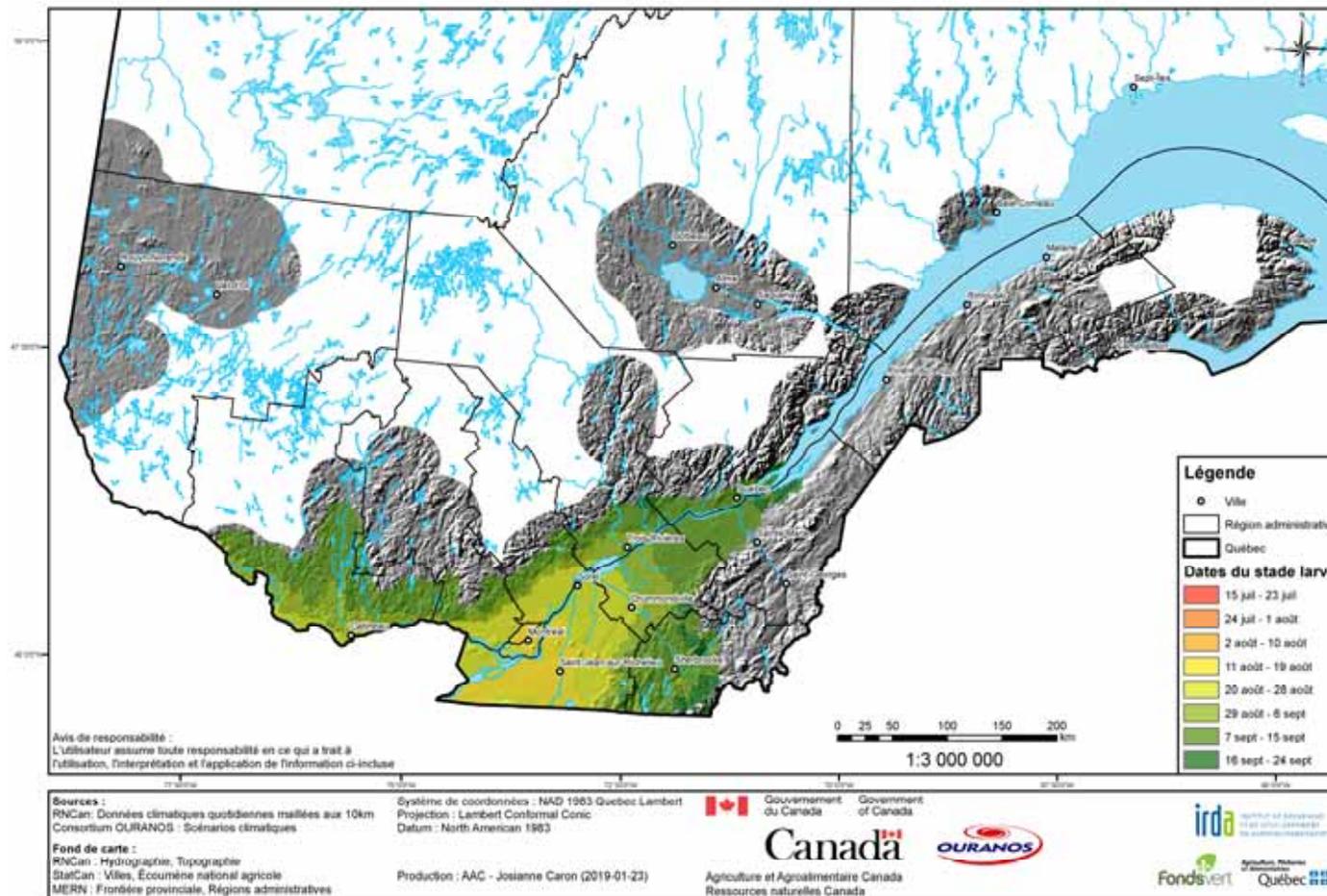


Figure 17. Dates moyennes du début d'apparition des larves de la troisième génération de la tordeuse des canneberges pour la période de référence (1981-2010)

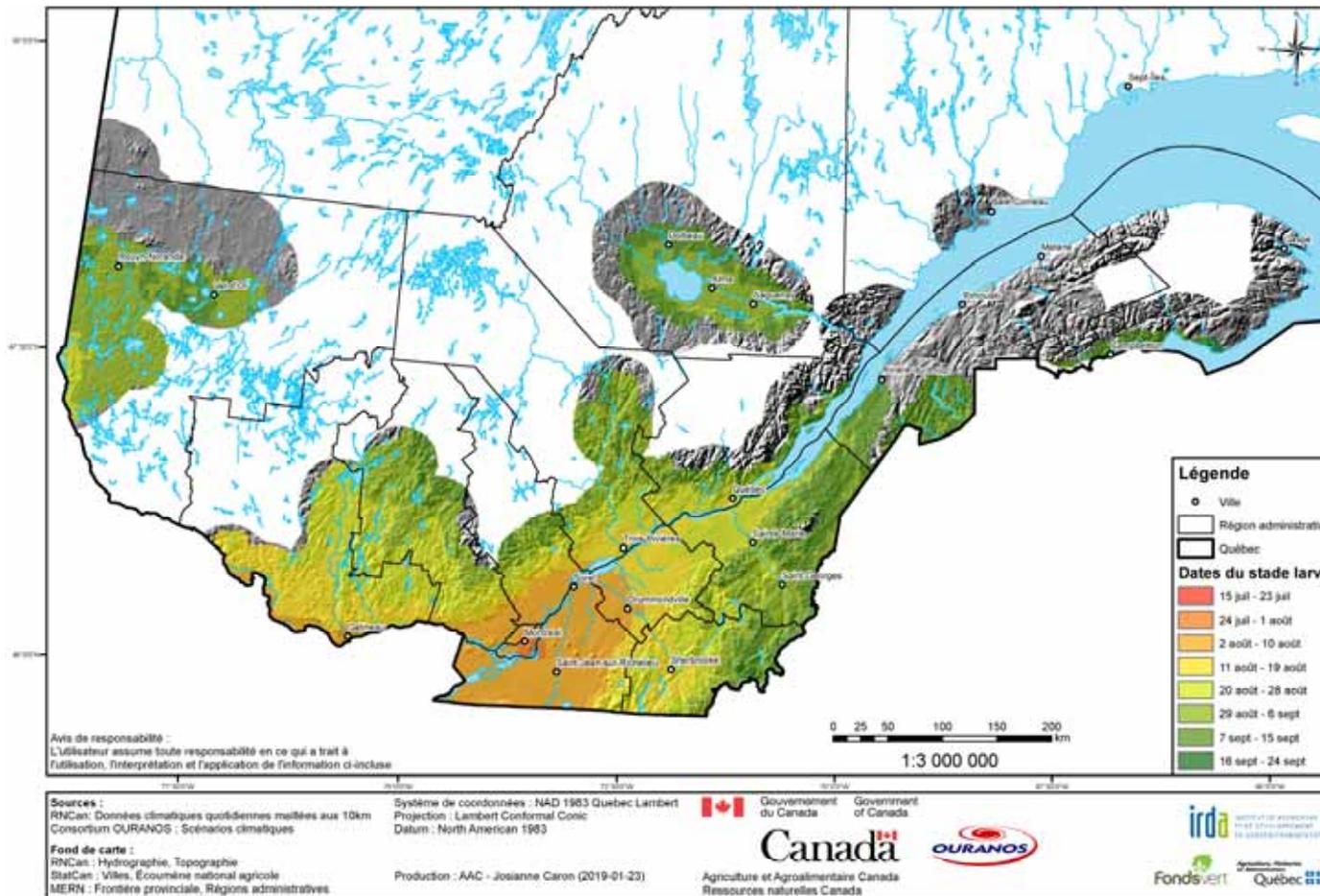


Figure 18. Dates moyennes du début d'apparition des larves de la troisième génération de la tordeuse des canneberges selon le scénario de changement inférieur (2041-2070)

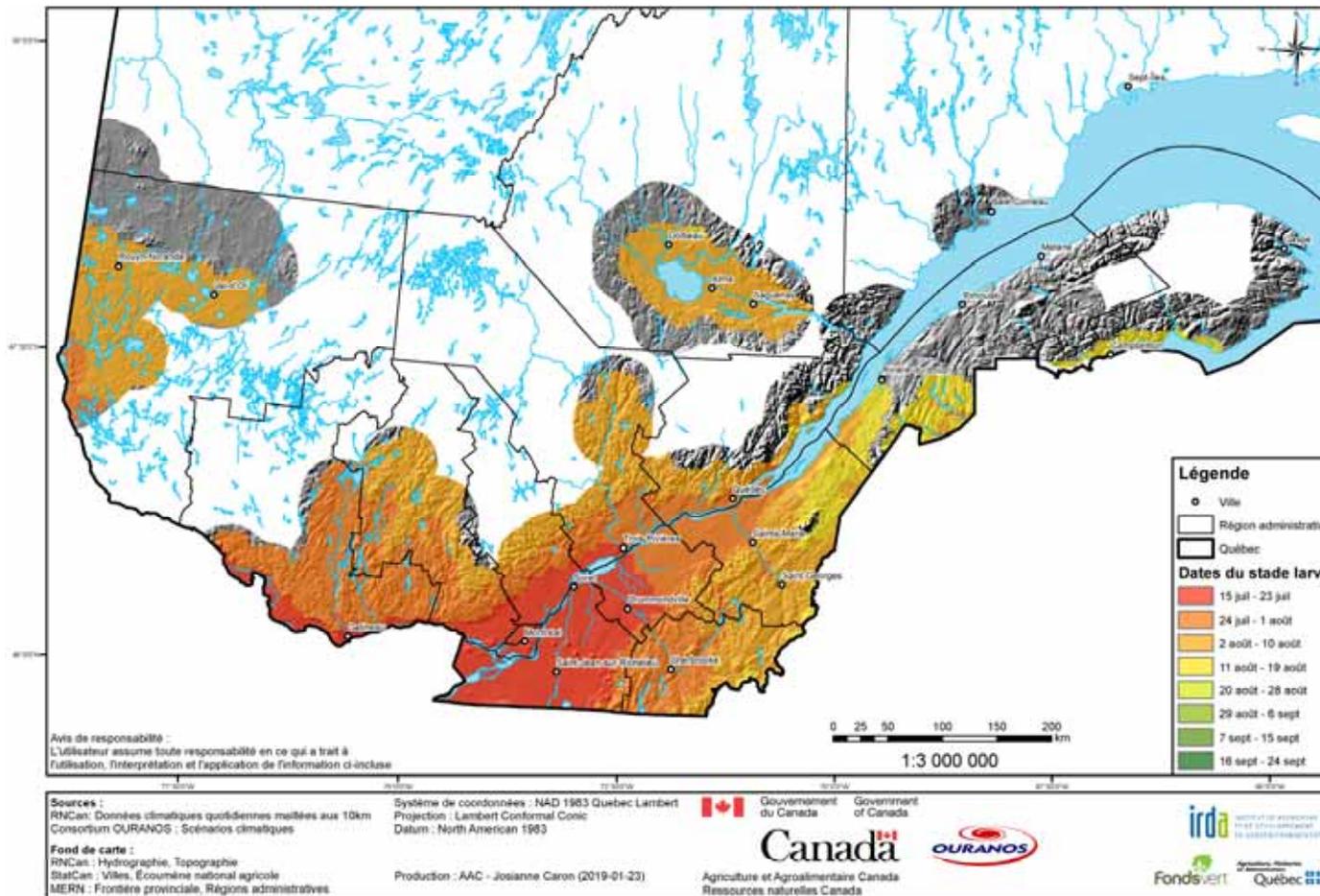


Figure 19. Dates moyennes du début d'apparition des larves de la troisième génération de la tordeuse des canneberges selon le scénario de changement supérieur (2041-2070)

Pourriture amère

Pour la période de référence (1981 à 2010), l'indice de la pourriture amère quotidien moyen est de 0,074 à 0,089. Il est important de se rappeler que ces indices n'ont pas été validés pour la culture de la canneberge et le seuil de 0,15 est basé sur l'indice seuil utilisé pour la culture de la fraise. Les scénarios de changements climatiques projettent pour la période 2041-2070 une augmentation de l'indice de risque d'infection de la pourriture amère de 0,09 à 0,105 pour les changements inférieurs (Figure 20) et de 0,122 à 0,138 pour les changements supérieurs (Figure 20). Cela implique donc que :

- L'indice moyen quotidien moyen pourrait doubler à l'horizon 2041-2070.

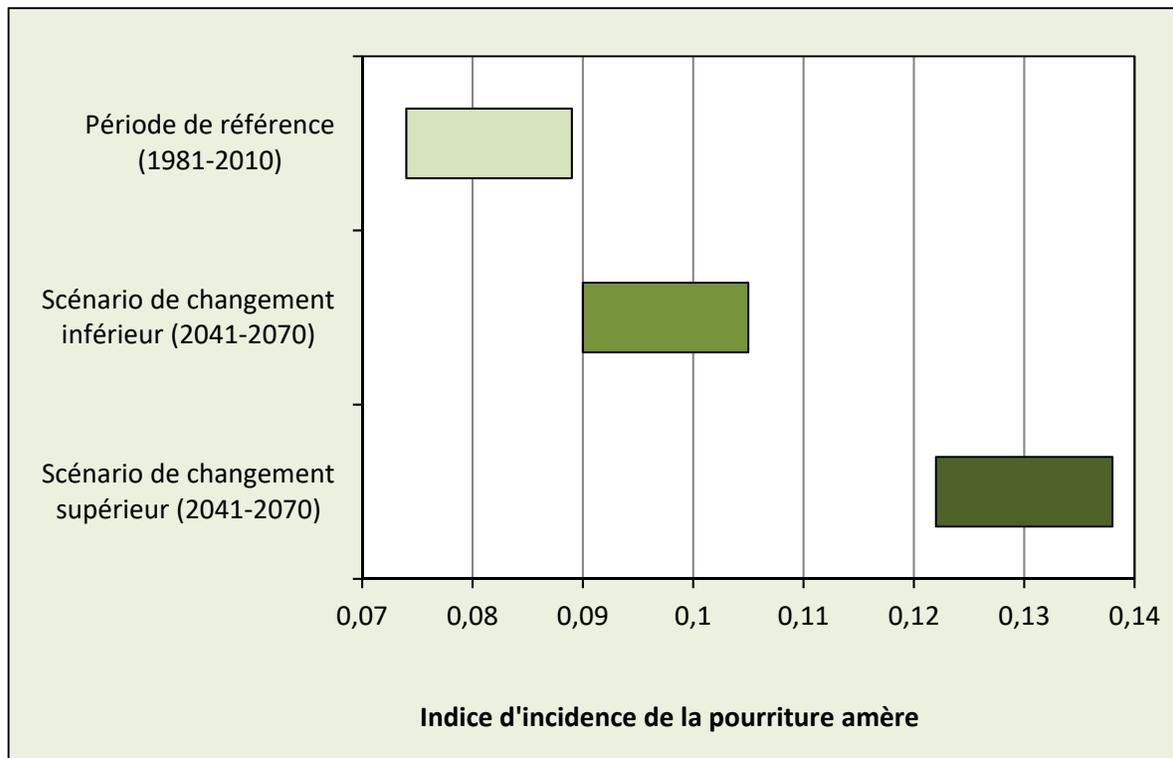


Figure 20. Indices quotidiens moyens de pourriture amère sur la canneberge

4.3.5 Validation des impacts et identification des mesures d'adaptation grâce aux analogues spatiaux

Comparaison entre la modélisation des stades phénologiques et la situation des ravageurs de la canneberge dans les régions analogues

Le site qui a été ciblé pour déterminer les analogues spatiaux est le centre d'interprétation de la canneberge à St-Louis-de-Blandford (46.249315, -72.00212). Selon les scénarios, les régions analogues faisant partie du 1% des régions au climat de référence (1981-2010) le plus similaire au

climat futur (2041-2070) de la région cible pour la tordeuse des canneberges et la pourriture amère sont présentées à la figure 21. Aucune différence n'est observable entre les deux analyses (tordeuse des canneberges et pourriture amère), leur différence en termes de température de base de croissance qui sont différentes n'est pas suffisante pour trouver des climats différents. Les régions analogues productrices de canneberges sont le New Jersey, le Massachusetts, le Wisconsin et le Maine. Ces régions peuvent être indicatrices du portrait des populations de tordeuse des canneberges et des risques d'infection de pourriture amère durant la saison de croissance au cours des prochaines décennies.

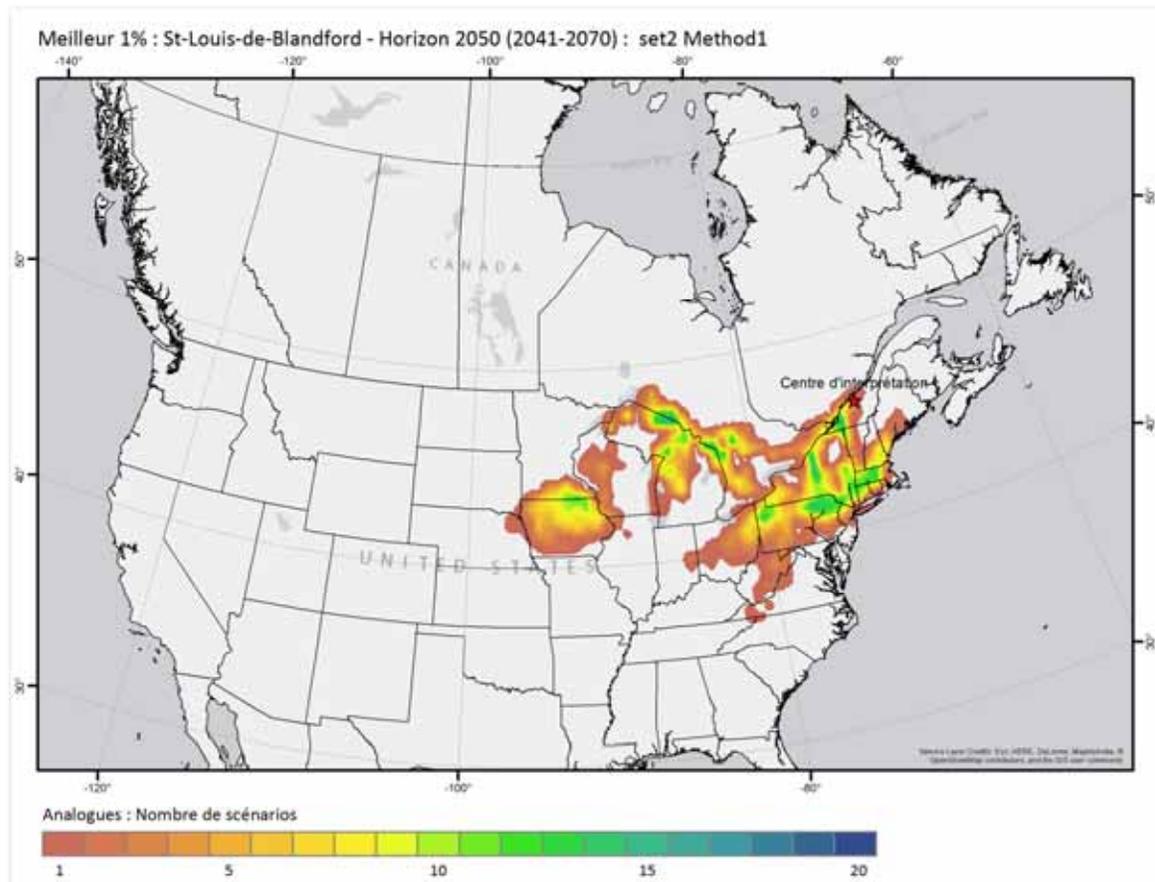


Figure 21. Nombre de scénarios climatiques identifiant les régions colorées comme analogues spatiaux au climat futur projeté (2041-2070) du centre d'interprétation de la canneberge considérant des indicateurs bioclimatiques pour la tordeuse des canneberges et la pourriture amère

La revue de littérature effectuée relativement à ces régions analogues a permis de valider les projections phénologiques obtenues en utilisant les scénarios climatiques (Tableau 11). Tout comme nos projections, une troisième génération de la tordeuse des canneberges peut être observée dans les régions analogues. Selon la revue de littérature, au Massachusetts, les larves arrivent en même temps que la levée de dormance de la canneberge, soit à la mi-mai. La première génération d'adultes est présente en juin et juillet (Sylvia et Averill, 2005). Au Maine, la date moyenne pour l'arrivée des larves est le 22 mai (Armstrong, 2014).

La pourriture amère est une maladie affectant la production de canneberges pour les régions du Massachusetts et du New Jersey. Si elle n'est pas contrôlée, elle peut entraîner des pertes totales (McManus, 2001). Ces régions font partie des analogues pour la pourriture amère sur la canneberge. Les producteurs de ces régions utilisent entre trois et cinq traitements phytosanitaires chaque année pour contrôler cette maladie (Caruso et al., 2000).

Tableau 11. Vérification des projections bioclimatiques pour l'horizon 2041-2070 par les analogues spatiaux

Impacts	Projections Bioclimatiques	Revue de littérature (Analogue)
Devancement de la floraison	26 mai au 21 juin	10-juin
Augmentation de la pression exercée par la tordeuse des canneberges (ex. 2 à 3 générations)	3 générations	3 générations
Devancement de la phénologie de la tordeuse des canneberges (ex. Date d'arrivée des larves de génération 1)	22 avril au 18 mai	Mi-mai
Devancement de la phénologie de la tordeuse des canneberges (ex. Date d'arrivée des adultes de la 1 ^{ère} génération)	26 mai au 23 juin	Début juin

Méthodes de lutte dans les régions analogues

À l'heure actuelle, la tordeuse semble être bien contrôlée en régie conventionnelle par les traitements chimiques au Québec ainsi que dans les régions analogues, mais les connaissances sur sa biologie sont incomplètes. Par contre, en régie biologique le contrôle de la tordeuse des canneberges est très difficile. Dans les régions analogues, les répondants du sondage ont mentionné avoir de la difficulté à contrôler la deuxième génération. Les techniques utilisées pour lutter contre la tordeuse des canneberges, dans les régions analogues, sont présentées dans le tableau 12. En général, les différences entre ces régions et le Québec reposent sur l'utilisation courante des inondations au printemps qui permettent de baisser les populations (technique utilisée dans les régions analogues) (Steffan et al., 2014). Également, aux États-Unis, le secteur peut compter sur un plus grand choix de produits phytosanitaires (7 à 22) permettant de faire plusieurs applications et de varier les matières actives afin d'éviter le développement de résistance (UMaine, 2018). Un modèle de prédiction de la phénologie de la tordeuse existe, mais il semble que les personnes ayant répondu au sondage ne l'utilisent pas.

Tableau 12. Techniques utilisées dans les régions analogues pour lutter contre la tordeuse des canneberges

Méthodes	Analogues	
	Revue de littérature	Sondage
Dépistage		
Dépistage de la génération 1	Inspection visuelle, filet Piège à phéromones	
Dépistage de la génération 2	Inspection visuelle, filet Piège à phéromones	
Utilisation d'un modèle prévisionnel	Oui	Non
Contrôle chimique		
Stratégie de lutte la plus efficace	Insecticides	
Contrôle biologique		
Contrôle de lutte biologique ou physique	Inondation, trichogramme, confusion sexuelle	Inondation, ennemis naturels présents sur la ferme

(Armstrong, 2014; Guédot et McMahan, 2015; Mahr, 2005; Sylvia et Averill, 2005)

Au Québec, la pourriture amère est rarement observable (0 à 25% des fruits pourris) (Vivancos, 2015) alors que dans les régions analogues, les traitements chimiques sont nombreux (3 à 5 traitements) pour lutter contre cette maladie et les autres pourritures. Les techniques physiques ou biologiques utilisées dans les régions analogues pour lutter contre la pourriture amère visent surtout à éviter le développement de la résistance (Averill et al., 1997; Saalau Rojas et al., 2015) (Tableau 13) .

Tableau 13. Techniques utilisées dans les régions analogues pour lutter contre la pourriture amère dans la canneberge

Méthodes	Analogues	
	Revue de littérature	Sondage
Dépistage de la pourriture amère	Symptômes	Symptômes
Stratégie de lutte	Fongicides	

Contrôle de lutte biologique ou physique	Gestion de l'irrigation, Inondation, variétés résistantes, alternance de fongicides	N.D.
--	--	------

4.4 ÉTUDES DE CAS POUR LES FRAISES ET FRAMBOISES

4.4.1 Scarabée japonais

Le scarabée japonais, *Popillia japonica* Newman (Coleoptera : Scarabaeidae) (Figure 22), est natif du Japon. Il a été détecté pour la première fois au Québec en 1939. Les adultes, très polyphages, se nourrissent sur les feuilles et les fleurs de plus de 250 plantes hôtes dont le framboisier et la vigne (Agence canadienne d'inspection des aliments, 2017). Les plantes sont sensibles aux scarabées japonais tout au long de leur saison de croissance. Pour se nourrir, les adultes broient les feuilles entre les nervures, tandis que les stades larvaires se nourrissent des racines des plantes herbacées dans le sol. Une fois établi, le scarabée japonais est très difficile à contrôler. Le coût des méthodes de lutte est estimé à plus de 450 millions de dollars chaque année aux États-Unis (Potter et Held, 2002). Dans la majorité des régions où il est présent, le scarabée japonais complète son cycle de vie en 1 an (Figure 23), mais dans les régions plus nordiques, comme au Québec, il peut prendre 2 années pour le compléter (Vittum, 1986). Une fois accouplée, la femelle vit de 30 à 45 jours et peut pondre jusqu'à 60 œufs au cours de sa vie (Potter et Held, 2002).



Figure 22. Adulte de scarabée japonais (Tiré de IRIIS phytoprotection ([http:// www.Iriisphytoprotection.qc.ca/](http://www.Iriisphytoprotection.qc.ca/)), [2019-06-10])

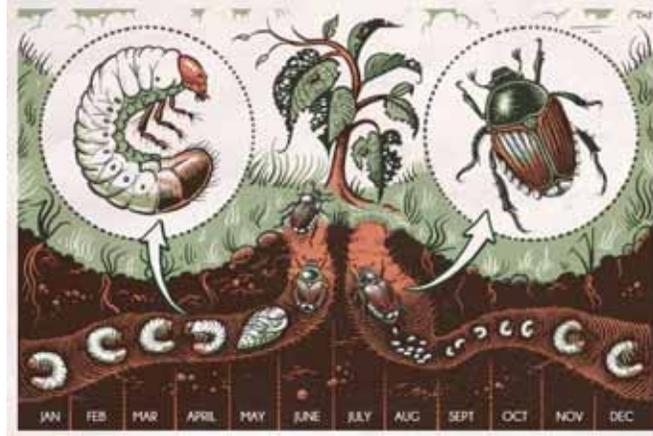


Figure 23. Cycle de vie du scarabée japonais (Crédit photo : Oregon Department of Agriculture, Thomas Shahan)

4.4.2 Tarsonème du fraisier

Le tarsonème du fraisier, *Phytonemus pallidus* (Banks) (Acari : Tarsonemidae) (Figure 24), est un acarien phytophage qui se nourrit sur plusieurs plantes dont le fraisier. Il fuit la lumière en se nourrissant dans le cœur des plants sur les jeunes pousses. Sa salive toxique entraîne une distorsion des feuilles, les laissant froissées et tordues (MAAARO, 2009a). En deux semaines à une température de 25°C, le tarsonème passe par le stade larvaire, un stade nymphal et devient adulte (Harnois et Lacroix, 2013; Tellier et al., 2018). Un certain nombre de femelles passeront l'hiver cachées dans le cœur de la couronne des plants de fraise et elles recommenceront à se nourrir au début du printemps à la base des feuilles enroulées (Harnois et Lacroix, 2013). Les femelles se reproduisent majoritairement par parthénogenèse (Alford, 2016) et plusieurs générations se succèdent durant la saison. Une femelle peut pondre jusqu'à deux œufs par jour et jusqu'à 40 œufs au cours de sa vie (Harnois et Lacroix, 2013). Les populations augmentent lentement au printemps, puis plus rapidement avec les températures chaudes de l'été pour atteindre un pic de population aux mois d'août et de septembre. Les tarsonèmes peuvent se déplacer en marchant d'un plant à l'autre lorsque les feuilles se touchent ou par le vent, les insectes, les équipements et les cueilleurs (Tellier et al., 2018). La population va ensuite décliner avec l'arrêt de reproduction et les jeunes femelles entreront en hibernation pour l'hiver (Alford, 2016).



Figure 24. Le tarsonème du fraisier adulte ((Tiré de IRIIS phytoprotection ([http:// www. Iriisphytoprotection.qc.ca/](http://www.Iriisphytoprotection.qc.ca/)), [2019-06-10])

4.4.3 Anthracnose

Le champignon hiverne dans le sol, les débris végétaux et les plantes infectées sous forme de mycélium. Une fois la sporulation débutée, les spores (conidies) peuvent être dispersées principalement par les éclaboussures d'eau sur les fruits, mais aussi les insectes, le vent, l'équipement et les travailleurs (Smith, 2008; Tellier et Breton, 2018). Lorsque le champignon se multiplie, il est possible d'observer des spores orangées à la surface des lésions. Ces spores constituent le stade de reproduction asexuée du champignon. Ce cycle se reproduit aussi longtemps que les conditions environnementales sont idéales au développement du champignon (Tellier et Breton, 2018). La période de latence avant la sporulation dépend de la température. Elle varie de 3 à 9 jours pour des températures de 5 à 35°C (King et al., 1997). La croissance du champignon augmente avec des températures entre 10 et 25°C, puis décline à des températures égales ou supérieures à 30°C (Wilson et al., 1990). Les températures optimales de croissance sont de 23 à 27,7°C (Leandro et al., 2003). Les conditions humides persistantes sont favorables à l'infection des jeunes fruits en formation et ces infections nécessitent au moins 6 heures de mouillure pour qu'elles se développent (Magarey et al., 2005). Le champignon cause des taches angulaires brun-noir localisées à la marge des feuilles se poursuivant sur la nervure principale des folioles (Tellier et Breton, 2018). Ce champignon cause aussi des lésions nécrosées sur les fleurs, les pétioles, les stolons, les fruits (Figure 25) et, occasionnellement, les collets, ce qui peut mener au dépérissement des feuilles et des plants filles ainsi qu'au pourrissement des fruits et des collets. Si l'infection se produit rapidement après la pollinisation, les fruits seront malformés, petits et durs. La maladie se développe souvent dans les cultures avec paillis de plastique où le sol et le microclimat autour des plants sont plus chauds que dans les cultures à sol (CRAAQ, 2016).



Figure 25. L'antracnose sur fraise *Colletotrichum acutatum* (Image de Luc Urbain, MAPAQ; Tiré de IRIIS phytprotection ([http:// www. Iriisphytoprotection.qc.ca/](http://www.Iriisphytoprotection.qc.ca/)), [2019-06-10])

4.4.4 Modélisation bioclimatique

Phénologie du framboisier et fraisier

Les stades phénologiques utilisés pour l'analyse avec les changements climatiques sont présentés dans le tableau 14 pour la framboise et dans le tableau 15 pour la fraise. L'équivalence des stades en stade BBCH (**B**iologische **B**undesanstalt, **B**undessortenamt and **C**hemical industry) (Meier,

2001) est présentée dans les tableaux. À noter que le stade fruit mûr représente le début de la récolte.

Tableau 14. Modèle phénologique de la framboise Killarney (température de base de 1,7°C, début des calculs 1^{er} mars, méthode de calcul sinus simple)

Stades (BBCH)	Degrés-jours
Gonflement des bourgeons (51)	130
Floraison (65)	686
Fruit vert (75)	858
Fruit mûr (87)	1303

Tableau 15. Modèle phénologique de la fraise Jewel (température de base de 0°C, début des calculs 1^{er} mars, méthode de calcul sinus simple)

Stades (BBCH)	Degrés-jours
Début végétation (10)	241
Floraison (65)	607
Fruit vert (75)	739
Fruit mûr (87)	1029

Phénologie du scarabée japonais

Le modèle conçu pour le scarabée japonais est un cumul de degrés-jours selon la méthode sinus simple. La température de base utilisée est 10°C et la date de début de calcul du modèle est le 1^{er} mars. Le modèle développé pour le scarabée japonais (tableau 16) a été comparé de manière qualitative avec plusieurs références et quelques données de capture de 2010 à 2016 au Québec dans la vigne (n=14) (tableau 17). Le nombre de degrés-jours utilisé pour le début des vols des adultes (575 degrés-jours) est similaire aux références du tableau 5. La validation de ce modèle bioclimatique prévisionnel est actuellement en cours de réalisation dans le cadre d'un projet de recherche mené par l'IRDA.

Tableau 16. Modèle phénologique du scarabée japonais (température de base de 10°C, début des calculs 1^{er} mars, méthode de calcul sinus simple).

Stades phénologiques	Degrés-jours
Début du vol des adultes	575
Début de la ponte	635
Pic du vol des adultes	970
Fin de la ponte	1210
Fin du vol des adultes	1535

Tableau 17. Articles de références pour le modèle phénologique du scarabée japonais

Références pour la date du début du vol des adultes	Degrés-jours
Iowa State University (Hodgson, 2018)	572
University of Wisconsin-Extension (Williamson, 2013)	555
Michigan State University Extension (Davis et Smitley, 2007)	528
Régnière, 1981 (Régnière et al., 1981) (données de laboratoire, Caroline du Nord)	580
Moyenne calculée en Montérégie de 2010 à 2016 (n=14)	573

Phénologie du tarsonème du fraisier

Pour le modèle de degrés-jours développé pour le tarsonème du fraisier, la température de base est de 10°C et le début des calculs de degrés-jours est la reprise de végétation du fraisier (Tellier et al., 2018). Le modèle est présenté dans le tableau 18. Actuellement ce modèle est théorique et n'a jamais été validé avec des observations du terrain.

Tableau 18. Modèle phénologique du tarsonème du fraisier (température de base de 10°C, début des calculs = début végétation du modèle phénologique du fraisier Jewel, méthode de calcul sinus simple)

Stades	Degrés-jours
Nymphes de la 1 ^{re} génération	53
Adultes de la 1 ^{re} génération	123
Nymphes de la 2 ^e génération	176
Adultes de la 2 ^e génération	246
Nymphes de la 3 ^e génération	299
Adultes de la 3 ^e génération	369
...	...
Adultes de la 11 ^e génération	1353

Anthracnose

L'équation du modèle développé pour prédire les risques d'infection (Launay et al., 2014) est la suivante :

$$\text{ClimInfeR}(h) = 1 - \exp(-f(T) \cdot A(LWD)^B)$$

$\text{ClimInfeR}(h)$ représente le taux d'infection de la maladie à l'heure h en fonction du nombre d'heures de mouillure du feuillage (LWD) et d'une fonction de température $f(T)$. Le paramètre A

est un taux intrinsèque de développement et le paramètre B est la portion de la période de mouillure durant laquelle la réponse ralentit.

Pour les analyses subséquentes, l'indice d'infection quotidien est défini comme la valeur maximale des dernières 24 heures, soit entre midi et midi. La durée de la période de mouillure et la température moyenne durant cette période sont déjà considérées dans les calculs du taux horaire d'infection. La durée de mouillure est calculée avec le nombre d'heures à une humidité relative supérieur à 90%. Les précipitations journalières sont transformées en précipitation horaire à l'aide d'une équation qui estime le nombre d'heures de précipitations pour une journée (Nombre d'heures = f (quantité de pluie)) et elles sont ensuite distribuées dans la journée à partir d'une heure de départ aléatoire. Le modèle de Launay ne prend pas en compte les interruptions de mouillure. Cette décision s'avère adéquate dans un contexte de changement climatique étant donné qu'il est encore très difficile de prédire des précipitations quotidiennes sur une base horaire pour le climat futur étant donné qu'on ne connaît pas les patrons de précipitations du futur.

4.4.5 Analyse des impacts en combinant les modèles bioclimatiques et les scénarios de changement climatique

Les dates présentées dans les sections suivantes font référence aux sites sélectionnés pour la Montérégie et la Capitale-Nationale soit la ferme Denis Charbonneau et la ferme Léonce plante.

Culture de la framboise

Les changements climatiques auront un effet direct sur la culture de la framboise, pour l'horizon 2041-2070. Par exemple, pour la Montérégie et pour la région de la Capitale-Nationale, les scénarios projettent (Figure 26) que:

- Le débourrement sera devancé de 0 à 15 jours (Montérégie) et de 7 à 28 jours (Capitale-Nationale).
- La floraison sera devancée de 7 à 17 jours (Montérégie) et de 8 à 23 jours (Capitale-Nationale).
- La récolte sera devancée de 10 à 22 jours (Montérégie) et de 10 à 20 jours (Capitale-Nationale).

Durant la période de référence 1981-2010, la floraison du framboisier avait lieu deux semaines plus tard pour la région de la Capitale-Nationale (18 au 25 juin) que pour la région de la Montérégie (2 au 9 juin) (Figure 27). À l'horizon 2050, dans le cadre des scénarios de changement inférieurs et supérieurs, la floraison aura lieu respectivement une et deux semaines plus tard pour la région de la Montérégie (exemple avec le scénario supérieur : 18 mai au 24 mai) et la Capitale-Nationale (exemple avec le scénario supérieur : 25 mai au 1^{er} juin) (Figures 28 et 29).

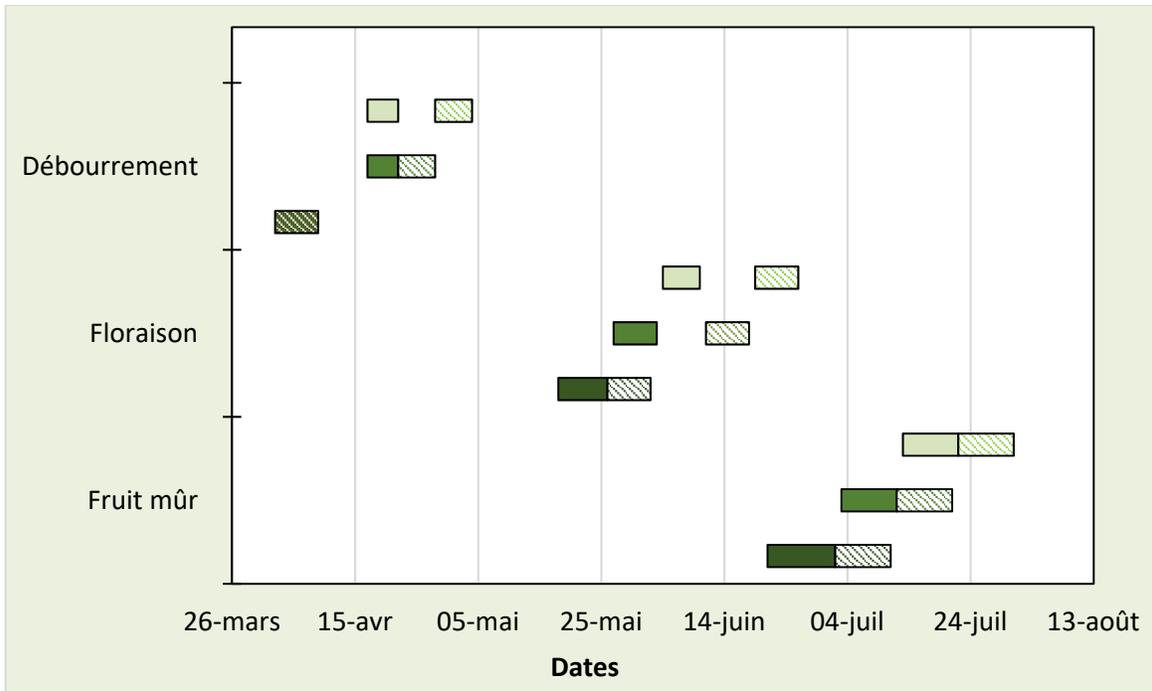


Figure 26. Dates moyennes d'apparition des différents stades phénologiques du framboisier pour la région de la Montérégie (couleur pleine) et de la Capitale-Nationale (couleur hachurée) pour la période de référence (1981-2010), le scénario de changement inférieur (2041-2070) et le scénario de changement supérieur (2041-2070)

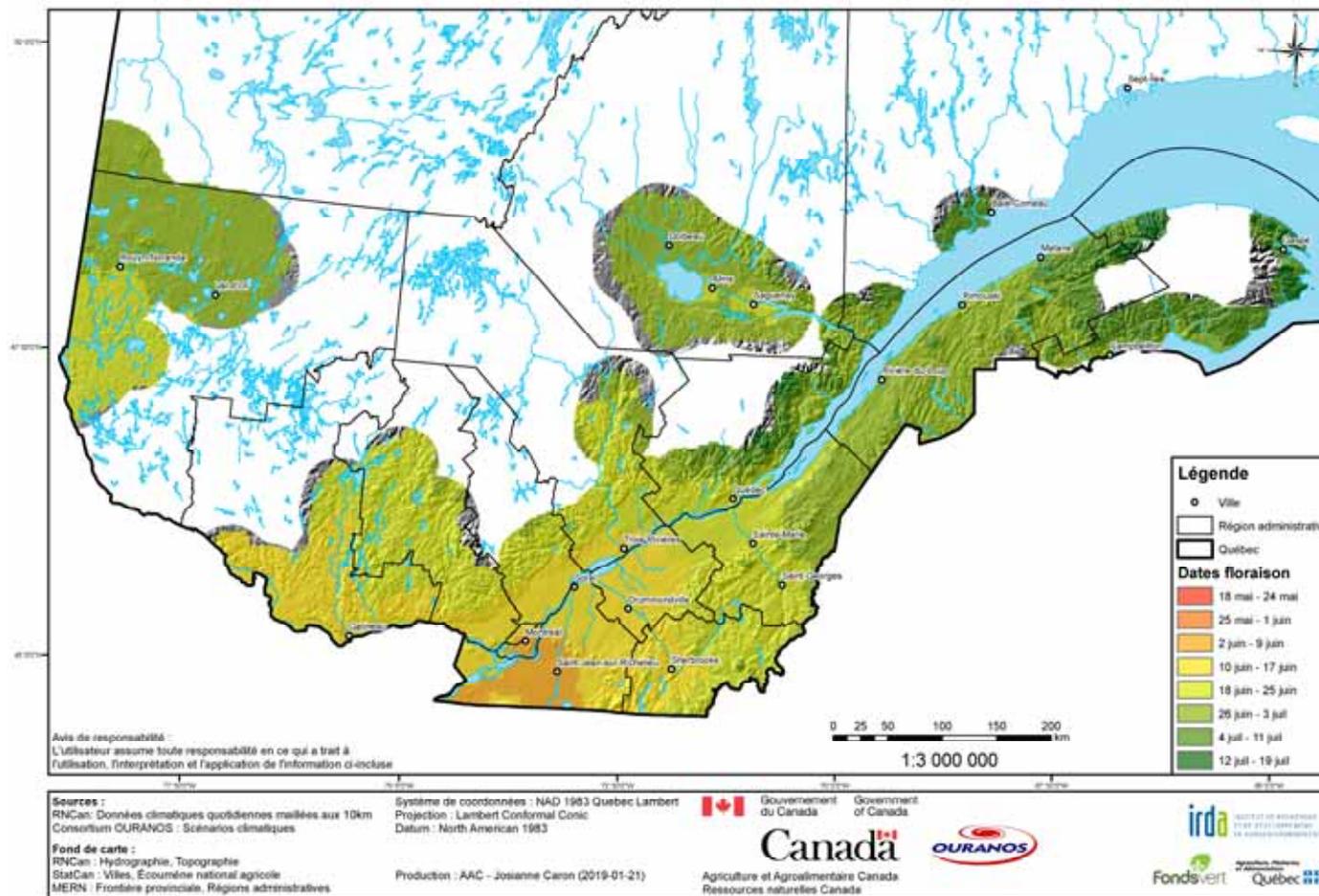


Figure 27. Dates moyennes d'apparition du stade pleine floraison (BBCH 65) chez le framboisier basées sur la période (1981-2010)

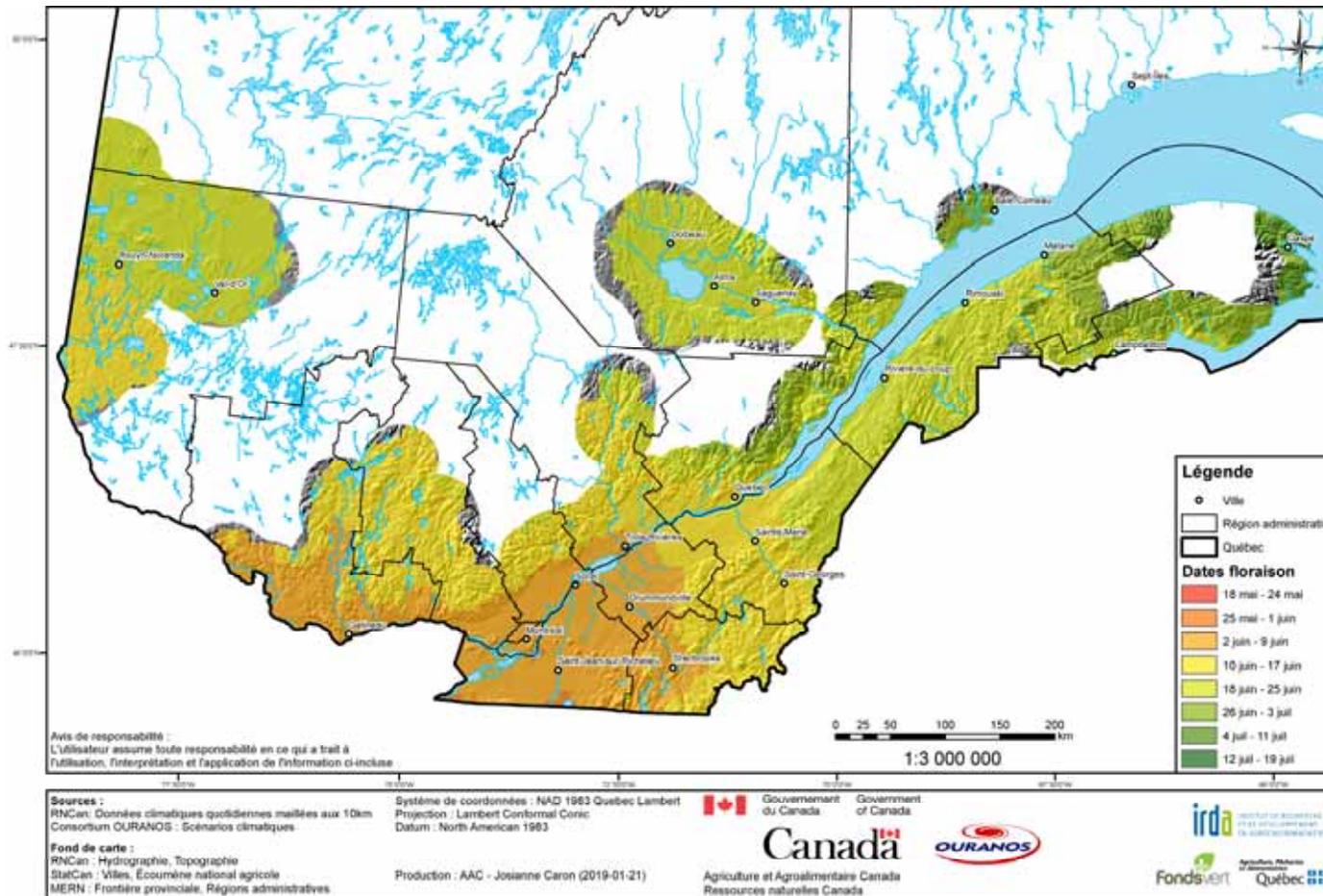


Figure 28. Dates moyennes d'apparition du stade pleine floraison (BBCH 65) chez le framboisier selon le scénario de changement inférieur (2041-2070)

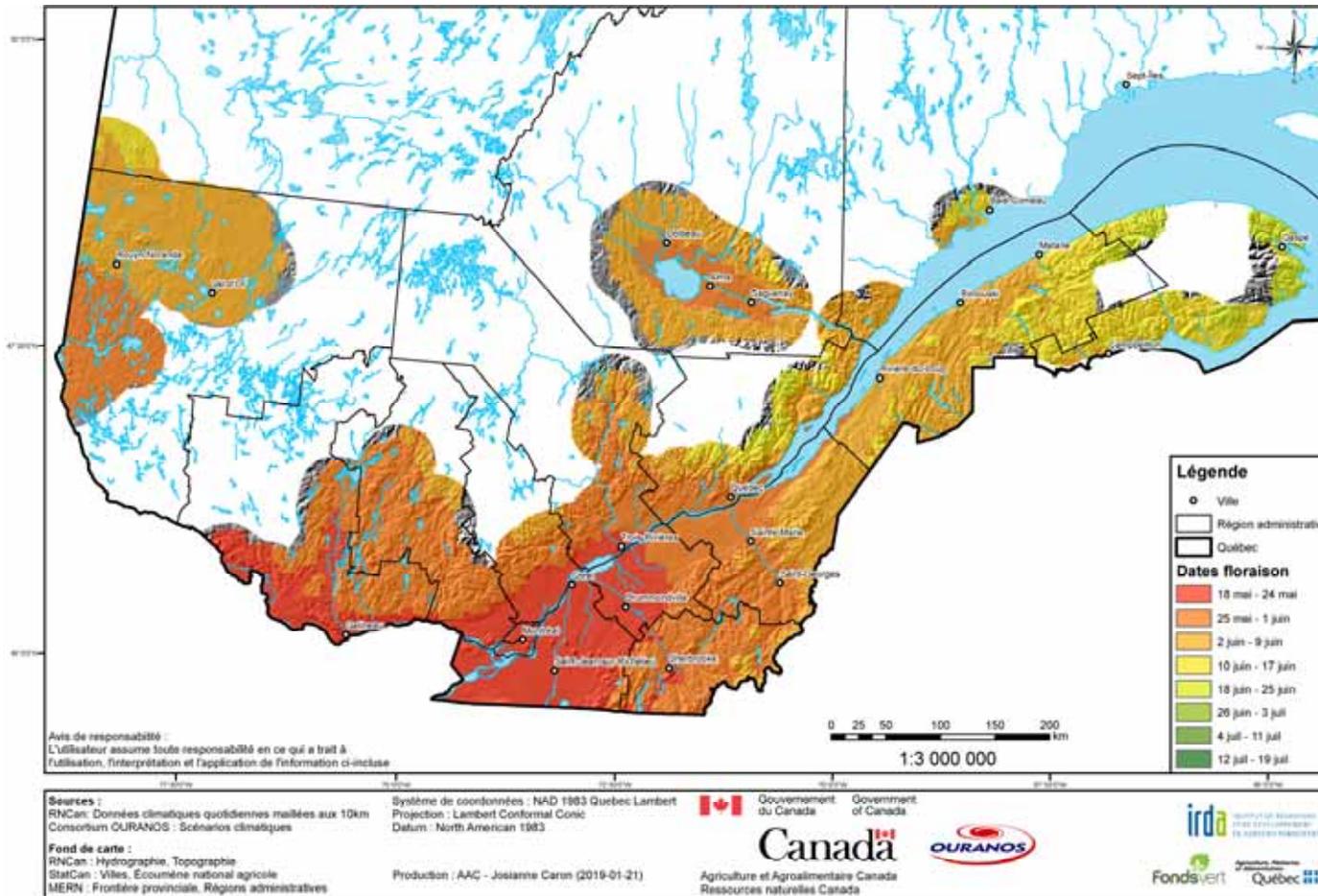


Figure 29. Dates moyennes d'apparition du stade pleine floraison (BBCH 65) chez le framboisier selon le scénario de changement supérieur (2041-2070)

Culture du fraisier

Les changements climatiques auront un effet direct sur la fraise et permettront de devancer certains types de production plus tardifs. Cependant, pour ce qui est de la variété Jewel, les premiers stades phénologiques seront devancés de très peu à l'horizon 2050. Par exemple, pour la Montérégie et la Capitale-Nationale, les scénarios projettent (Figure 30) que :

- Le début de la végétation, la floraison et le stade fruit vert seront devancés de 0 à 16 jours.
- Le stade fruit mûr pourrait être devancé de 8 à 17 jours.

Les tendances sont les mêmes pour les autres régions du Québec. La date de floraison du fraisier de variété Jewel pour la période de référence (1981-2010) est du 28 mai au 04 juin pour la Montérégie et du 5 juin au 11 juin pour la Capitale nationale (Figure 31). Les dates projetées par le scénario de changement inférieur pour la période 1941-2050 pour la Montérégie se situent entre le 21 mai et le 27 mai et pour la région de la Capitale nationale entre le 28 mai et le 4 juin (Figure 32). Les dates projetées pour le scénario de changement supérieur se situent entre le 6 et le 12 mai pour la Montérégie et entre le 13 et le 20 mai pour la Capitale nationale (Figure 33).

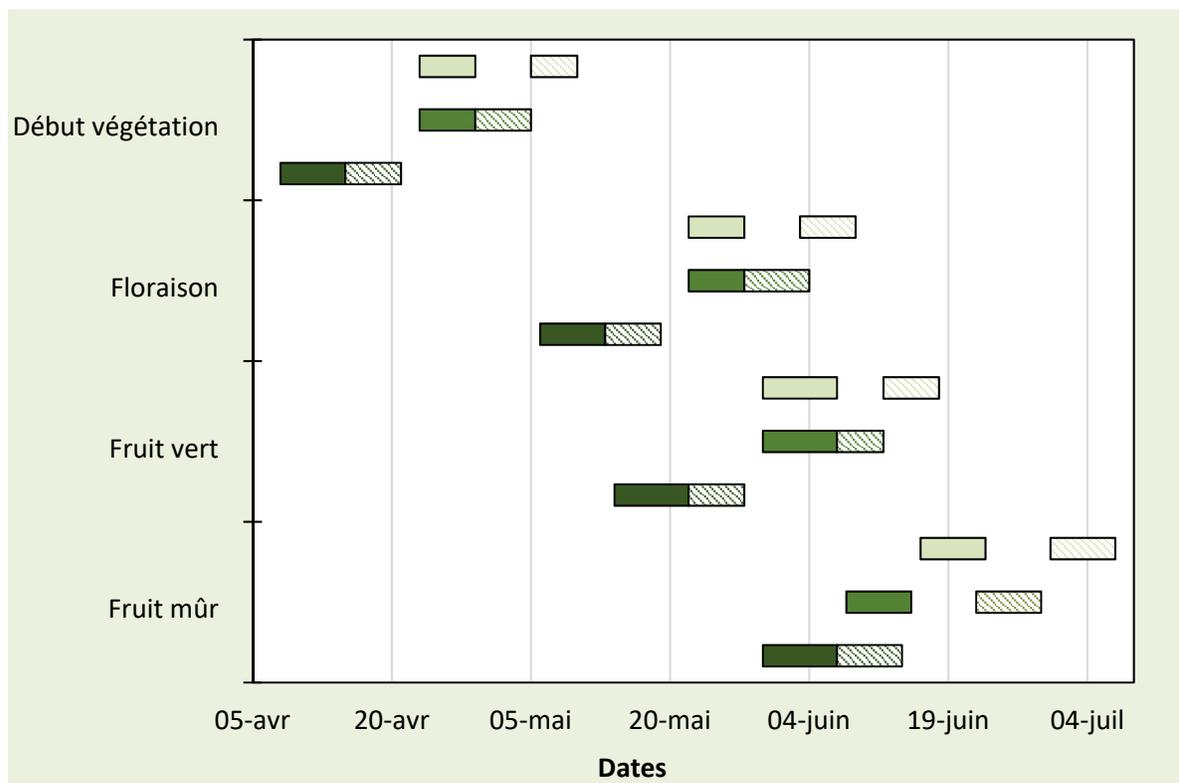


Figure 30. Dates moyennes d'apparition des différents stades phénologiques du fraisier pour la région de la Montérégie (couleur pleine) et de la Capitale-Nationale (couleur hachurée) pour la période de référence (1981-2010), le scénario de changement inférieur (2041-2070) et le scénario de changement supérieur (2041-2070)

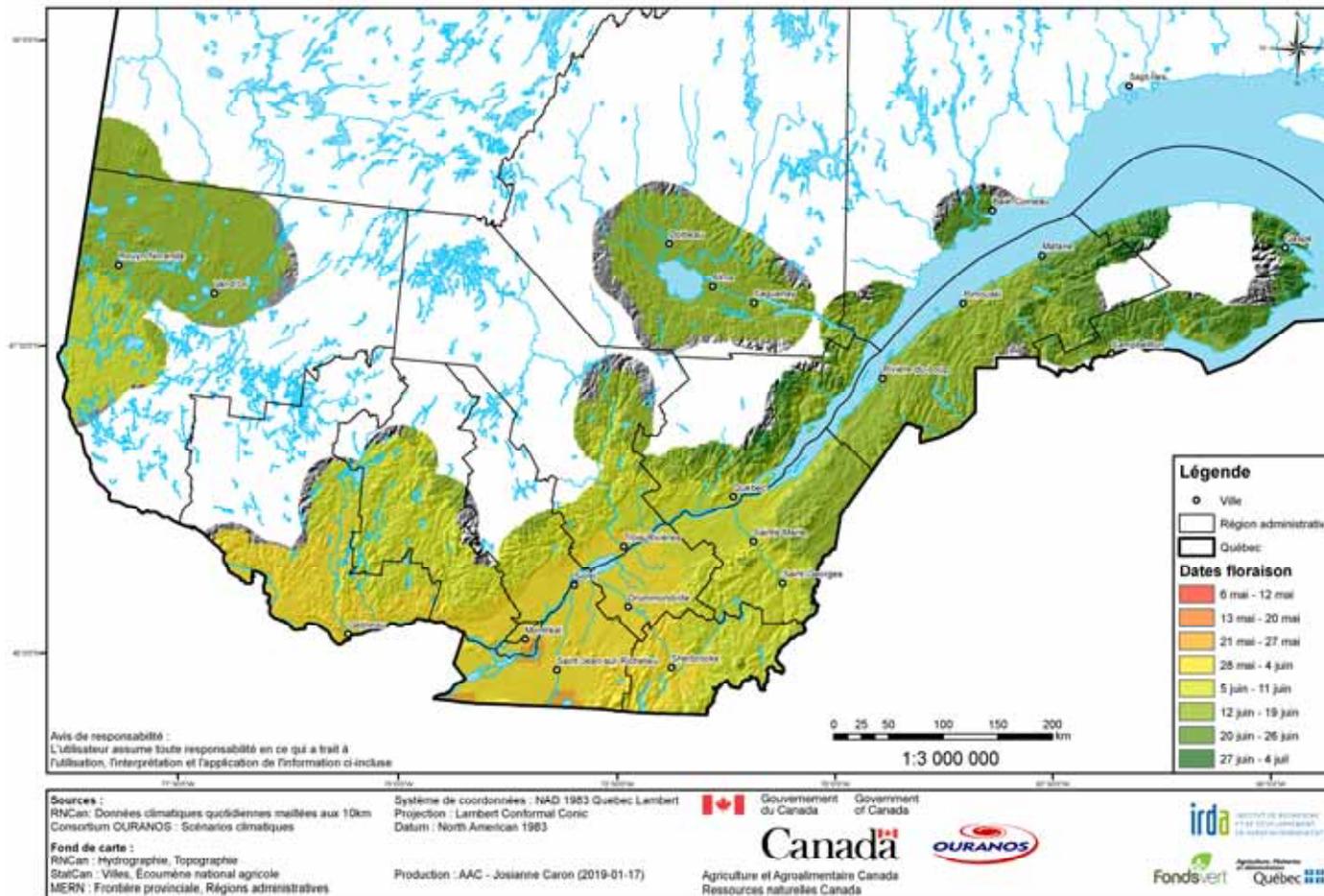


Figure 31. Dates moyennes d'apparition du stade pleine floraison (BBCH 65) chez le fraisier basées sur la période (1981-2010)

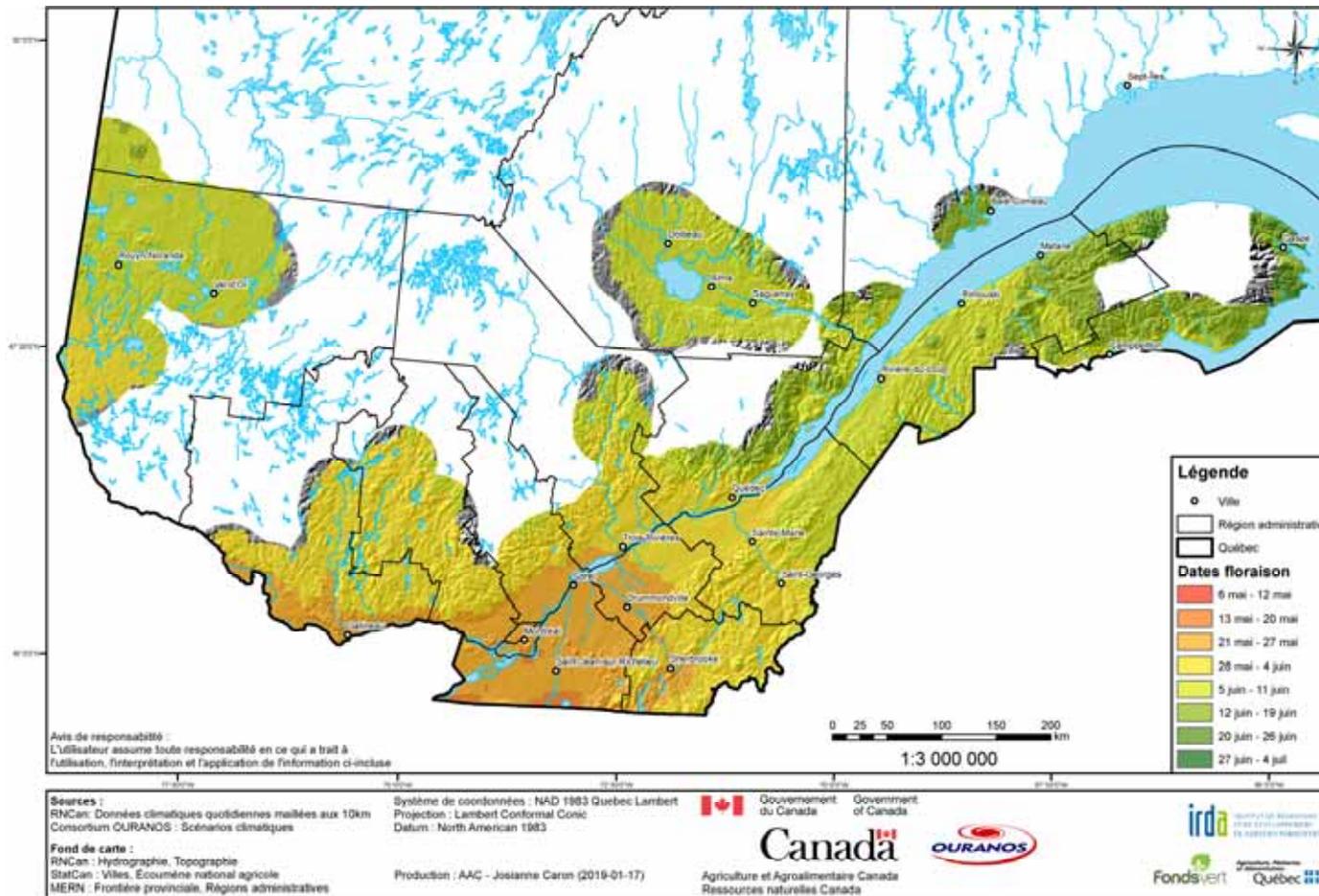


Figure 32. Dates moyennes d'apparition du stade pleine floraison (BBCH 65) chez le fraisier selon le scénario de changement inférieur (2041-2070)

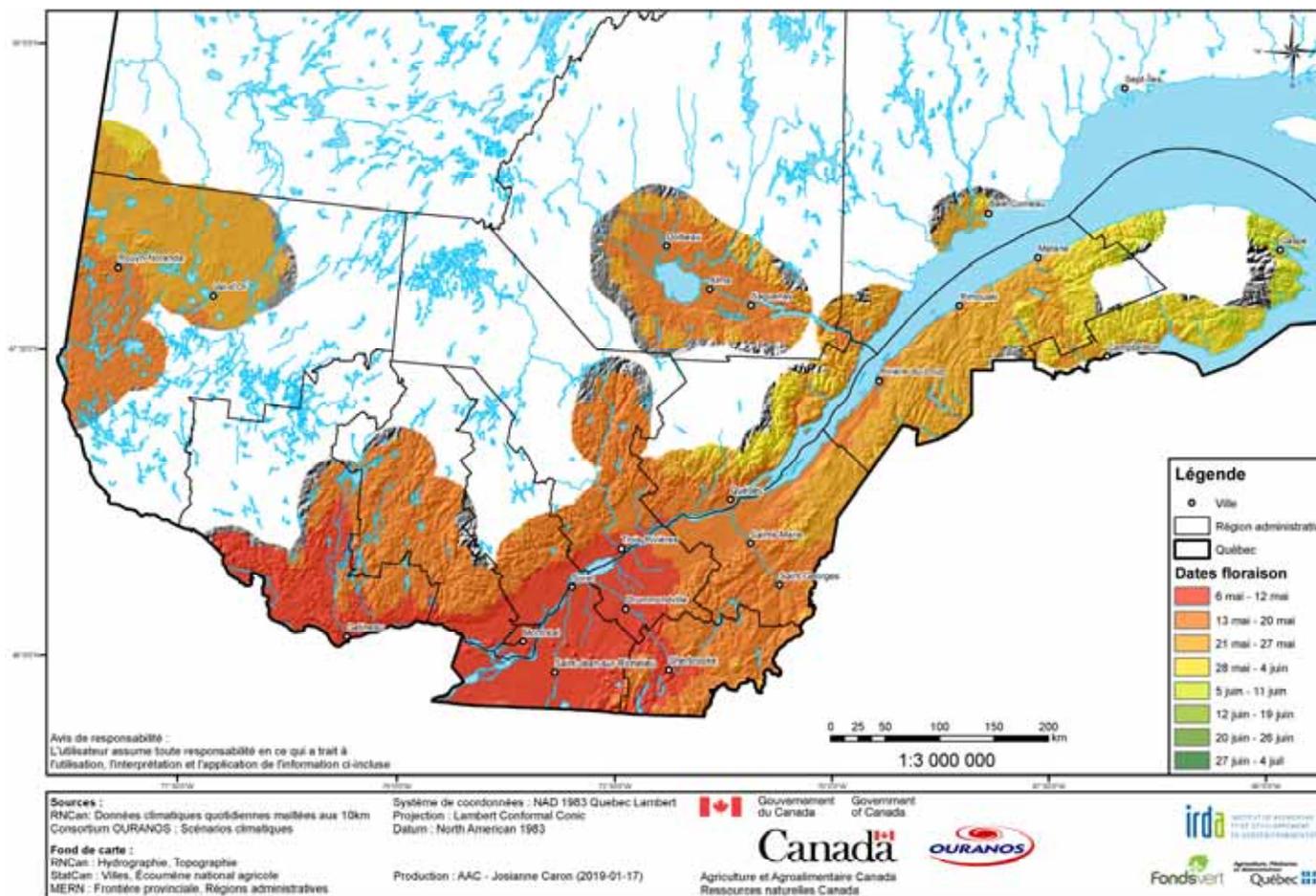


Figure 33. Dates moyennes d'apparition du stade pleine floraison (BBCH 65) chez le fraisier selon le scénario de changement supérieur (2041-2070)

Scarabée japonais

La date à laquelle les premiers adultes du scarabée japonais émergent pour la période de référence (1981-2010) se situe autour de la deuxième semaine de juillet. Leur arrivée coïncide avec la maturation du fruit chez le framboisier d'été et avec la rénovation du plant chez le fraisier d'été (coupe des feuilles après la fin des récoltes).

Les scénarios de changement projettent pour l'horizon 2050 (Figure 34) :

- L'arrivée des premiers scarabées japonais serait devancée de 11 à 23 jours pour la Montérégie et la Capitale nationale.
- Le début de la ponte serait devancé de 10 à 22 jours et la durée de cette dernière sera diminuée de moitié pour la Montérégie et la Capitale nationale.
- Le pic d'apparition des adultes serait devancé de 23 à 36 jours pour la Montérégie et 23 à 46 jours pour la Capitale nationale.

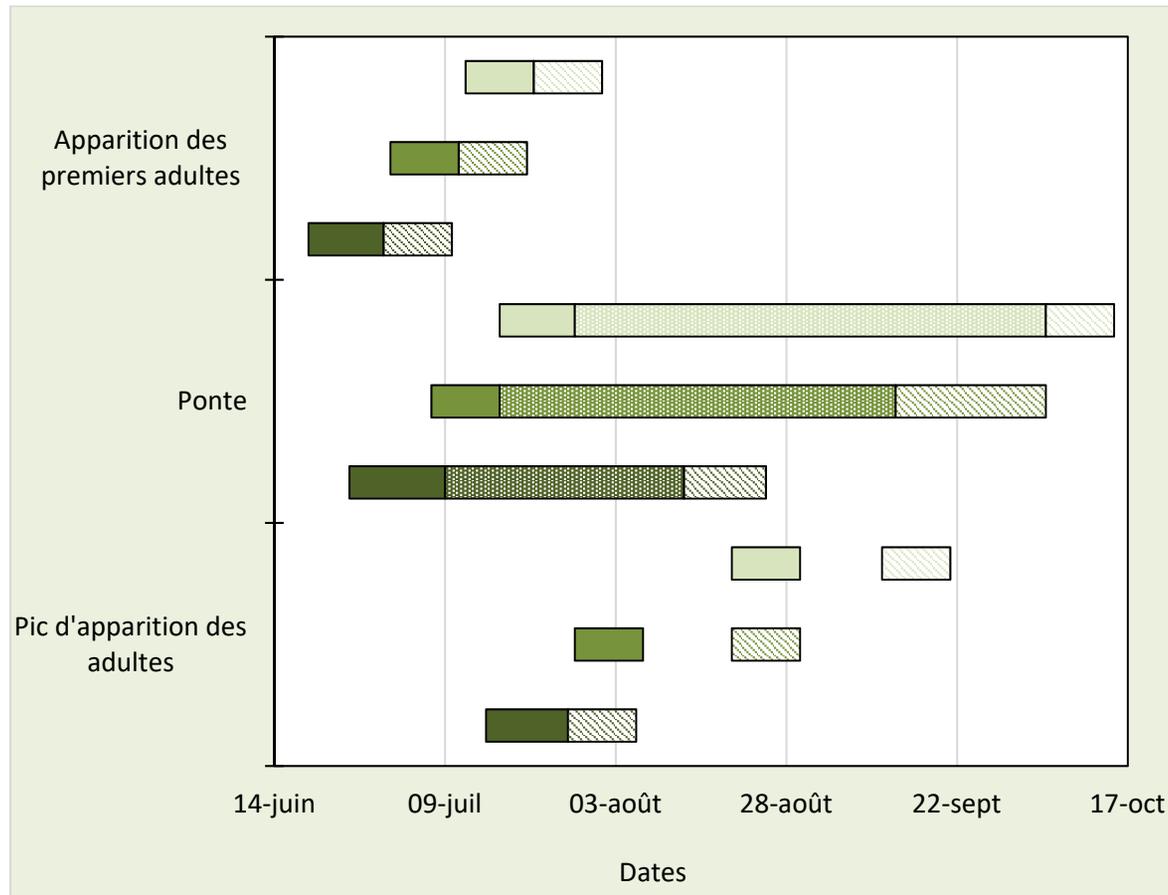


Figure 34. Dates moyennes d'apparition des différents stades phénologiques du scarabée japonais pour la région de la Montérégie (couleur pleine), de la Capitale Nationale (couleur hachurée) et chevauchement entre les deux régions (couleur pointillée) pour la période de référence (1981-2010), le scénario de changement inférieur (2041-2070) et le scénario de changement supérieur (2041-2070)

Au Québec, selon le modèle utilisé et élaboré avec les données d'une population de scarabées des États-Unis, nous n'avons actuellement pas un cumul de degrés-jours assez important pour permettre à toute la population de scarabée japonais d'émerger. Cette information est appuyée par la littérature scientifique qui indique qu'aux latitudes nordiques, une bonne partie de la population réalise son cycle sur deux années (Fleming, 1976). La distribution du scarabée japonais semble être limitée à des moyennes annuelles de température du sol de 17,5 °C à 27,5 °C en été et au-dessus de -9,4 °C en hiver (Fleming, 1976). Les populations actuelles de ce ravageur au Québec ne sont pas exposées à leurs conditions optimales. En effet, une bonne partie de la ponte se fait au mois de septembre au Québec et il a été démontré que les œufs pondus en septembre ne parviennent pas à l'éclosion (Fleming, 1976). De plus, les larves qui passent l'hiver au premier stade (œufs pondus tardivement) ont un taux de survie très faible (Fleming, 1976). Ainsi, la survie hivernale du scarabée japonais sera probablement améliorée avec les changements climatiques. Le devancement de la ponte ainsi que la diminution de la durée de cette dernière feront en sorte que pour la période 2041-2070, les cultures et les récoltes du mois de juillet seront certainement très affectées par la présence abondante du scarabée japonais.

En Montérégie, les premiers adultes du scarabée japonais émergent, pour la période de référence, entre le 11 juillet et le 21 juillet (Figure 35). Ces données concordent avec la date moyenne (12 juillet) calculée avec les données de capture recueillies entre 2010 et 2016 pour trois vignobles de la Montérégie. Pour cette même région, les scénarios de changement projettent pour la période 2041-2070 un devancement de la date d'apparition des adultes au 30 juin pour les changements inférieurs (Figure 36) et au 19 juin pour les changements supérieurs (Figure 37). Les figures indiquent que le scarabée pourrait s'observer dans la région de la Capitale nationale. Actuellement, quelques adultes ont déjà été observés dans cette région, mais de manière sporadique seulement. Les températures du sol en sont peut-être la cause. La distribution du scarabée japonais semble être limitée à des moyennes annuelles de température du sol de 17,5 °C à 27,5 °C en été et au-dessus de -9,4 °C en hiver (Fleming, 1976).

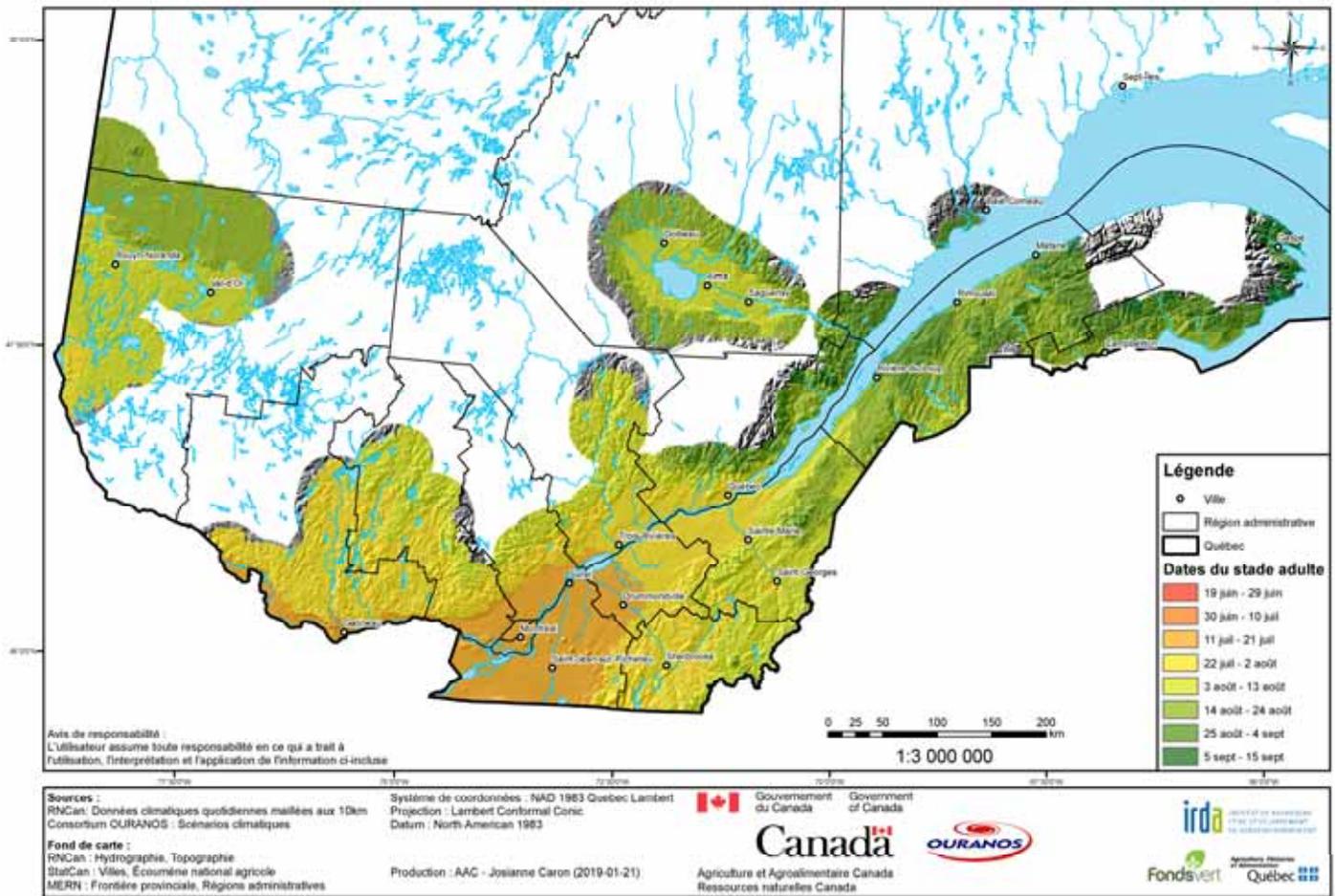


Figure 35. Dates moyennes d'apparition des adultes du scarabée japonais basée sur la période de référence (1981-2010)

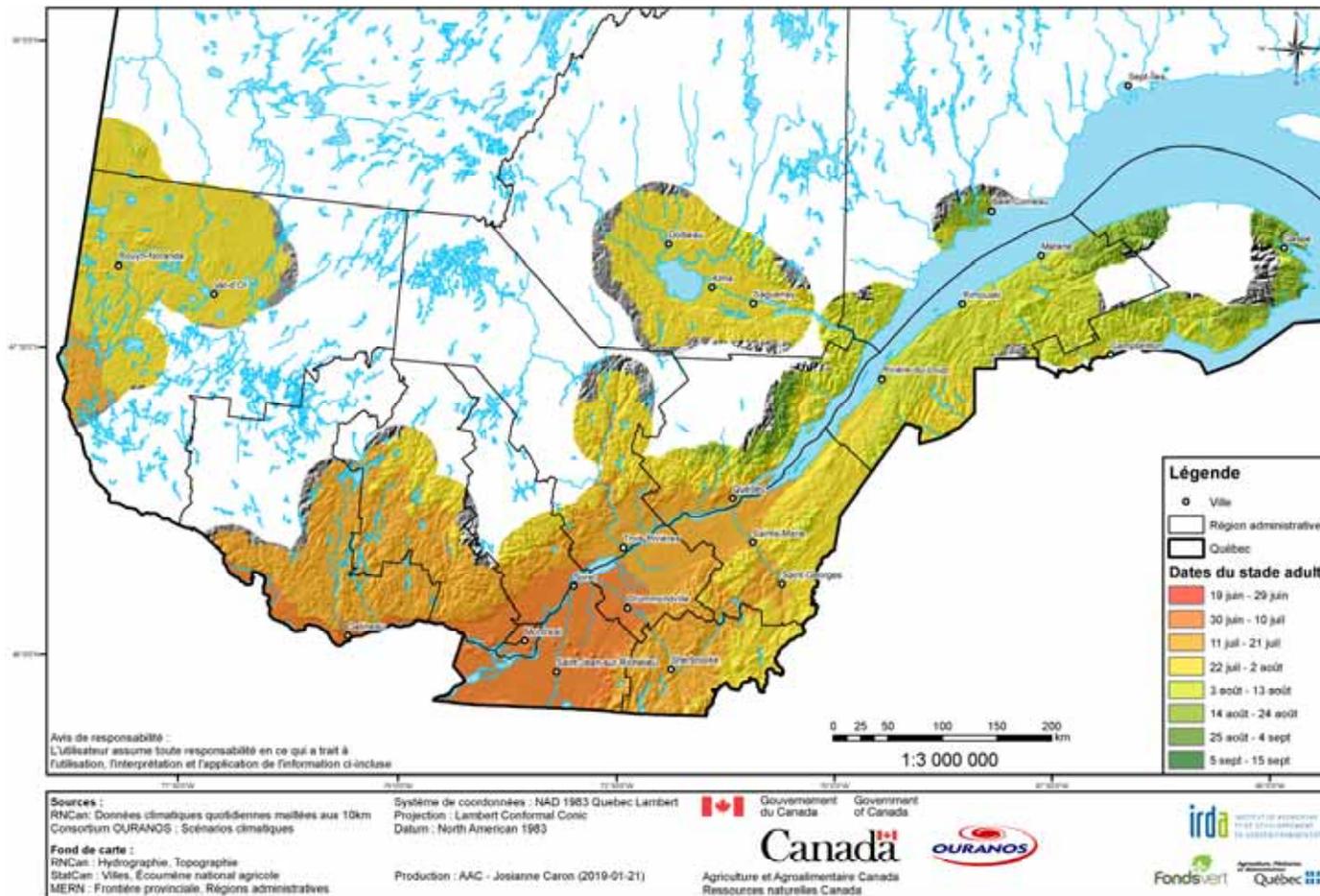


Figure 36. Dates moyennes d'apparition des adultes du scarabée japonais selon le scénario de changement inférieur (2041-2070)

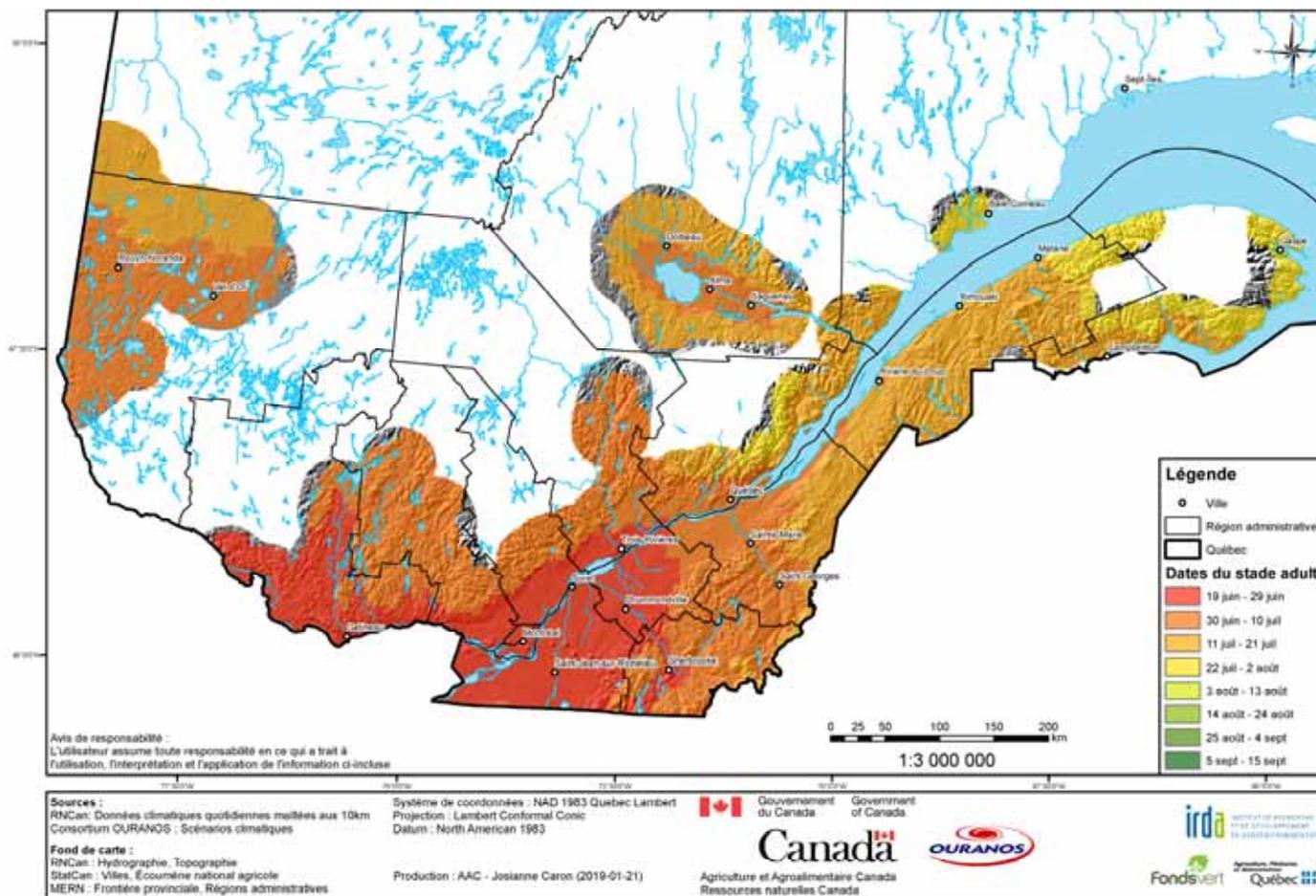


Figure 37. Dates moyennes d'apparition des adultes du scarabée japonais selon le scénario de changement supérieur (2041-2070)

Tarsonème du fraisier

Le tarsonème est une problématique importante et complexe dans la culture de fraise. Il est difficile à dépister et à atteindre lors des traitements phytosanitaires et peu d'informations sont connues sur la dynamique de ses populations. Comme il produit plusieurs générations par saison, l'impact des changements climatiques sur la pression exercée par ce ravageur a été étudié pour chaque mois de production de fraises estivales (Figure 38). Selon les scénarios climatiques, le nombre de générations complétées mensuellement va augmenter pour l'horizon 2050.

- Pour les mois de juillet et d'août, dans la région de la Montérégie, le tarsonème du fraisier pourrait compléter jusqu'à 3,5 générations comparativement à 2 – 2,5 générations pour la période de référence pour les mêmes mois.

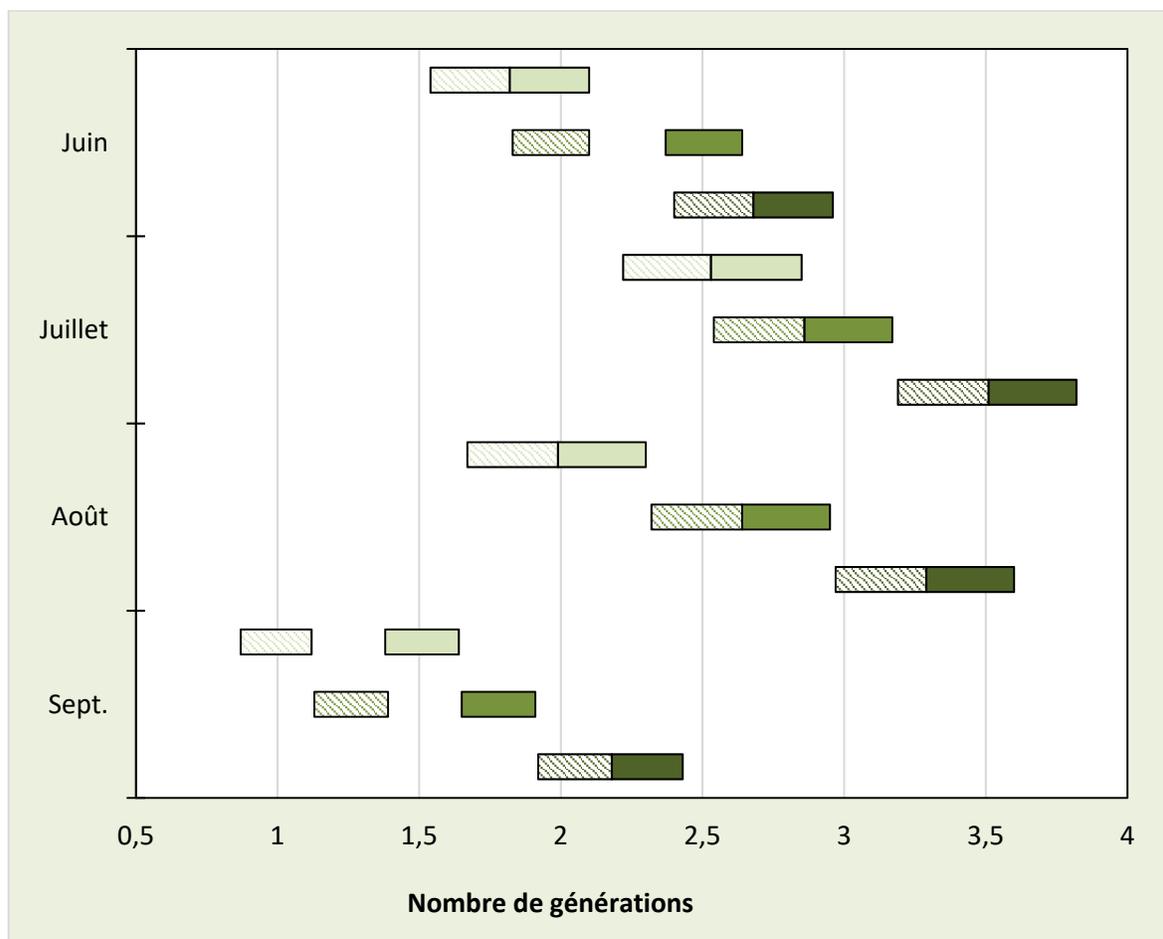


Figure 38. Nombre de générations mensuellement complétées par le tarsonème du fraisier durant la saison de croissance pour la région de la Montérégie (couleur pleine) et de la Capitale-Nationale (couleur hachurée) pour la période de référence (1981-2010), le scénario de changement inférieur (2041-2070) et le scénario de changement supérieur (2041-2070)

Les productions de fraises à jours neutres seront probablement très affectées par cette augmentation de générations. Les dates moyennes d'apparition des adultes de la première génération du tarsonème du fraisier pour la région de la Montérégie pour la période de référence sont du 23 mai au 30 mai (Figure 39). Pour la même région, les scénarios de changement projettent pour la période 2041-2070 un devancement de la date d'apparition des adultes jusqu'au 15 mai (Figure 40) pour les changements inférieurs et jusqu'au 7 mai pour les changements supérieurs (Figure 41).

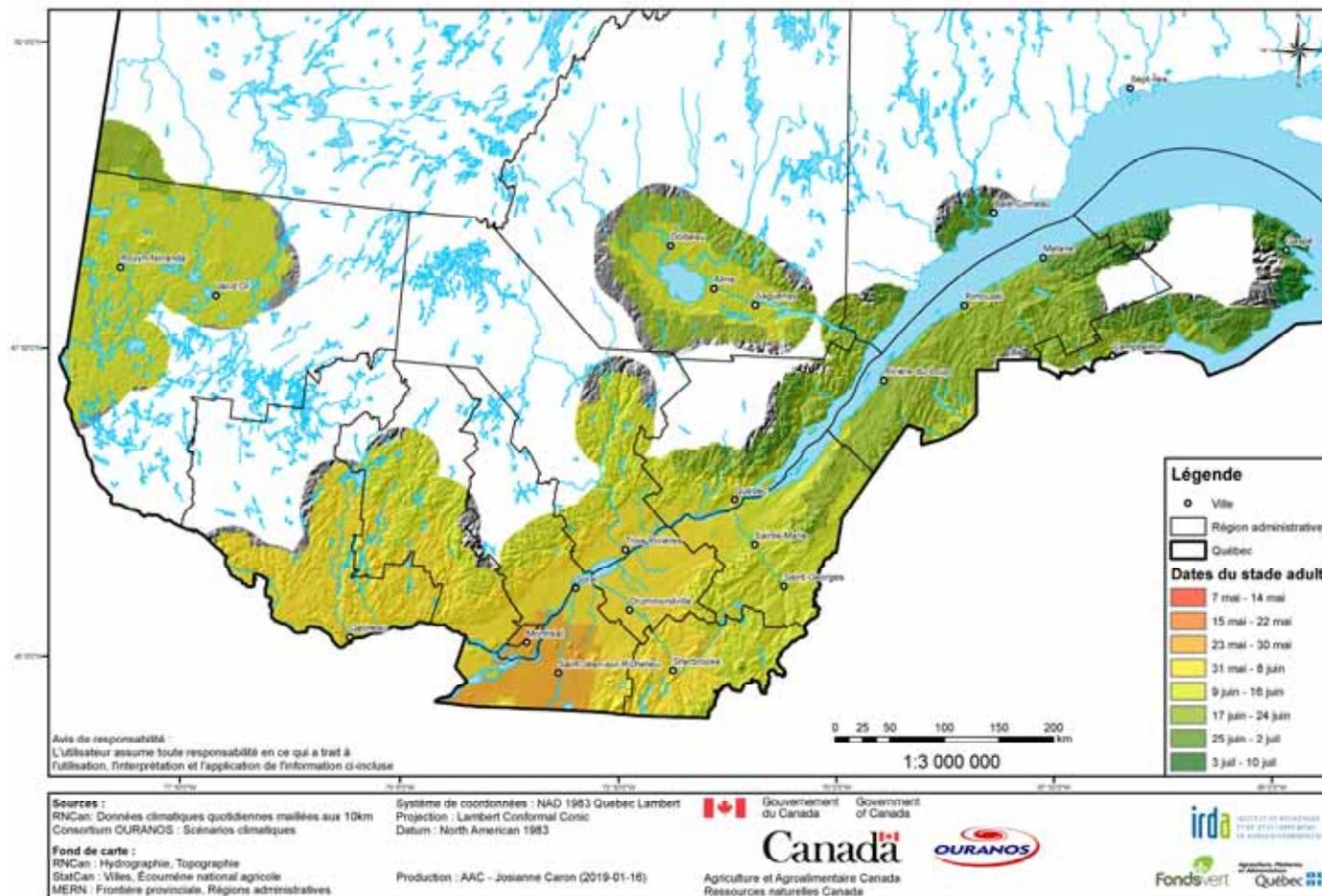


Figure 39. Dates moyennes d'apparition des adultes du tarsonème du fraisier de la première génération basée sur la période (1981-2010)

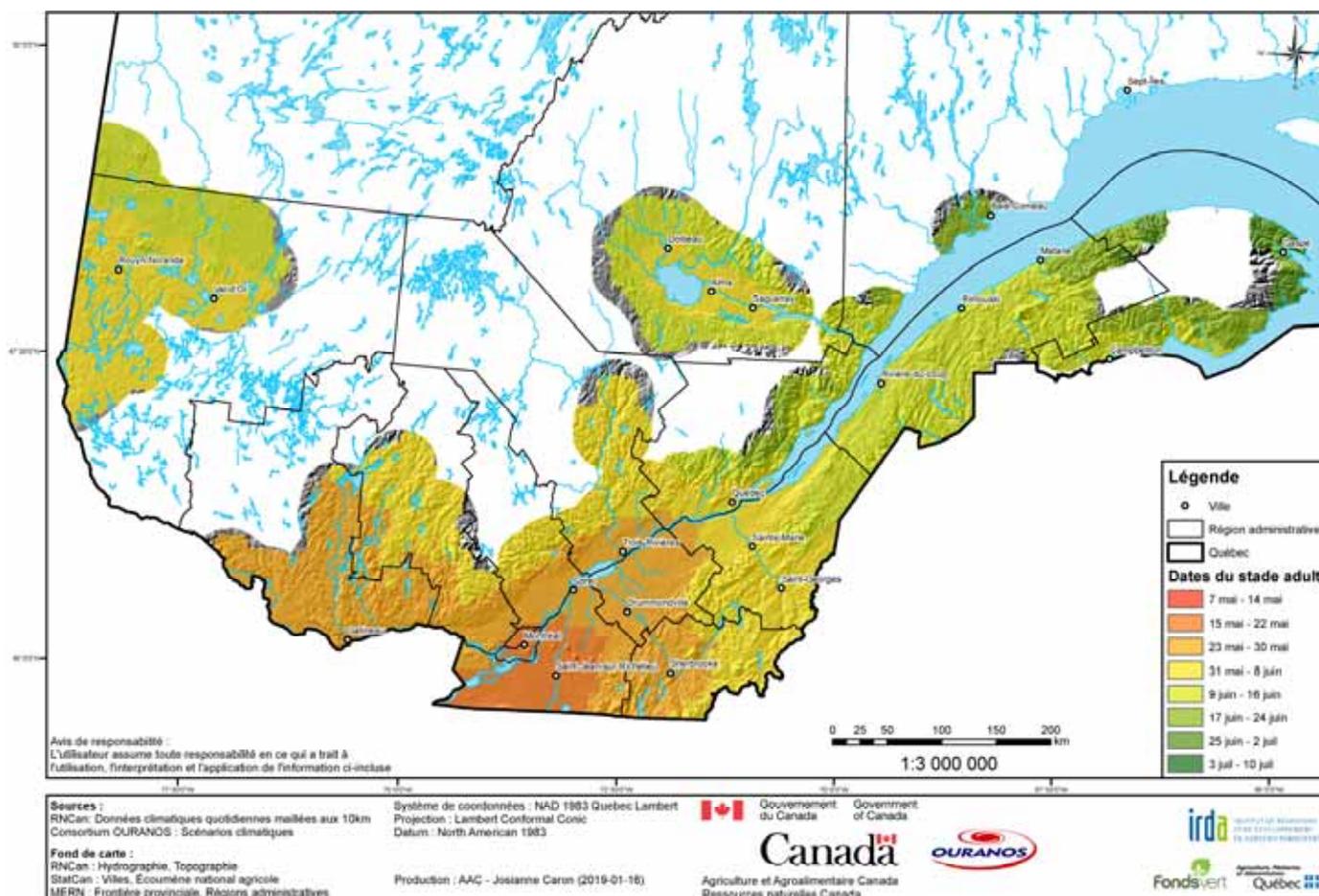


Figure 40. Dates moyennes d'apparition des adultes du tarsonème du fraiser de la première génération selon le scénario de changement inférieur (2041-2070)

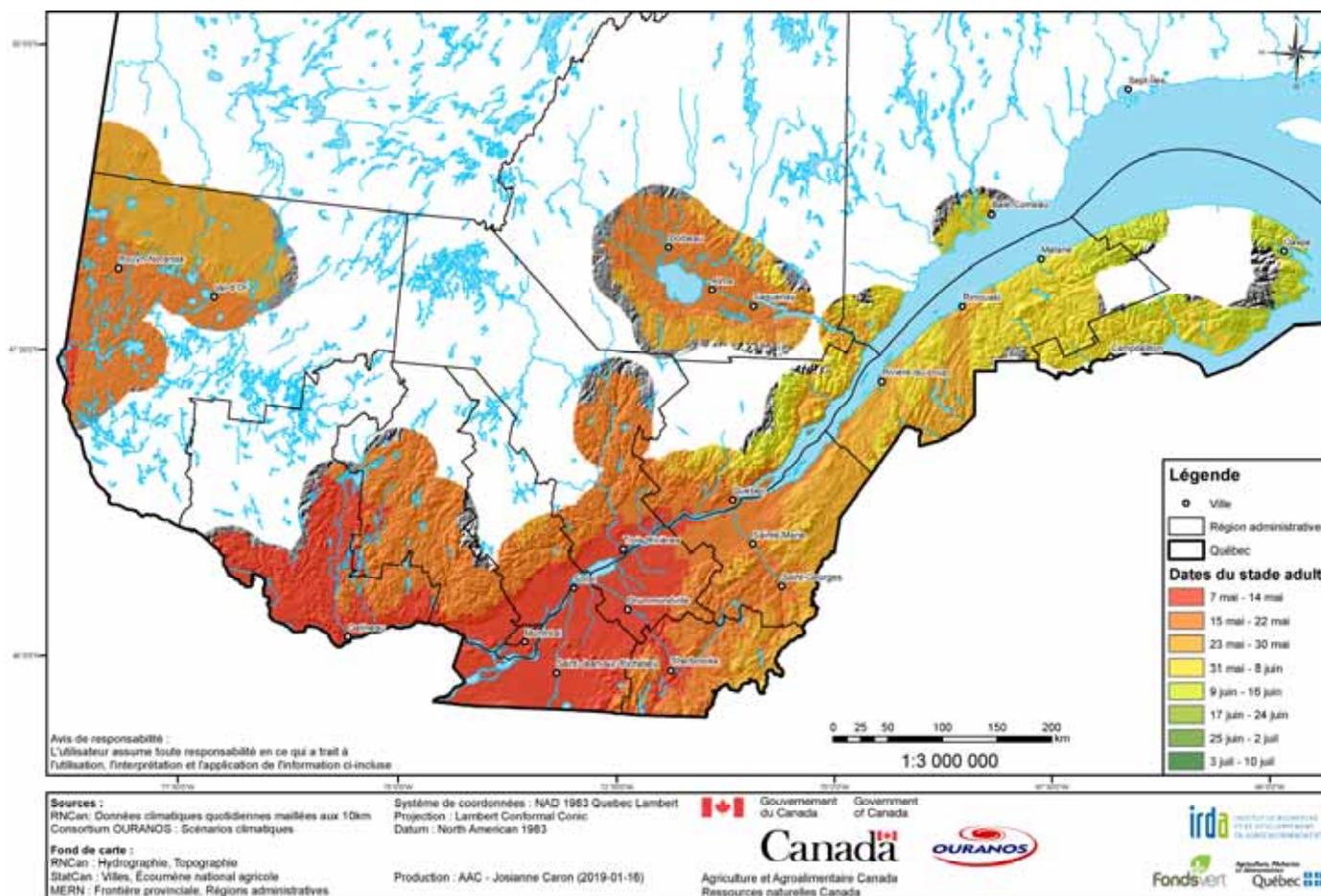


Figure 41. Dates moyennes d'apparition des adultes du tarsonème du fraiser de la première génération selon le scénario de changement supérieur (2041-2070)

Anthracnose

Le risque d'incidence d'anthracnose va augmenter pour l'horizon 2050 comparativement à la période de référence 1981-2010. Il sera supérieur durant les mois les plus chauds. Le modèle recommande qu'au-dessus d'un seuil de 0,15, des traitements fongicides soient appliqués. Les scénarios climatiques projettent (Tableau 19) que :

- Le nombre d'épisodes d'incidence serait sensiblement le même durant le mois de mai pour toutes les régions du Québec.
- Les mois de juin, juillet et août auraient deux à trois fois plus de journées avec un indice d'incidence supérieur à 0,15*.

Tableau 19. Nombre de jours avec un indice d'anthracnose > 0,15* pour la période de référence (1981-2010) et les scénarios de changement inférieur et supérieur combinés pour le futur (2041-2070) durant la saison de croissance (mai à septembre)

Mois**	Périodes	Régions			
		Montérégie	Capitale-National	Saguenay-Lac-Saint-Jean	Gaspésie
Mai	Référence	1	1	1	1
	Inférieur	1	1	1	1
	Supérieur	2	1	1	1
Juin	Référence	1	1	1	1
	Inférieur	4	2	1	1
	Supérieur	7	5	3	1
Juillet	Référence	5	3	3	1
	Inférieur	6	6	3	1
	Supérieur	10	9	6	4
Août	Référence	5	3	2	1
	Inférieur	6	4	3	1
	Supérieur	9	7	6	4
Septembre	Référence	3	2	1	1

	Inférieur	3	2	1	1
	Supérieur	7	6	3	1

*Le seuil 0.15 a été sélectionné à partir de la littérature. Il a été démontré qu'à partir de ce seuil, lorsque les conditions sont favorables à la croissance de *C. acutatum*, l'augmentation du risque de la maladie est drastique.

**Les résultats sont présentés par mois afin de répondre à la production de fraises au Québec qui se déroule durant toute la saison estivale selon les variétés utilisées.

4.4.6 Validation des impacts et mesures d'adaptation grâce aux analogues spatiaux

Comparaison entre la modélisation des stades phénologiques et la situation des ennemis dans les régions analogues

Pour chaque site de référence (voir tableau 7) et chaque espèce ayant une température de base différente (scarabée japonais et tarsonème du fraisier : température de base de 10°C, anthracnose : température de base de 6°C), une analyse des analogues spatiaux a été effectuée. Des exemples de cartes obtenues de l'Amérique du Nord et de l'Europe sont présentés pour les ravageurs avec une température de base de 10°C avec le site de référence en Montérégie. Ainsi, les régions analogues en Amérique du Nord pour le scarabée japonais/tarsonème du fraisier pour le site de référence de la ferme Denis Charbonneau (Montérégie) sont présentées à la figure 42 pour l'Amérique du Nord. Bien que l'analyse soit différente pour l'anthracnose, cette figure peut aussi être utilisée pour cette maladie puisque les régions analogues pour l'anthracnose (carte non présentée) sont très similaires à celles pour le scarabée japonais/tarsonème. Les régions analogues pour le scarabée japonais, le tarsonème du fraisier et l'anthracnose pour les autres sites de référence sont présentées dans le tableau 20 pour l'Amérique du Nord. La figure 43 représente les régions analogues de l'Europe pour les mêmes ravageurs avec le même site de référence. Le tableau 21 présente les régions analogues en Europe pour le scarabée japonais/tarsonème pour les différents sites de références et le tableau 22 présente les régions analogues en Europe pour l'anthracnose pour les différents sites de référence.

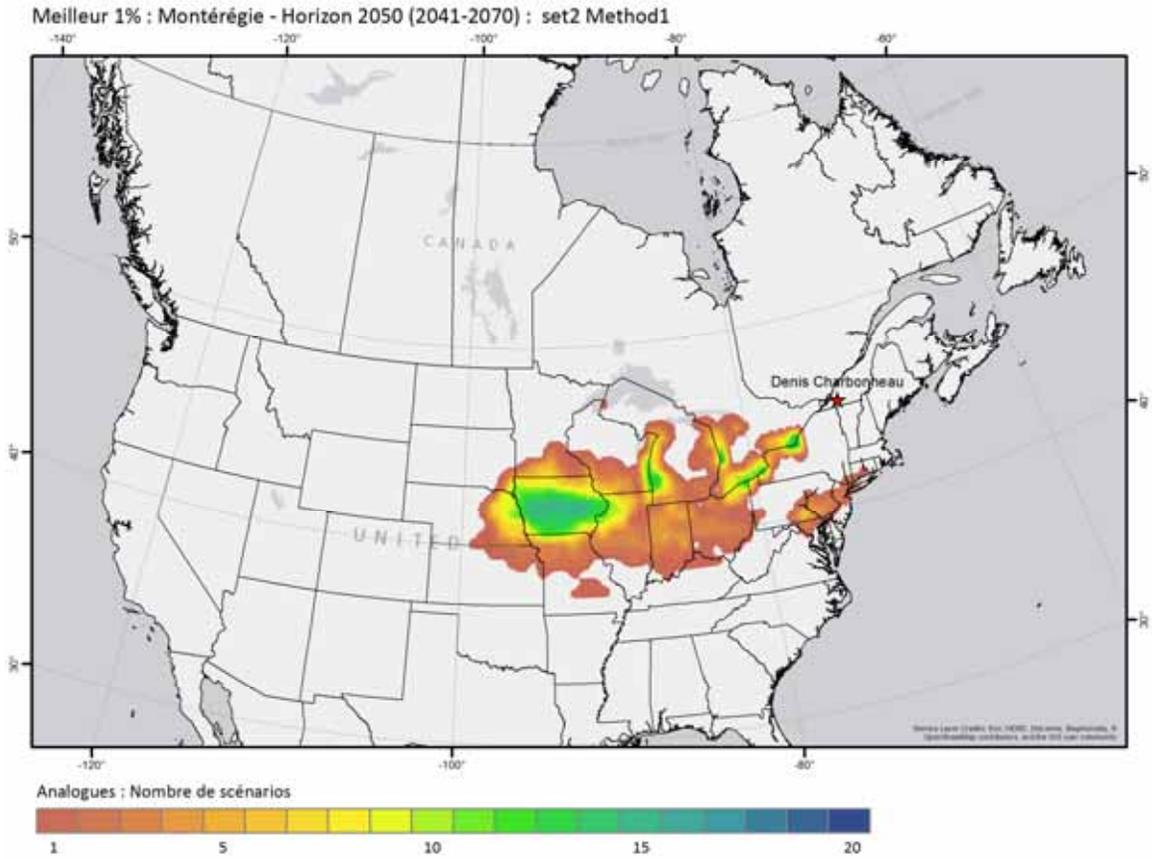


Figure 42. Analogues spatiaux des meilleurs 1% des points de grille MERRA pour le domaine (-131 à 35 ° E et 20 à 60°N) de l'Amérique du nord pour le climat futur (2041-2070) du site de référence de la Montérégie (Ferme Denis Charbonneau) pour le scarabée japonais et le tarsonème du fraisier

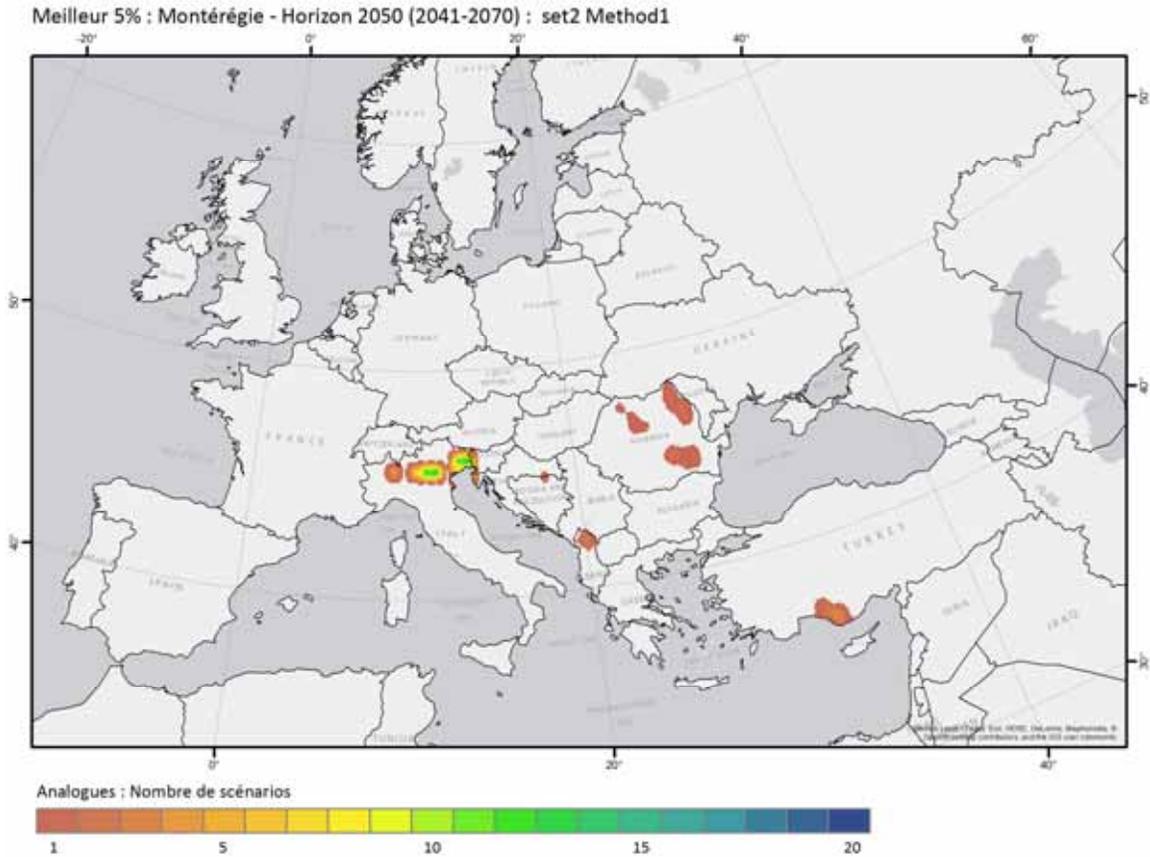


Figure 43. Analogues spatiaux des meilleurs 5% des points de grille MERRA pour le domaine (-131 à 35 ° E et 20 à 60°N) de l'Europe pour le climat futur (2041-2070) du site de référence de la Montérégie (Ferme Denis Charbonneau) pour le scarabée japonais et le tarsonème du fraisier

Tableau 20. 1% des meilleurs analogues en Amérique de Nord selon la région de référence pour le scarabée japonais, le tarsonème du fraisier et l'antracnose

Montérégie	Québec	Saguenay	Gaspésie
Sud-Ontario	Sud-Ontario	Sud-Ontario	Sud-Ontario
South Dakota	Minnesota	Minnesota	Minnesota
South Dakota	Iowa	Wisconsin	Wisconsin
Minnesota	Wisconsin	Michigan	Michigan
Iowa	Michigan	New York	Vermont
Missouri	New York	Pennsylvanie	New Hampshire
Wisconsin	Pennsylvanie	Vermont	Maine
Illinois	Vermont	New Hampshire	
Michigan	New Hampshire	Maine	
Indiana	Maine	Massachusetts	
Ohio	Massachusetts		

New York	Connecticut		
	New Jersey		

Tableau 21. 5% des meilleurs analogues en Europe selon la région de référence pour le scarabée japonais et le tarsonème du fraisier

Montérégie	Québec	Saguenay	Gaspésie
Albanie	Bosnie-Herzégovine	Estonie	Biélorussie
Italie	Estonie	France	Estonie
Roumanie	Italie	Italie	Lettonie
Turquie	Roumanie	Lettonie	Lituanie
	Russie	Roumanie	Roumanie
	Serbie	Russie	Russie
	Slovénie	Suède	Suède
	Suède	Suisse	Ukraine
	Suisse	Ukraine	
	Ukraine		

Tableau 22. 5% des meilleurs analogues en Europe selon la région de référence pour l'antracnose

Montérégie	Québec	Saguenay	Gaspésie
Albanie	Allemagne	Autriche	Bosnie-Herzégovine
Croatie	Estonie	Bosnie-Herzégovine	Estonie
Grèce	France	Estonie	France
Hongrie	Italie	France	Italie
Italie	Pologne	Italie	Lettonie
Roumanie	Roumanie	Lettonie	Lituanie
Slovénie	Russie	Roumanie	Norvège
Turquie	Suède	Russie	Pologne
	Suisse	Serbie	Roumanie
	Ukraine	Slovénie	Russie
		Suède	Serbie
		Suisse	Suède
		Ukraine	Suisse
			Ukraine

Les régions analogues trouvées ont servi à comparer les résultats projetés (dates d'apparition des différents stades phénologiques des cultures et ravageurs, nombre de générations, dispersion des espèces) par les simulations climatiques avec les connaissances de ces régions par une revue de littérature approfondie ainsi que l'envoi d'un sondage. De plus, les méthodes de lutte utilisées dans ces régions analogues contre les espèces d'intérêts ont aussi été répertoriées.

Les dates d'apparition des adultes du scarabée japonais projetées à l'horizon 2050 ont été comparées avec les dates observées des régions analogues d'Amérique du Nord où le scarabée japonais est présent, et ces dernières sont similaires (Tableau 23). Par ailleurs, les dates d'apparition des adultes du scarabée japonais observées sont plus hâtives pour les régions analogues à la Montérégie que les dates observées dans les régions analogues à la Capitale-Nationale. Les dates d'apparition des adultes du scarabée japonais projetées à l'horizon 2050 n'ont pu être comparées avec les régions analogues en Europe, car le scarabée japonais n'est pas encore établi dans ces régions (EPPO, 2018).

Tableau 23. Vérification de la modélisation bioclimatique par les analogues spatiaux pour le scarabée japonais

Sites de référence	Date d'apparition des adultes
Montérégie (Ferme Denis Charbonneau) Modèle projection 2050	19 juin au 10 juillet
Capitale-Nationale (Ferme Léonce Plante) Modèle projection 2050	30 juin au 21 juillet
Régions analogues à la Montérégie	
Missouri, Indiana	Mi-juin à fin juin
Régions analogues à la Montérégie et à la Capitale nationale	
Michigan, Illinois, Iowa	Fin juin
Régions analogues à la Capitale nationale	
Minnesota, New York	Fin juin au début juillet
Massachusetts	Début juillet

Pour le tarsonème, nous n'avons pu comparer les dates d'arrivée des adultes de la première génération entre les régions analogues et celles projetées au Québec en 2050 puisqu'elle semble difficile à estimer. En effet, les premiers tarsonèmes sont bien cachés dans le cœur du plant et sont difficilement observables en début de saison sans faire un dépistage destructif. Le nombre de générations observé dans les analogues est très variable, il se situe entre 3 et 9. Selon nos scénarios, nous pourrions observer jusqu'à 9 générations en Montérégie.

Méthodes de lutte dans les régions analogues

Scarabée japonais

Les méthodes de lutte utilisées contre le scarabée japonais dans les régions analogues en Amérique du Nord sont nombreuses (Tableau 24). Le piégeage aux phéromones comme méthode de dépistage est très efficace (Knodel et al., 2017), alors que le piégeage aux phéromones comme méthode de lutte semble donner des résultats contradictoires (Carter Gordon et Potter, 1985; Gordon et Potter, 1986) (Tableau 11). Le piégeage de masse ne semble pas recommandé comme méthode de lutte, à moins d'avoir une faible population et un nombre élevé de pièges. Il a été

observé que les pièges attirent 25% plus de scarabées sans toutefois les attraper (Knodel et al., 2017). Certaines femelles auraient de la difficulté à localiser de façon précise le piège et se poseraient dans ces environs. Le contrôle biologique est aussi utilisé dans les régions analogues. Il peut se faire contre les larves à l'aide de nématodes entomophages (*Heterorhabditis bacteriophora*). La période de traitement devrait coïncider avec la fin de la période de vol des adultes (Knodel et al., 2017). L'utilisation de bactéries (Milky spore disease) est aussi utilisée contre le scarabée japonais. Les larves deviennent infestées lorsqu'elles ingèrent la bactérie (*Paenibacillus popilliae*). Par contre, il semblerait que les populations de cette bactérie n'arrivent pas à persister dans le sol (Potter et Held, 2002) et auraient une efficacité à long terme de seulement 5% (Cranshaw, 2018). Aussi, deux espèces de guêpes parasitoïdes (*Tiphia vernalis* et *Tiphia popilliavora*) ont démontré de bons résultats dans le contrôle du scarabée japonais. De plus, l'effet des pivoinés l'efficacité des larves de *Tiphia* spp. à parasiter a aussi été étudié. Ils ont démontré que 61% des larves étaient parasitées lorsque des pivoinés étaient plantés à proximité. Une mouche « *Istocheta aldrichi* » est aussi présente et parasite l'adulte (USDA, 2016). La modification de l'habitat par l'utilisation de plantes non attractives peut aider à contrôler le scarabée japonais. Par exemple, des plantes comme le chiendent pied-de-poule et le sarrasin dans les entre-rangs sont moins attractifs pour la ponte des femelles (Szendrei et Isaacs, 2005; Wood et al., 2009). Le contrôle de l'irrigation est aussi une méthode de lutte contre les larves (Potter et al., 1996) puisque les œufs ont besoin d'humidité pour se développer. Le contrôle des adultes avec des insecticides est difficile. Les applications doivent se faire à répétitions dues aux migrations de ces derniers (Jones, 2009). Il est ainsi recommandé de traiter les larves.

Tableau 24. Méthodes de lutte contre le scarabée japonais répertoriées dans les régions analogues en Amérique du Nord à l'aide de revue de littérature et d'un sondage envoyé aux spécialistes des régions analogues

Méthodes de lutte	Revue de littérature	Sondage
Dépistage		
Visuel	x	x
Piège à phéromone	x	x
Échantillonnage aléatoire des larves	x	x
Contrôle biologique		
Guêpes parasitoïdes (<i>Tiphia vernalis</i> et <i>Tiphia popilliavora</i>)	x	x
Mouche parasitoïde (<i>Istocheta aldrichi</i>)	x	
Bactérie (<i>Paenibacillus popilliae</i>)	x	x
Nématode (<i>Heterorhabditis bacteriophora</i>)	x	x
Piégeage de masse	x	
Cultures de couverture au sol	x	x
Plante trappe	x	
Gestion de l'irrigation	x	
Contrôle chimique		

Insecticide contre les larves	x	x
Deux à trois applications d'insecticides foliaires pour les adultes	x	x

La plus grande différence observée entre les méthodes de lutte contre le scarabée japonais des régions analogues et celles actuellement utilisées au Québec est le stade ciblé. Dans les régions analogues, contrairement au Québec, ils dépistent et luttent contre les larves. De plus, le scarabée japonais semble être très nuisible aux États-Unis (450 millions de dollars investis chaque année aux États-Unis) (Potter et Held, 2002). Récemment au Québec, nous avons observé des scarabées parasités par la mouche *Istocheta aldrichi*. Cette dernière pond ses œufs sur le thorax des scarabées. Un projet d'échantillonnage est en cours afin de déterminer la répartition de ce parasite ainsi que son taux de parasitisme (Gagnon, 2018).

Tarsonème du fraisier

Certaines méthodes de dépistage ont été élaborées dans les régions analogues pour lutter contre le tarsonème du fraisier (Tableau 25) (Isaacs, 2006; Pommier, 2017). Les méthodes préventives pour lutter contre ce ravageur sont sensiblement les mêmes que celles utilisées au Québec :

- Utilisation de plants sains
- Produire au maximum deux ans sur les mêmes plants
- Nettoyage de l'équipement et de la machinerie
- Destruction des résidus de culture

L'exposition des plants mères en chambre à atmosphère contrôlée (CATTS pour « Controlled Atmosphere Temperature Treatment System») est une méthode utilisée en Europe. Le principe est de faire subir aux plants durant une quarantaine d'heures dans une enceinte étanche, un traitement thermique (T° comprises entre 35 et 40°C) en condition d'air humidifié (>90 % HR) et en atmosphère enrichie en CO₂ (50 %) et appauvrie en O₂ (10 %). Cette méthode a été développée aux Pays-Bas comme alternative au bromure de méthyle pour assainir les plants de base. Elle fut constamment améliorée depuis les 10 dernières années et présente une efficacité supérieure à 99,5 % pour réprimer le tarsonème et autres ravageurs (nématodes et thrips). De plus, cette méthode aurait aussi des effets sur certaines maladies qui peuvent survivre dans le cœur des plants (Kruistum et al., 2015; Verschoor et al., 2015). L'étude des cultivars plus résistants aux attaques de tarsonème a été réalisé en Europe (Łabanowska 2004). Les cultivars 'Redgauntlet', 'Dukat', 'Marmolada', 'Senga' et 'Sengana' sont ceux les moins infestés.

Certains répondants au sondage ont dit utiliser une méthode de dépistage de l'acarien sur la nouvelle pousse. Leur seuil d'intervention serait d'un tarsonème sur 10 feuilles. L'utilisation de prédateurs (*Neoseiulus cucumeris*, *Neoseiulus fallacis* ou *Amblyseius swirski*) est aussi une méthode courante dans les régions analogues et semble bien fonctionner (Pellitteri, 2005; Tuovinen et Lindqvist, 2010; Pommier, 2017).

Tableau 25. Méthodes de lutte contre le tarsonème du fraisier répertoriées dans les régions analogues à l'aide de revue de littérature et d'un sondage envoyé aux spécialistes des régions analogues

Méthodes de lutte	Revue de littérature	Sondage
Dépistage		
Visuel symptôme	x	x
Dépistage sur nouvelle feuille	x	x
Préventif		
Équipements et machineries nettoyés	x	
Destruction des résidus de cultures infestées	x	
Planter des plants sains	x	x
Maximum de 2 années de production	x	
Traitement des plants mères en préventif	x	x
Contrôle biologique		
Prédateurs (<i>Neoseiulus cucumeris</i> , <i>Neoseiulus fallacis</i> ou <i>Amblyseius swirski</i> , <i>Anthoseius rhenanus</i>)	x	x
Cultivars moins sensibles	x	
Contrôle chimique		
Insecticides (abamectine, diazinon, fenpyroximate, spirotétramate)	x	x
Contrôle amélioré avec un bon volume d'eau (400 gal/acre d'eau)	x	

Anthracnose

Les méthodes de lutte utilisées dans les régions analogues en Amérique du Nord contre l'anthracnose sont sensiblement les mêmes que les méthodes utilisées au Québec. L'utilisation de méthodes préventives telles l'irrigation goutte à goutte et l'utilisation de plants sains est courante (Madeiras, 2014; Louws et al., 2014; Ellis et Erincik, 2016). L'utilisation de cultivars résistants tels que « Pelican » et « Sweet Charlie » est aussi une méthode suggérée (Madeiras, 2014). Pour diminuer la croissance du champignon, il est recommandé de garder la concentration en azote du sol au minimum des besoins. De plus, afin de limiter la dispersion du champignon, il est recommandé de commencer le travail au champ par les régions saines et de finir par les régions infestées et de ne pas travailler lorsque les plants sont mouillés (Louws et al., 2014). Par contre, la principale méthode de lutte est l'utilisation de fongicides. Puisque les températures sont plus élevées dans les régions analogues, le risque d'infection est aussi plus élevé. Ces différences avec le Québec s'observent surtout au niveau de l'application plus fréquente des produits chimiques. Certaines études ont démontré l'efficacité des modèles prévisionnels afin de diminuer le nombre de traitements (MacKenzie et Peres, 2012). Certains répondants au sondage

ont mentionné utiliser ces modèles prévisionnels pour effectuer leurs traitements (ces modèles sont différents du modèle développé dans notre étude). De plus, dans les régions analogues, les intervenants semblent très préoccupés par la résistance et prennent des mesures de prévention (profil de résistance, alternance des produits) (Southeast Regional Strawberry Integrated Pest Management Guide 2019, UC IPM Guidelines for anthracnose on strawberry, Midwest fruit pest management guide 2018) (Tableau 26).

Tableau 26. Méthodes de lutte contre l’antracnose répertoriées dans les régions analogues à l’aide de revue de littérature et d’un sondage envoyé aux spécialistes des régions analogues

Méthodes de lutte	Revue de littérature	Sondage
Dépistage		
Symptômes	x	x
Préventif		
Irrigation goutte à goutte	x	x
Aucun déplacement lorsque mouillé	x	x
Plants sains	x	x
Diminution de la fertilisation pour diminuer surface foliaire et la croissance	x	x
Cultivars résistants	x	
Contrôle chimique		
Fongicides avec modèles de prédiction ou à systématiquement à chaque semaine	x	x

4.5 ÉTUDES DE CAS POUR LA POMME

4.5.1 Carpocapse de la pomme

Le carpocapse de la pomme, *Cydia pomonella* (Linneaus) (Lepidoptera : Tortricidae) (Figure 44), est un des principaux ennemis de la pomme qui sera probablement affecté par les changements climatiques (Firlej et al., Non publié). La durée d'une génération de *C. pomonella* varie d'environ un à deux mois, selon les conditions environnementales (MAAARO 2008). Le premier adulte fait habituellement son apparition vers la chute des pétales du pommier. Après l'accouplement, les femelles peuvent pondre plus d'une centaine d'œufs sur des fruits en nouaison ou sur des feuilles (Isley, 1938). Les larves endommagent les fruits en laissant des piqûres sur la peau à l'endroit où elles ont pénétré dans le fruit, en creusant des galeries dans le fruit et en se nourrissant de la chair et des pépins, ce qui amène une grave détérioration des tissus internes (MAAARO 2008). Les fruits dans lesquels les larves ont creusé une longue galerie avortent avant la cueillette, tandis que ceux qui n'ont subi que des dommages superficiels peuvent rester sur la branche jusqu'à la cueillette. Les chenilles du carpocapse passent leurs cinq stades larvaires à l'intérieur des fruits (University of Massachusetts Amherst, 2019). Lorsque la larve a terminé son développement après 3 à 4 semaines, elle sort du fruit pour tisser son cocon sur l'écorce de l'arbre. Une certaine proportion de la population de la première génération restera au stade larvaire jusqu'à l'année suivante. Le

reste de la population de la première génération formera une chrysalide et se développera en papillon de deuxième génération (MAAARO, 2008). Les larves diapausantes hivernent au 5^e stade dans un hibernaculum et les papillons sortent de leur chrysalide au printemps suivant (Figure 45). Les adultes ont un grand potentiel de migration et peuvent voler sur une distance de 15 kilomètres (Pszczolkowski et Brown, 2005).



Figure 44. Carpacse de la pomme (Crédit photo : F. Vanoosthuysse)

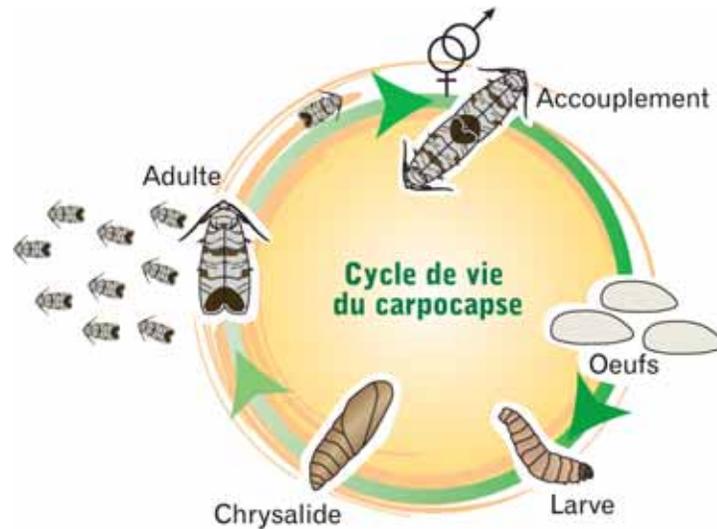


Figure 45. Schéma du cycle biologique du carpocapse de la pomme (Crédit photo : F. Vanoosthuysse)

4.5.2 Punaise marbrée

La punaise marbrée, *Hyalomorpha halys* (Stål) (Hemiptera : Pentatominae) (Figure 46), est une punaise de grande taille qui mesure environ 17 mm de long. Les œufs sont regroupés en masse d'environ 28 œufs. De couleur vert pâle, ils deviennent jaune translucide avant l'éclosion (Légaré et al., 2014). Les larves de la punaise marbrée mesurent, en fonction de leur stade, entre 5 et 12 mm. Les stades larvaires 1 et 2 sont orangés et tachetés de noir, alors que les stades larvaires 3 à 5 présentent une coloration brun-rougeâtre (Kehrli et al., 2018). Les adultes sont d'une couleur

brun marbrée, densément marquée de points sombres (Chouinard et al., 2018). Sur la marge de leur abdomen alternent des bandes foncées et claires. Les larves et les adultes percent l'épiderme des feuilles ou des fruits pour se nourrir; les tissus attaqués présentent des taches de succion ou flétrissent. On observe aussi des décolorations et déformations sur les fruits (Kehrli et al., 2018). Les adultes sont très mobiles et changent fréquemment de plantes hôtes en fonction de l'état de maturité de celles-ci. Ils ont donc un pouvoir de dispersion important et peuvent rapidement coloniser une nouvelle culture et la quitter presque immédiatement (Kehrli et al., 2018). C'est le stade adulte qui passe l'hiver dans les milieux protégés et habitations. Cette espèce exotique a fait son entrée au Québec en 2008 et en 2010. Depuis ce temps, elle a été observée en milieu urbain et à quelques reprises en milieu naturel et elle est fort probablement établie sur l'île de Montréal (Chouinard et al., 2018). Cet insecte très polyphage se retrouve dans les vergers du Mid-Atlantique des États-Unis et a entraîné des pertes de plus de 37 millions en 2010 (Herrick, 2011).

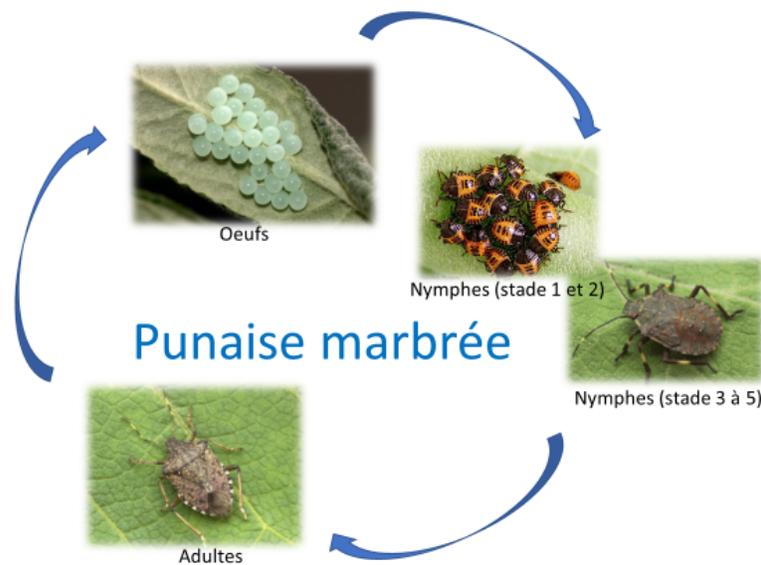


Figure 46. Schéma du cycle biologique de la punaise marbrée (Crédit photo : œuf : Kim Hoelmer (USDA), larves 1 et 2 : George Hamilton (RUTGERS University), larves 3 à 5 et adultes : ((Tiré de IRIIS phytoprotection ([http:// www. Iriisphytoprotection.qc.ca/](http://www.Iriisphytoprotection.qc.ca/)), [2019-06-10]))

4.5.3 Pourriture amère

Jusqu'à récemment, la pourriture amère sur les pommes était anecdotique au Québec et en Ontario (Figure 47) (Pillion 2015). Cette maladie est rare, mais peut décimer une récolte complète. La pourriture amère est causée par différentes espèces de champignons microscopiques appartenant au genre *Colletotrichum* qui sont regroupés à l'intérieur de deux complexes d'espèces : *C. acutatum* et *C. gloeosporioides* (Weir et al., 2012). Les conditions favorables à la sporulation de ce champignon sont les températures chaudes et humides (entre 20 et 30 °C, 80 à 100 % d'humidité relative) (University of Massachusetts Amherst, 2019). Les spores peuvent infecter les fruits en tout temps durant la nouaison. Les premiers symptômes à apparaître sont des petites taches grises, rougeâtres ou brunes (OMAFRA, 2016). Au fur et à

mesure que l'infection progresse, les lésions circulaires s'agrandissent et noircissent. À la surface des lésions, des cercles concentriques formés de petites structures appelées acervules apparaissent assez tôt pendant la progression de la maladie (Jones et Aldwinckle, 1990). Quand les conditions sont favorables, une masse gélatineuse rose-orangé est libérée par les acervules à la surface des fruits; il s'agit des spores. Ensuite, les lésions progressent vers le cœur de la pomme (Iriarte, 2009). Les spores hivernent dans les chancres, les fissures, les crevasses des branches, les pédoncules accrochés aux arbres, les bourgeons à fruit, les fruits tombés au sol ou momifiés et les feuilles mortes sur le sol (Phillion, 2015; PennState Extension, 2017).



Figure 47. Pourriture amère sur une pomme (Crédit photo : OMAFRA, 2016)

4.5.4 Brûlure bactérienne

La brûlure bactérienne est une maladie qui touche principalement les pommiers et les poiriers et elle est causée par la bactérie *E. amylovora* (Figure 48). Au printemps, quand les températures s'élèvent à plus de 18 °C, les chancres deviennent actifs et des gouttelettes renfermant une forte concentration de bactéries suintent des tissus infectés de l'écorce. Les bactéries présentes dans ce suintement peuvent être déplacées par des insectes ou les éclaboussures d'eau vers des fleurs épanouies et des pousses tendres en croissance. Au moment de la floraison, lorsque les conditions météorologiques sont favorables, les bactéries se multiplient rapidement et envahissent les tissus sensibles, ce qui donne lieu à des foyers d'infection et permet la propagation de la maladie. Une période prolongée de temps très chaud et pluvieux favorise la multiplication de l'agent pathogène et les infections, en plus d'encourager la croissance de tissus succulents sensibles (MAAARO, 2008). Le rameau infecté peut flétrir, brunir et se courber (MAPAQ, 2017). La croissance de ce pathogène est très lente sous 21°C et presque inexistante sous 10°C. Le taux de division augmente rapidement avec une croissance optimale autour de 27°C. Le nombre de colonies diminue pour des températures supérieures à 35°C (Pusey et Curry, 2004). Les bactéries survivent très bien à l'hiver québécois. Elles passent l'hiver exclusivement dans les hôtes infestés. Les chancres qui persistent à l'hiver sont les sources d'inoculum primaire les plus importantes pour la dissémination de la bactérie aux fleurs au printemps suivant (Schuster et Coyne, 1974).



Figure 48. Brûlure bactérienne sur pommier ((Tiré de IRIIS phytoprotection ([http:// www.Iriisphytoprotection.qc.ca/](http://www.Iriisphytoprotection.qc.ca/)), [2019-06-10])

4.5.5 Modélisation bioclimatique

Phénologie du pommier

Les stades phénologiques du pommier, selon l'échelle BBCH (**B**iologische **B**undesanstalt, **B**undessortenamt and **C**hemical industry) (Meier, 2006) et utilisés pour l'analyse de l'impact des changements climatiques sont présentés dans le tableau 27, ainsi que l'équivalence en degrés-jours base 5 pour la variété McIntosh.

Tableau 27. Modèle phénologique de la pomme McIntosh (température de base de 5°C, début des calculs 1^{er} mars, méthode de calcul sinus simple)

Stades (BBCH)	Degrés-jours
Débourrement (09)	79
Bouton rose avancée (59)	224
Calice (69)	313
Nouaison (71)	371

Phénologie du carpocapse de la pomme

Le nouveau modèle de degrés-jours développé pour le carpocapse de la pomme a été implanté dans CIPRA. Le tableau 28 présente tous les stades utilisés pour le projet.

Tableau 28. Modèle phénologique de degrés-jours du carpocapse de la pomme (température de base de 10°C, début des calculs 1^{er} mars, méthode de calcul sinus simple)

Stades phénologiques	Degrés-jours
1 ^{re} génération, 5% adultes	205
1 ^{re} génération, 50 % ponte	440
1 ^{re} génération, 5% larves stade 1-2	328
2 ^e génération, 5% adultes	818
2 ^e génération, 50 % ponte	1053
2 ^e génération, 5% larves stade 1-2	941
2 ^e génération, 95% larves stade 1-2	1466
2 ^e génération, 5% larves stade 3-5	1036
2 ^e génération, 95% larves stade 3-5	1691
2 ^e génération, 5% hibernaculum	1366
3 ^e génération, 5% adultes	1431

Selon l'équation trouvée par Riedl et al. (1976), la photopériode critique pour induire la diapause chez les larves du carpocapse au Québec (latitude 45°N) se situe entre 15,75 heures (21 juin) et 15,41 heures (11 juillet). Ainsi, si le cumul de degrés-jours est supérieur à 566 (température de base de 10°C) à ces dates, une deuxième génération sera possible (Riedl et al., 1976). Avec le réchauffement climatique, on s'attend à des adaptations de la photopériode critique par les populations locales (Stoekli et al., 2012). Ces adaptations ont déjà été observées chez le moustique *Wyeomyia smithii* entre les années 1970 et 2000. L'évolution de la photopériode critique est plus rapide dans les populations nordiques que dans les populations plus au sud. Une diminution de la photopériode critique correspondant à une baisse de 10 à 15 minutes (se traduisant par un devancement de 2 à 3 jours de la photopériode critique) par décennie a été observée (Bradshaw et Holzapfel, 2001). De plus, Garcia-Salazar et al. (1988) a observé chez le carpocapse, une diminution de la photopériode critique de 7,2 minutes pour une augmentation de 1°C durant la phase larvaire. Dans 30 ans, la photopériode critique pourrait être de 30 à 45 minutes plus courte soit de 15,134 heures (12 juillet) et 14,782 heures (1er août) (Bradshaw et Holzapfel, 2001).

Phénologie de la punaise marbrée

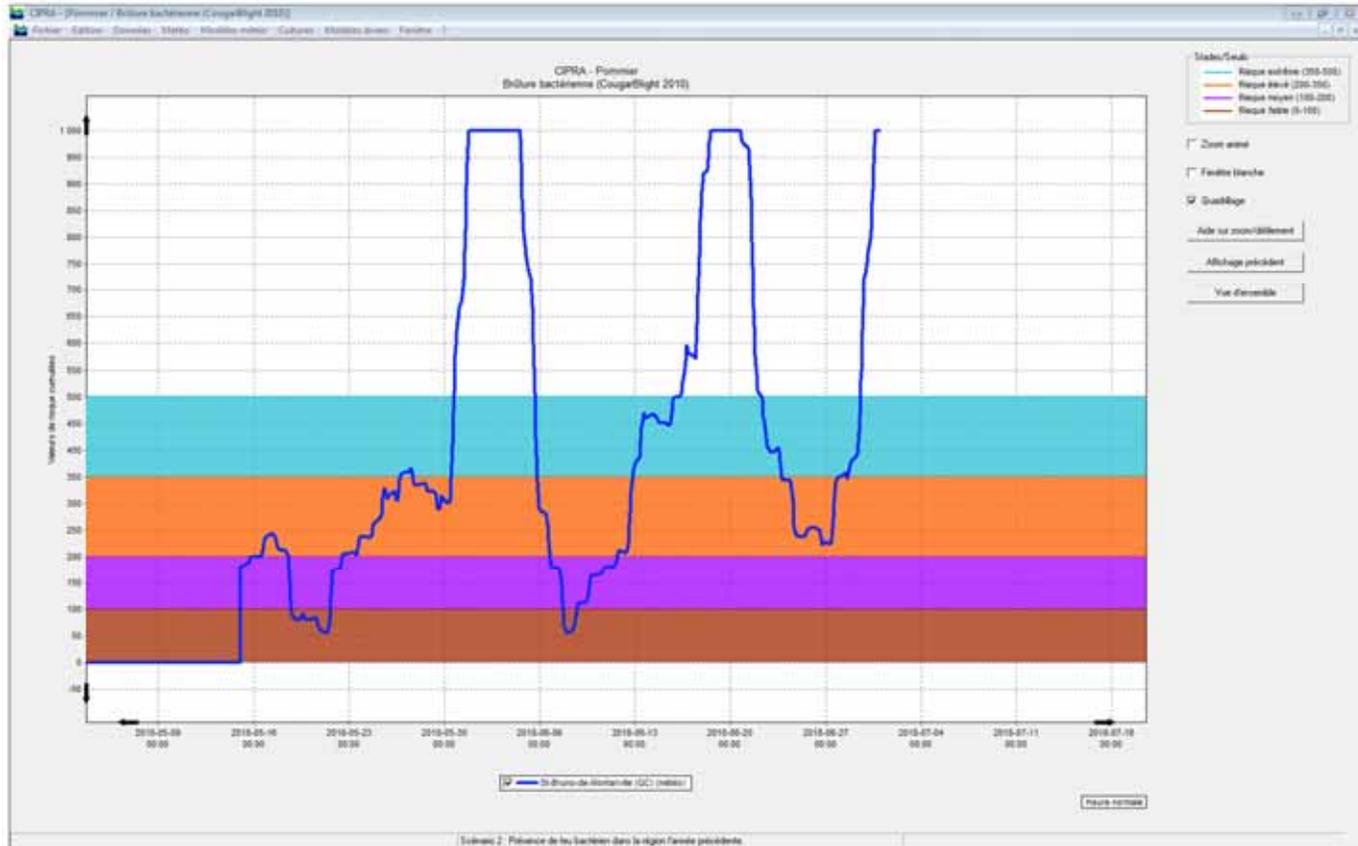
Les stades du modèle phénologique développé pour de la punaise marbrée sont présentés dans le tableau 29. Le modèle est actuellement intégré dans CIPRA.

Tableau 29. Stades phénologiques de la punaise marbrée (température de base de 14°C, début des calculs 1^{er} mars, méthode de calcul sinus simple)

Stades phénologiques	Degrés-jours
Début de la ponte pour la génération hivernante	147
Pic de la ponte pour la génération hivernante	222
Fin de la ponte pour la génération hivernante	297
Début d'apparition des larves de stade 1 à 3 de la G1	208
Pic d'apparition des larves de stade 1 à 3 de la G1	374
Fin d'apparition des larves de stades 1 à 3 de la G1	540
Début d'apparition des larves de stades 4 à 5 de la G1	451
Pic d'apparition des larves de stades 4 à 5 de la G1	598
Fin d'apparition des larves de stade 4 à 5 de la G1	744
Début d'apparition des adultes de la G1	655
Pic d'apparition des adultes de la G1	773
Fin d'apparition des adultes de la G1	891

Brûlure bactérienne

Nous avons utilisé le modèle CougarBlight disponible dans CIPRA pour la brûlure bactérienne. La figure 49 présente une sortie du modèle à St-Bruno-de-Montarville en 2018. L'axe des Y représente les valeurs de risque cumulées et l'axe des X les dates.



**Figure 49. Exemple de sortie CIPRA du modèle de la brûlure bactérienne (CougarBlight).
L'interprétation de la courbe est disponible dans le fichier d'aide de CIPRA**

Pourriture amère

L'équation du modèle développé pour prédire les risques d'infection est:

$$\text{ClimInfeR}(h) = 1 - \exp(-f(T) \cdot A(LWD)^B)$$

ClimInfeR(h) représente le taux d'infection de la maladie à l'heure *h* en fonction du nombre d'heures de mouillure du feuillage (*LWD*) et d'une fonction de température *f(T)*. Le paramètre *A* est un taux intrinsèque de développement et le paramètre *B* est la portion de la période de mouillure durant laquelle la réponse à l'infection ralentit (Launay et al. 2014).

Pour les analyses subséquentes, l'indice d'infection quotidien est défini comme la valeur maximale des dernières 24 heures, soit entre midi et midi. La durée de la période de mouillure et la température moyenne durant cette période sont déjà considérées dans les calculs du taux horaire d'infection. La durée de mouillure est calculée avec le nombre d'heures à une humidité relative supérieur à 90%. Les précipitations journalières sont transformées en précipitation horaire à l'aide d'une équation qui estime le nombre d'heures de précipitations pour une journée (Nombre d'heures = f(quantité de pluie)) et elles sont ensuite distribuées dans la journée à partir d'une heure de départ aléatoire. Le modèle de Launay ne prend pas en compte les interruptions

de mouillure. Cette décision s'avère adéquate dans un contexte de changement climatique étant donné qu'il est encore très difficile de prédire des précipitations quotidiennes sur une base horaire pour le climat futur étant donné qu'on ne connaît pas les patrons de précipitations du futur.

Le seuil de risque d'infection de 0,15 utilisé dans la fraise ne peut pas être utilisé directement dans la pomme. Aucune donnée n'est disponible pour adapter le seuil à cette culture. Cependant l'indice de risques d'infection de la maladie sera comparé entre les périodes (1981-2010 et 2041-2070) tout de même. Dans la fraise, lorsque l'indice de risque d'infection de 0,15 est atteint, il y a généralement un traitement, car le risque est considéré comme élevé (MacKenzie et Peres, 2012; Wilson et al., 1992).

4.5.6 Analyse des impacts en combinant les modèles bioclimatiques et les scénarios de changement climatique

Culture du pommier

Les changements climatiques vont avoir un effet direct sur la culture du pommier, pour l'horizon 2041-2070, les scénarios projettent (Figure 50) que :

- Le débourrement serait devancé de 0 à 15 jours pour la Montérégie et de 7 à 15 jours pour la Capitale nationale
- Le début de la floraison serait devancé de 7 à 23 jours pour les deux régions.
- Le début de la nouaison serait devancé de 8 à 25 jours pour les deux régions.

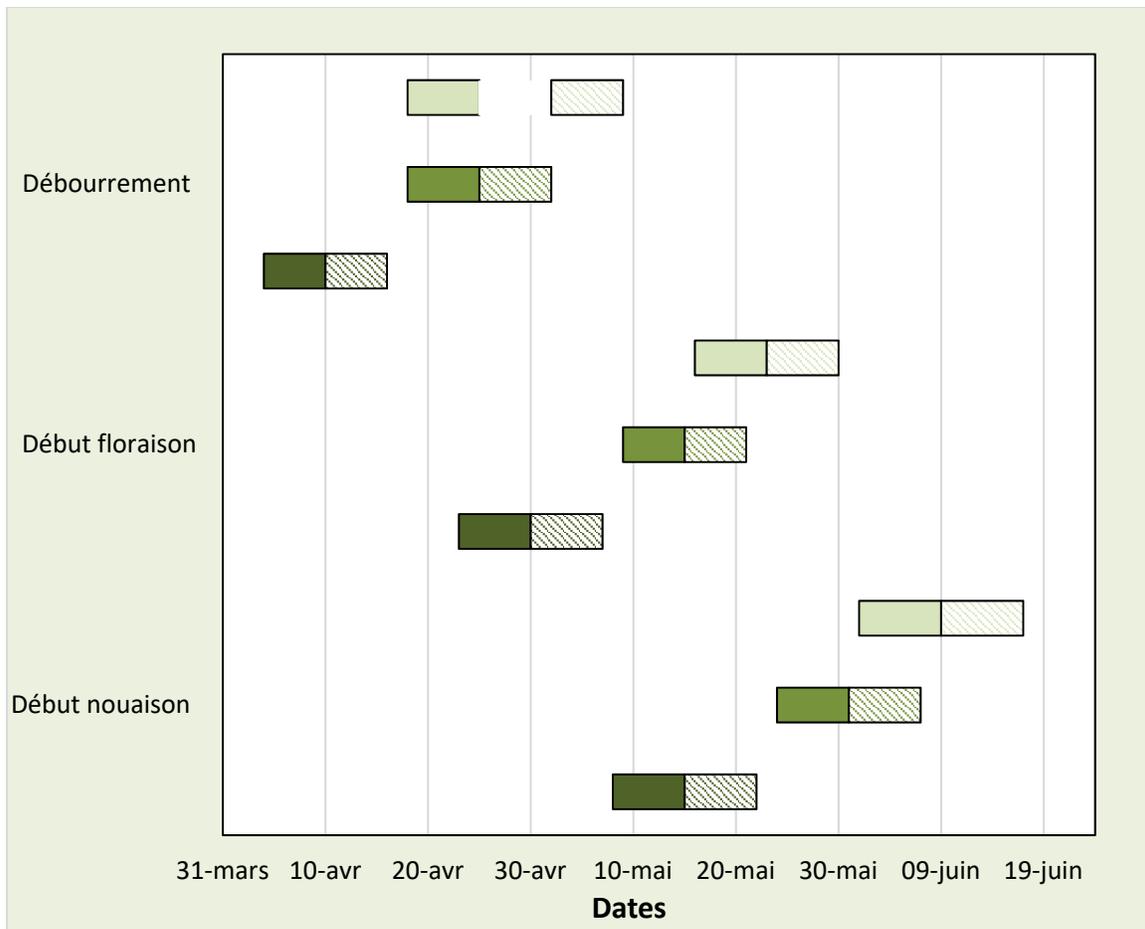


Figure 50. Dates moyennes d'apparition des différents stades phénologiques du pommier pour la région de la Montérégie (couleur pleine) et de la Capitale-Nationale (couleur hachurée) pour la période de référence (1981-2010), le scénario de changement inférieur (2041-2070) et le scénario de changement supérieur (2041-2070)

Carpocapse de la pomme

Les changements climatiques vont aussi influencer le développement du carpocapse de la pomme. Pour l'horizon 2041-2070, les scénarios climatiques projettent (Figure 51) que :

- La date d'apparition des adultes de la première génération serait devancée de 8 à 18 jours pour les deux régions.
- La date d'apparition des larves de la première génération serait devancée de 9 à 20 jours pour les deux régions.
- Le pic de ponte serait devancé de 10 à 22 jours pour les deux régions.
- La date d'apparition des adultes de la deuxième génération serait devancée de 19 à 29 jours (Montérégie) et de 19 à 38 jours (Capitale nationale).

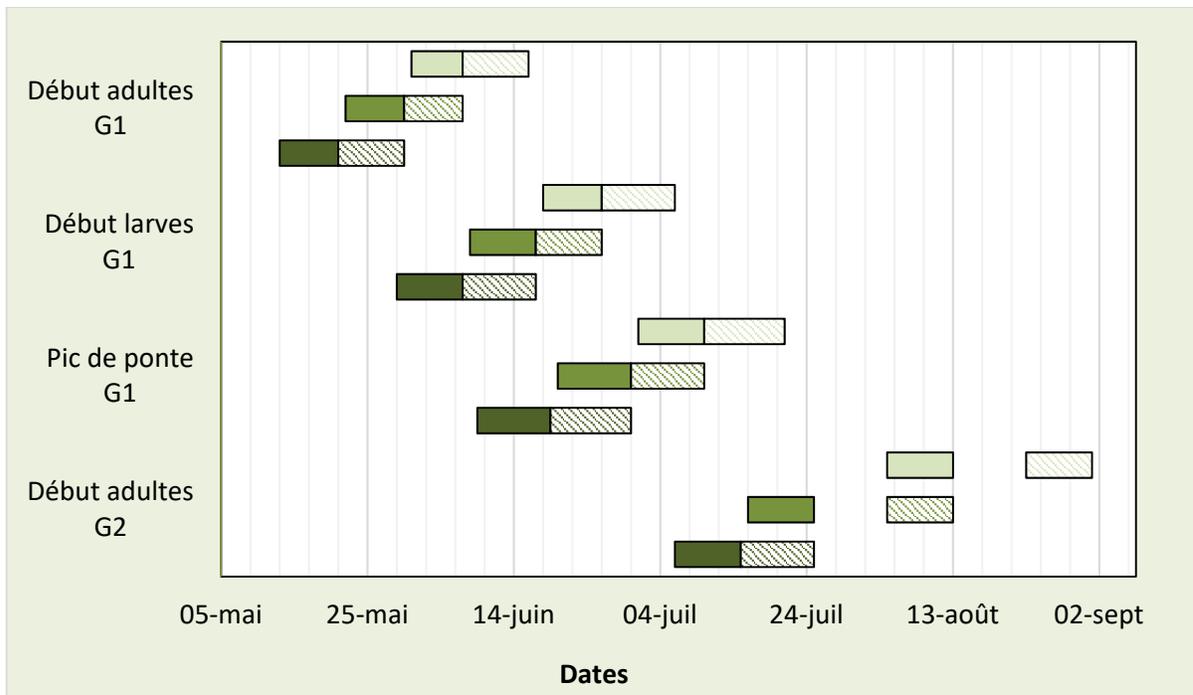


Figure 51. Dates moyennes d'apparition des différents stades du carpocapse de la pomme pour la Montérégie (couleur pleine) et pour la Capitale-Nationale (couleur hachurée) pour la période de référence (1981-2010), le scénario de changement inférieur (2041-2070) et le scénario de changement supérieur (2041-2070)

Sur la figure 51, il est possible de voir un devancement important de l'apparition de la deuxième génération (minimalement 19 jours) comparativement à un devancement plus petit pour la première génération (minimalement 8 jours) pour une même région. Cela sous-entend que le temps de développement de la première génération de ce ravageur serait plus court avec les changements climatiques. Ainsi, les traitements phytosanitaires devraient se faire plus tôt et le délai d'intervention serait plus restreint également. La sortie des adultes est étroitement liée aux conditions météorologiques. Des températures fraîches peuvent retarder leur apparition de 10 à 12 jours. Des températures élevées les font apparaître plus tôt au printemps, ce qui les amène à pondre davantage d'œufs (Isley, 1938). Le début d'apparition des adultes de la première génération (G1) pour la période de référence (1981-2010) est du 31 mai au 7 juin pour la région de la Montérégie (Figure 52). Les scénarios de changement projettent, pour la période 2041-2070, un devancement de la date d'arrivée des adultes de la G1 jusqu'au 22 mai pour les changements inférieurs (Figure 53) et jusqu'au 13 mai pour les changements supérieurs (Figure 54). La région de la Capitale-Nationale pourrait subir un changement plus drastique que la Montérégie. Selon les scénarios de changement, les premiers envols, qui ont lieu actuellement entre le 17 et 24 juin pour la région de Québec pourraient arriver entre le 22 et 30 mai (Figure 52, 53, 54). Selon le modèle bioclimatique, durant la période 1981-2010, la deuxième génération (G2) d'adulte du carpocapse de la pomme arrive en Montérégie du 4 au 13 août (Figure 55) et dans la région de la Capitale-Nationale du 2 au 10 septembre. Le début du vol de la G2 pourrait être devancé jusqu'au 16 juillet pour la Montérégie et au 4 août pour la Capitale nationale selon les changements inférieurs (Figure 56). Selon les changements supérieurs, cette date pourrait être devancée au 6 juillet pour la Montérégie et au 16 juillet pour la Capitale-Nationale (Figure 57).

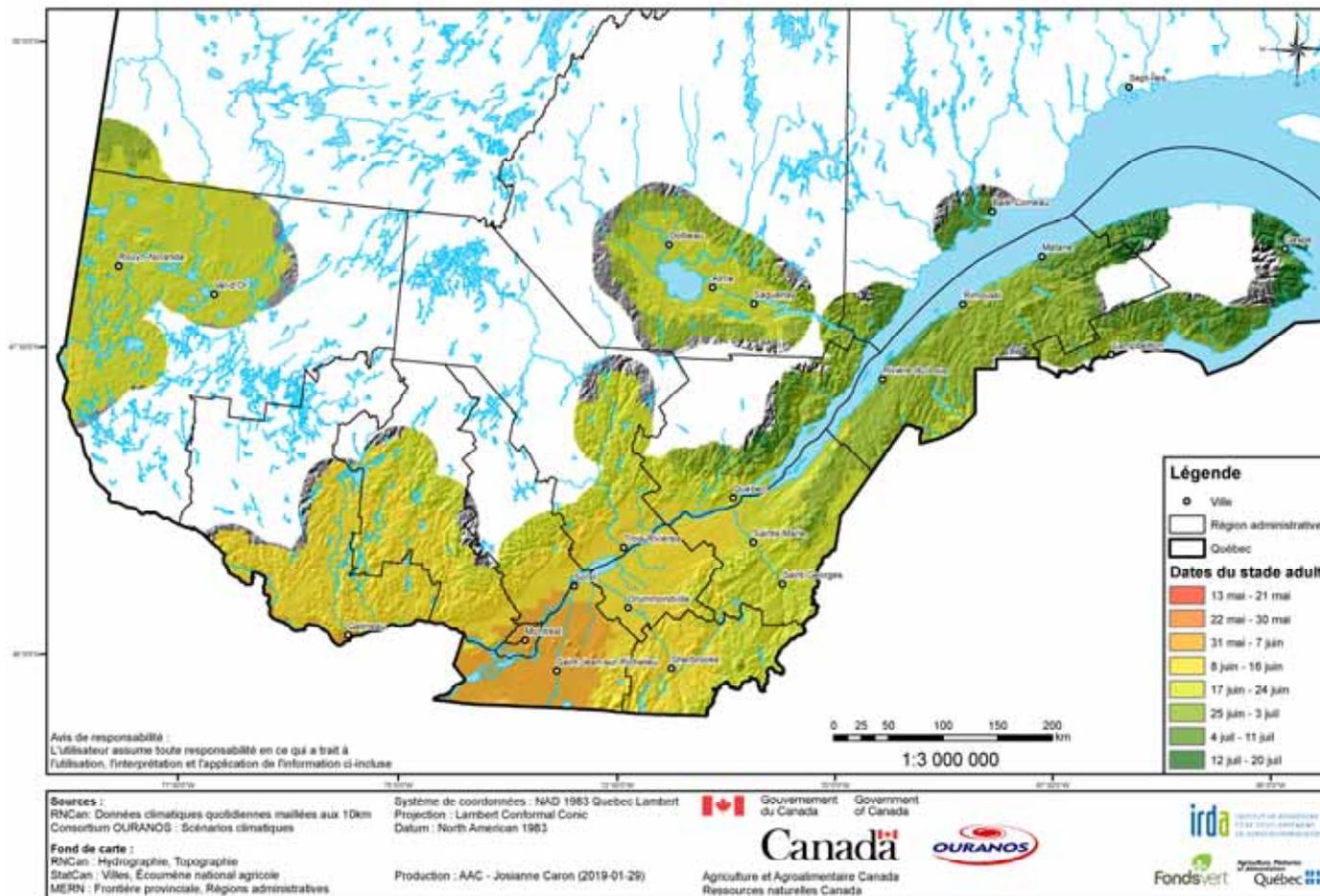


Figure 52. Dates moyennes du début d'apparition de la première génération d'adultes du carpocapse de la pomme basées sur la période de référence (1981-2010)

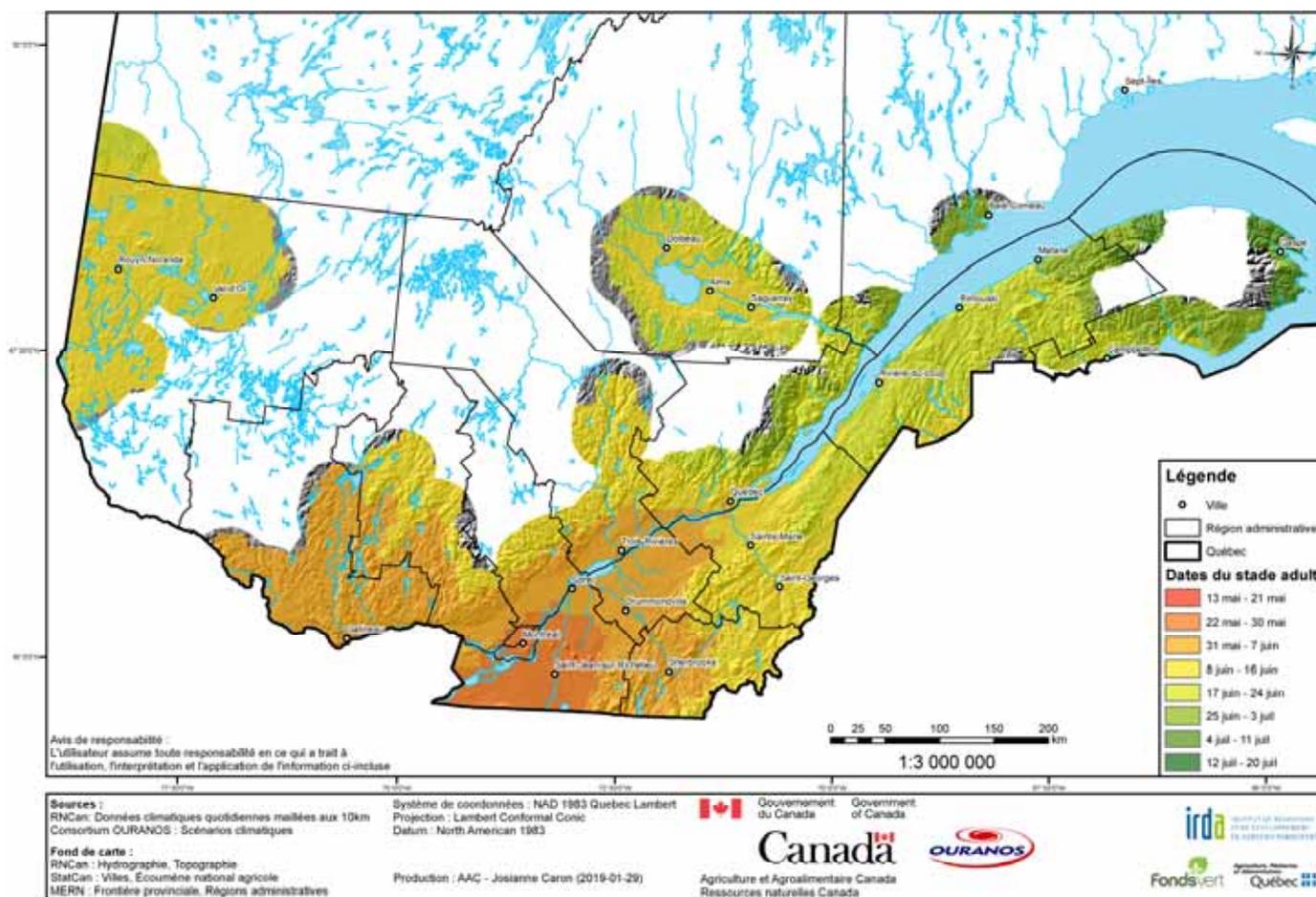


Figure 53. Dates moyennes du début d'apparition de la première génération d'adultes du carpocapse de la pomme selon le scénario de changement inférieur (2041-2070)

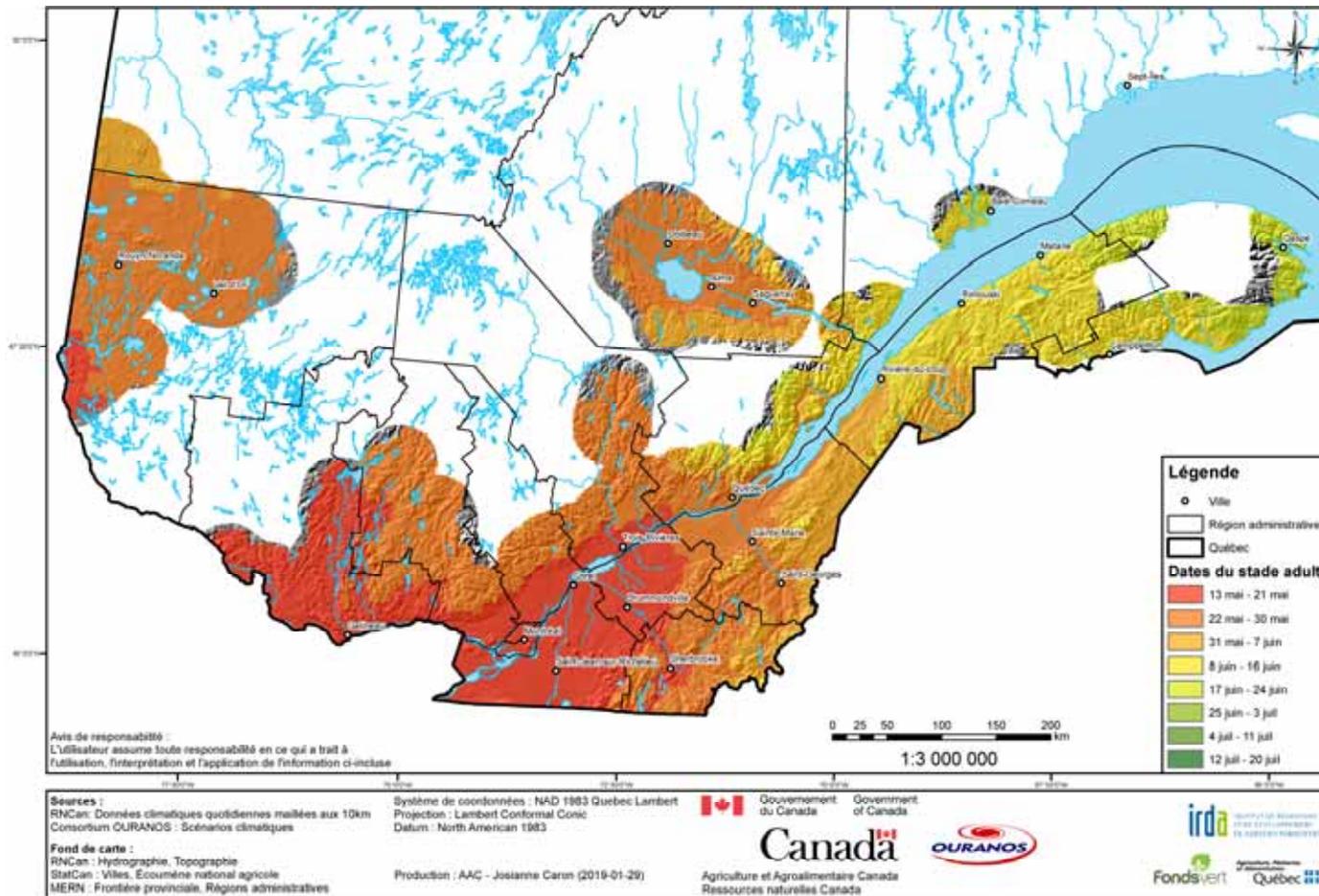


Figure 54. Dates moyennes du début d'apparition de la première génération d'adultes du carpocapse de la pomme selon le scénario de changement supérieur (2041-2070)

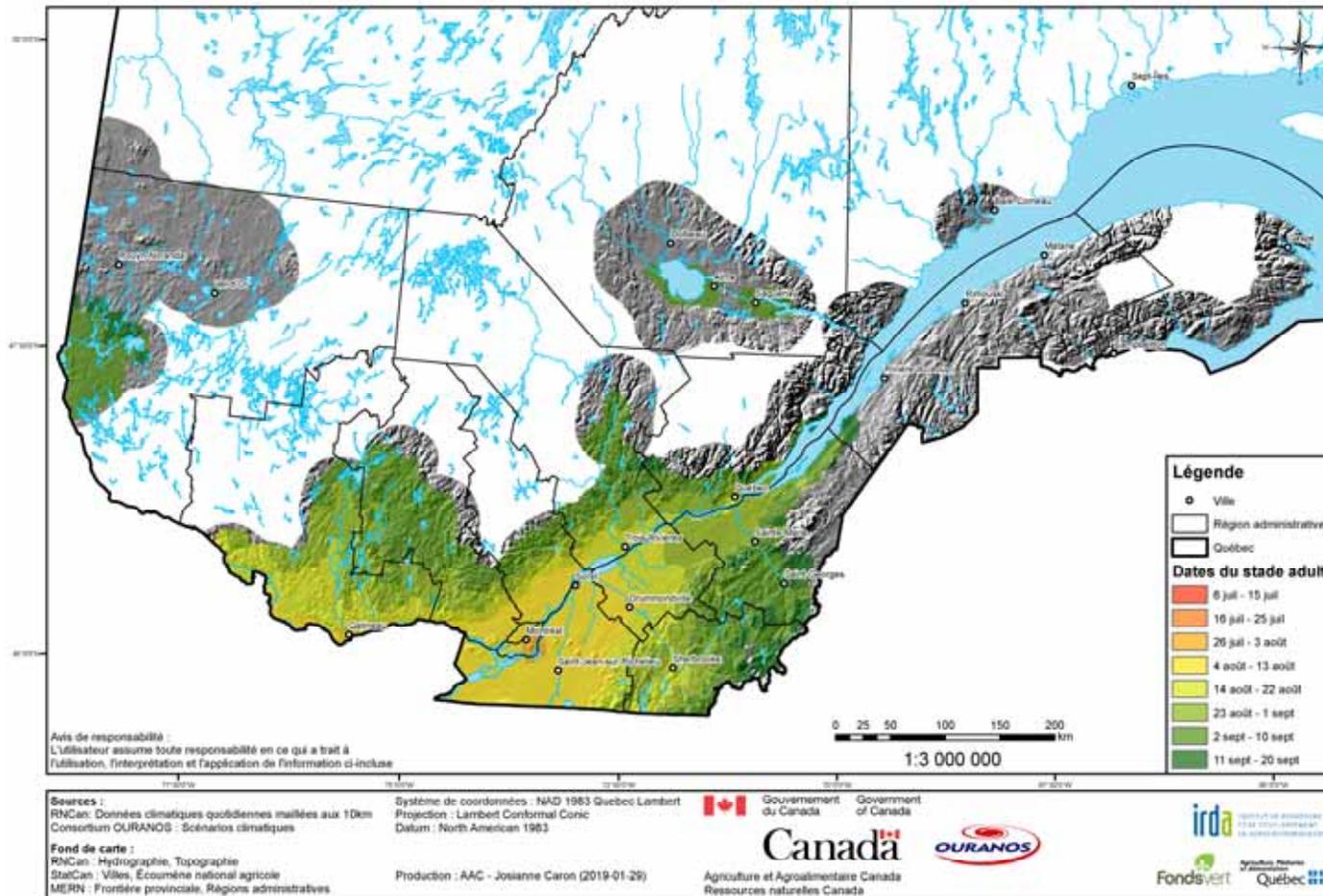


Figure 55. Dates moyennes du début d'apparition de la deuxième génération d'adultes du carpocapse de la pomme basées sur la période de référence 1981-2010

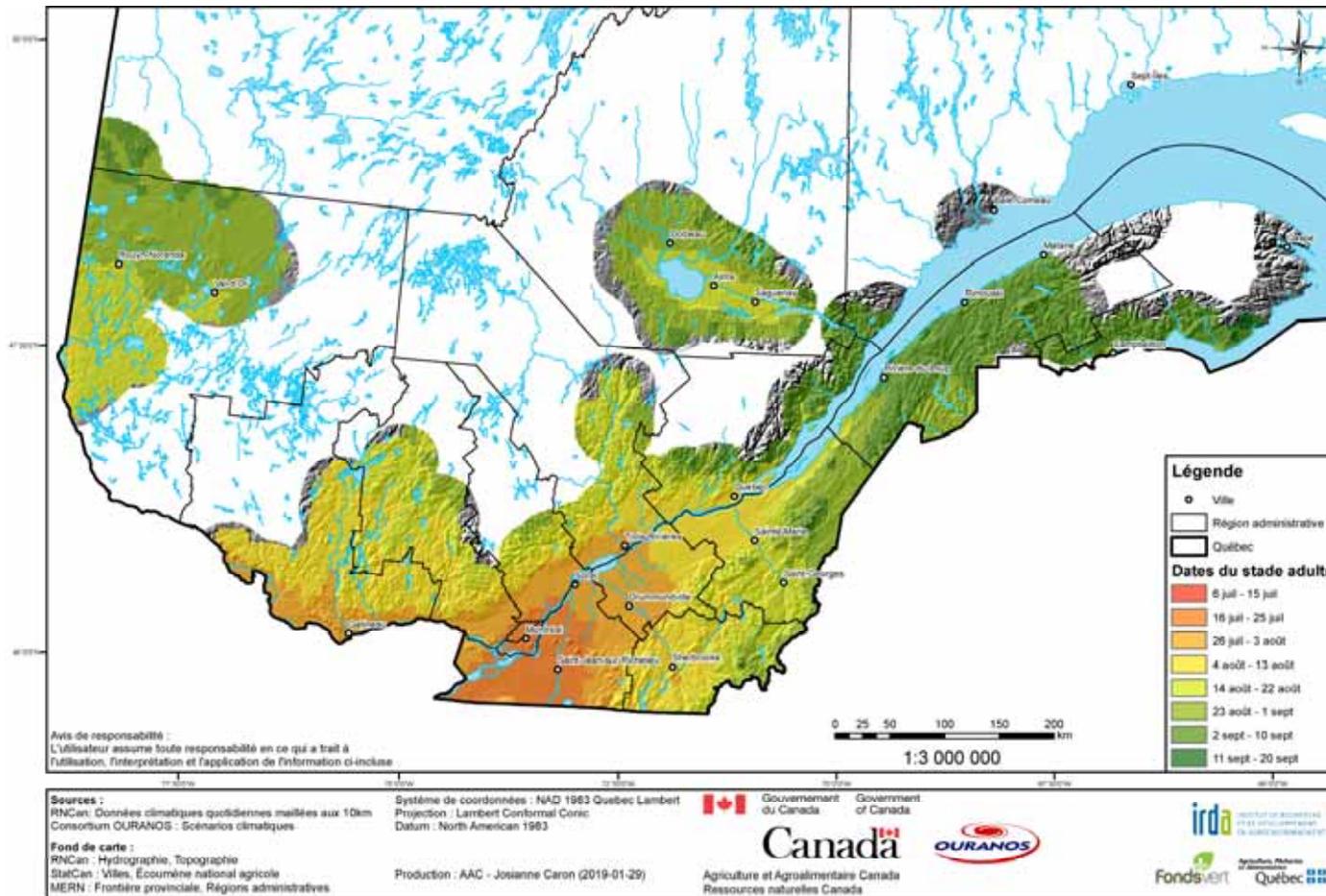


Figure 56. Dates moyennes du début d'apparition de la deuxième génération d'adultes du carpocapse de la pomme selon les scénarios de changement inférieur 2041-2070

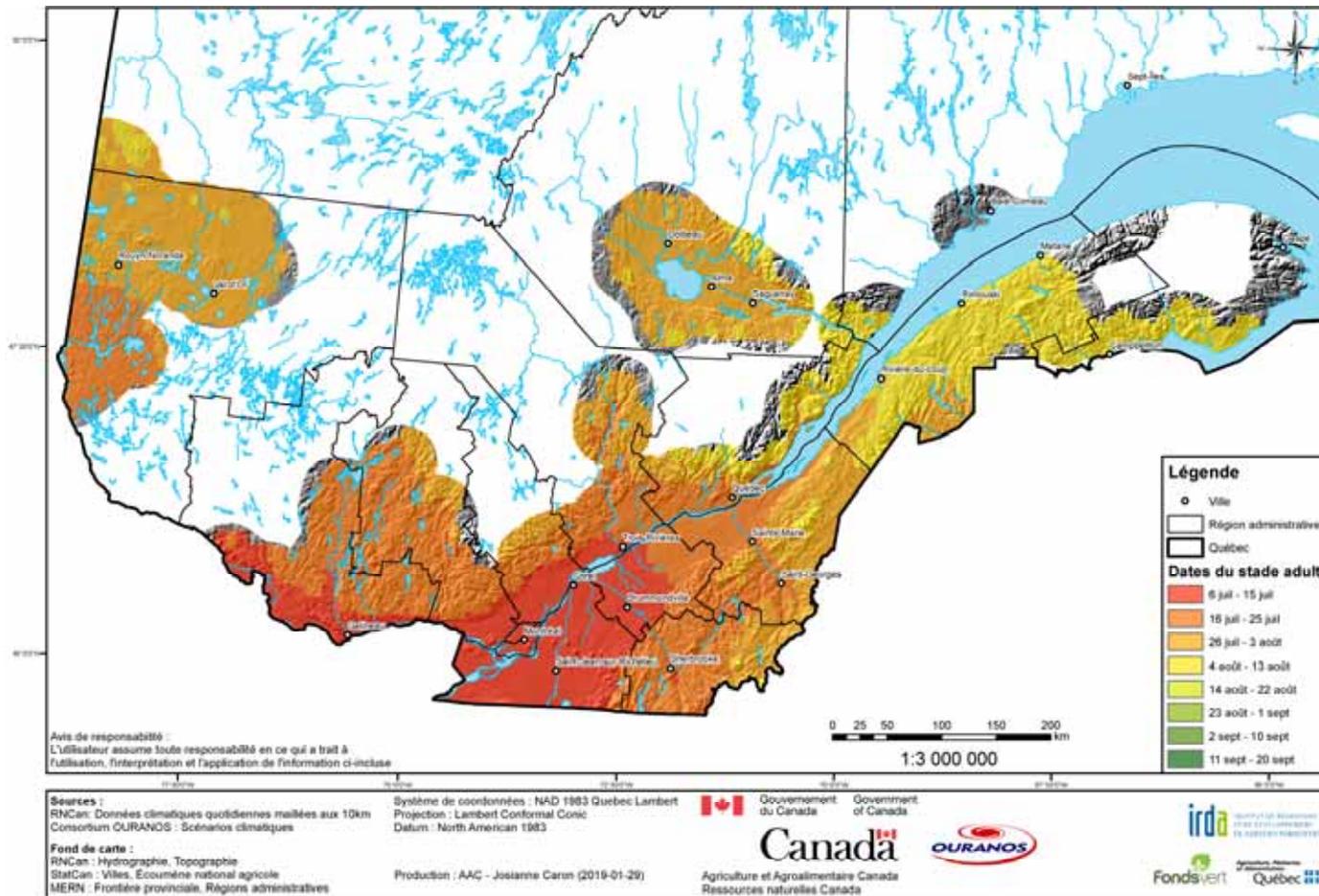


Figure 57. Dates moyennes du début d'apparition de la deuxième génération d'adultes du carpocapse de la pomme selon les scénarios de changement supérieur 2041-2070

En ce moment, au Québec, nous observons seulement une partie de la deuxième génération de ce ravageur. Ceci s'explique par le fait que le carpocapse a une diapause induite par la photopériode. Afin de générer une deuxième génération, les larves du carpocapse doivent atteindre le 5^e stade avant la période du 21 juin au 11 juillet (Figure 58 : barres verticales pâles), correspondant à la photopériode critique (Riedl, 1983). La figure 58 démontre que pour la période de référence, une faible partie des larves de la première génération se développe en adulte. S'il n'y a aucune évolution dans la sensibilité à la photopériode critique, le nombre de larves se développant en adultes vont augmenter pour les scénarios de changements supérieurs. Par contre, si une évolution de la sensibilité à la photopériode chez le carpocapse est causée par le réchauffement climatique, la période de sensibilité serait décalée du 12 juillet au 1^{er} août (Figure 58 : barres verticales foncées). Le pourcentage de larves pour l'horizon 2050 pouvant se développer en adultes pourrait ainsi être de 100%. En effet, en Montérégie, une bonne proportion des larves aura dépassé le stade 5 au 1^{er} août pour les scénarios de changements inférieurs. Le carpocapse est une espèce multivoltine, mais une proportion de sa population est dite univoltine à diapause obligatoire. Dans les faits, la proportion des individus univoltins augmente avec la latitude (Riedl et Croft, 1978). Ainsi, pour avoir 100% des individus de la G1 qui génèrent une seconde génération dans le futur, il faudra une modification génétique pour qu'il n'y ait proportion plus faible d'univoltisme obligatoire.

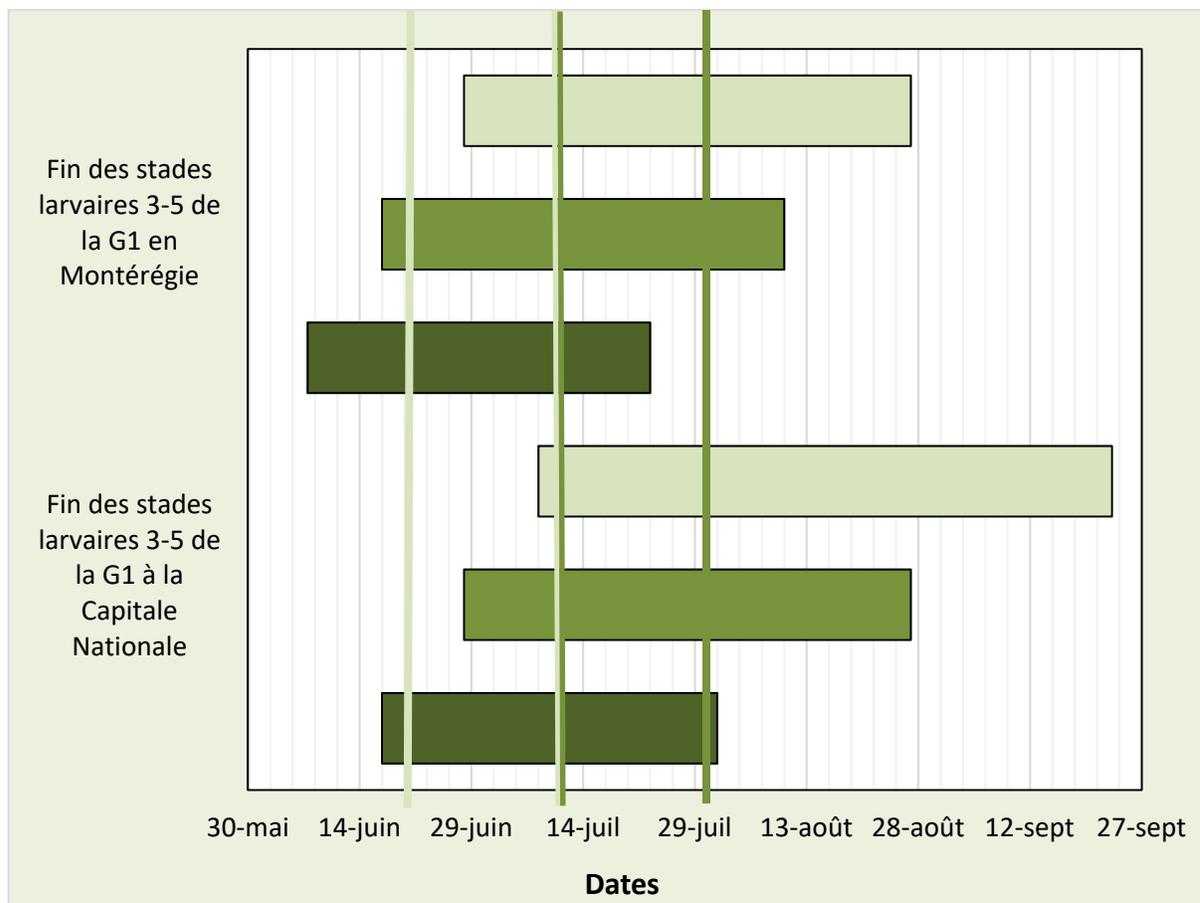


Figure 58. Développement des stades larvaires sensibles à la photopériode pour la région de la Montérégie et la Capitale-Nationale pour la période de référence (1981-2010), le scénario de changement inférieur (2041-2070) et le scénario de changement supérieur (2041-2070).

Les barres verticales pâles représentent la photopériode critique pour la période de référence (1981-2010) et les barres verticales foncées représentent la photopériode critique considérant une évolution dans le futur

Selon la modélisation, actuellement, les carpocapses de la deuxième génération ne parviennent pas à passer l'hiver sous forme d'hibernaculum (habitacle fabriqué par une larve pour se protéger de l'hiver) (Figure 59). Ainsi, les individus de la G2 se développant en adulte ne font pas partie de la population de l'année suivante. Selon les scénarios de changement (2041-2070), une certaine partie des hibernaculum de la deuxième génération pourrait passer l'hiver dans la région de la Montérégie. Toutefois, les vergers de la Capitale nationale ne seraient pas touchés par ce changement (Figure 60 et 61).

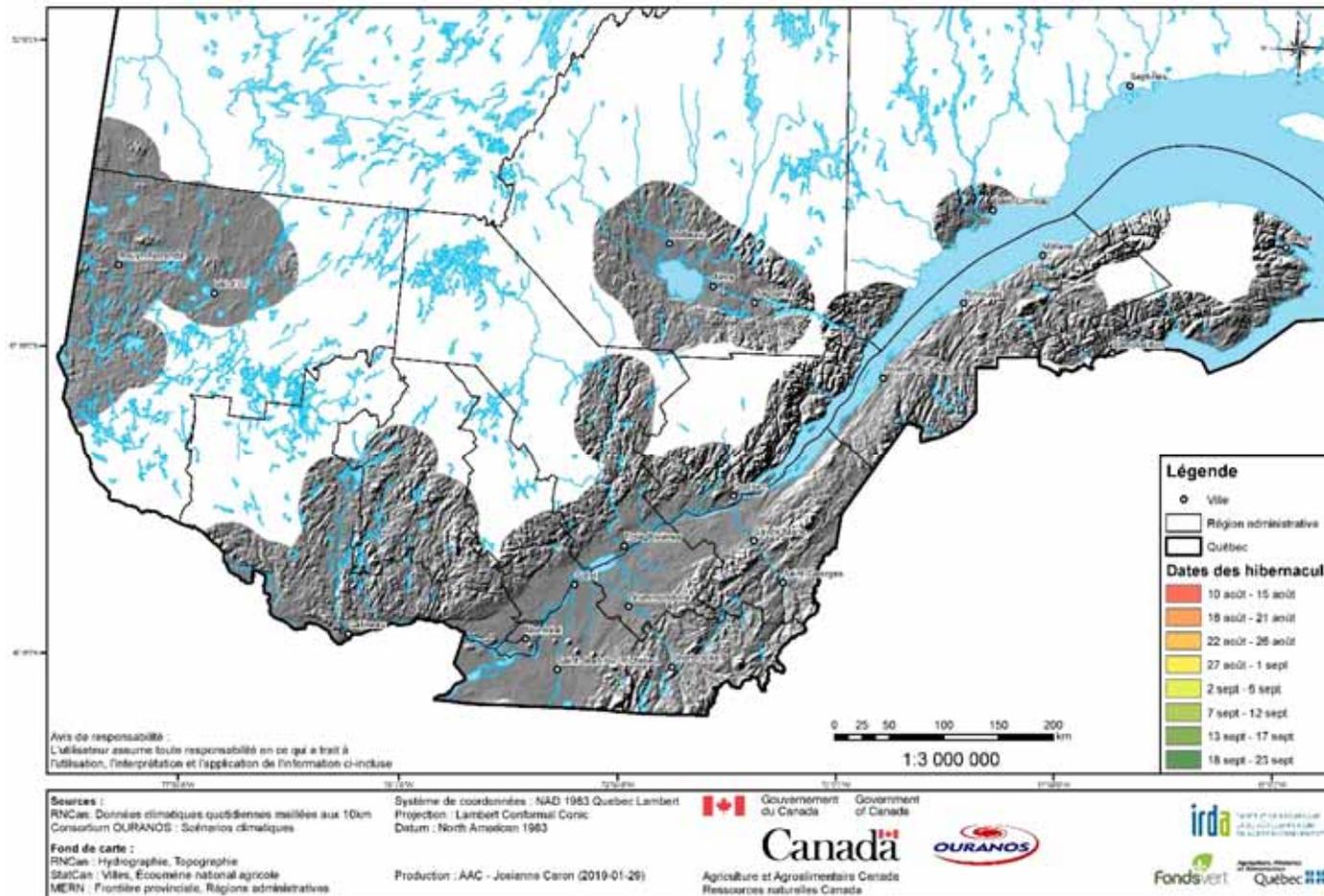


Figure 59. Dates moyennes du début d'apparition des hibernacula de la deuxième génération du carpocapse de la pomme basées sur la période de référence (1981-2010)

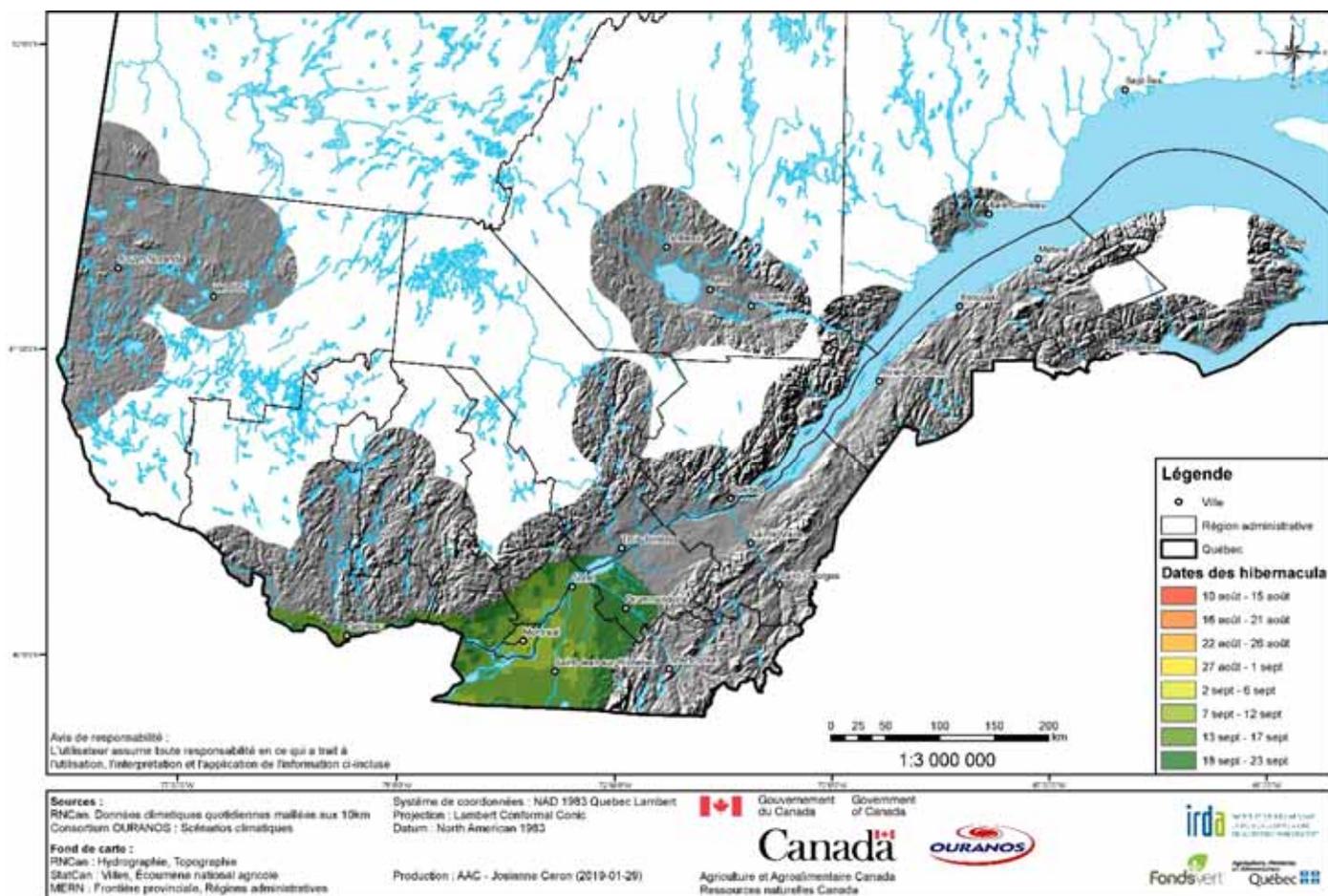


Figure 60. Dates moyennes du début d'apparition des hibernacula de la deuxième génération du carpocapse de la pomme selon les scénarios de changement inférieur (2041-2070)

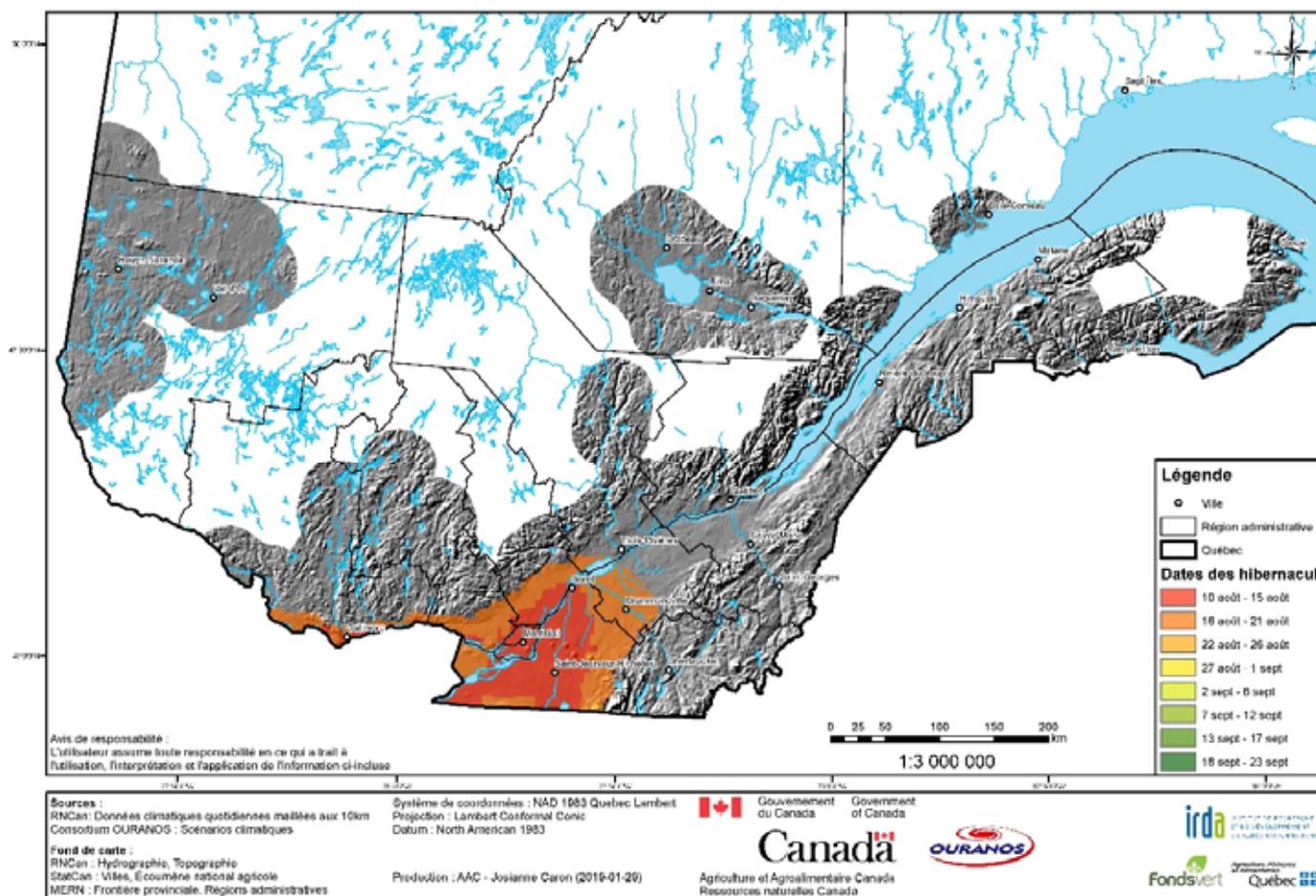


Figure 61. Dates moyennes du début d'apparition des hibernacula de la deuxième génération du carpocapse de la pomme selon les scénarios de changement supérieur (2041-2070)

Punaise marbrée

Ce ravageur actuellement présent au Québec (Chouinard et al., 2018) pourrait bénéficier du réchauffement climatique et s'installer dans les cultures fruitières. La date d'apparition des adultes de la nouvelle génération pour la période de référence (1981-2010) est du 31 août au 8 septembre (Figure 62) en Montérégie. Les scénarios de changement projettent un devancement de la date d'apparition des adultes au 12 août pour les changements inférieurs (Figure 63) et au 14 juillet pour les changements supérieurs (Figure 64) pour la Montérégie. Cela implique donc que :

- La date d'apparition des adultes de la première génération serait devancée de 19 à 48 jours.

Ainsi, avec le retardement des gel automnaux d'environ 13 jours à la mi-octobre (<https://agriclimat.ca/les-regions/>), la punaise marbrée serait capable d'hiverner de la Montérégie à la région de Québec.

Le début de la ponte pour la période de référence 1981-2010 aurait été du 14 juin au 24 juin pour la Montérégie (Figure 65). Pour la période 2041-2070, les scénarios de changement projettent un devancement de la date du début de la ponte au 4 juin pour les changements inférieurs (Figure 66) et au 25 mai pour les changements supérieurs (Figure 67). Cela implique donc que :

- Le début de la ponte pour la génération hivernante serait devancé de 10 à 21 jours pour les régions de la Montérégie et la Capitale nationale.

Selon la figure 65, la ponte serait possible jusqu'au Saguenay-Lac-St-Jean. Cependant, pour que la ponte ait lieu, les punaises de la première génération doivent être capables d'atteindre le stade adulte et de passer l'hiver à cet endroit. Les Figures 63 et 64 nous démontrent que le stade adulte n'est pas atteint dans la région du Saguenay-Lac-St-Jean.

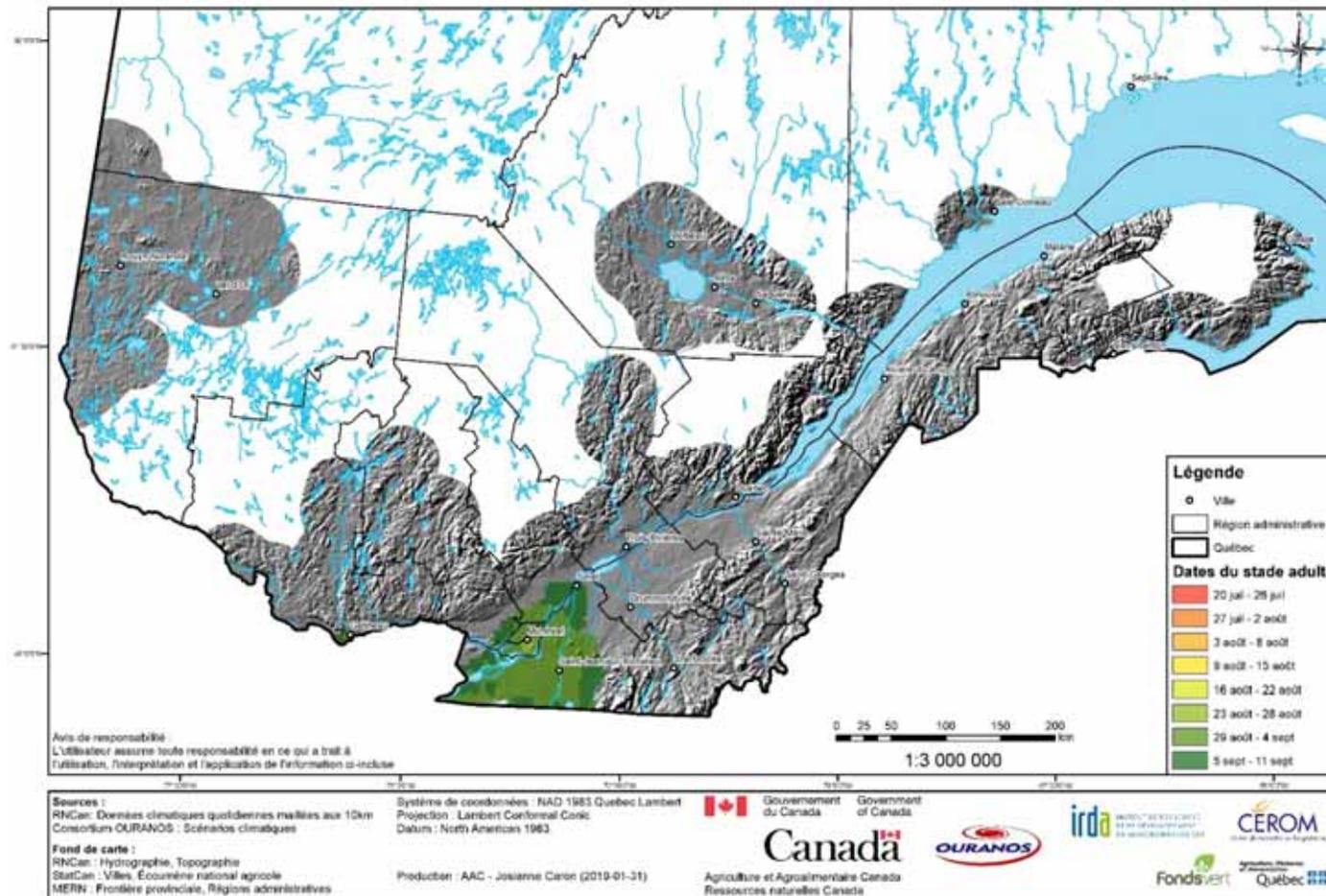


Figure 62. Dates moyennes d'apparition des adultes de la première génération de punaise marbrée basées sur la période de référence (1981-2010)

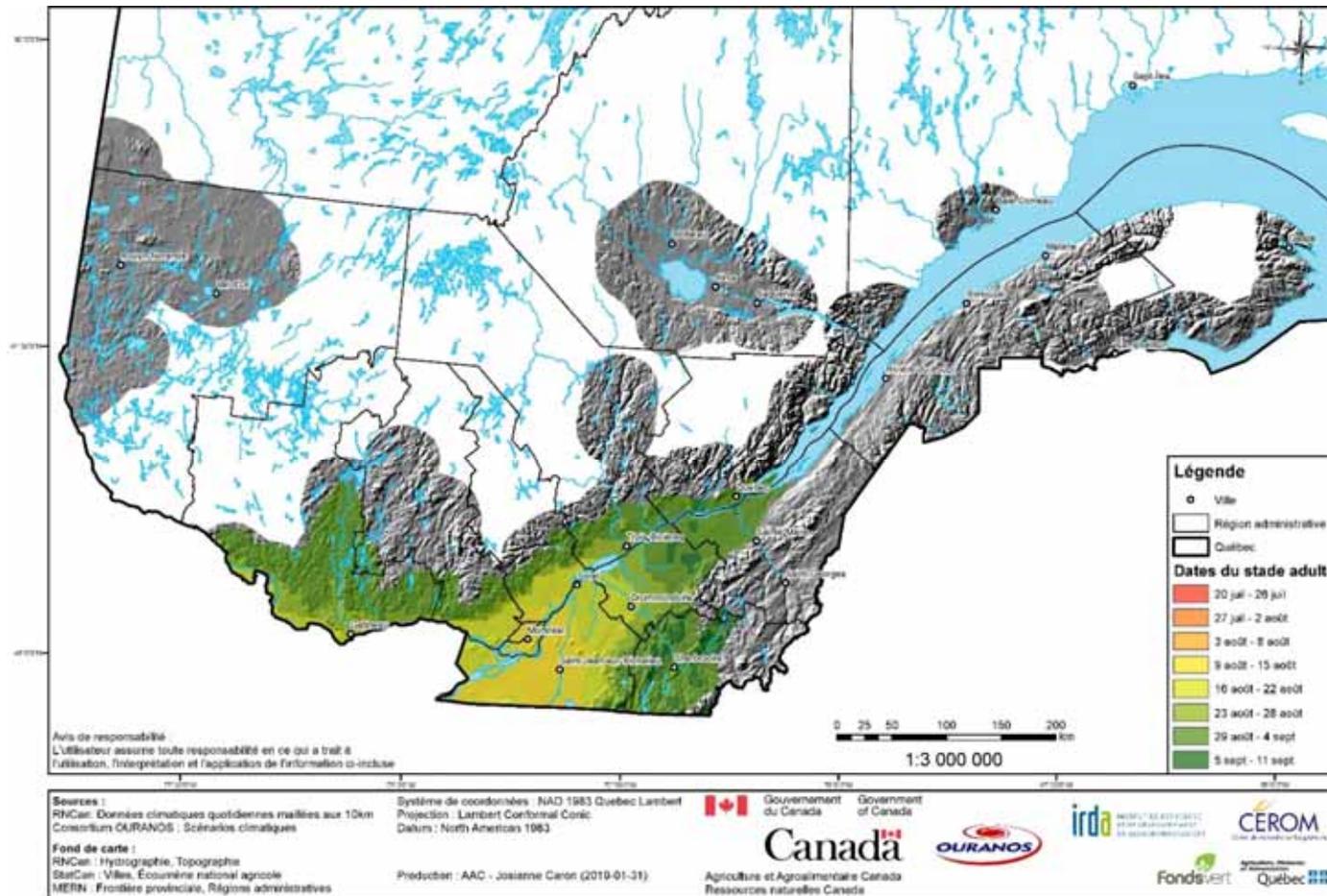


Figure 63. Dates moyennes d'apparition des adultes de la première génération de punaise marbrée selon le scénario de changement inférieur (2041-2070)

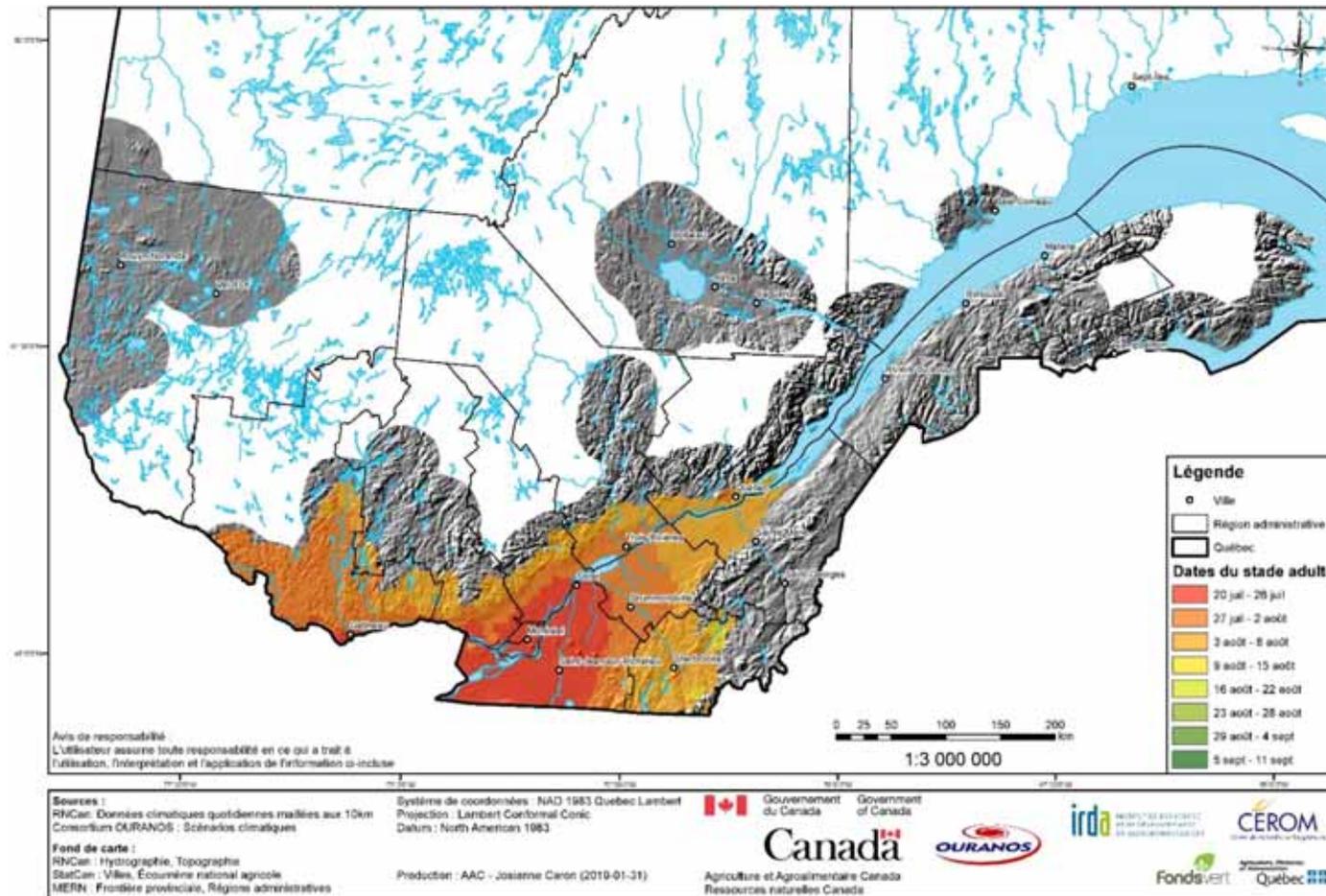


Figure 644. Dates moyennes d'apparition des adultes de la première génération de punaise marbrée selon le scénario de changement supérieur (2041-2070)

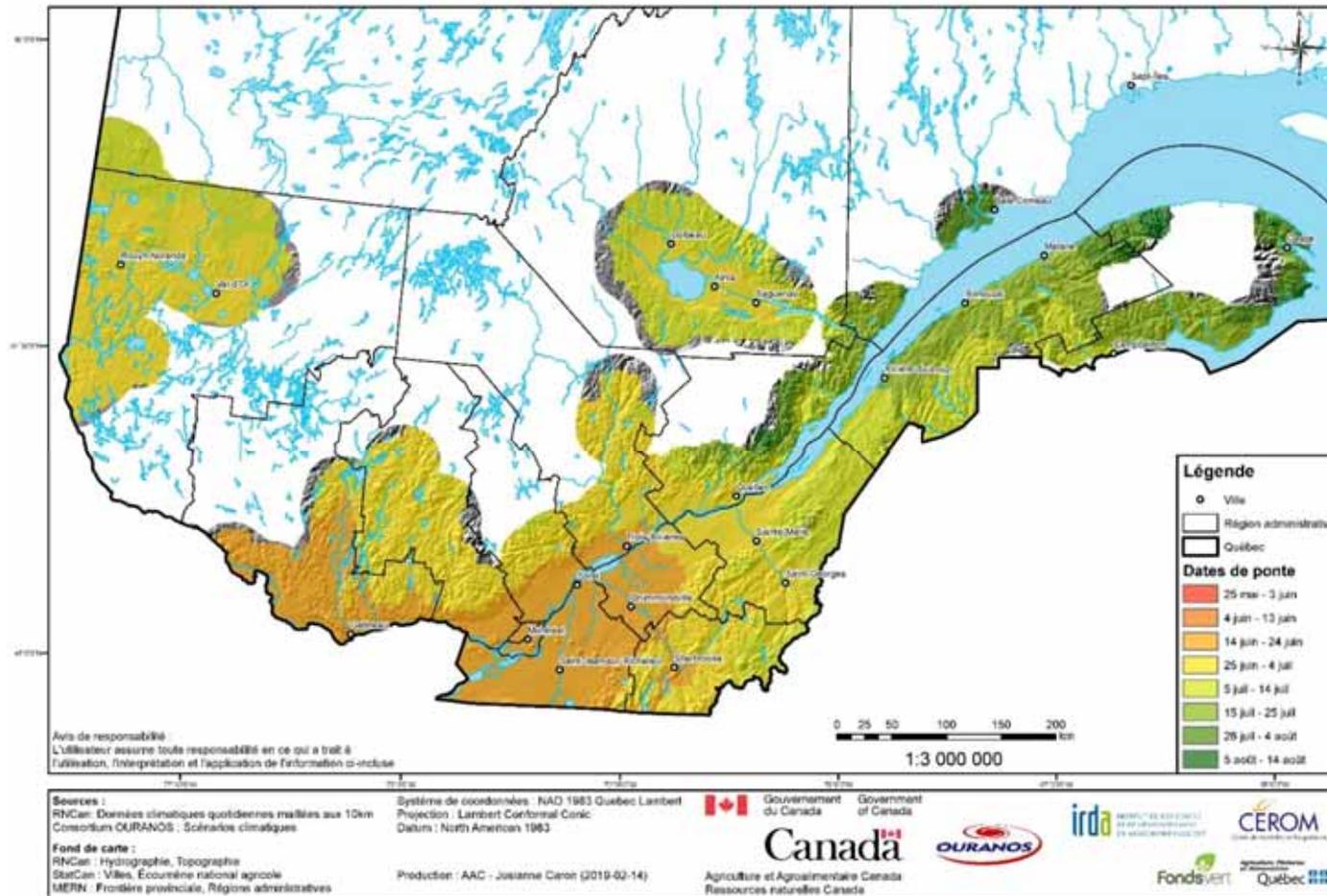


Figure 65. Dates moyennes du début de la ponte de la punaise marbrée basées sur la période de référence (1981-2010)

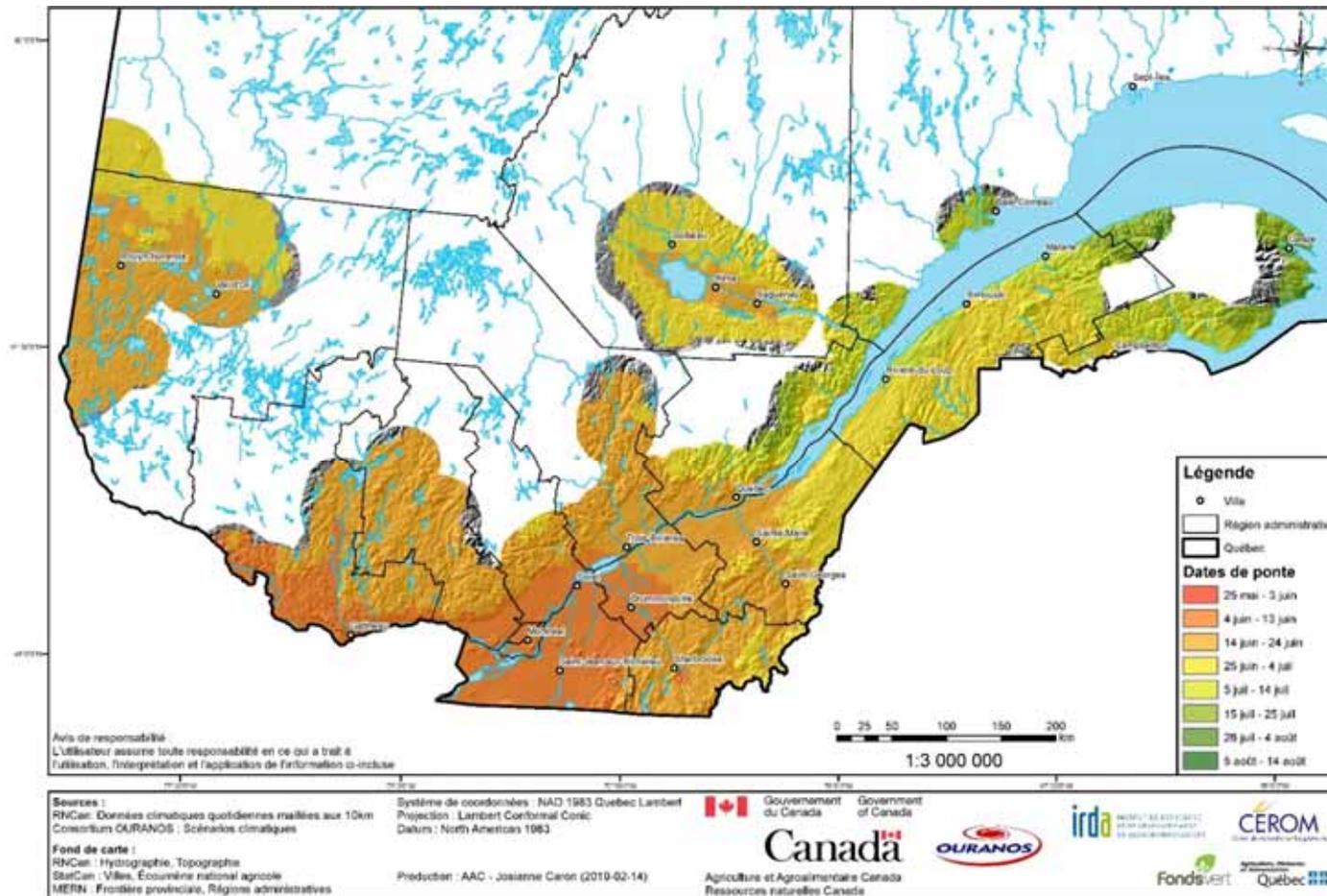


Figure 66. Dates moyennes du début de la ponte de la punaise marbrée selon le scénario de changement inférieur (2041-2070)

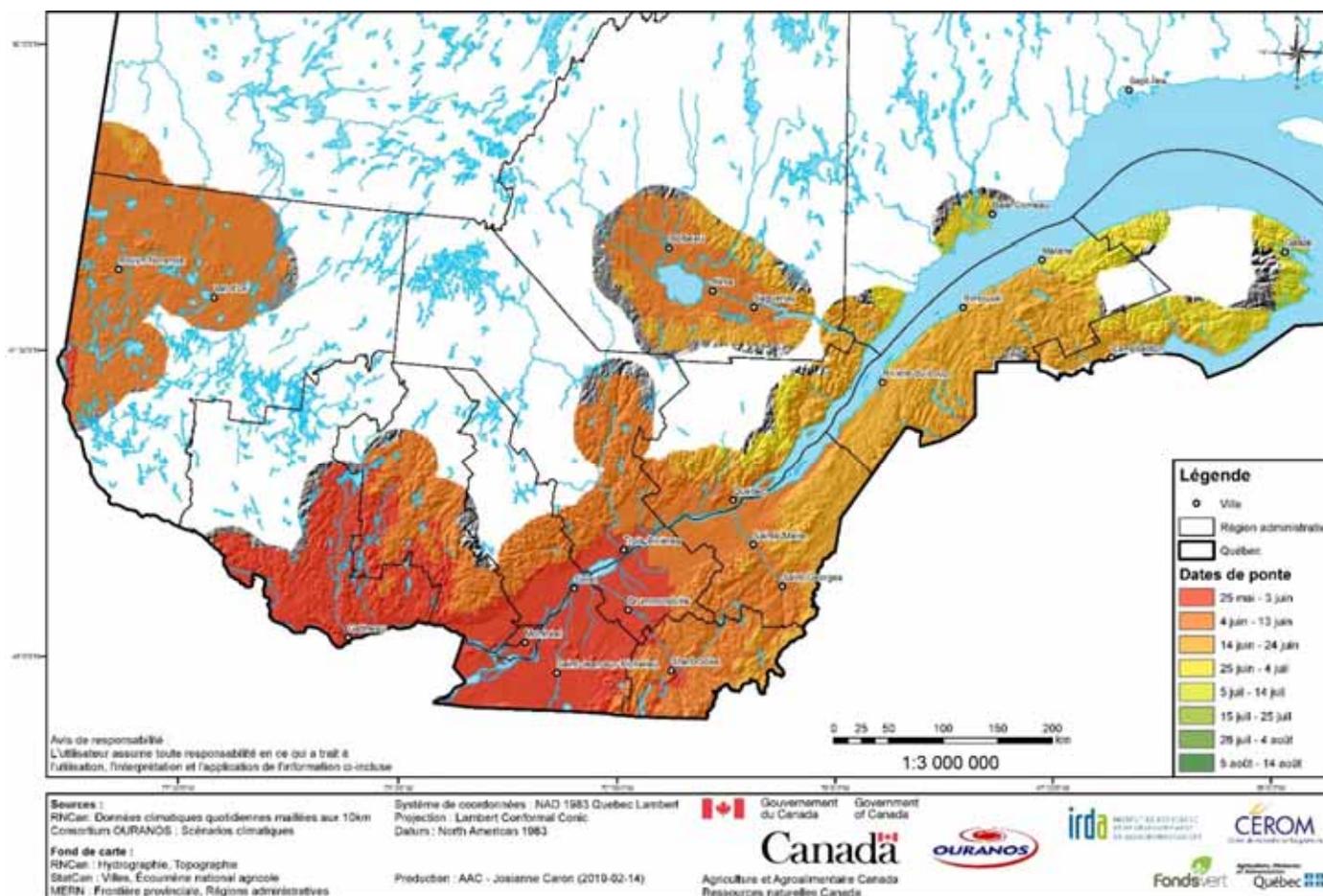


Figure 66. Dates moyennes du début de la ponte de la punaise marbrée selon le scénario de changement supérieur (2041-2070)

Durant la période de référence 1981-2010, la première génération n'était pas entière en Montérégie. Le nombre de degrés jours accumulés n'était pas suffisant pour atteindre le pic d'apparition des adultes de la première génération (Figure 68). Par contre les scénarios de changements inférieurs et supérieurs (2041-2070) projettent maintenant la possibilité que la première génération de punaise marbrée soit complète et parvienne donc au stade adulte avant les premiers gels automnaux.

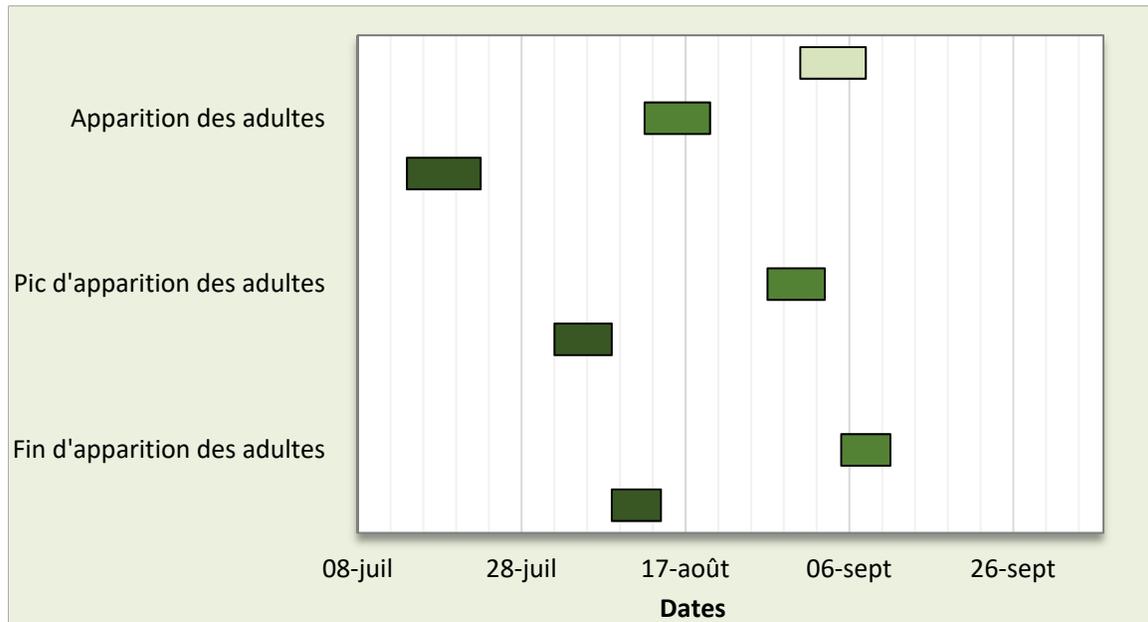


Figure 67. Apparition des adultes de la première génération de la punaise marbrée pour la période de référence 1981-2010, le scénario de changement inférieur (2041-2070) et le scénario de changement supérieur (2041-2070) pour la Montérégie

Pourriture amère

Les changements climatiques auront aussi un effet sur l'indice de risque d'infection de la pourriture amère. Cependant, il faut L'indice quotidien moyen de risque d'infection de la pourriture amère causée par *C. acutatum* durant la nouaison du pommier jusqu'à la récolte pour la période de référence (1981-2010) se situe entre 0,074 à 0,09 pour la Montérégie (Figure 69). Les scénarios de changements projettent pour la période 2041-2070 une augmentation de cet indice de risque à 0,105 pour les changements inférieurs (Figure 70) et à 0,154 pour les changements supérieurs (Figure 71). Ce qui veut dire que l'indice quotidien moyen pourrait presque doubler dans le futur. Les indices quotidiens de risque de la pourriture amère des autres régions du Québec suivraient la même tendance. Il est important de se rappeler que ces indices n'ont pas été validés pour la culture de la pomme et le seuil de 0,15 est basé sur l'indice seuil utilisé pour la culture de la fraise.

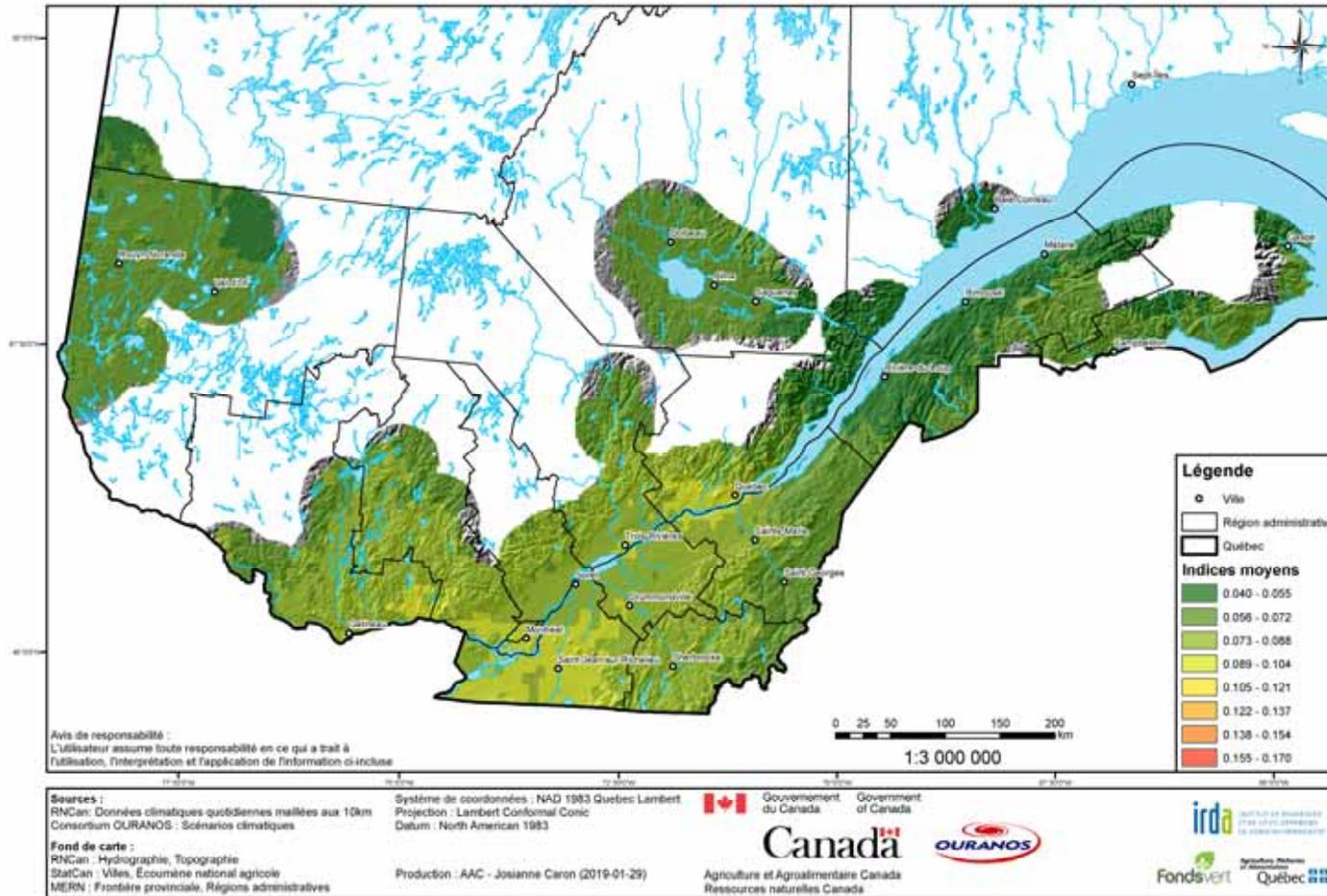


Figure 68. Indices quotidiens moyens d'incidence de la pourriture amère durant la nouaison du pommier basés sur la période de référence (1981-2010)

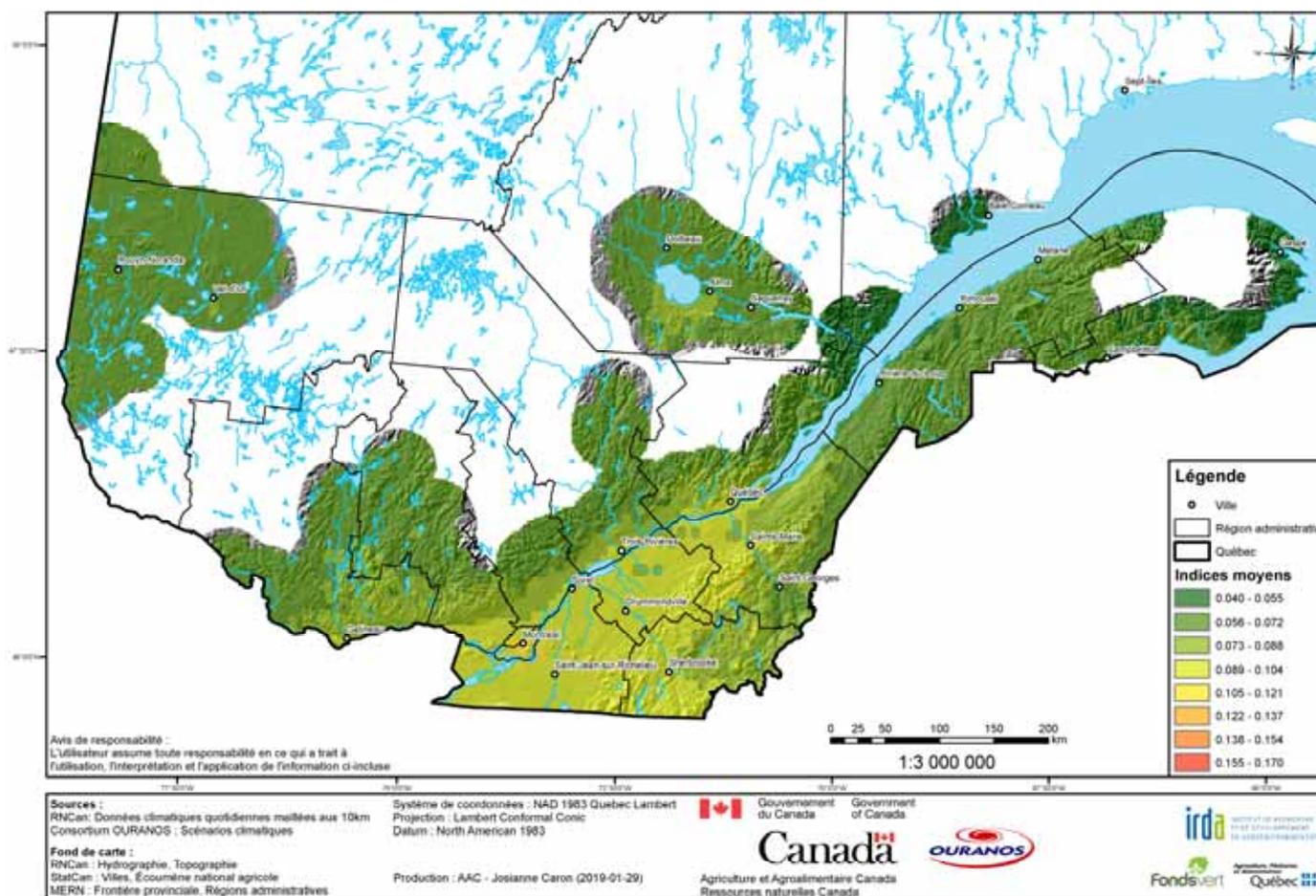


Figure 69. Indices quotidiens moyens d'incidence de la pourriture amère durant la nouaison du pommier selon le scénario de changement inférieur (2041-2070)

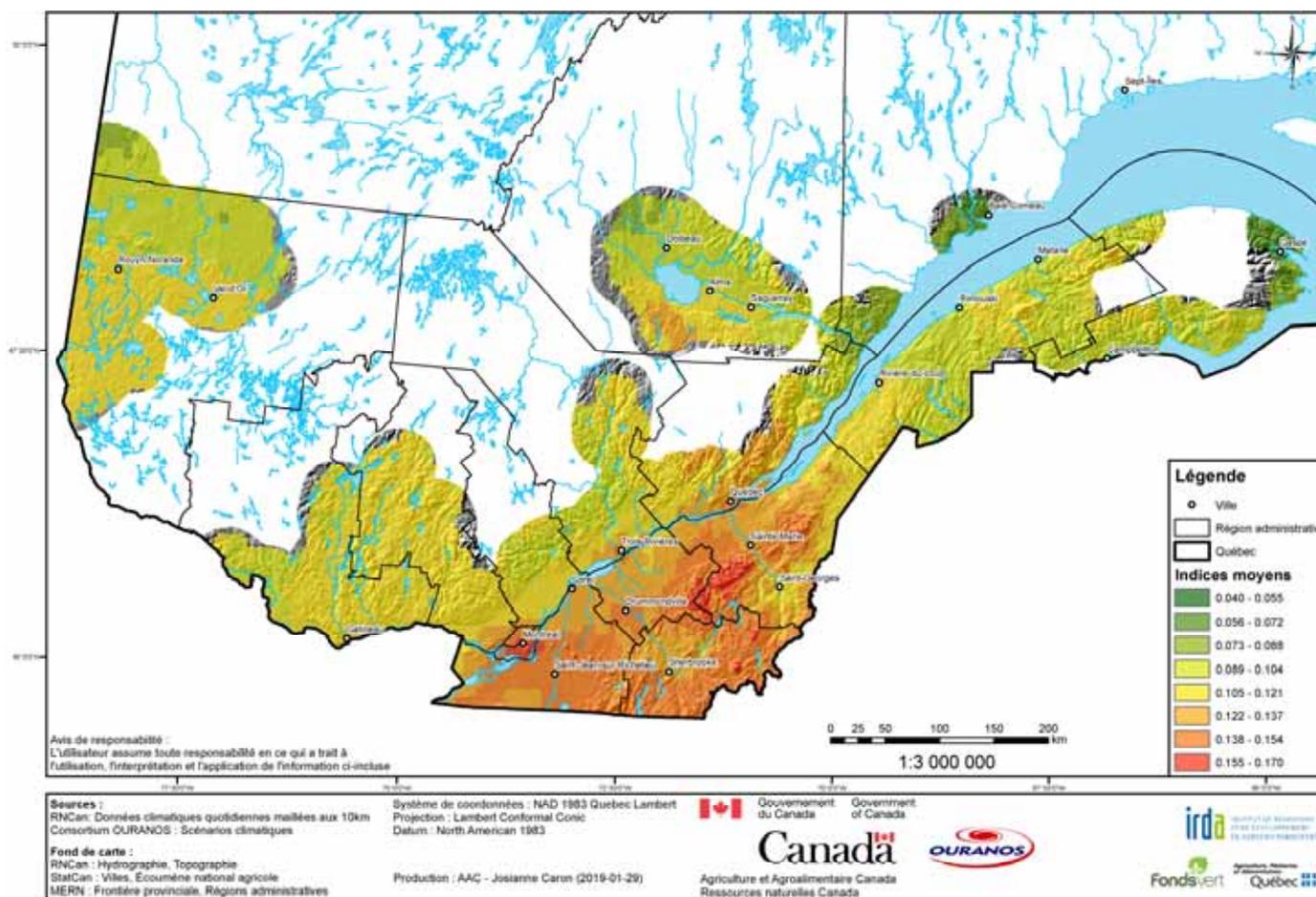


Figure 70. Indices quotidiens moyens d'incidence de la pourriture amère durant la nouaison du pommier selon le scénario de changement supérieur (2041-2070)

Brûlure bactérienne

L'impact que pourraient avoir les changements climatiques sur la brûlure bactérienne est très difficile à projeter et est directement en lien avec la période de floraison et l'humidité relative. Les scénarios inférieurs projettent pour l'horizon 2050 une diminution du risque d'incidence et du nombre d'heures à une humidité relative supérieure à 85% alors que les scénarios supérieurs projettent pour l'horizon 2050 une augmentation du risque d'infection et du nombre d'heures à une humidité relative supérieure à 85% (Figure 72 et 73).

Dans les scénarios de changement inférieurs, la durée de floraison du pommier reste inchangée entre 9,5 et 10,25 jours (Figure 75) cependant, l'humidité relative diminue de 82-89 heures (période de référence) pour atteindre 74-81 heures durant la floraison (Figure 73). Ainsi les indices de risque pour les changements inférieurs sont donc plus bas pour le feu bactérien.

Dans les scénarios de changement supérieurs, la durée de floraison du pommier diminue de 8 à 8,75 jours (Figure 75) à cause de la chaleur, cependant, l'humidité relative augmente à 90-97 heures durant cette période (Figure 73). Ainsi les indices de risque pour les changements supérieurs sont donc plus élevés pour le feu bactérien.

Ces résultats sont similaires aux résultats obtenus dans une étude sur l'effet des changements climatiques sur l'incidence de la brûlure bactérienne en Suisse (Hirschi et al., 2012).

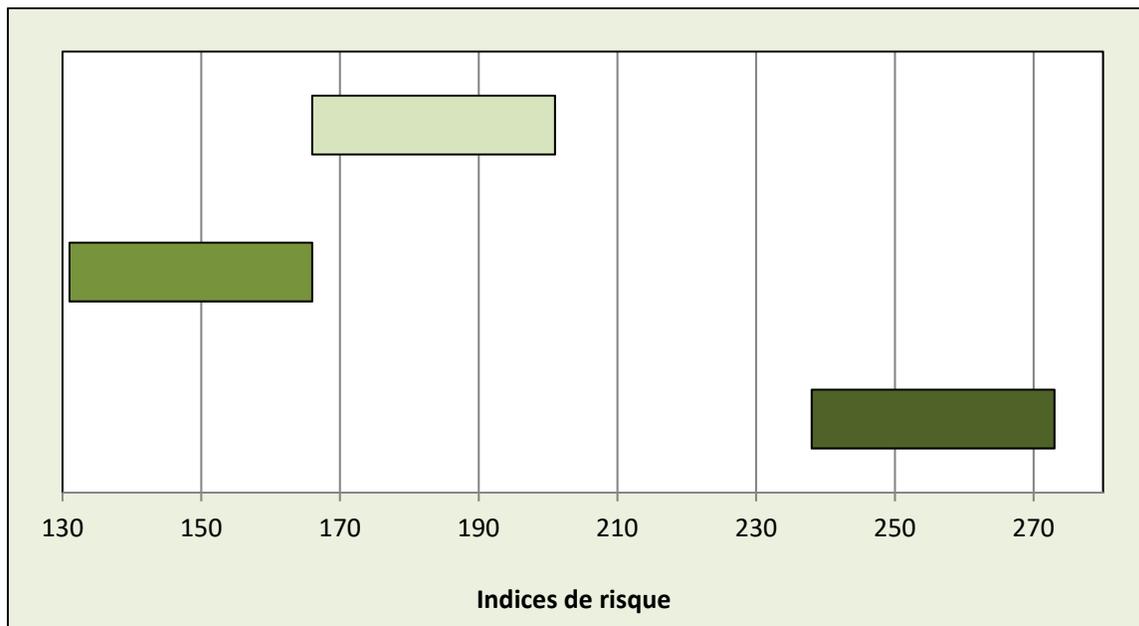


Figure 71. Indices de risque moyen d'incidence de brûlure bactérienne prédit par le modèle CougarBlight en Montérégie pour la période de référence (1981-2010), le scénario de changement inférieur (2041-2070) et le scénario de changement supérieur (2041-2070)

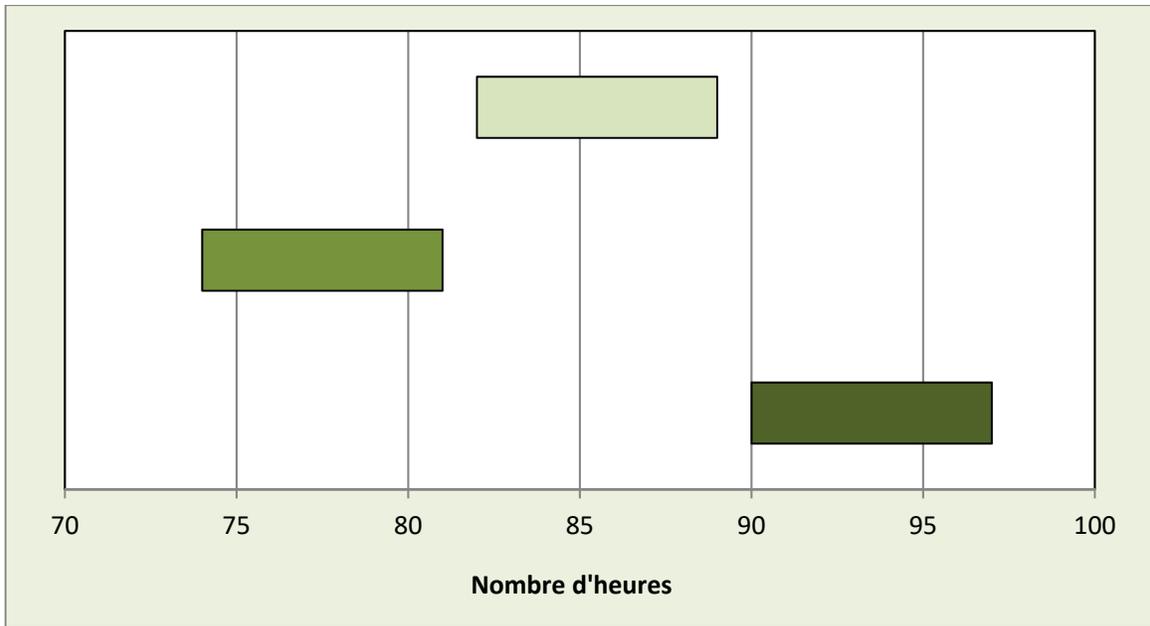


Figure 72. Nombre d'heures moyen durant la floraison du pommier avec une humidité relative > 85% en Montérégie pour la période de référence (1981-2010), le scénario de changement inférieur (2041-2070) et le scénario de changement supérieur (2041-2070)

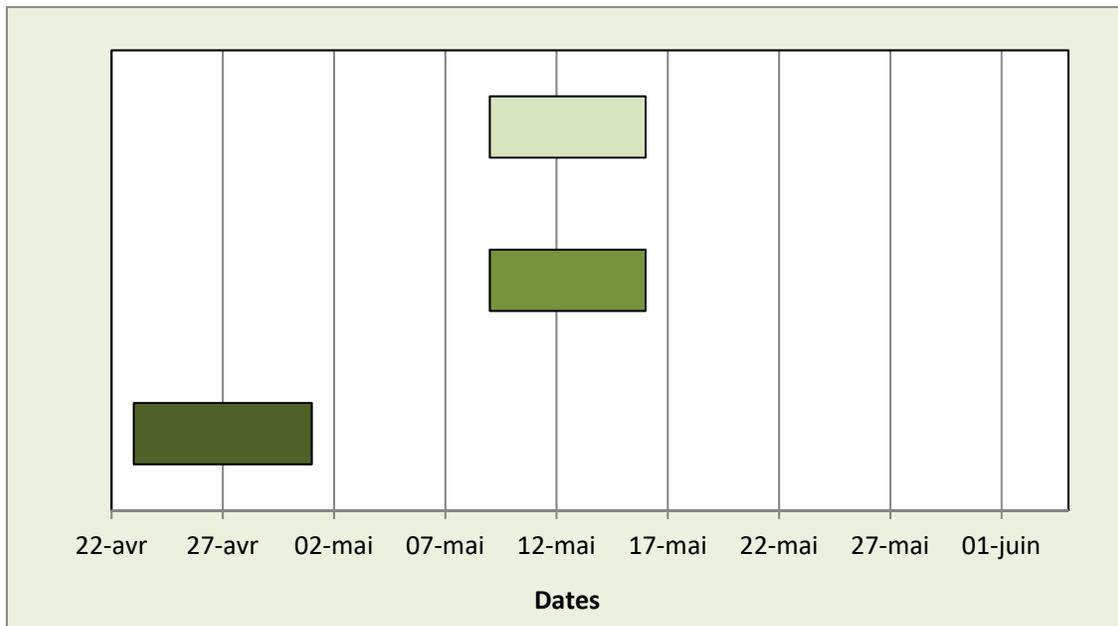


Figure 73. Dates moyennes du début de floraison du pommier en Montérégie pour la période de référence (1981-2010), le scénario de changement inférieur (2041-2070) et le scénario de changement supérieur (2041-2070)

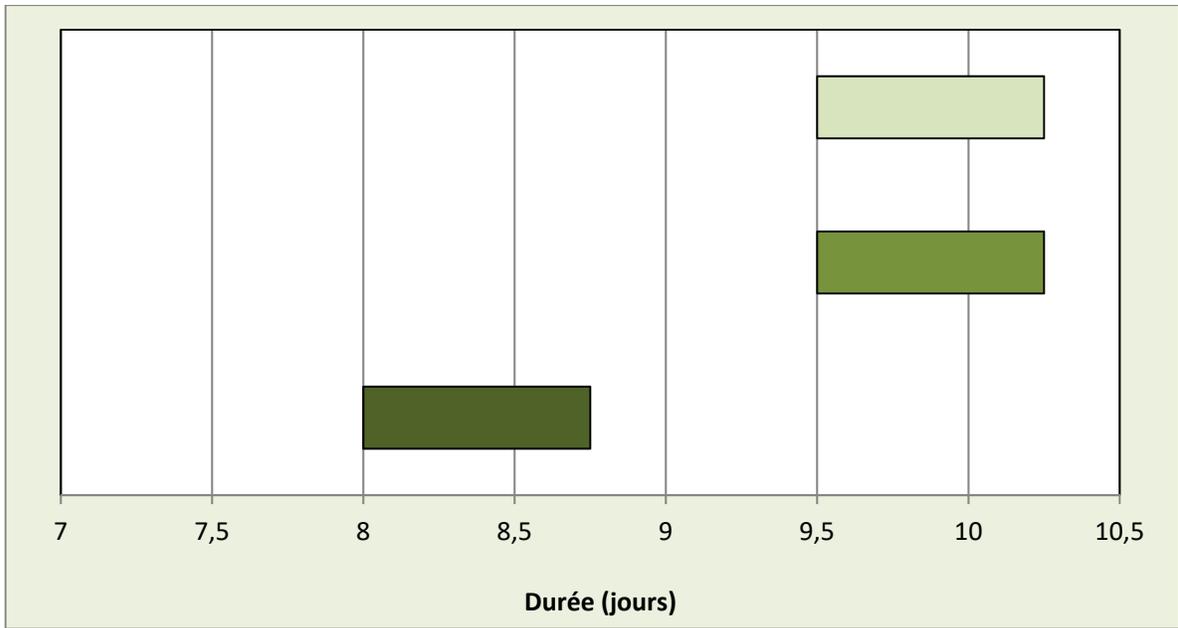


Figure 74. Durées moyennes de la floraison du pommier en Montérégie pour la période de référence (1981-2010), le scénario de changement inférieur (2041-2070) et le scénario de changement supérieur (2041-2070)

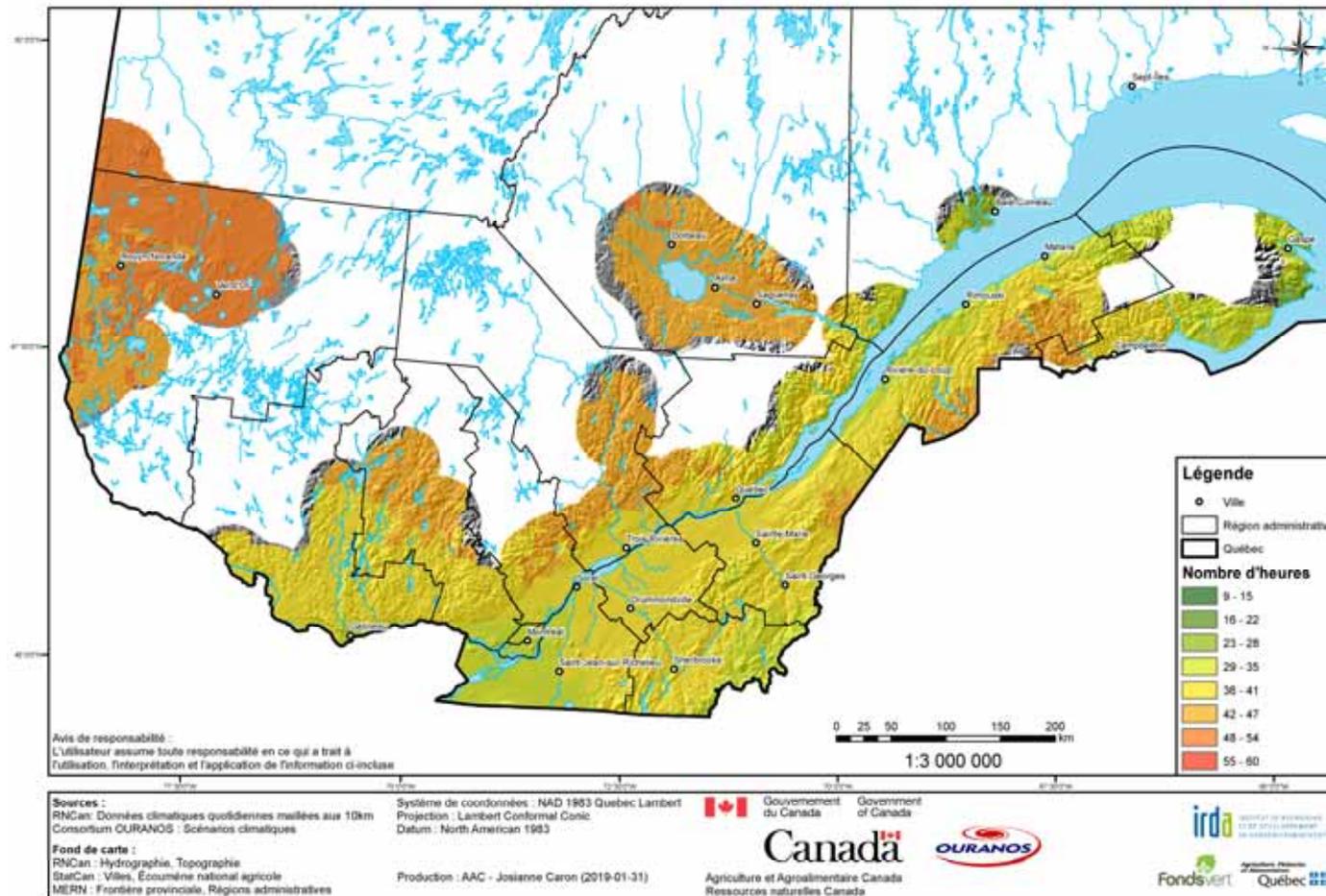


Figure 75. Nombre d'heures moyen à une température supérieure à 20°C durant la floraison du pommier basé sur la période 1981-2010

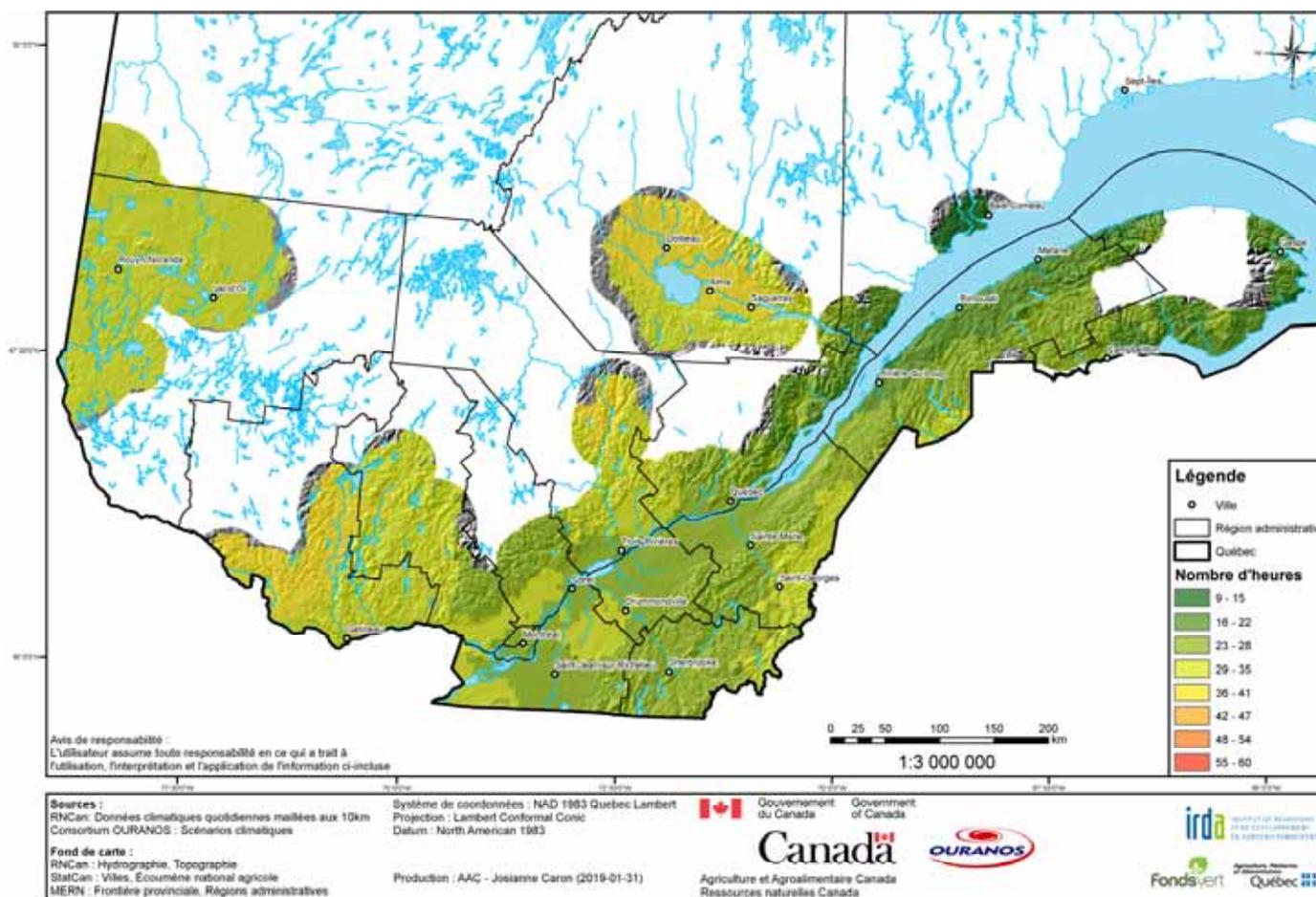


Figure 76. Nombre d'heures moyen à une température supérieure à 20°C durant la floraison du pommier selon le scénario de changement inférieur 2041-2070

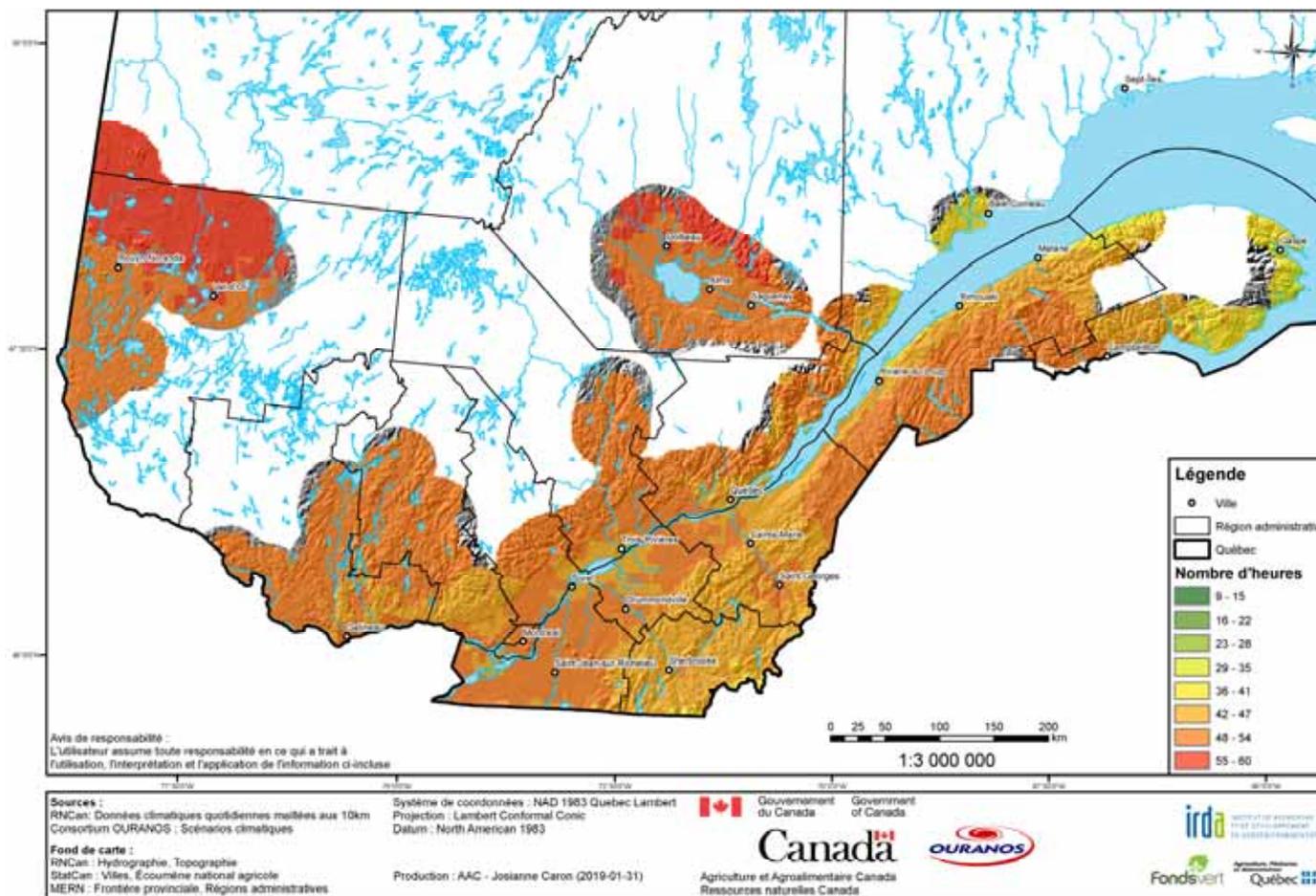


Figure 77. Nombre d'heures moyen à une température supérieure à 20°C durant la floraison du pommier selon le scénario de changement supérieur 2041-2070

4.5.7 Validation des impacts et identification des mesures d'adaptation grâce aux analogues spatiaux

Comparaison entre la modélisation des stades phénologiques et la situation de l'ennemi dans les régions analogues

Pour chaque site de référence (voir tableau 7) et chaque espèce ayant une température de base différente (carpocapse de la pomme et brûlure bactérienne : température de base de 10°C, pourriture amère : température de base de 6°C, punaise marbrée : température de base de 14°C), des analyses des analogues spatiaux ont été effectuées. Un exemple de carte pour l'Amérique du Nord et pour l'Europe est présenté pour la punaise marbrée pour le site de référence situé en Montérégie (Figure 79). Bien que l'analyse soit différente pour le carpocapse/brûlure bactérienne et la pourriture amère, cette figure peut être aussi consultée pour ces espèces puisque leurs cartes de régions analogues (non présentées) sont très similaires à celle pour la punaise marbrée. La figure 80 représente les régions analogues de l'Europe pour la punaise marbrée avec le même site de référence. Le tableau 30 présente les autres sites de référence pour lesquels des régions analogues ont été trouvées pour la punaise marbrée en Amérique du Nord. Le tableau 31 présente les régions analogues pour les différents sites de référence en Europe. Les régions analogues pour l'analyse du carpocapse et brûlure bactérienne en Europe sont présentées par pays dans le tableau 32, les régions analogues pour la pourriture amère en Europe sont présentées par pays dans le tableau 33.

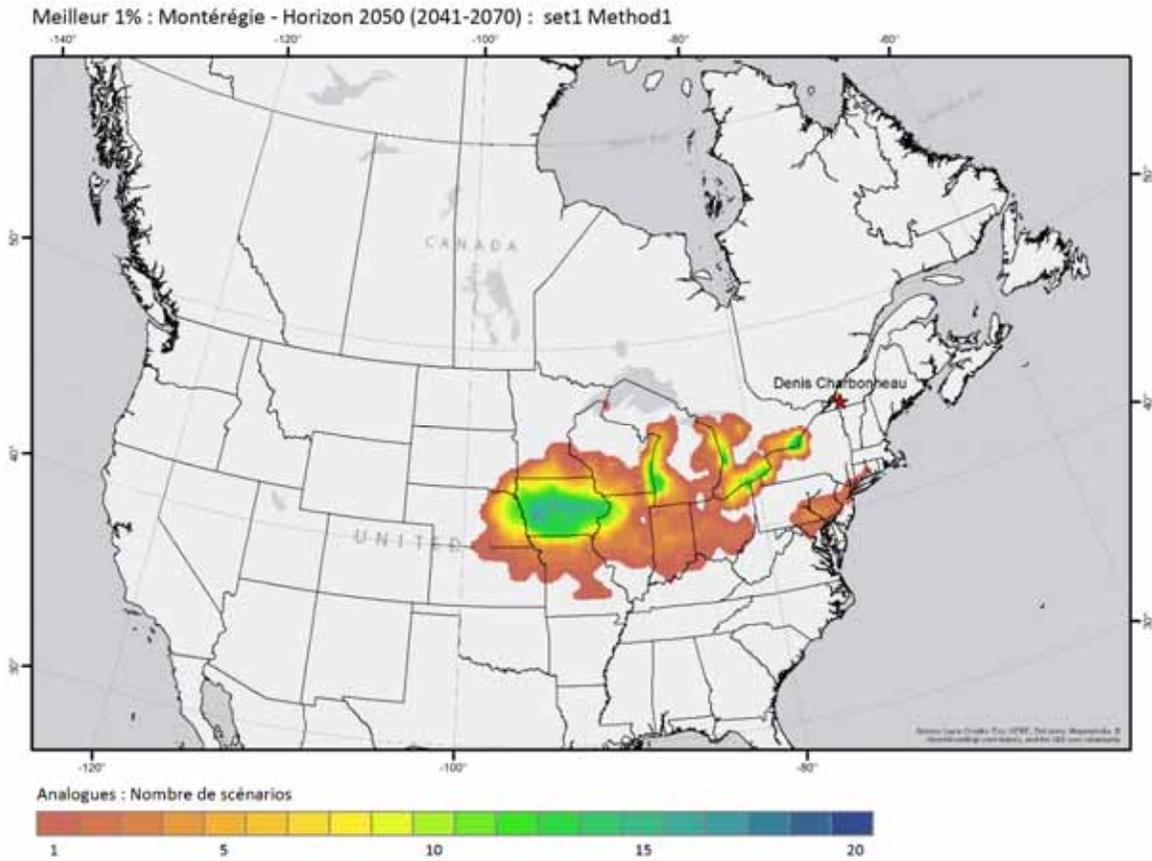


Figure 78. Analogues spatiaux des meilleurs 1% des points de grille MERRA pour le domaine (-131 à 35 ° E et 20 à 60°N) de l'Amérique du Nord pour le climat futur (2041-2070) du site de référence de la Montérégie (Ferme Denis Charbonneau) pour la punaise marbrée

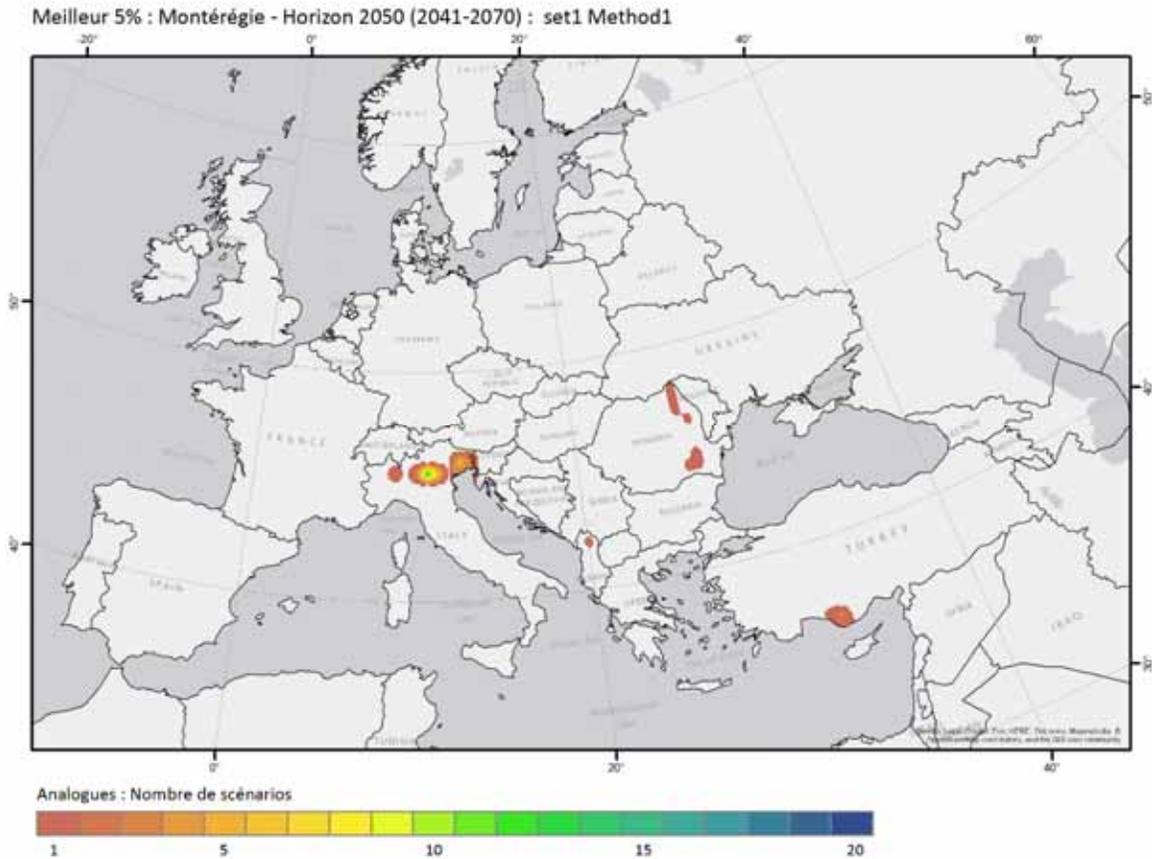


Figure 79. Analogues spatiaux des meilleurs 5% des points de grille MERRA pour le domaine (-131 à 35 ° E et 20 à 60°N) de l'Europe pour le climat futur (2041-2070) du site de référence de la Montérégie (Ferme Denis Charbonneau) pour la punaise marbrée

Tableau 30. 1% des meilleurs analogues en Amérique de Nord selon la région de référence pour le carpocapse de la pomme, la brûlure bactérienne, la pourriture amère et la punaise marbrée

Montérégie	Québec	Gaspésie	Saguenay
Sud-Ontario	Sud-Ontario	Sud-Ontario	Sud-Ontario
South Dakota	Minnesota	Minnesota	Minnesota
South Dakota	Iowa	Wisconsin	Wisconsin
Minnesota	Wisconsin	Michigan	Michigan
Iowa	Michigan	Vermont	New York
Missouri	New York	New Hampshire	Pennsylvanie
Wisconsin	Pennsylvanie	Maine	Vermont
Illinois	Vermont		New Hampshire
Michigan	New Hampshire		Maine

Indiana	Maine		Massachusetts
Ohio	Massachusetts		
New York	Connecticut		
	New Jersey		

Tableau 31. 5% des meilleurs analogues en Europe selon la région de référence pour la punaise marbrée

Montérégie	Québec	Saguenay	Gaspésie
Albanie	Estonie	Estonie	Biélorussie
Italie	Italie	Italie	Estonie
Roumanie	Lettonie	Lettonie	Lettonie
Turquie	Roumanie	Roumanie	Lituanie
	Russie	Russie	Roumanie
	Suède	Suède	Russie
	Suisse	Ukraine	Suède
	Ukraine		Ukraine

Tableau 32. 5% des meilleurs analogues en Europe selon la région de référence pour le carpocapse de la pomme et brûlure bactérienne

Montérégie	Québec	Saguenay	Gaspésie
Albanie	Bosnie-Herzégovine	Estonie	Biélorussie
Italie	Estonie	France	Estonie
Roumanie	Italie	Italie	Lettonie
Turquie	Roumanie	Lettonie	Lituanie
	Russie	Roumanie	Roumanie
	Serbie	Russie	Russie
	Slovénie	Suède	Suède
	Suède	Suisse	Ukraine
	Suisse	Ukraine	
	Ukraine		

Tableau 33. 5% des meilleurs analogues en Europe selon la région de référence pour la pourriture amère

Montérégie	Québec	Saguenay	Gaspésie
Albanie	Allemagne	Autriche	Estonie
Croatie	Estonie	Bosnie-Herzégovine	Lettonie

Grèce	France	Estonie	Lituanie
Hongrie	Italie	France	Suède
Italie	Pologne	Italie	Norvège
Roumanie	Roumanie	Lettonie	Russie
Slovénie	Russie	Roumanie	Ukraine
Turquie	Suède	Russie	Pologne
	Suisse	Serbie	Roumanie
	Ukraine	Slovénie	Serbie
		Suède	Sarajevo
		Suisse	Italie
		Ukraine	France
			Suisse

Les régions analogues trouvées ont servi à comparer les résultats projetés (dates d'apparition des différents stades phénologiques de la pomme et des ravageurs, nombre de générations, dispersion des espèces) par les simulations climatiques avec les données observées pour ces régions obtenues par une revue de littérature approfondie ainsi que l'envoi d'un sondage à différents spécialistes des régions analogues (tableau 34). De plus, des informations sur les méthodes de lutte utilisées dans ces régions analogues contre les espèces d'intérêts ont aussi été répertoriées. Selon la modélisation bioclimatique, le carpocapse de la pomme sera capable de compléter deux générations. Dans les régions analogues, le carpocapse de la pomme complète de deux à 3 générations. La punaise marbrée pourra compléter une génération dans le futur selon les scénarios. Il est observé que dans les régions analogues, la punaise marbrée complète de 1 à 2 générations.

Tableau 34. Vérifications des projections bioclimatiques pour l'horizon 2050 par les analogues spatiaux

Impacts	Projections Bioclimatiques	Revue de littérature (Analogue)
Devancement de la floraison du pommier	Fin avril – début mai	Fin avril – début mai
Augmentation de la pression exercée par le carpocapse de la pomme Nombre de génération par année	2 générations	2 à 3 générations
Devancement phénologie du carpocapse de la pomme (début des vols de la G1)	13 au 22 mai	Début mai à fin mai

Augmentation de la pression exercée par la punaise marbrée	1 génération complète	1 à 2
Nombre de génération par année		

Carpocapse de la pomme

La pression exercée par le carpocapse de la pomme augmentera par le nombre de générations par saison, par le nombre d'individus (car plus d'individus qui passent l'hiver) et par la diminution du délai pour intervenir dans les applications. Afin de contrôler la deuxième génération, il nous faudra augmenter et prolonger nos efforts de contrôle en augmentant le nombre de traitements. Le risque de développer des résistances aux insecticides sera accru. Actuellement au Québec, la stratégie de lutte utilisée contre le carpocapse de la pomme est basée sur l'historique des dommages, le dépistage des adultes à l'aide des pièges à phéromone et l'observation des dégâts occasionnés par les larves. Ces observations sont essentielles pour optimiser la lutte contre le carpocapse et bien synchroniser la période d'intervention. La méthode de confusion sexuelle prend de l'ampleur depuis quelques années (Charbonneau et al., 2018). Cette méthode, dans les conditions d'application, permet d'éviter ou de réduire l'utilisation d'insecticides (Cormier et Morin, 2008), mais ne peut être appliquée dans tous les vergers. De plus avec l'allongement de la saison de croissance, les températures plus chaude, et la présence de la deuxième génération, il sera peut-être nécessaire de renouveler la phéromone en saison impliquant des coûts additionnels.

Méthodes de lutte dans les régions analogues

Carpocapse de la pomme

Plusieurs méthodes utilisées dans les régions analogues pour lutter contre la carpocapse de la pomme sont très similaires aux méthodes utilisées dans notre province (Tableau 35). L'utilisation de piège à phéromones ainsi que de modèles prévisionnels est très courante au Québec. La confusion sexuelle prend beaucoup d'ampleur.

Tableau 35. Techniques utilisées dans les régions analogues pour lutter contre le carpocapse de la pomme dans les régions analogues

Méthodes de lutte	Revue de littérature	Formulaire
Dépistage		
Piège à phéromones	x	x
Utilisation de modèles phénologiques	x	x
Méthodes alternatives		
Confusion sexuelle	x	x

Granulovirus (résistance observée)	x	x
Nématodes à l'automne afin de diminuer la population hivernante	x	
Trichogrammes (Trichotim)	x	
« Attract and kill » (SIRENE [®] CM, LastCall [™] CM, ...)	x	
Filets (Europe)	x	
Contrôle chimique		
Insecticides	x	x
Observation de résistance	x	x

Dans les régions analogues, plusieurs études se tournent vers des solutions alternatives puisque les résistances aux insecticides (organophosphorés et autres) sont nombreuses (University of Massachusetts Amherst, 2019). Les multiples générations de ce ravageur ont probablement entraîné une surutilisation des insecticides. Dans les régions ayant au moins 2 générations du ravageur par année, les méthodes les plus utilisées sont la confusion sexuelle (Cattaneo et al., 2017) et le granulovirus CpGV (plusieurs souches disponibles). Dans les régions avec de fortes pressions, la combinaison de ces deux méthodes est suggérée (Kutinkova et al., 2009a). Le granulovirus est utilisé pour contrôler le carpocapse de la pomme sur plus de 100 000 ha en Europe dans la production biologique et en combinaison avec des mesures de contrôle conventionnelles (Harrison et Hoover, 2012). Ce produit est une bonne solution lorsque de nombreuses résistances à des produits phytosanitaires sont présentes (Welty, 2011; Caruso et al., 2010). Par contre, des résistances au granulovirus de souche mexicaine ont été observées dans certaines régions d'Europe (Jehle et al., 2010). Les filets d'exclusion sont aussi une technique largement utilisée en Europe contre le carpocapse (Alt'Carpo) (Sévérac, 2012). Depuis plusieurs années, différentes structures de filets d'exclusion sont étudiées (mono-rang, mono-parcelle) (Kelderer et al., 2010). Les guêpes parasitoïdes trichogrammes (*Trichogramma embryophagum*, *T. minutum*) sont aussi utilisées en production biologique (Damianov et al., 2014; Beers et al., 1993). La méthode d'attracticide (SIRENE[®] CM, LastCall[™] CM, et.) a été étudiée en Europe (Ioriatti et Angeli, 2002; Kutinkova et al., 2009b). Il semblerait que la guêpe *Mastrus ridens* qui est spécifique aux larves du carpocapse serait aussi une avenue intéressante (Auguste et al., 2019). Certains utilisent même les nématodes (*Steinernema carpocapsae* et *S. feltiae*) à l'automne afin de diminuer la population hivernante (Brown, 2010; Curto et al., 2008; Kienzle et al., 2008). Durant la deuxième génération, la plupart des différents stades du carpocapse de la pomme sont présents au même moment. Le contrôle de ce dernier devient donc plus difficile et l'utilisation de régulateurs de croissance est inefficace (Miletić et al., 2011).

Punaise marbrée

Comme la punaise marbrée n'est pas encore établie dans nos vergers, la liste des méthodes de lutte utilisées dans les régions analogues (Tableau 36) sera un outil indispensable si la punaise marbrée devient une nuisance agricole au Québec.

Tableau 36. Techniques utilisées dans les régions analogues pour lutter contre la punaise marbrée

Méthodes de lutte	Revue de littérature	Formulaire
Dépistage		
Pièges pyramidaux appâtés avec une phéromone d'agrégation et du décatriénoate de méthyle (seuil de 10 captures)	x	x
Utilisation de modèles phénologiques (RIMpro)	x	
Méthodes alternatives		
« Attract and kill », en bordure (phéromone + traitement)	x	x
Filets d'exclusion	x	
Essai avec guêpe parasitoïde <i>Trissolcus japonicus</i>	x	
Contrôle chimique		
Application d'insecticides (à la grandeur du champ, en bordure ou en alternant les rangs)	x	x

Présentement dans les vergers du Québec, nous n'avons pas de problème avec la punaise marbrée (Chouinard et al., 2017). Cependant, dans certaines des régions analogues, cette punaise entraîne d'énormes dommages (Italie, Michigan, Pennsylvanie, New York, Ohio). L'impossibilité de prédire les mouvements de la punaise marbrée ainsi que l'effet de ses phéromones d'agrégation (concentrant ce ravageur dans des zones précises) compliquent l'application de traitements phytosanitaires (Bariselli et al., 2016). Alors que les dommages causés par l'alimentation des nymphes peuvent être réduits efficacement avec un traitement phytosanitaire, les dommages causés par les adultes sont plus difficiles à diminuer. Les adultes établis à l'extérieur du verger représentent un défi continu. La méthode standard utilisée pour la capture des nymphes et des adultes est l'utilisation de pièges pyramidaux appâtés avec une substance commerciale contenant des phéromones d'agrégation et un synergiste (décatriénoate de méthyle) (Bergh et al., 2016; Fraser, 2018). Des études dans l'ouest de la Virginie et le Maryland ont démontré que ses pièges peuvent être utilisés pour la gestion de la punaise marbrée. Lorsque les captures cumulatives atteignent le seuil de 10 captures, un insecticide est appliqué sur la moitié du verger (un rang sur deux) et l'autre moitié est traitée 7 jours tard. Cette technique permet de prolonger le temps d'exposition à l'insecticide et de s'assurer de toucher les punaises migrantes. Cette stratégie permet de réduire le nombre d'applications d'insecticide tout en

conservant un bon contrôle des dommages (Bergh et al., 2016). Comme les recherches ont démontré que les dommages étaient majoritairement situés dans la partie supérieure de la canopée et en bordure des vergers, un piégeage hebdomadaire en périphérie avec un seuil de 10 captures a été étudié. Il a été démontré que l'application d'insecticide en bordure ou en alternant les rangs n'entraînent aucune différence sur le niveau de dommage comparativement à des traitements uniformes (Jentsch, 2015). Comme tous les insecticides utilisés contre la punaise marbrée tuent les ennemis naturels, ils devraient être utilisés seulement lorsque nécessaires. En réduisant le nombre d'applications et en limitant la surface traitée, l'impact est diminué (Bergh et al., 2016). La méthode « attract and kill » en bordure de verger semble très prometteuse (Morrison et al., 2019). L'attractif utilisé est le mélange de deux isomères cis-(7R)-10,11-epoxy-1-bisabolén-3-ols combiné à des traitements insecticides avec des produits homologués sur trois pommiers en bordure. Les barrières physiques seraient aussi une avenue pour lutter contre la punaise marbrée.

Plusieurs espèces d'ennemis naturels en Asie qui parasitent les œufs des punaises permettent de réduire les populations. En revanche, le taux de parasitisme de la punaise marbrée en Amérique du Nord est faible et ne semble pas influencer les populations (Quarles, 2013). Un guêpe parasitoïde asiatique des œufs de punaise marbrée, *Trissolcus japonicus*, a récemment été découvert aux États-Unis. Des études se concentrent sur son potentiel d'agent de lutte pour contrôler les populations de punaises marbrées et les répercussions engendrées (Dieckhoff et al., 2017).

Pourriture amère

La pourriture amère, qui est dévastatrice dans les régions chaudes et humides du sud des États-Unis, est une maladie sporadique dans les états américains du Nord-Est. L'application de fongicides est la méthode de lutte la plus utilisée (University of Massachusetts Amherst, 2019). Une technique culturale pour lutter contre la pourriture amère est de retirer les fruits infectés, les chancres causés par la brûlure bactérienne ainsi que le bois mort (PennState Extension, 2017).

Brûlure bactérienne

La brûlure bactérienne est devenue plus problématique (Phillion, 2014). Comme *E. amylovora* est native de l'est de l'Amérique du Nord, les méthodes de luttés utilisées au Québec sont adéquates et très similaires aux régions analogues. Elles se divisent en mesures préventives et mesures d'éradication. Les méthodes préventives débutent par l'utilisation de cultivars et de porte-greffes résistants ainsi que par le contrôle de la vigueur du plant (Gaus et Goodman, 2014; Smith, 2017; Smith et al., 2016). Il est aussi souhaitable d'enlever les pommiers sauvages ou les hôtes potentiels aux alentours du verger. Les mesures d'éradication consistent en la lutte chimique et l'élimination des chancres par la taille. La prévision de l'infection des fleurs par le feu bactérien est aussi utilisée pour déterminer les moments de l'application de produits phytosanitaires (Schöneberg et al., 2017; Smith et al., 2016). En résumé, un programme intégré de lutte chimique et de soins

sanitaires, la taille, l'éradication, la fertilisation contrôlée des arbres et l'utilisation de cultivars tolérants ou résistants sont recommandés pour lutter contre la maladie (Philion, 2014).

4.6 LISTE DES RECOMMANDATIONS PAR SECTEUR DE PRODUCTION

4.6.1 Secteur canneberge

Résumé des impacts des changements climatiques et mesures adaptatives

La pression exercée par la tordeuse des canneberges pourrait augmenter à l'horizon 2041-2070 avec l'apparition d'une troisième génération. Les risques d'infection de pourriture amère, quant à eux, pourraient doubler.

Pour la tordeuse de la canneberge, les méthodes de lutte utilisées dans les régions analogues sont sensiblement les mêmes que celles utilisées au Québec. Cependant, dans ces régions les inondations printanières sont davantage utilisées et les produits phytosanitaires disponibles sont plus nombreux.

Pour la pourriture amère, le contrôle de la maladie repose essentiellement sur l'application de fongicides en rotation pour ralentir le développement de résistance à ceux-ci. Comme aucun fongicide biologique n'est actuellement homologué au Canada contre la pourriture amère dans la canneberge, il serait très important de prévoir l'homologation de fongicides biologiques. L'utilisation des inondations semble aussi prometteuse.

Aux vues de ces nouvelles connaissances, un atelier de priorisation avec les producteurs et les experts du secteur a été réalisé afin de cibler les vulnérabilités du secteur face aux changements climatiques et les mesures d'adaptations phytosanitaires à adopter. Il est ressorti de cet atelier que le secteur a besoin d'être beaucoup mieux outillé au niveau des connaissances sur la culture, la tordeuse des canneberges et la pourriture amère. Les participants ont suggéré des mesures adaptatives et les ont priorisées par la suite (Tableau 37). Les recommandations s'appliquent aussi bien au secteur biologique que conventionnel.

Même si le sujet de l'atelier était la phytoprotection et les changements climatiques, les participants ont listé des mesures adaptatives liées plus proprement à la culture de la canneberge qui les préoccupaient. Les participants ont souligné les besoins d'études pour prédire les besoins futurs en eau et développer des méthodes de protection hivernale des plants en mesurant leurs impacts sur la vigueur des plants. De plus, il a été soulevé, qu'il fallait améliorer la précision du modèle phénologique de la canneberge et ajouter différents facteurs à prendre en compte : les cultivars, sablage, inondation, âge des plants, etc. Finalement, il serait important de développer des méthodes pour limiter les effets des coups de chaleur sur la culture.

Tableau 37. Liste des recommandations établies par le secteur de la canneberge sur les mesures à prioriser pour s'adapter aux problématiques phytosanitaires à l'horizon 2041-2070

Mesures adaptatives	Votes
Tordeuse des canneberges	
Connaître la compatibilité des méthodes de lutte (parasitoïdes, confusion sexuelle, insecticide) et le moment d'application	14
Développer et homologuer de nouveaux produits phytosanitaires à moindres risques	12

Améliorer le modèle prévisionnel et le valider	11
Améliorer les connaissances sur la technique de l'inondation et ses effets	10
Adapter le dépistage de début de saison pour les larves	6
Développer des méthodes pour lutter contre la troisième génération	3
Développer un calendrier de gestion rationnelle des insecticides	0
Pourriture amère	
Développer les connaissances sur les maladies, les méthodes de dépistage et les seuils	13
Développer des outils prévisionnels (modèle bioclimatique)	11
Augmenter les connaissances sur l'utilisation des inondations pour gérer les maladies	8
Développer les connaissances sur l'efficacité des fongicides	6
Développer les connaissances sur les compatibilités entre fongicides et insecticides	6
Développer les connaissances sur les compatibilités des fongicides avec les abeilles	4

4.6.2 Secteur fraise et framboise

Résumé des impacts des changements climatiques et mesures adaptatives

Les températures chaudes projetées par les scénarios influenceront grandement la production de la framboise et de la fraise. La fraise à jours neutres a besoin de jours longs ainsi que de températures inférieures à 27°C pour initier la floraison (Boivin, 2008). Le réchauffement des mois de juillet et août pourrait nuire à ce processus (Ctifl, 2004; Roy, 2008). Les températures extrêmes en saison de croissance augmenteraient les risques de coup de soleil et les cycles de gel-dégel l'hiver augmenteraient les dommages hivernaux. De plus, le décalage dans les dates de récolte entraînerait des changements de mise en marché des produits. Comme les espèces à l'étude sont nuisibles aux cultures tout le long de la saison de croissance, il n'y aurait pas beaucoup de changement dans le synchronisme entre la culture et les ravageurs.

La pression exercée par le scarabée japonais serait plus forte pour l'horizon 2050 due à son cycle de vie plus court et une émergence plus rapide. Le scarabée japonais, qui est déjà une nuisance lors de la récolte des fruits en framboisère, risque d'être en nombre supérieur lors des récoltes dans le futur. Il est donc primordial de contrôler ses populations. Le nombre de générations du tarsonème du fraisier durant une saison augmenterait à l'horizon 2050. Les fraises à jours neutres seront affectées par l'importante augmentation du tarsonème durant les mois de juillet et août. Il devient donc primordial de trouver une méthode de dépistage et des moyens de luttés efficaces.

L'antracnose est déjà un problème important dans les cultures de fraises au Québec. Selon les projections, les infections augmenteraient également.

L'atelier avec les producteurs du secteur fraise/ramboise a identifié les vulnérabilités face aux changements climatiques et les mesures d'adaptation phytosanitaire à adopter. Une présentation des résultats et un atelier d'échange ont été effectués. Les participants ont suggéré des mesures adaptatives (tableau 38). Contrairement à l'atelier pour la canneberge, le nombre de participants était moindre, le temps était plus restreint et de ce fait il n'y a pas eu de vote spécifiquement sur les recommandations énoncées. Les agronomes du secteur suggèrent de continuer les efforts dans chaque secteur (homologation, essais de variété, modélisation bioclimatique, régie avec la gestion de l'eau). Un point important soulevé est la diffusion des connaissances qui doit être améliorée. L'utilisation de vitrines de diffusion semble être très appropriée.

Tableau 38. Listes des recommandations établies par les producteurs du secteur de la framboise et de la fraise sur les mesures à prioriser pour s'adapter aux problématiques phytosanitaires à l'horizon 2050

Tarsonème
Développer une méthode de dépistage précoce
Méthode à élaborer en pépinière afin de diminuer le risque de tarsonème à la transplantation
Effectuer des homologations en curatif pour les pépinières ou en post-rénovation
Optimiser la technique d'arrosage des produits phytosanitaires
Améliorer les connaissances sur l'utilisation des prédateurs et leur efficacité
Développer le traitement des plants mères à l'eau chaude et au CO ₂ (atmosphère contrôlée (CATTs))
Scarabée japonais
Favoriser/diffuser la connaissance sur le ravageur
Connaître le seuil de tolérance du framboisier à la défoliation (%)
Trouver des solutions biologiques contre les larves et/ou les adultes
Documenter des solutions mécaniques (exemple : filet) contre les adultes
Travailler pour favoriser la prédation du scarabée japonais par <i>Isotocheta aldrichi</i>
Anthracnose
Développer des modèles prévisionnels et diffusions de l'information
Homologuer de nouveaux produits (nouvelle matière active)
Offre de service afin d'identifier la résistance aux fongicides
Développer des variétés résistantes
Planification des produits et traitements (calendrier)
Effectuer de la recherche génomique pouvant aider au contrôle de la maladie
Connaître les meilleurs paramètres pour appliquer les fongicides (calibration, pH)
Évaluer l'efficacité des traitements au CO ₂ (atmosphère contrôlée (CATTs)) sur les plants avant plantation

4.6.3 Secteur pomme

Résumé des impacts des changements climatiques et mesures adaptatives

La pression exercée par le carpocapse de la pomme risque d'augmenter avec les changements climatiques. La deuxième génération qui est présentement partielle aurait le plein potentiel pour se réaliser en 2050. Pour l'horizon 2050, la punaise marbrée aurait le potentiel de compléter une nouvelle génération chaque année dans le sud du Québec et de survivre à l'hiver dans ces régions. Avec l'augmentation des températures, les risques d'infection de pourriture amère augmenteront aussi. Seules les projections pour la brûlure bactérienne sont difficiles à interpréter et il est impossible de dire si cette maladie prendra de l'ampleur ou diminuera dans le futur.

Un atelier avec les experts du secteur de la pomme a été réalisé afin de cibler les vulnérabilités face aux changements climatiques et les mesures d'adaptation phytosanitaire à adopter. Les participants ont suggéré des mesures adaptatives (Tableau 39). Contrairement à l'atelier pour la canneberge, le nombre de participants était moindre, le temps était plus restreint et de ce fait il n'y a pas eu de vote spécifiquement sur les recommandations énoncées. Les participants ont indiqué que depuis 2017 d'autres ravageurs les inquiètent et seraient également à cibler (mouche de la pomme, scarabée japonais).

Même si le sujet de l'atelier était la phytoprotection et les changements climatiques, les participants ont listé des mesures adaptatives liées plus proprement à la culture de la pomme qui les préoccupaient. Les participants ont souligné les besoins d'études pour prédire la fréquence des risques de gel et de grêle sur le pommier avec des études économiques et le développement de programme de méthode de protection pour le gel printanier (éolienne, culture (semi) abritée). De plus, il a été soulevé, qu'il fallait prioriser des variétés de pommes tardives qui n'ont pas besoin de froid pour rougir. Il y a aussi un manque dans l'information des besoins en eau et de l'optimisation de l'irrigation. Finalement, il serait important d'améliorer la diffusion des modèles de désordres physiologiques post-récolte.

Tableau 39. Listes des recommandations établies par les experts du secteur de la pomme sur les mesures à prioriser pour s'adapter aux problématiques phytosanitaires à l'horizon 2050

Carpocapse de la pomme
Obtenir les réponses des subventions aux producteurs pour la confusion sexuelle plus tôt en saison puisque la saison sera devancée
Légiférer l'obligation d'utiliser la confusion sexuelle lorsque les conditions s'appliquent
Homologuer la confusion sexuelle avec le diffuseur aérosol (Shin Etsu)
Développer et homologuer de nouveaux produits phytosanitaires avec un délai avant récolte plus court
Développer le service de résistance aux insecticides au Québec pour les régions
Étudier les différents cultivars adéquats pour la production sous filet
Punaise marbrée
Développer et diffuser les connaissances sur les stratégies de lutte et seuils d'intervention

Financer l'augmentation à deux pièges pour le suivi des captures en vergers pilotes (RAP) pour un meilleur dépistage du ravageur
Développer et diffuser les connaissances sur les risques économiques de la punaise en fonction des régions et du paysage agricole
Pourriture amère
Développer l'information sur les stratégies et méthodes de lutte pour cette maladie
Élaborer des méthodes de lutte en production biologique et conventionnelle
Brûlure bactérienne
Développer des variétés résistantes à la maladie
Effectuer des recherches sur la méthode d'éclaircissage à la floraison
Autres
Documenter les bonnes pratiques lors d'un événement extrême (gel, grêle, chaleur ...)
Augmenter le nombre de points de prévision météorologique pour le RAP (vergers pilotes)
Scarabée japonais : mêmes recommandations que dans la fraise/framboise
Mouche de la pomme : développer les connaissances sur sa biologie afin de mieux connaître le moment idéal pour retirer les pièges

5 ANALYSE ET DISCUSSION

5.1 REVUE DE LITTÉRATURE ET SÉLECTION DES ESPÈCES

La revue de littérature effectuée a permis de cibler les espèces à risque de devenir plus problématiques avec les changements climatiques basée sur des critères précis. Cette méthode a permis de minimiser la subjectivité dans nos prédictions. À la suite des rencontres du comité de suivi et des ateliers avec les producteurs et agronomes, il s'est avéré que les listes établies étaient cohérentes avec les soupçons du milieu. Cependant, le secteur évolue rapidement et depuis la réalisation de la revue, des produits phytosanitaires ont été retirés ou en voie de l'être. Suites aux ateliers réalisés avec les différents secteurs, il semble que d'autres études de cas auraient été finalement pertinentes à réaliser (ex : mouche de la pomme). Pour les espèces exotiques, la démarche réalisée nous a permis de trouver une liste d'insectes et de maladies pour les quatre secteurs de cultures. Cependant, souvent les informations pertinentes pour la priorisation (impact sur le rendement, impact économique) sont manquantes pour la culture d'intérêt.

5.2 MODÉLISATION DES IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Dans le cadre de ce projet, nous avons pu créer de nouveaux modèles phénologiques ou en modifier pour répondre à nos besoins (Tableau 40). Ces modèles ont été conçus à partir de données issues de la littérature scientifique (Vittum, 1986; Easterbrook et al., 2003; Leandro et al., 2003; Magarey et al., 2005; Rowlandson et al., 2015) ou dérivés de modèles déjà existants (MacKenzie et Peres, 2012; Launey et al., 2014). Ces modèles seront de nouveaux outils dans la gestion phytosanitaire de nos cultures. Cependant, avant d'être utilisés, ces modèles devront faire l'objet d'évaluation avec des données provenant du Québec sur quelques années. Deux modèles sont actuellement en cours d'évaluation par l'équipe de l'IRDA en collaboration avec l'équipe de recherche en bioclimatologie et modélisation d'AAC, le CIEL et différents clubs d'agronomes : le modèle de l'anthracnose en fraise et le modèle du scarabée japonais en multiculture fruitière (Projet PV-3.2-DP-IRDA-32). Si la validation de ces modèles amène à des changements et adaptations des modèles, il est clair que les résultats de notre étude pourraient être à réviser.

Suite au lancement des modèles de cultures (pomme, fraise, framboise et canneberge) et tous les modèles d'insectes et d'acariens, nous avons projeté un impact direct des changements climatiques quant à leur phénologie saisonnière. Cet impact se traduisait le plus souvent par un devancement d'une (scénario inférieur) à deux (scénario supérieur) semaines de la phénologie des plantes et des ravageurs pour les scénarios de changements supérieurs. Actuellement, les modèles ne permettent pas d'établir une corrélation entre les projections et les impacts potentiels que ces dernières peuvent avoir sur les cultures (perte économique). Cependant, il est plutôt logique de penser que dans le futur, les dommages causés par les insectes ou acariens pour lesquels le nombre de générations augmenterait (ex. carpocapse de la pomme, tarsonème et tordeuse des canneberges) seraient plus importants. Pour des ravageurs comme le scarabée japonais, il est plus difficile de prévoir son impact futur sur la culture puisque son cycle se fait toujours sur une année et n'augmentera pas son nombre de générations. Cependant, cet insecte devrait réaliser une expansion de son aire de distribution et cela s'observe déjà actuellement.

Tableau 40. Bilan des modèles bioclimatiques créés ou améliorés dans le cadre du projet

Modèles	Nouveau	Amélioration	Mise en ligne CIPRA	Commentaires
Carpocapse de la pomme		X	Oui	Ajout de la 2 ^{ème} génération grâce à l'intégration des données du modèle Agropomme
Scarabée japonais	X		Oui	Modèle actuellement en validation par Firlej et al.
Tarsonème du fraisier	X		Non	
Canneberge		X	Oui	Modèle amélioré avec l'ajout de jeu de données du CETAQ
Anthracnose (fraise)	X		Non	Modèle actuellement en validation par Firlej et al.
Tordeuse de la canneberge	X		Non	Modèle élaboré avec les données du CETAQ, mais dont les prédictions ne sont pas précises

Réflexions sur la modélisation bioclimatique des cultures

Il est apparu à la suite des discussions avec les groupes de producteurs et d'agronomes, qu'il serait intéressant de développer de nouveaux modèles pour répondre à des besoins dans la fraise et la framboise. La fraise à jours neutres et la framboise d'automne seront très affectées par les changements climatiques et à l'heure actuelle aucun modèle n'a été développé pour ces cultures. Quant au modèle pour prédire les stades phénologiques de la canneberge, il était déjà existant, mais nécessite une validation pour favoriser son utilisation.

Réflexions sur la modélisation bioclimatique des ravageurs et maladies

Actuellement le modèle de la tordeuse de la canneberge pourrait être encore amélioré (Tableau 9). Une journée de réunion avec les experts en canneberge a établi la nécessité de revoir la prise de données de dépistage et la nécessité de présenter un projet de recherche pour améliorer ce modèle. Actuellement, même si la littérature fait état d'un modèle prévisionnel dans les régions analogues, les sondages montrent qu'il n'est pas utilisé pour des raisons qui nous sont inconnues (Tableau 12).

Le modèle prédictif de la punaise marbrée a été développé il y a plusieurs années (Mimee et al., 2014) et c'est la seule étude de cas commune à notre projet qui a déjà été modélisée avec les scénarios climatiques. À l'époque, l'étude a utilisé 14 scénarios climatiques et la période de référence était de 1971 à 2000 contrairement à celle que nous utilisons de 1981 à 2010. Les périodes de changements inférieurs et supérieurs étaient les mêmes que les nôtres. Nos prédictions sont légèrement différentes de l'étude de Mimee et al. (2014). En effet, leur simulation pour les scénarios de changement inférieurs montrait que la date moyenne de

première ponte en Montérégie serait entre le 14 et le 24 juin (Figure 81) alors que dans notre étude cela serait du 4 au 13 juin (Figure 62) (une semaine plus tôt). Pour les changements supérieurs, l'étude de Mimee et al. (2014) montre un début des pontes en Montérégie du 9 au 18 juin (Figure 82) alors que dans notre étude ce serait du 25 mai au 3 juin (Figure 64) (deux semaines plus tôt). Pour la date d'apparition des adultes, l'étude Mimee et al. (2014) prévoit une apparition des premiers adultes vers le 19 août en Montérégie pour les changements inférieurs et notre étude prévoit une arrivée pour le 16 août (une semaine plus tôt). Pour les changements supérieurs, le décalage se creuse puisque Mimee et al. (2014) prévoyaient une arrivée des premiers adultes au 6 août en Montérégie alors que notre étude prévoit cette arrivée le 20 juillet (4 semaines plus tôt). Ces comparaisons montrent qu'en 4 ans, avec de nouveaux scénarios d'émissions de gaz à effet de serre, le portrait pour cet insecte exotique a beaucoup évolué.

Les modèles concernant les maladies ne sont pas évidents à combiner avec les scénarios climatiques puisqu'actuellement, les scénarios utilisent des données journalières, mais certains modèles seraient probablement plus précis avec des données horaires. De plus, l'incertitude est plus importante pour les projections futures des précipitations dans la saison tout comme leur intensité, ce qui peut jouer énormément sur l'incidence des maladies.

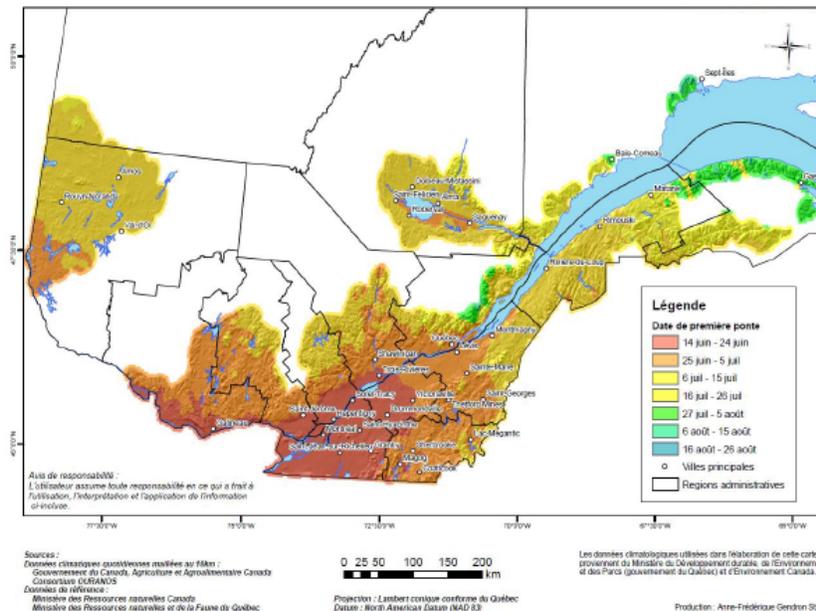


Figure 80. Date moyenne du début de la ponte de la punaise marbrée selon les scénarios de changements inférieurs pour le futur proche (2041-2070) dans les régions agricoles du Québec. Tiré de Mimee et al. (2014)

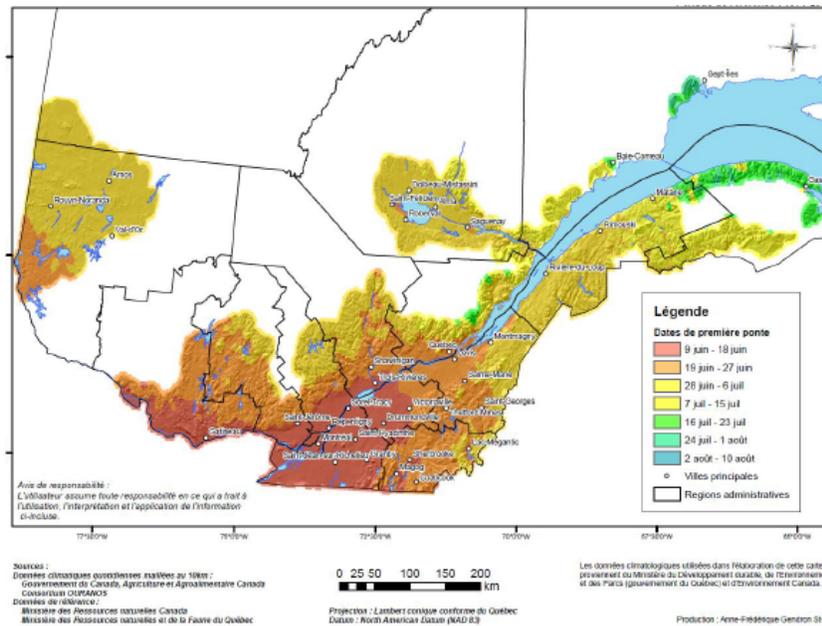


Figure 81. Dates moyennes du début de la ponte de la punaise marbrée selon les scénarios de changements supérieurs pour le futur proche (2041-2070) dans les régions agricoles du Québec. Tiré de Mimee et al. (2014)

Peu d'études ont utilisé les analogues spatiaux pour déterminer les impacts des changements climatiques sur les ravageurs des cultures ciblées. Malgré le fait que les scénarios climatiques utilisés ainsi que la méthode soient différents, nos résultats corroborent avec une étude effectuée en Suisse sur le carpocapse de la pomme et la brûlure bactérienne (Stoeckli et al., 2012).

5.3 VALIDATION DES IMPACTS ET IDENTIFICATION DES MESURES D'ADAPTATION GRÂCE AUX ANALOGUES SPATIAUX

La méthode des analogues spatiaux, appliquée dans Gagnon et al. (2013 et 2019), est utilisée pour trouver une région ayant actuellement le climat futur projeté en 2041-2070 de nos régions de références. Cette méthode permet d'aller valider les projections des modélisations climatiques pour le futur et d'étudier les méthodes de lutte actuellement utilisées dans ces régions pour contrôler les ravageurs et maladies ciblés en étude de cas. Cette méthode, malgré son originalité et les bénéfices procurés, comporte certaines limitations en plus du temps passé à réaliser ces analyses :

- Les analogues reposent sur un choix de trois critères climatiques qui ne sont relatifs qu'à la saison de production. La survie à l'hiver des ravageurs et maladies n'a pas été considérée dans notre étude, mais pourrait faire l'objet d'un critère pour être utilisée dans la méthode des analogues (ex : couvert neigeux).

- Les résultats produisent des cartes de similarité des régions, mais ne donnent pas de mesure de similarité.
- Les sondages envoyés aux experts de ces régions montrent un taux de réponse très faible, et ce malgré de multiples rappels et la simplicité des sondages (voir annexe 9.2).
- Pour les espèces établies au Québec depuis plusieurs décennies, il a été difficile de trouver de nouvelles méthodes de lutte dans les régions analogues. Les secteurs au Québec aux prises avec des ravageurs et maladies depuis plusieurs années (Ex : carpocapse de la pomme, feu bactérien, anthracnose) sont déjà bien avancés dans la recherche de méthodes alternatives à l'utilisation de pesticides ou ont des stratégies de contrôle similaires aux régions analogues. Pour les espèces en voie de progression au Québec, par contre, les informations des régions analogues sont très pertinentes (Ex : punaise marbrée et scarabée japonais) même si dans ces régions les pratiques sont pour l'instant à l'étude (ex : parasitoïde de la punaise marbrée; Dieckhoff et al., 2017) et qu'elles ne sont pas encore établies et utilisées.

5.4 ATELIERS POUR PRÉPARER L'ADAPTATION DES SECTEURS DE PRODUCTION AUX IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Les ateliers de consultation avec les secteurs de la production fruitière ont apporté de nombreuses discussions enrichissantes et utiles pour la conscientisation face aux impacts des changements climatiques. Les besoins en adaptation des secteurs sont importants et doivent se réaliser le plus rapidement possible puisque faire de la recherche sur une nouvelle méthode de lutte ou aider le secteur à utiliser des outils de lutte intégrée peut demander plusieurs années de recherche ou de formation pour arriver à une maîtrise des techniques et à la transférabilité à la ferme. Les intervenants interrogés durant les ateliers ont tous démontré un intérêt pour les problématiques soulevées et pour l'établissement des recommandations d'adaptation même si leur perception est que les effets les plus marquants des changements climatiques seront observés à la prochaine génération.

Même si le projet focalisait sur la phytoprotection, des recommandations ont été émises sur la production fruitière en elle-même. Ce débordement du cadre du projet a révélé qu'en amont de la phytoprotection, les intervenants et les producteurs avaient un besoin de connaissances sur les effets des changements climatiques sur la culture en elle-même et surtout sur l'influence des épisodes de chaleur extrême. L'augmentation du nombre de journées de pointes de chaleur au-dessus de 30 degrés, les précipitations sous forme de pluies intenses (pomme, fraise et framboise), les épisodes de grêles (pomme) et les gels printaniers (pomme, fraise et framboise). Du réseautage par les intervenants du secteur fruitier serait donc à réaliser avec le projet Agriculmat actuellement en cours (<https://agriclimat.ca/>).

Même si les recommandations émises par les différents secteurs pour favoriser leur adaptation aux changements climatiques ne le spécifient pas directement, plusieurs points sont ressortis unanimement des ateliers avec les secteurs :

- Il y a de l'inégalité entre les secteurs. Certains secteurs ont une bonne connaissance de certains ravageurs/maladies en particulier pour lesquels plusieurs outils et méthodes de lutte ont été développés et servent adéquatement les agronomes dans leurs pratiques et les producteurs pour leur production (ex : secteur pomicole avec la confusion sexuelle pour le carpocapse de la pomme et l'outil RIMpro de prédiction et méthodes de lutte contre le feu bactérien). En revanche pour d'autres secteurs, avant même de s'intéresser aux espèces exotiques à risque d'envahir le Québec, il y a un manque d'informations en général sur les connaissances et les stratégies de lutte pour des ravageurs et des maladies qui sont déjà présents au Québec. Même si cela fait plusieurs années que ces espèces attaquent les cultures, les informations sont quelques fois éparses et non centralisées. Par ailleurs, certains nouveaux ravageurs ne sont pas réellement connus des producteurs. Par exemple, actuellement le scarabée japonais s'observe jusque dans la région de la Capitale nationale, mais les producteurs sont peu au fait des méthodes de lutte efficaces contre cet insecte. La punaise marbrée qui est présente en milieu naturel depuis 2014 (Légaré et al., 2014) reste encore une énigme au niveau des stratégies de lutte ou des produits phytosanitaires disponibles si celle-ci apparaît dans les fermes.

- Beaucoup de projets de recherche sont en cours sur les méthodes de lutte pour divers ravageurs et maladies présents au Québec, mais certaines pratiques ne sont pas transférées à la ferme. Il y a un fossé entre l'efficacité d'une méthode et son intégration dans les pratiques des producteurs à cause de l'absence d'évaluation économique de cette pratique. Ceci représente clairement un frein pour toutes les adaptations qui seront à mettre en place dans le futur. Les projets de vitrine pour les cultures de la pomme et de la fraise d'automne constituent un premier pas intéressant afin de remédier à cette situation.

6 SYNTHÈSE SUR LA PHYTOPROTECTION ET LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Cette synthèse est présentée en annexe.

7 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Ce projet, à notre connaissance, a probablement été un de ceux ayant couvert le plus de secteurs de production (quatre secteurs de production) et d'études de cas en lien avec les changements climatiques (sept études de cas). Auparavant, il existait peu de connaissances sur l'évolution possible des ravageurs et maladies présents en cultures fruitières avec les changements climatiques dans le futur, même si des changements ont déjà été observés par le passé. Une étude de Lamothe et al. (2008) a en effet montré que la première capture de mouche de la pomme a été devancée de 25 jours entre 1991 et 2006 dans la région d'Oka. Le carpocapse de la pomme a devancé son émergence au printemps de 14 jours dans la région de Rougemont entre 1986 et 2006. Poursuivre plus loin l'étude de Lamothe et al. (2008) et prédire l'évolution des ravageurs et des risques phytosanitaires encourus au cours des prochaines décennies dans les cultures fruitières a donc été particulièrement pertinent pour les secteurs de production.

Les résultats ont une réelle portée collective puisqu'ils identifient les ravageurs/maladies qui sont à risque d'évoluer à l'horizon 2050 pour quatre cultures fruitières d'importance économique présentes dans plus d'une douzaine de régions du Québec. Avec les mesures d'adaptation proposées par les producteurs et agronomes, ce projet présente des recommandations pour faire face aux risques associés aux ravageurs/maladies indigènes ou exotiques dans le cadre des changements climatiques pour chaque secteur de production.

Ce projet a aussi soulevé des besoins comme par exemple le développement de nouveaux modèles pour répondre à des besoins dans la fraise et la framboise. La fraise à jours neutres et la framboise d'automne seront très affectées par les changements climatiques et à l'heure actuelle aucun modèle n'a été développé pour ces cultures. Aussi, des difficultés soulignent des limites techniques à l'utilisation de modèles pour des prédictions. Par exemple les modèles concernant les maladies ne sont pas évidents à combiner avec les scénarios climatiques puisqu'actuellement, les scénarios utilisent des données journalières, mais certains modèles seraient probablement plus précis avec des données horaires. De plus, l'incertitude est plus importante pour les projections futures des précipitations dans la saison tout comme leur intensité, ce qui peut jouer énormément sur l'incidence des maladies.

Les connaissances dégagées dans ce projet pourront favoriser des outils de planification, d'intervention et d'action du MAPAQ et autres décideurs en vue de l'adaptation aux changements climatiques. Ce projet aura des retombées pour les différents sous-réseaux du Réseau d'avertissements phytosanitaires (RAP) et le laboratoire d'expertise et de diagnostic en phytoprotection du MAPAQ quant à leurs services fournis au domaine agricole, leur technique de dépistage à déployer et leur service de diagnostic à adapter (taxonomique ou moléculaire). Les clubs d'encadrement technique pourront planifier d'adapter progressivement leurs services aux producteurs en fonction des menaces identifiées. Enfin, les résultats de cette étude serviront aux différents intervenants de la recherche en production fruitière pour mieux planifier les besoins de recherche pour les prochaines années, en ce qui concerne le développement de nouveaux outils (détection de la résistance, nouveaux modèles phénologiques prévisionnels) ainsi que pour le développement de nouvelles solutions chimiques ou méthodes alternatives en réponse à ces ravageurs et maladies. De nombreuses recommandations ont été énoncées à la section 4.6 et seront donc à considérer pour le futur.

8 RÉFÉRENCES

- ACIMOVIC LAB. 2018. Marssonina leaf blotch causes apple leaf defoliation where cover sprays were stretched in summer 2018. Fruit tree pathology at Cornell University Hudson Valley research laboratory. Texte publié dans 2018 Growing season. (<https://blogs.cornell.edu/acimoviclab/2018/09/24/marssonina-leaf-blotch-causes-apple-leaf-defoliation-where-cover-sprays-were-stretched-in-summer-2018/>)
- Addesso, K. et A. Blalock. 2015. Japanese Maple Scale in the Nursery (Fact Sheet No. ANR-ENT-01-2015). Tennessee State University.
- Addesso, K., A. Blalock et P.A. O'Neal. 2016. Japanese maple scale activity and management in field nursery production. *Journal of Environmental Horticulture* 34:41–46.
- Agence canadienne d'inspection des aliments Gouvernement du Canada. 2012. *Popillia Japonica* (Scarabée japonais) - Fiche de renseignements. (<http://www.inspection.gc.ca/vegetaux/phytoravageurs-especesenvahissantes/insectes/scarabee-japonais/fiche-de-renseignements/fra/1328165101975/1328165185309>).
- Agnello, A., G. Chouinard, A. Firlej, W. Turechek, F. Vanoosthuyse et C. Vincent. 2018. Guide d'identification. Maladies, ravageurs et organismes bénéfiques des arbres fruitiers. CRAAQ.
- AgroAtlas. 2019. AgroAtlas - Pests - *Tetranychus viennensis* Zacher - Hawthorn Red Spider Mite, Fruit Tree Spider Mite. Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries. (http://www.agroatlas.ru/en/content/pests/Tetranychus_viennensis/index.html)
- Alford, D.V. 1994. Ravageurs des végétaux d'ornement: arbres, arbustes, fleurs. Editions Quae.
- Alford, D.V. 2007. Pests of Fruit Crops: A Color Handbook. Elsevier, Burlington, MA.
- Alford, DV. 2016. Mites. *In* Pests of fruit crops: a colour handbook, p. 405–428. CRC press.
- Andrew, N.R. et L. Hughes. 2004. Species diversity and structure of phytophagous beetle assemblages along a latitudinal gradient: predicting the potential impacts of climate change. *Ecological Entomology* 29:527–542.
- Anselmi, N. et A. Giorcelli. 1990. Factors influencing the incidence of *Rosellinia necatrix* Prill. in poplars. *Pathol* 20:175–183.
- Armstrong, C. 2014. Insects (Maine Cranberries) - Blackheaded fireworm. University of Maine Cooperative Extensions
- Auguste, A., B. Alison, M. Berud, P. Borioli, B. Hucbourg, J. Le Maguet, D. Muru, M. Stiegwart et N. Borowiec. 2019. Pomme : un parasitoïde contre le carpocapse. Fruits et Légumes.

(<https://www.reussir.fr/fruits-legumes/un-parasitoide-contre-le-carpocapse>)

- Averill A.L., M.M. Sylvia, C.C. Kusek et C.J. DeMoranville. 1997. Flooding in cranberry to minimize insecticide and fungicide inputs. *J Altern Agric* 12:50–54.
- Bailey, P.T., K. L. Ferguson, R. McMahon et T.J. Wicks. 1997. Transmission of *Botrytis cinerea* by lightbrown apple moth larvae on grapes. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 3: 90–94.
- Bale, J.S., G.J. Masters, I.D. Hodkinson, C. Awmack, T.M. Bezemer, V.K. Brown, J. Butterfield, A. Buse, J.C. Coulson et J. Farrar. 2002. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Glob Change Biol* 8:1–16.
- Bariselli, M., R. Bugiani et L. Maistrello. 2016. Distribution and damage caused by *Halyomorpha halys* in Italy. *Eppo Bull* 46:332–334.
- Beers, E., J.F. Brunner, M.J. Willett et G. Warner. 1993. Orchard pest management: a resource book for the pacific northwest. Good fruit grower.
- Bergh, C., A. Acebes-Doria, T. Leskey, R. Morrison, B. Short, G. Krawczyk, W. Jim, A. Agnello, P. Jentsch, G. Hamilton et al. 2016. Integrated pest management for brown marmorated stink bug in orchard crops. USDA-NIFA SCRI award #2011-51181-30937.
- Bobb, M.L. 1972. Observations on the biology and control of *Platynota flavedana*. *Journal of Economic Entomology* 65: 1486–1487.
- Boivin C. 2008. Étude d’acquisition des connaissances du pilotage de l’irrigation par tensiométrie et de la gestion du microclimat par micro-aspiration dans la production de la fraise à jours neutres à l’île d’Orléans. Publication IRDA – Rapport final projet 5009.
- Bolda, M.P., R.E. Goodhue et F.G. Zalom. 2010. Spotted wing drosophila: potential economic impact of a newly established pest. *Agric Resour Econ Update* 13:5–8.
- Bradley, J.D., W.G. Tremewan et A. Smith. 1973. British tortricid moths. In *Cochylidae and Tortricidae: Tortricinae*. Ray Society, London, England, p. 127–129.
- Bradshaw, W.E. et C.M. Holzapel. 2001. Genetic Shift in Photoperiodic Response Correlated with Global Warming. *Proceeding Natl Acad Sci* 98:14509–14511.
- Breton, A-M. 2016. Anthracnose dans la fraise. Réseau d’avertissements phytosanitaires - Bulletin d’information N° 11.
- Brown, A. 2010. The effect of controlling codling moth (*Cydia pomonella*) with Steinernema carpocapsae (Nemasys® C) on crop yield, p. 156–162. Fördergemeinschaft Ökologischer Obstbau eV (FÖKO).

- Brown, J.W., M.E. Epstein, T.M. Gilligan, S.C. Passoa et J.A. Powell. 2010. Biology, Identification and history of the Light Brown Apple Moth, *Epiphyas postvittana* (Walker) (Lepidoptera: Tortricidae: Archipini) in California. *American Entomologist* 56: 10.
- Buxton, J.H. et M.A. Easterbrook. 1988. Thrips as a probable cause of severe fruit distortion in late-season strawberries. *Plant pathology* 37: 278–280.
- CABI. 2019. *Homalodisca vitripennis* (glassy winged sharpshooter). Invasive Species Compendium. (<https://www.cabi.org/isc/datasheet/27561>).
- CABI. 2019. *Archips fuscocupreanus*. Invasive Species Compendium. (<https://www.cabi.org/isc/datasheet/6742>).
- Carroll, J. et N. Mattoon. 2016. Invasive Species & Exotic Pests - Variegated Golden Tortrix.
- Carter Gordon, F et D.A. Potter. 1985. Efficiency of Japanese beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) traps in reducing defoliation of plants in the urban landscape and effect on larval density in turf. *J Econ Entomol* 78:774–778.
- Caruso, F.L., P.R. Bristow et P.V. Oudemans. 2000. Cranberries: the most intriguing native North American fruit. APSnet Featur Doi 10.
- Caruso, S., S. Vergnani, E. Ladurner, A. Bonhomme et D. Pederzoli. 2010. Efficacy of new CpGV (*Cydia pomonella* Granulovirus) isolates against resistant and susceptible Codling moth populations in Italy. pp. 137–140. Fördergemeinschaft Ökologischer Obstbau eV (FÖKO).
- Cattaneo, A.M., F. Gonzalez, J.M. Bengtsson, E.A. Corey, E. Jacquin-Joly, N. Montagné, U. Salvagnin, W.B. Walker, P. Witzgall et G. Anfora. 2017. Candidate pheromone receptors of codling moth *Cydia pomonella* respond to pheromones and kairomones. *Sci Rep* 7:41105.
- Charbonneau, A., F. Vanoosthuysse, G. Chouinard et D. Cormier. 2018. Des gains environnementaux à utiliser la confusion sexuelle contre le carpocapse de la pomme. Affiche IRDA – Congrès de la Société d'entomologie du Québec.
- Charmillot, P.J. et B. Megevand. 1983. Développement d'*Adoxophyes orana* en fonction de la température et conséquences pratiques pour la lutte. *EPPO Bulletin*, 13:145–151.
- Chouinard, G., M. Larose, J-P. Légaré, G. Bourgeois, G. Racette et M. Barrette. 2018. Interceptions and captures of *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) in Quebec from 2008 to 2018. *Phytoprotection* 98:46–50.
- Chouinard, G., M. Larose, F. Pelletier, G. Bourgeois et J-P. Légaré. 2017. Le diable à nos portes? La punaise marbrée, situation actuelle et prévisions pour le Québec et le nord-est des États-Unis. Présentation IRDA.
- Cockfield S.D. et D.L. Mahr. 1993. Consequences of feeding site selection on growth and survival of young blackheaded fireworm (Lepidoptera: Tortricidae). *Environ Entomol* 22:607–612.

- Cockfield, S., S. Fitzpatrick, K. Giles et D. Mahr. 1994. Hatch of blackheaded fireworm (Lepidoptera: Tortricidae) eggs and prediction with temperature-driven models. *Environ Entomol* 23:101–107.
- Conklin, T. et R.F. Mizell. 2016. Glassy-Winged Sharpshooter, *Homalodisca vitripennis* (=coagulata) (Germar) (Insecta: Hemiptera: Cicadellidae: Cicadellinae). University of Florida IFAS Extension EENY-274.
- Cormier, D. et Y. Morin. 2008. Les nouveaux produits pour lutter contre le carpocapse de la pomme. Réseau d'avertissements phytosanitaires – Bulletin d'information N° 07. (<https://www.agrireseau.net/Rap/documents/b07pom08.pdf>)
- CRAAQ. 2016. Fiche Technique - Symptôme causé par Anthracnose (Fraise). Iriis phytoprotection. (<http://www.iriisphytoprotection.qc.ca/Prive/Recherche/FicheSymptome2.aspx?ID=3477&gg=G-1&MalName=1&MalPara=567&Adv=1>).
- Cooperative Agricultural Pest Survey (CAPS). 2009. Summer Fruit Tortrix Moth.
- Cranshaw, W. 2018. Japanese beetle. Colorado State University Extension – Fact sheet No. 5.601.
- Cross, J.V. 1994. Apple enemy number one. *Grower* 121: 18–19.
- Ctifl. 2004. La culture du fraisier sur substrat.
- Curto, G., A. Reggian, S. Vergnani, S. Caruso et E. Ladurner. 2008. Effectiveness of entomopathogenic nematodes in the control of *Cydia pomonella* larvae in Northern Italy. Ecofruit-13th International Conference on Cultivation Technique and Phytopathological Problems in Organic Fruit-Growing: Proceedings to the Conference from 18thFebruary to 20th at Weinsberg/Germany, p. 271–276.
- Damianov, S., R. Stef, I. Grozea, A.M. Virteiu et A. Carabet. 2014. Research concerning the biological control of codling moth (*Cydia pomonella*) using the entomophagous wasp *Trichogramma* sp. in the Caransebes Pomicultural Basin. *Res J Agric Sci* 46:189–193.
- Damm, U., P.F. Cannon, J.H.C. Woudenberg et P.W. Crous. 2012. The *Colletotrichum acutatum* species complex. *Colletotrichum Complex Species Complexes* 73:37–113.
- Dang, P.T., R.W. Duncan et S. Fitzpatrick. 1996. Occurrence of two palaeartic species of *Clepsis* *Guenee*, *C. spectrana* Treitschke and *C. consimilana* (Huebner)(Tortricidae), in British Columbia, Canada. *Journal of the Lepidopterists' Society* 50: 321–328.
- Danthanarayana, W. 1975. The Bionomics, Distribution and Host Range of the Light Brown Apple Moth, *Epiphyas Postvittana* (Walk.) (Tortricidae). *Australian Journal of Zoology* 23: 419–437.

- Daughtrey, M.L., R.K. Jones, J.W. Moyer, M.E. Daub, et J.R. Baker. 1997. Tospoviruses strike the greenhouse industry: INSV has become a major pathogen on flower crops. *Plant Disease* 81:1220–1230.
- David, P.J., R.L. Horsburgh et G.I. Holtzman .1989. Development of *Platynota flavedana* and *P. idaeusalis* (Lepidoptera: Tortricidae) at Constant Temperatures in the Laboratory. *Environmental Entomology* 18: 15–18.
- Davis, T. et D. Smitley. 2007. Turf tips, Japanese beetle. Michigan State University Extension – Bulletin E0010TURF.
- Deland, J.-P., F. Vanoosthuysse et D. Cormier. 2014. Évaluation de différents insecticides biologiques pour lutter contre la tordeuse des canneberges (*Rhopobota naevava*). N° de projet 10-INNO1-14.
- Deutsch, C.A., J.J. Tewksbury, M. Tigchelaar, D.S. Battisti, S. C. Merrill, R.B. Huey et R.L. Naylor. 2018. Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science* 361(6405): 916-919.
- Dieckhoff, C., K.M. Tatman et K.A. Hoelmer. 2017. Natural biological control of *Halyomorpha halys* by native egg parasitoids: a multi-year survey in northern Delaware. *J Pest Sci* 90:1143–1158.
- Dickler, E. 1991. Tortricid pests of pome and stone fruits, Eurasian species. In *World Crop Pest. Tortricid Pests: Their biology, natural enemies and control*. L. P. S. Van der Geest et H. H. Evenhuis, Elsevier, Amsterdam, p. 435–452.
- Drolet, I., J-F. Landry et J. Moisan-De Serres. 2018. Guide d'identification : Insectes ravageurs de la canneberge au Québec. CRAAQ, Deuxième édition 202 pages.
- Drolet, I., C. Conrad et V. Fournier. 2015. Biodiversity of natural enemies in cranberry crops in Quebec. Présentation Oregon cranberry growers.
- Easterbrook, M., J. Fitzgerald, C. Pinch, J. Tooley et X. Xu. 2003. Development times and fecundity of three important arthropod pests of strawberry in the United Kingdom. *Ann Appl Biol* 143:325–331.
- EFSA PLH Panel, Jeger, M., Bragard, C., Caffier, D., Candresse, T., Chatzivassiliou, E., et al. 2018. Scientific Opinion on the pest categorisation of *Lopholeucaspis japonica*. *EFSA Journal*, 16, 23.
- Ellis, M.A. 2016. Cane Blight of Raspberries. Ohionline. Ohio State Univ Ext. (<http://ohionline.osu.edu/factsheet/plpath-fru-10>).
- Ellis, M.A. et O. Erincik. 2016. Anthracnose of Strawberry. Ohionline. Ohio State Univ Ext. (<http://ohionline.osu.edu/factsheet/plpath-fru-16>).

- EPPO. 2017 *Epiphyas postvittana* (TORTPO)[Host plants]. EPPO Global Database. (<https://gd.eppo.int/taxon/TORTPO/hosts>).
- EPPO. 2018. *Poppillia japonica* (POPIJA). EPPO Global Database. (<https://gd.eppo.int/taxon/POPIJA/distribution>)
- Factsheet. 2014. *Adoxophyes orana*. (<http://download.ceris.purdue.edu/file/3081>).
- Fishman, S., A. Erez et G.A. Couvillon G.A. 1987. The temperature dependence of dormancy breaking in plants: Two-step model involving a co-operation transition. *J. Theor. Bio.* 124: 437-483.
- Fitzpatrick, S.M. et J.T. Troubridge. 1993. Fecundity, number of diapause eggs, and egg size of successive generations of the blackheaded fireworm (Lepidoptera: Tortricidae) on cranberries. *Environ Entomol* 22:818–823.
- Fitzpatrick, J.M. 2000. PowerPoint Presentation - Pest-IdentificationGuide_2014-Final.pdf (http://www.bccranberrygrowers.com/wp-content/uploads/2015/06/Pest-IdentificationGuide_2014-Final.pdf).
- Fitzpatrick, S.M. et H. van Dokkumburg. 2000. BC Cranberry Insect Pest Identification Guide.
- Fleming WE. 1976. INTEGRATING CONTROL OF THE JAPANESE BEETLE - A Historical Review.
- Fitzpatrick, S.M., W. Wong, M. Elsbey et H. van Dokkumburg. 2015. Integrated Pest Management For Cranberries in Western Canada 2nd Edition 2015. 2nd Edition. Agriculture and Agri-Food Canada.
- Fleming, W.E. 1976. Integrating control of the Japanese beetle – a historical review. USDA technical bulletin.
- Fraser, H. 2018. Stratégies de lutte contre la punaise marbrée. MAAARO. (<http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/insects/bmsb-manage.htm>)
- Fulcher, A., F. Hale et M. Halcomb. 2011. Japanese Maple Scale: An Important New Insect Pest in the Nursery and Landscape. University of Tennessee - Extension Publications No. W227.
- Gagnon, M-E. 2018. Projet d'échantillonnage de *Istocheta aldrichi*, un nouveau parasitoïde du scarabée japonais au Québec. (<https://www.researchgate.net/project/Projet-dechantillonnage-de-Istocheta-aldrichi-un-nouveau-parasitoide-du-scarabee-japonais-au-Quebec>)
- Gai, H., J. Zhi et M. Sun. 2011. Effects of temperature on the survival and fecundity of *Frankliniella occidentalis* and *Frankliniella intonsa* (Thysanoptera: Thripidae). *Acta Phytophylacica Sinica* 38: 521–526.

- Garcia-Salazar, C., H. Podoler et M.E. Whalon. 1988. Effects of Temperature on Diapause Induction in the Codling Moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera : Olethreutidae). *Entomol Soc Am* 17:626–628.
- Gaus, A.E. et R.N. Goodman. 2014. Fire blight. University of Missouri Extension. (<https://extension2.missouri.edu/g6020>)
- Gianessi, L. 2009. The benefits of insecticide use: Cranberries. CropLife Foundation – Crop protection Research Insittute.
- Gill, S., P. Shrewsbury et J. Davidson. 2013. Japanese Maple Scale - A Pest of Nursery and Landscape Trees and Shrubs. University of Maryland - Fact Sheet No. FS-967-2013.
- Gilligan, T.M. et M.E. Epstein. 2014a. Factsheet - *Adoxophyes orana* . TortAI - Tortricids of agricultural importance. (http://idtools.org/id/leps/tortai/Adoxophyes_orana.htm)
- Gilligan, T.M. et M.E. Epstein. 2014b. Factsheet - *Archips fuscocupreanus* TortAI - Tortricids of agricultural importance. (http://idtools.org/id/leps/tortai/Archips_fuscocupreanus.htm).
- Gilligan, T.M. et M.E. Epstein. 2014c. Factsheet - *Clepsis spectrana* TortAI - Tortricids of agricultural importance. (http://idtools.org/id/leps/tortai/Clepsis_spectrana.htm).
- Gilligan, T.M. et M.E Epstein. 2014d. Factsheet - *Epiphyas postvittana*. TortAI - Tortricids of agricultural importance. (http://idtools.org/id/leps/tortai/Epiphyas_postvittana.htm).
- Gilligan, T.M. et M.E. Epstein. 2014e. Factsheet - *Platynota flavedana*. TortAI - Tortricids of agricultural importance. (http://idtools.org/id/leps/tortai/Platynota_flavedana.htm)
- Global Invasive Species Database. 2010. Species profile: *Homalodisca vitripennis*. (<http://www.iucngisd.org/gisd/speciesname/Homalodisca+vitripennis>).
- Golpayegani, A.Z., A. Saboori, J. Nowzari et K. Kamali. 2004. Biology of *Amphitetranychus viennensis* (Acher)(Acari: Tetranychidae) in Baraghan Region of Karaj, Iran. *Acarologia* 44: 69–71.
- Gordon C.F. et D.A. Potter. 1986. Japanese beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) traps: evaluation of single and multiple arrangements for reducing defoliation in urban landscape. *J Econ Entomol* 79:1381–1384.
- Grandgirard, J., M.S. Hoddle, G.K. Roderick, J.N. Petit, D.M. Percy, Putoa, R., et al. (2006) Invasion of French Polynesia by the Glassy-Winged Sharpshooter, *Homalodisca coagulata* (Hemiptera: Cicadellidae): A New Threat to the South Pacific 1. *Pacific Science* 30:429–438.

- Guédot, C., et E. McMahan. 2015. Cranberry crop management journal. University of Wisconsin Extension – Volume XXVIII Issue X.
- Guilbert, A., I. Drolet, J-P. Deland, F. Allard et É. Paradis. 2007. Étude d'efficacité de l'insecticide *Altacor* pour lutter contre la pyrale des atocas (*Acrobasis vaccinii*) et la tordeuse des canneberges (*Rhopobota naevana*) dans la culture de la canneberge au Québec. Rapport final AGRINOVA – Référence AAC : AAFC07-050E, 48p.
- Harnois, M. et C. Lacroix. 2013. Tarsonème du fraisier. Réseau d'avertissements phytosanitaires - Bulletin No 17- Petits fruits.
- Harrison, R. et K. Hoover. 2012. Baculoviruses and other occluded insect viruses. *In* Insect Pathology (Second Edition), p. 73–131. Elsevier.
- Haye, T., T. Garipey, K. Hoelmer, J-P. Rossi, J-C. Streito, X. Tassus et N. Desneux. 2015. Range expansion of the invasive brown marmorated stinkbug, *Halyomorpha halys*: an increasing threat to field, fruit and vegetable crops worldwide. *J Pest Sci* 88:665–673.
- Henry, P.M., S.C. Kirkpatrick, C.M. Islas, A.M. Pastrana, J.A. Yoshisato, S.T. Koike, O. Daugovish et T.R. Gordon. 2017. The Population of *Fusarium oxysporum* f. sp. fragariae, Cause of Fusarium Wilt of Strawberry, in California. *Plant Dis* 101:550–556.
- Herrick, C. 2011. Brown Marmorated Stink Bug Causes \$37 Million In Losses To Mid-Atlantic Apple Growers. *Am Fruit Grow Magazone West Fruit Grow Mag.*
- Heu, R.A., B.R. Kumashiro, T.H. Suh et R.C. Bautista. 2004. New Pest Advisory - Glassy-winged Sharpshooter *Homalodisca coagulata* (Say) (Homoptera: Cicadellidae).
- Hirschi, M., S. Stoeckli, M. Dubrovsky, C. Spirig, P. Calanca, M. Rotach, A. Fischer, B. Duffy et J. Samietz. 2012. Downscaling climate change scenarios for apple pest and disease modeling in Switzerland. *Earth Syst Dyn* 3:33–47.
- Hodgson, E. 2018. Japanese beetle adults emerge in southern Iowa. Iowa State University Extension and Outreach. (<https://crops.extension.iastate.edu/cropnews/2018/06/japanese-beetle-adults-emerge-southern-iowa>)
- Ten Hoopen, G.M. et U. Krauss. 2006. Biology and control of *Rosellinia bunodes*, *Rosellinia necatrix* and *Rosellinia pepo*: A review. *Crop Prot* 25:89–107.
- Hoebeke, E.R., A.G. Wheeler et J.W. Brown. 2008. *Archips xylosteana* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae), a Palearctic Leafroller New to North America. *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 110:789–796.
- Hoover. 2013. Japanese Maple Scale *Lopholeucaspis japonica* (Cockerell). Entomological notes - Penn State University. (<https://ento.psu.edu/extension/factsheets/japanese-maple-scale>).

- Ioriatti C. et G. Angeli. 2002. Control of codling moth by attract and kill. *IOBC Wprs Bull* 25:129–136.
- Iriarte, F. 2009. Apple bitter rot. Iowa State University Extension and Outreach. (<https://hortnews.extension.iastate.edu/2009/11-11/bitterrot.html>)
- Isaacs, R. 2006. Mites in Michigan strawberry fields and their management. Michigan State University Extension. (http://msue.anr.msu.edu/news/mites_in_michigan_strawberry_fields_and_their_management)
- Isley, D. 1938. Codling Moth Oviposition and Temperature. *Journal of Economic Entomology* 3:356–359.
- Jehle, J., K. Eberle, S. Asser-Kaiser, S. Schulze-Bopp et A. Schmitt. 2010. Resistance of codling moth against *Cydia pomonella* granulovirus (CpGV): state of knowledge, p. 133–136.
- Jentsch, P. 2015. A new threshold-based management tool for brown marmorated stink bug in NY. *New York Fruit Quality* 23(3)19:24.
- Ji, J., Y. Zhang, X. Chen et J. Lin. 2005. Laboratory population life table of *Amphitetranychus viennensis* (Zacher) (Acari: Tetranychidae) at different temperatures. *Systematic and Applied Acarology* 10:7–11.
- Jones, A.L. et H.S. Aldwinckle. 1990. Compendium of Apple and Pear Diseases. The American Phytopathological Society, Minnesota, USA.
- Jones, D. 2009. Japanese beetle. University of Illinois Extension. (<https://web.extension.illinois.edu/clw/downloads/37483.pdf>)
- Kasap, I. 2003. Life history of hawthorn spider mite *Amphitetranychus viennensis* (Acarina: Tetranychidae) on various apple cultivars and at different temperatures. *Experimental & applied acarology* 31:79–91.
- Kehrli, P., D. Zwahlen et S. Fischer. 2018. La punaise marbrée, un nouveau ravageur émergent. *Rev Suisse Vitic Arboric Hortic* 50:70–72.
- Kelderer, M., C. Casera, E. Lardscheider et A. Rainer. 2010. Controlling codling moth with different netting structures and their influence on crop yield and quality, p. 183–190.
- Kienzle, J., J. Zimmer, F. Volk et C. Zebitz. 2008. Experiences with entomopathogenic nematodes for the control of overwintering codling moth larvae in Germany, p. 277–283.
- King, W., L. Madden, M. Ellis et L. Wilson. 1997. Effects of temperature on sporulation and latent period of *Colletotrichum spp.* infecting strawberry fruit. *Plant Dis* 81:77–84.
- Knodel, J.J., C. Elhard et P.B. Beauzay. 2017. Integrated pest management of japanese beetle in North Dakota. North Dakota State University.

(<https://www.ag.ndsu.edu/publications/crops/integrated-pest-management-of-japanese-beetle-in-north-dakota>)

- Kodama, T. 1974. Characteristics of strawberry yellows disease caused by *Fusarium* and cultivar resistance. *Bull Nara Agric Exp Stn* 6:68–75.
- Koike, S.T. et T.R. Gordon. 2015. Management of *Fusarium* wilt of strawberry. *Crop Prot* 73:67–72.
- Koike, S.T., T.R. Gordon, O. Daugovish et H. Ajwa. 2013. *Fusarium* Wilt of Strawberry. Production Guideline Issue 11.
(<https://calstrawberry1-web.sharepoint.com/Reports/ProductionGuidelines/Fusarium%20Wilt%20of%20Strawberry%20-%202013.pdf>)
- Krawczyk. 2016. Tree Fruit Insect Pest - Variegated Leafroller. Penn State Extension.
(<https://extension.psu.edu/tree-fruit-insect-pest-variegated-leafroller>)
- Kruistum, G. van, A. Evenhuis, J. Hoek, P. Kastelein, J.M. van der Wolf et J.A. Verschoor. 2015. CATT: a new and non-chemical pest and nematode control method in strawberry planting stock. *Acta Horti* 1105:189–196.
- Kumar, S., L.G. Neven, H. Zhu et R. Zhang. 2015. Assessing the global risk of establishment of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) using CLIMEX and MaxEnt Niche models. *J Econ Entomol*:tov 166.
- Kutinkova, H., V. Dzhuvinov, R. Andreev et J. Samietz. 2009a. Use of pheromones for monitoring and control of main pests on apples in Bulgaria. Proceedings of the 5th International Conference on Biopesticides: Stakeholders' Perspectives, p. 26–30.
- Kutinkova, H., V. Dzhuvinov, R. Kostadinov, V. Arnaudov, I. Terziev, I. Platon et S. Rosu-Mares. 2009b. Control of codling moth by “attract and kill” formulation in Bulgaria. *Sodinink Ir Daržinink* 28:19–26.
- Łabanowska, B. H. 2004. Spread of the strawberry mite (*Phytonemus pallidus* ssp. *Fragariae* Zimm.) on thirteen strawberry cultivars. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* 12: 105-111.
- Lambert, L., G.H. Laplante, O. Carisse et C. Vincent. 2007. L'antracnose du fraisier. In Guide de maladies, ravageurs et organismes bénéfiques du fraisier, du framboisier, et du bleuetier. CRAAQ, p. 9-11.
- Landry, J-F., M. Roy et C. Turcotte. 2000. Insectes ravageurs de la canneberge au Québec, Guide d'identification, 118p.
- Launay, M., J. Caubel, G. Bourgeois, F. Huard, IG de Cortazar-Atauri, M-O. Bancal et N. Brisson. 2014. Climatic indicators for crop infection risk: application to climate change impacts on five major foliar fungal diseases in Northern France. *Agric Ecosyst Environ* 197:147–158.

- Leandro, L., M. Gleason, Jr F. Nutter, S.N. Wegulo et P.M. Dixon. 2003. Influence of temperature and wetness duration on conidia and appressoria of *Colletotrichum acutatum* on symptomless strawberry leaves. *Phytopathology* 93:513–520.
- Légaré, J-P., J. Moisan-De-Serres et M. Fréchette. 2014. La punaise marbrée (*Halyomorpha halys*). MAPAQ , 7p.
- Lehmann, P., T. Ammunét, M. Barton, A. Battisti, S.D. Eigenbrode, J.U. Jepsen, G. Kalinkat, S. Neuvonen, P. Niemela, B. Okland, J.S. Terblanche et C. Bjorkman. 2018. Complex responses of global insect pests climate change. (<http://dx.doi.org/10.1101/425488> bioRxiv preprint first posted online Sep. 24, 2018)
- Lobell, D.B. et S.M. Gourджи. 2012. The influence of climate change on global crop productivity. *Plant Physiol* 160:1686–1697.
- Lewis et Hodges. 2013. Light brown apple moth - *Epiphyas postvittana* (Walker) - University of Florida. (http://entnemdept.ufl.edu/creatures/fruit/moths/light_brown_apple_moth.htm).
- Louws, F., G. Ridge et J. Harrison. 2014. Anthracnose fruit rot of strawberry. North Carolina State Extension. (<https://content.ces.ncsu.edu/anthracnose-fruit-rot-of-strawberry>)
- MAAARO. 2008. Lutte intégrée contre les ennemis du pommier. 0310F.
- MAAARO. 2009a. Tarsonème du fraisier.
- MAAARO. 2009b. Thrips des fleurs.
- MAAARO. 2016. Modèles de prévision de la brûlure bactérienne (feu bactérien).
- MacKenzie, S. et N. Peres. 2012. Use of leaf wetness and temperature to time fungicide applications to control anthracnose fruit rot of strawberry in Florida. *Plant Dis* 96:522–528.
- Madeiras, A. 2014. Strawberry IPM - Strawberry anthracnose. University of Massachusetts Small Fruit IPM Fact Sheet SB-002. (https://ag.umass.edu/sites/ag.umass.edu/files/fact-sheets/pdf/strawberry_anthracnose_fact_sheet_sb-002.pdf)
- Madeiras, A. 2017. Raspberry Cane Blight. UMass Extension Small Fruit IPM Fact Sheet RB-002UMass. (<https://ag.umass.edu/fruit/fact-sheets/raspberry-ipm-cane-blight>)

- Magarey, R.D., T.B. Sutton et C.L. Thayer. 2005. A simple generic infection model for foliar fungal plant pathogens. *Phytopathology* 95:92–100.
- Mahr, D.L. 2005. Blackheaded fireworm. University of Wisconsin.
(<https://fruit.wisc.edu/wp-content/uploads/sites/36/2011/05/Blackheaded-Fireworm.pdf>)
- Maier, C.T. 2003. Distribution, Hosts, Abundance, and Seasonal Flight Activity of the Exotic Leafroller, *Archips fuscocupreanus* Walsingham (Lepidoptera: Tortricidae), in the Northeastern United States. *Annals of the Entomological Society of America* 96:660–666.
- Maier. 2017. CAES: Apple (Tortrix). CAES - The Connecticut Agricultural Experiment Station.
(<http://www.ct.gov/caes/cwp/view.asp?A=2815&Q=376728>)
- MAPAQ. 2017. Brûlure bactérienne des pommiers.
(<https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Pages/Details-Publication.aspx?docid=DDJ7DZ3RAA3J-202-12243>)
- Marsberg, A., M. Kemler, F. Jami, J.H. Nagel, A. Postma-Smidt, S. Naidoo, M.J. Wingfield, P.W. Crous, J.W. Spatafora et C.N. Hesse. 2017. *Botryosphaeria dothidea*: a latent pathogen of global importance to woody plant health. *Mol Plant Pathol* 18:477–488.
- Martin, K.W., A.C. Hodges et N.C. Leppla. 2012. Fact Sheet: Glassy-winged sharpshooter
(<http://idtools.org/id/citrus/pests/factsheet.php?name=Glassy-winged+sharpshooter>).
- McManus, P. 2001. Cranberry fruit rot diseases in Wisconsin. *Univ Wis Ext Bull A* 3745.
- Meier, U. 2001. Growth stages of mono-and dicotyledonous plants BBCH Monograph.
- Miletić, N., N. Tamaš et D. Graora. 2011. The control of codling moth (*Cydia pomonella* L.) in apple trees. *Jemdirbyste Agric* 98:213–218.
- Milonas, P.G. et M. Savopoulou-Soultani. 2000. Development, Survivorship, and Reproduction of *Adoxophyes orana* (Lepidoptera: Tortricidae) at Constant Temperatures. *Annals of the Entomological Society of America* 93:96–102.
- Milonas, P.G. et M. Savopoulou-Soultani. 2006. Seasonal abundance and population dynamics of *Adoxophyes orana* (Lepidoptera: Tortricidae) in northern Greece. *International journal of pest management* 52 :45–51.
- Mimee, B., J. Brodeur, G. Bourgeois, J. Moiroux, A-F. Gendron St-Marseille et A-È Gagnon. 2014. Quels enjeux représentent les changements climatiques en lien avec les espèces exotiques envahissantes pour la culture du soya au Québec? Rapport Ouranos.
- Morrison, W.R., B.R. Blaauw, B.D. Short, A.L. Nielsen, J.C. Bergh, G. Krawczyk, Y. Park, B. Butler, A. Khrimian et T.C. Leskey. 2019. Successful management of *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) in commercial apple orchards with an attract-and-kill strategy. *Pest Manag Sci* 75:104–114.

- Murai, T. 1988. Studies on the ecology and control of flower thrips, *Frankliniella intonsa* (Trybom). Bulletin of the Shimane Agricultural Experiment Station, 1–73.
- Musolin, D. 2007. Insects in a warmer world: ecological, physiological and life-history responses of true bugs (Heteroptera) to climate change. *Global Change Biology* 13:1565–1585.
- NAPPO. 2014. DP 03: Morphological Identification of Spider Mites (Tetranychidae) Affecting Imported Fruits.
- NAPPO. 2017. NAPPO Phytosanitary Alert System (<http://www.pestalert.org/viewNewsAlert.cfm?naid=3&keyword=Zaprionus%20indianus>).
- Nielsen, A.L., G.C. Hamilton et M. Matadha. 2008. Development rate estimation and life table analysis for *Halyomorpha halys* (Stål) (Hemiptera: Pentatomidae). *Environ. Entomol.* 37:348–355.
- Nielsen A. L., S. Fleischer et S. Chen. 2016. Coupling developmental physiology, photoperiod, and temperature to model phenology and dynamics of an invasive Heteropteran, *Halyomorpha halys*. *Frontiers in Physiology* 7: 165.
- Niemczyk, H.D. 1975. Status of Insecticide Resistance in Japanese Beetle in Ohio. *Journal of Economic Entomology* 68 (5):583–584.
- Noma, T., M. Colunga-Garcia, M. Brewer, J. Landis, A. Gooch et M. Philip. 2010. Michigan State University's invasive species factsheets : Summer fruit tortrix *Adoxophyes orana*.
- Okamoto, H., S. Fujii, K. Kato et A. Yoshioka. 1970. A new strawberry disease "Fusarium wilt." *Plant Prot* 24:231–235.
- Oku, T. 1970. Studies on life-histories of apple leaf-rollers belonging to the tribe Archipsini (Lepidoptera: Tortricidae). Report of Hokkaido Prefectural Agricultural Experiment Stations.
- Olfert, O. et R. Weiss. 2006. Impact of climate change on potential distributions and relative abundances of *Oulema melanopus*, *Meligethes viridescens* and *Ceutorhynchus obstrictus* in Canada. *Agric Ecosyst Environ* 113:295–301.
- OMAFRA. 2016. La pouriture amère dans les pommes.
- Ouranos. 2015. Vers l'adaptation. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec. p. 415. Édition 2015, Montréal, Québec : Ouranos.
- Pacific Northwest Moths. 2019. *Ochropleura implecta* Lafontaine, 1998. Pacific Northwest Moths. (<http://pnwmoths.biol.wvu.edu/browse/family-noctuidae/subfamily-noctuinae/tribe-noctuini/ochropleura/ochropleura-implecta/>).

- Parker, K.C. et T.B. Sutton. 1993. Effect of Temperature and Wetness Duration on Apple Fruit Infection and Eradicant Activity of Fungicides Against *Botryosphaeria dothidea*. *Plant Dis* 77:181.
- Parmesan, C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu Rev Ecol Evol Syst* 37:637–669.
- Pellitteri, P. 2005. Cyclamen and broad mites. University of Wisconsin-Extension. (https://pddc.wisc.edu/2015/07/19/cyclamen_and_broad_mites/)
- PennState Extension. 2017. Apple and pear disease - Bitter rot. PennState Extension. (<https://extension.psu.edu/apple-and-pear-disease-bitter-rot>)
- Pérez-Jiménez, R.M. 2006. A review of the biology and pathogenicity of *Rosellinia necatrix*—the cause of white root rot disease of fruit trees and other plants. *J Phytopathol* 154:257–266.
- Pest Tracker. 2017. European flower thrips, *Frankliniella intonsa* - Pest Tracker - CAPS Services. (<http://pest.ceris.purdue.edu/pest.php?code=IMOCQEA>)
- Petrini, L.E. 1993. *Rosellinia* species of the temperate zones. *Sydowia* 44:169–281.
- Philion, V. 2015. La pourriture des fruits en été, à réprimer sans amertume. Réseau pommier-Avertissements (<https://reseauappommier.irda.qc.ca/?p=14570>)
- Philion, V. 2014. Le feu bactérien : stratégies de lutte. Guide PFI, fiche 106.
- Plantwise. 2017a. Fireblight (*Erwinia amylovora*). Plantwise Knowl Bank. (<http://www.plantwise.org/KnowledgeBank/Datasheet.aspx?dsid=21908>).
- Plantwise. 2017b. Cane blight (*Leptosphaeria coniothyrium*). Plantwise Knowl Bank. (<http://www.plantwise.org/KnowledgeBank/Datasheet.aspx?dsid=31462>).
- Plantwise. 2017c. Hawthorn (spider) mite (*Amphitetranychus viennensis*) (<http://www.plantwise.org/knowledgebank/datasheet.aspx?dsid=53368>).
- Plantwise. 2017d. *Archips fuscocupreanus* (<http://www.plantwise.org/knowledgebank/datasheet.aspx?dsid=6742>)
- Plantwise. 2017e. Thrips, flower (*Frankliniella intonsa*) Plantwise Knowledge Bank. (<http://www.plantwise.org/knowledgebank/datasheet.aspx?dsid=24423>).
- Plantwise. 2017f. Dematophora root rot (*Rosellinia necatrix*). Plantwise Knowl Bank. (<http://www.plantwise.org/KnowledgeBank/Datasheet.aspx?dsid=47860>).
- Pliego, C., C. Lopez-Herrera, C. Ramos et F.M. Cazorla. 2012. Developing tools to unravel the biological secrets of *Rosellinia necatrix*, an emergent threat to woody crops. *Mol Plant Pathol* 13:226–239.

- Pogue, M.G. 2006. The Noctuidae (Lepidoptera: Noctuidae) of Great Smoky Mountains National Park, U.S.A. Zootaxa. Magnolia Press, Auckland, New Zealand.
- Pommier J. 2017. Maladies et ravageurs du fraisier.
- Potter, D.A. et D.W. Held. 2002. Biology and management of the Japanese beetle. *Annu Rev Entomol* 47:175–205.
- Potter, D.A., A.J. Powell, P.G. Spicer et D.W. Williams. 1996. Cultural Practices Affect Root-Feeding White Grubs (Coleoptera: Scarabaeidae) in Turfgrass. *J Econ Entomol* 89:156–164.
- Pusey, P. et E. Curry. 2004. Temperature and pomaceous flower age related to colonization by *Erwinia amylovora* and antagonists. *Phytopathology* 94:901–911.
- Quarles, W. 2013. IPM for the brown marmorated stink bug. IPM practitioner. (<https://www.stopbmsb.org/stopBMSB/assets/File/IPM-for-BMSB-Online.pdf>)
- Régnière, J., R.L. Rabb et R.E. Stinner. 1981. *Popillia japonica* : Simulation of Temperature-Dependent Development of the Immatures, and Prediction of Adult Emergence. *Environ Entomol* 10:290–296.
- Rathé, A.A., L.J. Pilkington, M.S. Hoddle, L.J. Spohr, M.P. Daugherty et G. M. Gurr. 2014. Feeding and Development of the Glassy-Winged Sharpshooter, *Homalodisca vitripennis*, on Australian Native Plant Species and Implications for Australian Biosecurity. *PLoS ONE* 9, e90410.
- Rice, K.B., C.J. Bergh, E.J. Bergmann, D.J. Biddinger, C. Dieckhoff, G. Dively, H. Fraser, T. Garipey, G. Hamilton et T. Haye. 2014. Biology, ecology, and management of brown marmorated stink bug (Hemiptera: Pentatomidae). *J Integr Pest Manag* 5:A1–A13.
- Riedl, H., B. Croft et A. Howitt. 1976. Forecasting codling moth phenology based on pheromone trap catches and physiological-time models. *Can Entomol* 108:449–460.
- Riedl, H. et B. Croft. 1978. The effects of photoperiod and effective temperatures on the seasonal phenology of the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Can Entomol* 110:455–470.
- Riedl, H. 1983. Analysis of codling moth phenology in relation to latitude, climate and food availability. *In* Diapause and life cycle strategies in insects. Junk.
- Root, T.L., J.T. Price, K.R. Hall, S.H. Schneider, C. Rosenzweig et J.A. Pounds. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421:57.
- Rossi-Stacconi, M.V., R. Kaur, V. Mazzoni, L. Ometto, A. Grassi, A. Gottardello, O. Rota-Stabelli, et G. Anfora. 2016. Multiple of evidence for reproductive winter diapause in the invasive pest *Drosophila suzukii*: useful clues for control strategies. *J. Pest Sci.* 89(3): 689-700

- Rowlandson, T., M. Gleason, P. Sentelhas, T. Gillespie, C. Thomas et B. Hornbuckle. 2015. Reconsidering leaf wetness duration determination for plant disease management. *Plant Dis* 99:310–319.
- Roy, J. 2008. La culture du framboisier remontant *Rubus idaeus* L. sous grands tunnels, une possibilité au Québec?
- Roy, M., S. Schawann et M. Fréchette. 2010. Première mention au Québec de *Clepsis spectrana* (Treitsche) (Lepidoptera : Tortricidae).
- Saalau Rojas, E. et P. Oudemans. 2015. Cranberry fruit rot fungicide scenarios. University of Massachusetts Amherst.
(http://scholarworks.umass.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1031&context=cranberry_factsheets)
- Saalau Rojas, E., F.L. Caruso et M.M. Sylvia. 2015. 2015 Chart book : Disease management. University of Massachusetts Amherst.
(<http://scholarworks.umass.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1199&context=cranchart>)
- Schöneberg, A., S. Perren, B. Felder, R. Hollenstein, U. Müller, D. Szalatnay et K. Hunziker. 2017. Feu bactérien - Sensibilité des fruits à pépins. Agroscope Fiche technique 732.
- Schuster, M. et D. Coyne. 1974. Survival mechanisms of phytopathogenic bacteria. *Annu Rev Phytopathol* 12:199–221.
- Sévérac, G. 2012. Les filets Alt'Carpo. Présentation Agricultures et territoires.
(<https://docplayer.fr/14696842-Alt-carpo-guilhem-severac.html>)
- Smith, B.J. 2008. Epidemiology and pathology of strawberry anthracnose: a North American perspective. *HortScience* 43:69–73.
- Smith, C.A. 2017. Fire blight. University of New Hampshire.
(https://extension.unh.edu/resources/files/Resource002817_Rep4172.pdf)
- Smith, T., D. Granatstein et K. Johnson. 2016. Fire blight. Washington State University.
(<http://treefruit.wsu.edu/web-article/fire-blight/>)
- Steffan, S.A., Singleton ME, Zalapa JE. 2014. When and how long to flood for insect control.
- Stephens, A.R., M.K. Asplen, W.D. Hutchison et R.C. Venette. 2015. Cold Hardiness of winter-acclimated *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) adults. *Environ. Entomol.* 44(6): 1619-1626.
- Stoeckli, S., M. Hirschi, C. Spirig, P. Calanca et M.W. Rotach. 2012. Impact of Climate Change on Voltinism and Prospective Diapause Induction of a Global Pest Insect - *Cydia pomonella* (L.). *PLoS One* 7:1–9.

- Strangways-Dixon, J. 1967. *Platynota flavedana* Clem. (Lepidoptera, Tortricidae) on Citrus in Jamaica. *Bulletin of Entomological Research* 57:399–404.
- Sylvia, M.M. et A.L. Averill. 2005. Black-Headed Fireworm. Cranberry Stn Fact Sheets:5.
- Szendrei, Z. et R. Isaacs. 2005. Japanese beetle research in highbush blueberries. MSU Small Fruit Entomology.
(http://www.isaacslab.ent.msu.edu/Research_additions/JBmanagement.htm)
- Tellier, S. et A-M. Breton. 2018. Anthracnose dans la fraise. Réseau d'avertissements phytosanitaires Fraise.
(https://www.agrireseau.net/documents/Document_97707.pdf)
- Tellier, S., M. Harnois et C. Lacroix. 2018. Tarsonème du fraisier. Réseau d'avertissements phytosanitaires Fraise.
(<https://www.agrireseau.net/rap/documents/97712/fraise-fiche-technique-tarsoneme-du-fraisier>)
- Teulon, D.A.J. et M.C Nielsen. 2005. Distribution of western (glasshouse strain) and Intonsa flower thrips in New Zealand. *New Zealand Plant Protection* 58:208–212.
- The Royal Horticultural Society. 2017. Raspberry cane blight.
(<https://www.rhs.org.uk/advice/profile?pid=266>).
- Thomas, C.D., A. Cameron, R.E. Green, M. Bakkenes, L.J. Beaumont, Y.C. Collingham, B.F. Erasmus, M.F. De Siqueira, A. Grainger et L. Hannah. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature* 427:145.
- Thomas, H.E., S. Wilhelm et N.A. MacLean. 1953. Two root rots of fruit trees. *Year b Agric*:702–705.
- Thomas, W.P. 1975. Additional notes on leaf rollers. *Orchardist of New Zealand* 48:354–355.
- Tuovinen, T. et I. Lindqvist. 2010. Maintenance of predatory phytoseiid mites for preventive control of strawberry tarsonemid mite *Phytonemus pallidus* in strawberry plant propagation. *Biol Control* 54:119–125.
- Turner, W.F. et H.N. Pollard. 1959. Life histories and behavior of five insect vectors of phony peach disease. US Dept. of Agriculture.
- UC-IPM. 2015 UC IPM: UC Management Guidelines for Light Brown Apple Moth on Grape
(<http://ipm.ucanr.edu/PMG/r302303011.html>)
- UC-IPM. 2007. Glassy-winged Sharpshooter Management Guidelines--UC IPM.
(<http://ipm.ucanr.edu/PMG/PESTNOTES/pn7492.html>).
- Ullman, D.E., J.L. Sherwood et T.L. German. 1997. Thrips as vectors of plant pathogens. Thrips as vectors of plant pathogens. p 539–565.

- University of California. 2012. *Frankliniella intonsa*. Thrips of California. (http://keys.lucidcentral.org/keys/v3/thrips_of_california/identify-thrips/key/california-thysanoptera-2012/Media/Html/browse_species/Frankliniella_intonsa.htm).
- UMaine. 2018. Insect management snapshot 2018.
- University of Massachusetts Amherst. 2019. New England Tree fruit management guide.
- University of Minnesota Extension. 2017. Cane diseases: Spur blight, cane blight and anthracnose. Integr Pest Manag Home Raspberry Grow. (<http://www.extension.umn.edu/garden/yard-garden/fruit/integrated-pest-management-for-home-raspberry-growers/cane-diseases/>).
- USDA. 2011a. New Pest Response Guidelines: Summer Fruit Tortrix Moth (*Adoxophyes orana*) (https://www.aphis.usda.gov/import_export/plants/manuals/emergency/downloads/nprg-SummerFruitTortrixMoth.pdf).
- USDA. 2011b. New Pest Response Guidelines - Variegated Golden Tortrix (*Archips xylosteanus*).
- USDA. 2015. Managing the Japanese beetle : a homeowner's handbook. APHIS 81-25-003.
- Van Leeuwen, T., J. Vontas, A. Tsagkarakou, W. Dermauw et L. Tirry. 2010. Acaricide resistance mechanisms in the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* and other important Acari: a review. *Insect Biochem Mol Biol* 40:563–572.
- Venette, R.C., E.E. Davis, M. DaCosta, H. Heisler et M. Larson. 2003. Mini risk assessment: false codling moth, *Thaumatotibia* (= *Cryptophlebia*) *leucotreta* (Meyrick)[Lepidoptera: Tortricidae]. *Univ Minn Dep Entomol CAPS PRA*:1–30.
- Verschoor, J., E.C Otma, Y.T. Qiu , G. Van Kruistum et J. Hoek. 2015. Controlled Atmosphere Temperature Treatment: Non-chemical (quarantine) pest control in fresh plant products. *Acta Horti*. 1071:253-257.
- Virginia Fruit. 2019. Variegated Leafroller, *Platynota flavedana* Clemens. The Virginia Fruit Web Site. (<https://www.virginiafruit.ento.vt.edu/VLR.html>)
- Vittum, P.J. 1986. Biology of the Japanese Beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) in Eastern Massachusetts. *J Econ Entomol* 79:387–391.
- Vivancos, J. 2015. Nouvelle méthode d'identification génétique des principaux pathogènes responsable de la pourriture du fruit de canneberge. Présentation Journée INPACQ.
- Walgenbach, J. 2015 Variegated Leafroller. NC State Extension Publications. URL (<https://content.ces.ncsu.edu/variegated-leafroller>).
- Wang, C.-L., F.-C. Lin, Y.-C. Chiu et H.-T. Shih. 2010. Species of *Frankliniella Trybom* (Thysanoptera: Thripidae) from the Asian-Pacific Area. *Zoological studies* 49:824–838.

- Weir, B. S., P.R. Johnston et U. Damm. 2012. The *Colletotrichum gloeosporioides* species complex. *Stud. Mycol.* 73:115–180.
- Wells, L.D. et P.S. McManus. 2013. A Photographic Diagnostic Guide for Identification of the Principal Cranberry Fruit Rot Pathogens. Online. *Plant Health Progress* doi:10.1094/PHP-2013-0729-01-DG
- Welty, C. 2011. Granulosis virus for codling moth management in Ohio apple orchards. Ohio State University.
(<http://u.osu.edu/pestmanagement/files/2014/12/CodmothVirusReport06-1hjog6m.pdf>)
- Whittle, K. 1985. Summer fruit tortrix moth: *Adoxophyes orana* (Fischer von Roeslerstamm). United States Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service, Hyattsville, MD
- Wilde, G. et M. Semel. 1966. The life history of *Platynota flavedana*, a leaf roller of strawberry. *Journal of Economic Entomology* 59:1037–1041
- Williamson, RC. 2013. Japanese beetle. University of Wisconsin Extension.
(<https://hort.uwex.edu/articles/japanese-beetle/>)
- Wilson, L., L. Madden et M. Ellis. 1990. Influence of temperature and wetness duration on infection of immature and mature strawberry fruit by *Colletotrichum acutatum*. *Phytopathology* 80:111–116.
- Wilson, L., L. Madden et M. Ellis. 1992. Overwinter survival of *Colletotrichum acutatum* in infected strawberry fruit in Ohio. *Plant Dis* 76:948–950.
- Winks, BL. 1965. A wilt of strawberry caused by a new form of *Fusarium oxysporum*. *Qld J Agric Anim Sci* 22:475–479.
- Woo, K.S. et W.H. Paik. 1971. Studies on the Thrips (Thysanoptera) Unrecorded in Korea.(I). *Korean journal of applied entomology* 10:69–73.
- Wood, T., M. Richardson, D. Potter, D. Johnson, R. Wiedenmann et D. Steinkraus. 2009. Ovipositional preferences of the Japanese beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) among warm-and cool-season turfgrass species. *J Econ Entomol* 102:2192–2197.
- Yan, W. et L.A. Hunt. 1999. An equation for modelling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. *Ann. Bot.* 84:607–614.
- Zhao, C., B. Liu, S. Piao, X. Wang, D.B. Lobell, Y. Huang, M. Huang, Y. Yao, S. Bassu et P. Ciais. 2017. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114(35): 9326–9331.

9 ANNEXES

9.1 FICHES D'INFORMATIONS SUR LES ESPÈCES EXOTIQUES À RISQUE D'ENVAHIR LE QUÉBEC

9.1.1 *Epiphyas postvittana* (Walker)

Nom français: Pyrale brun pâle de la pomme

Noms anglais: Apple leaf roller, Australian leaf roller, light-brown apple moth



CARACTÉRISTIQUES

La pyrale brun pâle de la pomme (Lepidoptera : Tortricidae) est un insecte extrêmement polyphage considéré comme un ravageur majeur des plantes ornementales et des fruits (tel que la pomme, la fraise, la framboise, le bleuet, etc.) (Lewis et Hodges, 2013). Les œufs, ayant la forme de petits galets, se chevauchent pour donner une masse plate et lisse difficile à distinguer de la feuille sur laquelle elle est pondue. Initialement de couleur blanche, les œufs deviennent vert-jaunâtre en se développant. Le premier stade larvaire (~1,6 mm) possède une tête noire-brune, alors que les autres stades possèdent une tête brun clair et une plaque prothoracique. Le 6^e et dernier stade larvaire (10-20 mm) est vert avec une ligne centrale verte foncée, ainsi que deux lignes sur les côtés. La chrysalide (10-15 mm), initialement verte, devient brune après une journée. La chrysalide des femelles est plus grosse que celle des mâles. L'adulte brun-jaunâtre se reconnaît par sa zone plus pâle en forme de diamant directement derrière sa tête, jusqu'au tiers de son corps. Un dimorphisme sexuel est observable : le mâle (6-10 mm) a un contraste de couleur plus prononcé que la femelle (7-13 mm) et celle-ci se distingue par une marque plus foncée localisée sur la marge inférieure de chacune des ailes antérieures (Lewis et Hodges, 2013).

CYCLE DE VIE

Dans la plupart de ses aires de répartition, la pyrale brun pâle de la pomme réalise 2 à 5 générations par année, avec un chevauchement considérable entre les générations (Brown et al., 2010; Lewis et Hodges, 2013). Le nombre de générations dépend de la température, de la latitude et de la plante hôte (Gilligan et Epstein, 2014d). Les femelles sont capables de s'accoupler et pondre des œufs 6 à 10 jours après leur émergence (Lewis et Hodges, 2013). Elles déposent leurs masses d'œufs (de 3 à 150 œufs par masse) sur les feuilles, les tiges et les fruits de la plante hôte. La femelle est très prolifique et peut pondre de 300 à 1500 œufs dans sa vie. Les œufs éclosent en 8 jours à 20°C. De cinq à six stades larvaires se succèdent dépendamment du sexe de l'individu

(Thomas, 1975). Les premiers stades se nourrissant à la face inférieure des feuilles alors que les stades plus avancés plient les feuilles et créent des abris pour se nourrir, se protéger et éventuellement faire leur chrysalide. Le cycle de vie complet de cette pyrale est de 25 jours à 20°C. Enfin elle hiverne aux stades larvaires 2 à 4 sans nécessiter de diapause (Brown et al., 2010).

DOMMAGES CAUSÉS

Ce sont les larves, en formant des abris de soies sous les feuilles ou en enroulant des feuilles ensemble, qui causent le plus de dommages, car elles attaquent les bourgeons, les feuilles, les fleurs et les fruits. Les bourgeons endommagés peuvent cesser de se développer, alors que les fruits endommagés présentant des petites taches brunâtres ne sont pas commercialisables. Ces derniers sont aussi plus à risque d'être infectés par des maladies fongiques tel qu'observé dans la vigne avec des infections secondaires par *Botrytis cinerea* (Bailey et al., 1997). En Australie et en Nouvelle-Zélande, lors d'années où les populations atteignent des densités élevées, les dommages sur fruits peuvent atteindre 70 % dans certaines cultures telles que la pomme et la vigne (Brown et al., 2010). En Californie, les pertes économiques associées à cet insecte pour la culture de la pomme s'estimeraient à 22% selon une analyse quantitative réalisée par l'USDA en 2009 (Lewis et Hodges, 2013).

AIRE DE RÉPARTITION ACTUELLE

La pyrale brun pâle de la pomme est originaire d'Australie (UC-IPM 2015). On la retrouve maintenant ailleurs en Océanie, dans le nord de l'Europe et en Amérique du Nord (Brown et al., 2010; Lewis et Hodges, 2013; UC-IPM, 2015; EPPO, 2017).

CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES

La pyrale brun pâle de la pomme requiert un minimum de 7,5 °C et un maximum de 31°C pour se développer ainsi qu'un cumul de 620,5 degrés-jours (température de base de 7,5 °C) pour compléter son cycle de développement. La température optimale pour son développement est de 20 °C (Danthanarayana, 1975).

9.1.2 *Archips fuscocupreanus* Walsingham

Noms français : Tordeuse cuivrée du pommier

Noms anglais : Apple tortrix



CARACTÉRISTIQUES

La tordeuse cuivrée du pommier (Lepidoptera: Tortricidae) est un ravageur attaquant plus de 87 plantes issues de plus de 15 familles, mais les végétaux les plus affectés par ce ravageur sont les *Rosaceae* (67,8 %) (Maier, 2003). Dans l'est de l'Asie, ce ravageur attaque principalement la pomme. Comme hôtes mineurs se retrouvent la fraise, la framboise et les autres *Malus* (Plantwise, 2017d).

Les œufs ovales (<1 mm) sont déposés en masse (7 mm de diamètre) noires (Gilligan et Epstein, 2014b; CABI, 2019a). Les premiers stades larvaires sont noirs et gris, alors que les derniers stades larvaires (19-22 mm) ont un abdomen gris-vert avec des lignes latérales et dorsales plus foncées, une capsule céphalique brune-orangée et une plaque thoracique noire derrière la tête (Gilligan et Epstein, 2014b; CABI, 2019a). La chrysalide (9-11 mm) est brun foncé (CABI, 2019a). Les adultes (16-24 mm) ont les ailes antérieures brunes avec des rayures marron foncé et des reflets orange ou brun rougeâtre. Les ailes postérieures sont brun gris (plus pâles que les ailes antérieures) (CABI, 2019a). Il faut noter que ce ravageur est semblable à d'autres tordeuses. Une dissection des pièces génitales peut être nécessaire pour confirmer l'identification (Gilligan et Epstein, 2014b).

CYCLE DE VIE

Cette espèce est univoltine et ce sont les masses d'œufs noires qui passent l'hiver sur les branches et troncs d'arbres vivants (Maier, 2003). Les premiers stades larvaires apparaissent le printemps suivant vers la fin du mois d'avril (Maier, 2003; CABI, 2019a) et s'alimentent sur les jeunes pousses. Les derniers stades larvaires s'alimenteront aussi de fleurs et occasionnellement de jeunes fruits (Maier, 2003). En plus de s'alimenter, ces derniers se construisent aussi un abri en attachant, par des toiles, des feuilles ensemble (Maier, 2003). Le dernier stade larvaire (4e) cesse de s'alimenter à la fin du printemps et du début de l'été (de la mi-mai à la mi-juin) pour former une chrysalide dans l'abri en question (Maier, 2003), sous l'écorce du tronc ou dans les débris du sol près de l'arbre (Maier, 2017). Les adultes émergent 1 à 2 semaines plus tard (vers la mi-juin et début juillet) et les femelles accouplées pondent par la suite des masses d'œufs noires qui demeureront dormant pendant tout l'hiver (Maier, 2017).

DOMMAGES CAUSÉS

Les larves sont généralistes et attaquent les feuilles, mais elles peuvent aussi attaquer les fleurs et les jeunes fruits (Maier, 2003). Cela résulte en la formation de fruits déformés qui peuvent être déclassés ou avortés. Si le ravageur est abondant, il peut même y avoir défoliation de l'arbre (CABI, 2019a).

AIRE DE RÉPARTITION ACTUELLE

Elle est originaire de l'est de l'Asie (Japon) (CABI, 2019a). Elle est maintenant établie dans les états américains du Connecticut, du New Jersey, de New York, du Massachusetts, de Washington et du Rhode Island (Gilligan et Epstein, 2014b). Selon Maier (2003), en se basant sur les latitudes et la distribution de ce ravageur dans l'est de l'Asie, la tordeuse cuivrée du pommier pourrait s'étendre en Amérique du Nord, de Terre-Neuve jusqu'au sud de la Géorgie.

CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES

La tordeuse cuivrée du pommier requiert un minimum de 7,3°C; de 8,1°C et de 10,7°C pour le développement des œufs, des larves et des chrysalides respectivement (Oku, 1970).

9.1.3 *Clepsia spectrana* (Treitsche)

Noms français : Tordeuse du chou, Tordeuse de la vigne

Noms anglais : Cyclamen tortrix, Fern tortrix, Straw-coloured tortrix



CARACTÉRISTIQUES

La tordeuse du chou (Lepidoptera : Tortricidae) s'attaque à plusieurs plantes hôtes dont le framboisier, le fraisier, le pommier, le bleuetier, la vigne et le houblon (Dang et al., 1996). On la retrouve également sur la canneberge (Drolet et al., 2018), les feuillues, les conifères, les plantes ornementales et les mauvaises herbes (Roy et al., 2010).

Le dernier stade larvaire (25 mm) est brun à verdâtre avec les côtés et le ventre plus pâle. La tête, la plaque thoracique et les pattes thoraciques sont d'un brun-noir brillant alors que la plaque anale est pâle (Roy et al., 2010). La chrysalide est noire et entourée d'un cocon blanchâtre (Roy et al., 2010). L'adulte (15-24 mm) est ocre pâle avec une bande médiane oblique sur le bord costal des ailes antérieures, ainsi qu'une tache post médiane brune. Il y a parfois présence de quelques points sombres sur cette tache. Les ailes postérieures de l'adulte sont gris pâle (Roy et al., 2010).

CYCLE DE VIE

Cette espèce produit 2 à 3 générations par années (trois générations ont été observées en Colombie-Britannique) et passe l'hiver au stade larvaire (Dang et al., 1996; Roy et al., 2010). Au printemps, les larves complètent leur développement et se métamorphosent en chrysalide en mai-juin. En mai, les premiers adultes (1^{re} génération) émergent et sont actifs jusqu'en juillet. Les œufs sont pondus par petits groupes sur les plantes et éclosent 2 à 3 semaines plus tard. Les larves se développent sous une toile, ou dans les jeunes feuilles et les fleurs reliées par de la soie. Elles se métamorphosent ensuite en chrysalide à l'intérieur de feuilles tissées ou parmi les feuilles mortes. Les adultes émergeant (2^e génération) sont par la suite observés en août et septembre. À noter qu'en serre, certaines populations non diapausantes peuvent se reproduire toute l'année (Roy et al., 2010).

DOMMAGES CAUSÉS

Les larves s'alimentent, en formant une toile, sur les jeunes pousses et les fleurs de leur hôte, causant ainsi d'importants dégâts sur les feuilles et les fruits en formations (Roy et al., 2010; Gilligan et Epstein, 2014c). D'importants dommages ont été rapportés sur la fraise, surtout au printemps lorsque cette tordeuse est attirée par les fleurs de celle-ci. Lorsque les étamines et le réceptacle de la fleur du fraisier sont attaqués, elle cause une déformation du fruit et une perte de rendement (Alford, 2007).

AIRE DE RÉPARTITION ACTUELLE

La tordeuse du chou est largement distribuée en Europe, allant aussi loin à l'est que la Turquie et le Kazakhstan (Gilligan et Epstein, 2014c). La première mention de cette tordeuse en Amérique du Nord était en Colombie-Britannique en 1950. Elle fut observée à nouveau dans les années 1990 en Colombie-Britannique et une pour la première fois aux États-Unis dans l'état de Washington en 1997 (Gilligan et Epstein, 2014c). Au Québec, en 2009, des spécimens provenant des régions de la Capitale-Nationale et du Bas-Saint-Laurent ont été identifiés par le Laboratoire d'expertise et de diagnostic en Phytoprotection (Roy et al., 2010).

CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES

Nous n'avons trouvé aucune information à ce sujet pour cette espèce.

9.1.4 *Adoxophyes orana* (FISCHER VON RÖSLERSTAMM)

Noms français : Tordeuse de la pelure de Capua, Capua, Petite tordeuse verte,

Noms anglais : Reticulated tortrix, Smaller tea tortrix, Summer fruit tortrix



CARACTÉRISTIQUES

La tordeuse de la pelure de Capua (Lepidoptera : Tortricidae) est un ravageur polyphage qui s'attaque à plusieurs variétés de fruits à pépins (telles la pomme et la poire), des fruits à noyaux (telles la cerise et la pêche), de petits fruits (tels la framboise et le bleuets), en plus de nombreuses espèces d'arbres à feuilles caduques (USDA, 2011a). En tout, plus de 100 espèces de plantes sont des hôtes potentiels pour ce ravageur.

Les œufs plats, ovales et jaune brillant, sont déposés sur la face supérieure des feuilles en groupe de 30 à 50 (Dickler, 1991). La larve mature (jusqu'à 20 mm) de cette tordeuse a une couleur très variable, mais souvent d'un vert jaune. La tête et le bouclier prothoracique sont jaunâtres et les pattes thoraciques sont brun pâle (USDA, 2011). La chrysalide (8-11 mm), initialement brun pâle, devient plus foncée avant l'émergence. L'adulte possède des ailes antérieures d'un brun jaunâtre pâle avec des traits bruns à brun foncé. Un dimorphisme sexuel est observable : le mâle possède des traits plus pâles et des ailes antérieures de couleurs grises, alors que la femelle est plus grosse, plus foncée avec des traits plus ternes et ces ailes antérieures sont de couleur brun-gris (Cooperative Agricultural Pest Survey (CAPS), 2009).

CYCLE DE VIE

Cette tordeuse complète 2 à 3 générations par année, tout dépendant du climat (USDA, 2011a). Les seules informations venant de Grèce indiquent que la première génération est capturée dès le début mai alors que la 2^e génération est capturée en juillet et la 3^e génération plus à la fin août / début septembre (Milonas et Savopoulou-Soultani, 2006). Le 2^e ou 3^e stade larvaire de la tordeuse passe l'hiver dans les crevasses d'écorce ou dans des hibernaculum filés entre les feuilles et les rameaux (Bradley et al., 1973), où ils entreront en diapause (Cross, 1994). Les larves sortent de diapause après un cumul de 67 degrés-jours à une température seuil de 9 à 10°C (Whittle, 1985). Cette espèce possède de 5 à 6 stades larvaires tous dépendants les conditions environnementales rencontrées (Milonas et Savopoulou-Soultani, 2000). Les derniers stades larvaires s'alimentent de jeunes feuilles, de bourgeons et de fleurs jusqu'à ce qu'ils atteignent le stade chrysalide (USDA, 2011a). À la fin mai, les adultes émergent et les femelles déposent de 4-150 œufs, en masses de 30-50 œufs, sur la face supérieure des feuilles. Il est aussi possible de retrouver ces masses sur les fruits et les troncs (Gilligan et Epstein, 2014a). Les œufs se développent après un cumul de 90 degrés-jours à une température seuil de 10°C (Charmillot et Megevand, 1983). Les larves de 2^e et 3^e générations s'attaqueront aussi aux fruits.

DOMMAGES CAUSÉS

Les larves causent des dommages sur les feuilles, les bourgeons, les fleurs et les fruits. Les dommages sur feuilles sont peu problématiques économiquement, mais une défoliation sévère des arbres est possible lorsque l'on atteint des densités de population élevées (Dickler, 1991). Les dommages sur fruits, généralement cachés sous une feuille liée à un fruit par de la soie, sont bien plus problématiques économiquement. Les larves de 1^{re} génération laissent des cicatrices d'excavations d'apparence liégeuse et des excréments sur les fruits. Chez les larves de 2^e génération, les dégâts prennent la forme de piqûres et peuvent causer la déformation des fruits (Dickler, 1991). Dans tous les cas, ces dommages peuvent causer le déclassement des fruits en plus d'augmenter les risques d'infections par des maladies fongiques (USDA, 2011a). Des pertes à la récolte de 20 % ont déjà été observées pour cette espèce (Whittle, 1985).

AIRE DE RÉPARTITION ACTUELLE

La tordeuse de la pelure de Capua est originaire d'Europe et d'Asie. Elle se distribue sur tout le continent de l'Europe et dans plusieurs pays d'Asie comme la Chine, le Japon, l'Inde et la Corée (Milonas et Savopoulou-Soultani, 2000). De plus, cette tordeuse a été interceptée à plusieurs répétitions aux frontières des États-Unis dans des cargaisons en provenance de l'Europe (Noma et al., 2010).

CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES

D'importantes différences s'observent, au niveau populationnel, chez la tordeuse de la pelure de Capua quant aux caractéristiques thermiques de celle-ci (Milonas et Savopoulou-Soultani, 2000). En Grèce, la population requiert un minimum de 6,2 °C et un cumul de 333,3 degrés-jours (température de base de 6,2 °C) pour compléter son développement larvaire (Milonas et Savopoulou-Soultani, 2000). La température optimale pour le développement larvaire se situe entre 25 et 30°C, alors que la température optimale pour la croissance de la population (tout stade confondu) est de 25°C (Milonas et Savopoulou-Soultani, 2000). En Suisse, l'insecte requiert un minimum de 10°C (à l'exception des larves d'été, où elles requièrent un minimum de 7°C) et un cumul de 430 degrés-jours (température de base de 7,0 °C) pour compléter son développement larvaire (Charmillot et Megevand, 1983).

9.1.5 *Amphitetranynchus viennensis* (ZACHER)

Noms français : Tétranyque de l'aubépine, Acarien rouge de l'aubépine, Tétranyque du cerisier
Noms anglais: Hawthorn spider mite, Sweet-cherry spider mite



CARACTÉRISTIQUES

Le tétranyque de l'aubépine (Acari: Tetranychidae) est un ravageur de plus d'une quarantaine de plantes hôtes dont plusieurs sont de la famille des Rosaceae dont la pomme, la fraise, la framboise (NAPPO, 2014; Plantwise, 2017c). Les œufs (0,15 mm) sont vert-rose, translucide, de forme globulaire et pourvue d'une surface lisse. Ils sont aussi suspendus dans les toiles (AgroAtlas, 2019). Le corps des larves est arrondi, convexe et vert translucide. Elles ont des yeux rouges et une tache noire de chaque côté du corps. Elles sont munies de trois paires de pattes (AgroAtlas, 2019). Les nymphes (protonympe et deutonympe) sont de forme allongée et ovale, en plus d'avoir 4 paires de pattes. Les femelles (0,55 mm) hivernantes sont de couleur rouge vif avec des pattes de couleur pâle (blanchâtre). Les femelles estivales sont de couleurs bleu-violet ou rouge carmin avec des pattes blanches et des pièces buccales rosées blanches (NAPPO, 2014; AgroAtlas, 2019). Les mâles ont un corps plus étroit, vert pâle avec des taches noires de chaque côté et leurs yeux sont rouge vif.

CYCLE DE VIE

Seulement les femelles fertilisées (en groupe allant jusqu'à 50 individus) hivernent dans les cicatrices d'écorce et à la surface de la litière du sol, mais rarement au niveau des feuilles tombées au sol. Environ 50% d'entre elles vont mourir durant l'hiver (AgroAtlas, 2019). L'activité (levée de diapause) recommence au printemps dès que la température atteint les 10°C. Les femelles migrent alors vers la face inférieure des feuilles pour s'y nourrir (AgroAtlas, 2019). Le développement de l'œuf à l'adulte prend en moyenne 11,9 jours pour un mâle et 16,2 jours pour une femelle, dans des conditions de laboratoire à 23°C. Ainsi, en Iran, on peut observer jusqu'à trois générations par année (Golpayegani et al., 2004).

DOMMAGES CAUSÉS

Le tétranyque de l'aubépine se nourrit des pousses terminales et de la face inférieure des feuilles de ses hôtes, ce qui cause un jaunissement de ces feuilles. Une forte infestation du tétranyque de l'aubépine peut causer une chute prématurée des feuilles et entraver sérieusement la production de fruits (diminution de la taille, du poids et apparition de malformations) (NAPPO, 2017; Plantwise, 2017c). Une forte infestation peut aussi causer une diminution de la photosynthèse,

des pertes d'eau et une baisse de la résistance aux conditions hivernales, ce qui peut avoir un impact sur la production les années suivantes (Plantwise, 2017c). L'impact de ce ravageur est plus important lors des années plus sèches (NAPPO, 2017; Plantwise, 2017c).

AIRE DE RÉPARTITION ACTUELLE

Le tétranyque de l'aubépine est largement distribué à travers l'Europe et l'Asie (NAPPO, 2014).

CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES

Le tétranyque de l'aubépine requiert un minimum de 9,07°C et un cumul de 185,18 degrés-jours (température de base de 9,07 °C) pour se développer (de l'œuf à l'adulte) (Kasap, 2003). Les œufs requièrent un minimum de 9,72°C et un cumul de 72,99 (température de base de 9,72 °C) degrés-jours pour éclore (Kasap, 2003). La température optimale pour son développement est de 35°C (Ji et al., 2005).

9.1.6 *Homalodisca vitripennis* (Germar)

Noms français : Cicadelle pisseuse, Mouche pisseuse

Noms anglais: Glassy-winged sharpshooter



CARACTÉRISTIQUES

La cicadelle pisseuse (Hemiptera: Cicadellidae) est un ravageur attaquant plus de 100 espèces issues d'une trentaine de familles de plantes (Turner et Pollard, 1959; Rathé et al., 2014). Les plantes préférées de cette cicadelle dépendent de la saison et de la localité, mais en général les espèces d'intérêts comprennent le lilas, les agrumes et le houx (Conklin et Mizell, 2016). On y retrouve aussi la pomme, le bleuet, et la vigne comme hôtes potentiels (Martin et al., 2012). La cicadelle peut se nourrir sur plusieurs plantes hôtes, mais sera très sélective pour sa ponte (Rathé et al., 2014).

Les œufs sont jaune-blanc et opaques. Ils sont lisses, aplatis et de forme elliptique avec une pointe plus accentuée. Ils sont recouverts d'une substance blanche crayeuse déposée par la femelle (Martin et al., 2012). La larve comporte cinq stades s'échelonnant sur 7 à 12 semaines (Rathé et al., 2014). est similaire à l'adulte, mais elle est aptère, plus petite et de couleur olive-gris (Conklin et Mizell, 2016). Elle a les yeux bombés et proéminents (UC-IPM, 2007; Martin et al., 2012). Bien qu'aptère, la larve peut tout de même se déplacer de plant en plant en sautant et en marchant (CABI, 2019b). L'adulte, plus large que les autres cicadelles (~ 12mm), a la face dorsale brunâtre avec des marques blanches à jaunes et un abdomen blanc. Ses ailes brunes avec des marques rouges sont de bonne taille ce qui lui permet de se déplacer sur de longues distances. La tête et les pattes de la cicadelle pisseuse au stade adulte sont brune à noire avec des taches jaune-orangé (UC-IPM, 2007; Conklin et Mizell, 2016). Leurs yeux sont jaunes avec des taches noires (Global Invasive Species Database, 2010).

CYCLE DE VIE

Dans le sud de l'état de la Californie et dans la vallée San Joaquin, la cicadelle pisseuse complète deux générations par année (UC-IPM, 2007). Les adultes restent actifs l'hiver et continuent à s'alimenter (UC-IPM 2007). La femelle pond ses œufs entre février et avril (CABI, 2019). Elle dépose en moyenne de 10 à 12 œufs (mais peut en déposer jusqu'à une trentaine) en ligne et côte à côte sous la couche épidermique des jeunes feuilles totalement développées (UC-IPM, 2007; Conklin et Mizell, 2016). Elle recouvre ensuite la masse d'œufs de particules appelés des

brochosomes, un matériel blanc crayeux et hydrophobe qui provient d'un dépôt de ses ailes antérieures (UC-IPM, 2007). Les œufs éclosent après 10 à 14 jours et les larves vont s'alimenter sur la plante où elles ont émergé. Durant les 5 stades larvaires, les larves se nourrissent constamment et changent souvent de plantes hôtes pour s'assurer d'un apport optimal en nutriments. Elles ne peuvent survivre plus de 4 heures sans nourriture (UC-IPM, 2007).

La première génération d'adulte s'échelonne de mai à juillet. La ponte pour la deuxième génération se fait de la mi-juin jusqu'en octobre et ce sont ces larves qui deviendront les adultes qui passent l'hiver en zone forestière (UC-IPM, 2007; Conklin et Mizell, 2016).

DOMMAGES CAUSÉS

La cicadelle pisseuse se nourrit du xylème de ses plantes hôtes. Elle ingère de 100 à 300 fois son poids par jour et sécrète une quantité abondante de liquide qui laisse un résidu blanc sur les feuilles et les fruits lorsqu'il sèche (UC-IPM, 2007; Conklin et Mizell, 2016). Les dommages économiques ne proviennent généralement pas de l'alimentation de la cicadelle ni de la présence de cette substance blanchâtre, bien qu'elle soit dérangeante, car les fruits nécessitent un lavage (UC-IPM, 2007; Martin et al., 2012). Des dommages sur feuilles sont visibles, suite à la ponte de la femelle et aux développements des larves (UC-IPM, 2007).

Le problème le plus important en lien avec la cicadelle pisseuse est qu'elle est un des vecteurs principaux de la bactérie *Xylella fastidiosa*, un agent pathogène causant plusieurs maladies de plantes dont la maladie de Pierce dans la vigne (Conklin et Mizell, 2016), et la brûlure des feuilles dans plusieurs cultures (UC-IPM, 2007). Elle acquiert et transmet ces maladies en s'alimentant. Dans la vallée de Temecula en Californie, la maladie de Pierce transportée par la cicadelle pisseuse a causé des pertes de 20 à 30% en viticulture (Global Invasive Species Database, 2010).

AIRE DE RÉPARTITION ACTUELLE

La cicadelle pisseuse est originaire du sud-est des États-Unis du Mexique (Martin et al., 2012) et n'est pas considérée problématique dans ces endroits. Cependant elle représente une grande menace pour l'état de la Californie (Conklin et Mizell, 2016) depuis son introduction accidentelle en 1999 (CABI, 2019b) et suscite de l'inquiétude concernant sa progression vers le nord de l'état (UC-IPM, 2007). On la retrouve aussi en Polynésie française (Grandgirard et al., 2006) et à Hawaï (Heu et al., 2004). L'Australie, Tahiti et les régions nordiques de la Californie ont mis en place des systèmes de quarantaine pour réduire la dispersion de ce ravageur (CABI, 2019b).

CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES

Nous n'avons trouvé aucune information à ce sujet pour cette espèce.

9.1.7 *Archips xylosteanus* (Linnaeus)

Noms français : Tordeuse du chèvrefeuille, Tordeuse verte du théier

Noms anglais : Variegated golden tortrix, Apple leaf roller, Forked red barred twist moth



CARACTÉRISTIQUES

Archips xylosteanus (Lepidoptera : Tortricidae) est un insecte polyphage à plusieurs espèces d'arbres (tel que la pomme, la cerise, la pêche, etc.) et de plantes ligneuses (tel que la framboise) (USDA, 2011b). Les œufs, de forme ovoïde et plate, sont déposés, de façon imbriquée, en masses rondes et recouvertes de sécrétions brune-mauve (Hoebeke et al., 2008). Le dernier stade larvaire (16-22 mm) est grisâtre (parfois même gris ou bleu-gris) avec les côtés plus pâles. La tête est noire et brillante et le bouclier pro-thoracique est noir ou brun foncé avec une ligne médiane et un col blanchâtre (Hoebeke et al., 2008). La nymphe (10-15 mm) est brun foncé à noire et se retrouve des dans feuilles enroulées (Hoebeke et al., 2008; USDA, 2011b). L'adulte a des ailes antérieures dont la base est blanche à rose pâle recouverte de marques rouge foncé à brun foncé. Les ailes arrière sont grise-brune. La femelle (9-11 mm) est plus grosse et plus foncée que le mâle (7-10 mm) (Hoebeke et al., 2008; Carroll et Mattoon, 2016).

CYCLE DE VIE

Cette espèce univoltine passe l'hiver au stade œuf sur les branches des plantes hôte (Dickler, 1991). Les œufs n'entrent pas en diapause et peuvent éclore à l'intérieur d'un mois si la température est propice au développement (15-20°C, température optimale à 25°C). Les œufs éclosent généralement au printemps vers fin avril début mai (USDA, 2011b). Les jeunes larves s'attaquent aux nouveaux bourgeons des plantes hôtes ou s'alimentent sous les feuilles. Par la suite, elles se dirigent vers les fleurs et les jeunes fruits. D'avril à juin, la larve s'alimente et lie des feuilles ensemble, formant un abri enroulé ouvert à ces deux extrémités. En juin, la larve initie sa pupaison et les adultes émergent quelques semaines plus tard (USDA, 2011b). Les adultes (principalement actifs en soirée) sont présents de la fin juin à la mi-août. La femelle, durant sa vie, peut pondre entre 200 et 300 œufs par masse (5-8 masses) sur les branches et les troncs (USDA, 2011b).

DOMMAGES CAUSÉS

Archips xylosteanus s'alimente sur les bourgeons, les feuilles, les fleurs et les fruits de leurs hôtes. Les derniers stades larvaires s'alimentent principalement sur la surface inférieure des feuilles et les enroulent pour se former un abri à partir duquel elles peuvent sortir pour continuer à

s'alimenter. Si les populations sont élevées, il peut y avoir défoliation des plants et réduction de la production de fruits (Carroll et Mattoon, 2016).

AIRE DE RÉPARTITION ACTUELLE

Archips xylosteanus est originaire d'Europe, d'Asie et du nord de l'Afrique (USDA, 2011b). Cette tordeuse a aussi été retrouvée à Terre-Neuve, Canada en 2005 (Hoebeke et al., 2008).

CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES

La température optimale pour son développement est de 25°C (USDA, 2011b).

9.1.8 *Ochropleura implecta* Lafontaine

Noms français : aucun

Noms anglais: Flame-shouldered dart moth



CARACTÉRISTIQUES

Ochropleura implecta (Lepidoptera : Noctuidae) se nourrit de saule (*Salix* sp.) et de plusieurs plantes herbacées comme le trèfle et l'endive (Pogue, 2006). Dans l'ouest du Canada, cette espèce peut aussi être observée sur de la canneberge (Fitzpatrick, 2000). Les œufs (leur apparence n'est pas décrite dans la littérature) sont déposés l'un à la suite de l'autre ou un petit groupe (Fitzpatrick, 2000). Les jeunes larves sont brun chocolat avec des lignes latérales blanches, alors que les larves matures (2,5 cm) sont brun pâle avec des lignes latérales beige. Elles possèdent trois paires de pattes avant et cinq paires de pattes arrière (Fitzpatrick et al., 2015). L'adulte (13-15 mm) a les ailes antérieures brun-rouge foncées, alors que les ailes arrière sont blanches avec des taches noires à la marge. Il y a présence d'une large bande pâle de la base des ailes antérieures jusqu'au costa de l'aile et présence aussi de deux taches grises, une orbiculaire et l'autre réniforme espacée d'un rectangle noir (Pogue, 2006). La tête et le cou sont brun-jaune avec une petite ligne noire sur le cou. Le thorax est brun rouge comme les ailes antérieures et l'abdomen est gris-jaune (Pacific Northwest Moths, 2019).

CYCLE DE VIE

Cette espèce peut compléter deux générations par années en Colombie-Britannique. Les adultes volent, s'accouplent et pondent des œufs de la mi-mai à la fin juin (1re génération) et de la fin juillet à la fin août (2e génération) en Colombie-Britannique. Les œufs sont déposés l'un à la suite de l'autre ou un petit groupe sur le feuillage des canneberges et éclosent environ 10 jours plus tard. Les larves vont ensuite s'alimenter de nuit sur des fruits (immatures et mûrs) (Fitzpatrick et al., 2015).

DOMMAGES CAUSÉS

Cette espèce ne semble pas représenter un problème majeur pour l'agriculture à l'exception d'une saison en 1997, à Richmond en Colombie-Britannique, où elle a été recensée dans plusieurs champs de canneberge et que des pertes économiques ont été notées dans le secteur. Dans une ferme en particulier, le déclassement des fruits frais en fruits pour de la transformation a résulté en une perte d'environ 40 000 \$CA pour cette ferme (Fitzpatrick, 2000).

AIRE DE RÉPARTITION ACTUELLE

Ochropleura implecta se retrouve dans les régions boréales et tempérées du Nord, allant du Labrador jusqu'au sud de l'Alaska. Ce papillon à aussi eu plusieurs mentions plus au sud des États-Unis, tant sur la côte est que sur la côte ouest (Pogue, 2006). Au Canada, cette espèce a été observée uniquement dans l'ouest en Colombie-Britannique (Fitzpatrick, 2000; Pacific Northwest Moths, 2019).

CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES

Nous n'avons trouvé aucune information à ce sujet pour cette espèce, à l'exception que des œufs provenant de Colombie-Britannique prennent 10 jours à éclore à $22,0 \pm 2$ °C (Pogue, 2006).

9.1.9 *Platynota flavedana* Clemens

Noms français : aucun

Noms anglais : Variegated leaf roller, Rusty brown tortricid



CARACTÉRISTIQUES

Platynota flavedana (Lepidoptera : Tortricidae) a été signalé sur plusieurs plantes telles que le pommier, le fraisier et plusieurs espèces de rosiers (Gilligan et Epstein, 2014e; Walgenbach, 2015; Krawczyk, 2016). Elle peut aussi attaquer les citrons, les rhododendrons et des plantes de la famille *Malvaceae* produisant le coton (Gilligan et Epstein, 2014e).

Les œufs sont vert mat et de forme ovale ou irrégulière. Ils sont généralement déposés en masse (3 x 8 mm). Les œufs passeront du vert au brun jaune durant leur développement (Virginia Fruit, 2019). Les jeunes stades larvaires (1 et 2) sont jaunâtres avec la tête noire. Les derniers stades larvaires (13 à 21 mm) sont verts avec une tête et un prothorax de couleur brun-clair. Les larves possèdent un peigne anal de 5 à 8 dents (Gilligan et Epstein, 2014e; Krawczyk, 2016). La chrysalide (12,5 mm) est brun pâle (Walgenbach, 2015). Un dimorphisme sexuel considérable s'observe chez les adultes. La femelle, plus grosse (14-19 mm), a les ailes de couleur brune à brune orangée avec des bandes brunes-foncées à brunes violacées, alors que le mâle, plus petit (12-14 mm), a les ailes brunes violacées foncées avec une bande crème à jaune-orangé au niveau apical des ailes (Virginia Fruit, 2019). De plus, ce ravageur a des pièces buccales prononcées qui s'étendent au-devant de la tête (Walgenbach, 2015).

CYCLE DE VIE

Platynota flavedana complète deux générations dans la plupart des régions où elle se trouve, mais peut aussi en compléter une 3e dans les régions plus au sud (Gilligan et Epstein, 2014e). Les femelles de 1re génération vont déposer entre 5 et 6 masses d'œufs d'environ 50-70 œufs chaque sur la face supérieure des feuilles de mai à juin. Les œufs (1re génération) nécessitent environ 13 jours pour éclore (Walgenbach, 2015; Virginia Fruit, 2019). Les larves vont ensuite s'abriter par des feuilles pliées et liées par de la toile et vont s'alimenter généralement des feuilles. Après avoir complété leurs cinq stades larvaires (occasionnellement 6) (Wilde et Semel, 1966), le dernier stade larvaire va former une chrysalide dans des feuilles enroulées, ou plus rarement au sol dans les débris (Wilde et Semel, 1966). Les adultes de 2e génération vont alors s'accoupler et déposer des œufs de la mi-juillet à la fin août. Les œufs (2e génération) nécessitent à ce moment environ 9 jours pour éclore (Virginia Fruit, 2019). Les larves de la 2e génération se nourrissent de feuilles, mais aussi de fruits, causant ainsi de plus grandes pertes économiques (Walgenbach, 2015; Virginia Fruit, 2019). Les larves immatures, lorsque la température chute, forment un arbi de

feuilles enroulées pour hiverner. Il n'y a pas de diapause obligatoire pour cette espèce (Wilde et Semel, 1966).

DOMMAGES CAUSÉS

Les larves de 1^{re} génération causent peu de dommages, car elles s'alimentent principalement sur des feuilles, à l'exception des individus plus tardifs (en juillet) qui peuvent parfois s'attaquer aux fruits (Walgenbach, 2015; Virginia Fruit, 2019). Les larves de 2^e génération sont présentes au même moment que les fruits et s'en alimentent davantage (Walgenbach, 2015; Virginia Fruit, 2019), pouvant ainsi causer des pertes économiques plus importantes dans la période de la récolte. Bien que relativement faible en général, il arrive parfois que les dommages dans certains sites prennent des proportions importantes, comme dans l'état de la Virginie en 1970, où des dommages de 30 à 75% ont été observés (Bobb, 1972).

AIRE DE RÉPARTITION ACTUELLE

Platynota flavedana est distribuée dans plusieurs états du Centre et de l'est des États-Unis, et ce du Nord jusqu'au sud du Pays (Gilligan et Epstein, 2014e; Walgenbach, 2015). Ce papillon est aussi présent en Jamaïque (Strangways-Dixon, 1967).

CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES

Platynota flavedana requiert un minimum de 9,1 °C, un maximum de 30 °C et un cumul de 607,2 degrés-jours (température de base de 9,1 °C) pour compléter son développement (David et al., 1989). Les œufs requièrent un minimum de 10,6 °C, un maximum de 30 °C et un cumul de 101,5 degrés-jours (température de base de 10,6 °C) pour éclore à cette température. Les stades larvaires requièrent un minimum de 8,6 °C, un maximum de 30 °C et un cumul de 379,6 degrés-jours (température de base de 8,6 °C) pour compléter leur développement. Les nymphes requièrent un minimum de 9 °C, un maximum de 30 °C et un cumul de 126,0 degrés-jours (température de base de 9,0 °C) pour émerger (David et al., 1989).

9.1.10 *Frankliniella intonsa* (Trybom)

Noms français : aucun

Noms anglais : Eastern flower thrips



CARACTÉRISTIQUES

Frankliniella intonsa (Thysanoptera: Thripidae) est un ravageur hautement polyphage et attaque un large éventail d'espèces allant des cucurbitacées, légumineuses, laitue, oignons, maïs, diverses cultures floricoles (Wang et al., 2010) et certains fruits (tel que la fraise) (Plantwise, 2017e). L'adulte a le corps et les pattes bruns avec une tête, plus large que longue, et un pronotum plus pâle que l'abdomen. Le tibia et les tarse des pattes sont jaunes. Les antennes sont formées de 8 segments. Les deux sexes sont ailés, le mâle étant plus petit que la femelle. Cette espèce varie considérablement en taille et en couleur (Wang et al., 2010; University of California, 2012).

CYCLE DE VIE

Peu d'information est disponible sur le cycle de vie de cette espèce, à l'exception d'une étude menée en laboratoire et sur le terrain au Japon dans les années 1980. Au Japon, les adultes sont présents du début mai, jusqu'à la fin novembre, avec un pic de population de la mi-juin à la fin juillet. L'étude suggère aussi que *F. intonsa* hiverne à un stade diapausant reproductif (Murai, 1988).

DOMMAGES CAUSÉS

Cette espèce cause des dommages aux tissus des plants en s'y alimentant et en y pondant des œufs. Les blessures en surfaces des tissus des jeunes fruits peuvent s'élargir avec la croissance du fruit et provoquer une importante cicatrice brunâtre (Wang et al., 2010). Les dommages varient en fonction de la plante hôte : sur les fraises plus spécifiquement, la piqûre de *F. intonsa* sur la fleur cause la déformation intense du fruit en créant un amas d'akènes ne pouvant se développer (Buxton et Easterbrook, 1988). *Frankliniella intonsa* est identifié comme étant vecteur de plusieurs virus dont le tomato spotted wilt virus (TSWV) (Daughtrey et al., 1997; Ullman et al., 1997), le tomato chlorotic spot virus (TCSV), le groundnut ring spot virus (GRSV) et le impatiens necrotic spot virus (INSV) (Pest Tracker, 2017). Les dommages économiques importants sont, la plupart du temps, recensés, non seulement avec la présence de *F. intonsa*, mais en association avec un complexe de thrips ravageurs (Plantwise, 2017e).

AIRE DE RÉPARTITION ACTUELLE

Frankliniella intonsa a été signalé pour la première fois en Corée en 1971 (Woo et Paik, 1971). Il est présent maintenant en Asie, en Europe, en Amérique du Nord (Canada et États-Unis) (Wang et al., 2010) et en Nouvelle-Zélande (Teulon et Nielsen, 2005). Ce ravageur est souvent intercepté lors de vérifications à la frontière entre le Canada et l'état de Washington (NAPPO, 2004).

CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES

La température optimale pour le développement de *F. intonsa*, est de 25°C (Gai et al., 2011). La longévité des mâles et des femelles diminue à la suite d'une augmentation de température allant de 19°C à 31°C (Gai et al., 2011).

9.1.11 *Lopholeucaspis japonica* (Cockerell)

Noms français : Kermès japonais

Noms anglais : Japanese long scale, Japanese maple scale, Japanese pear white scale



CARACTÉRISTIQUES

Lopholeucaspis japonica (Hemiptera : Diaspididae) a un vaste éventail de plantes hôtes, généralement des arbres et arbustes à écorces lisses regroupant 28 familles et 50 genres de plantes différentes dont la pomme, la poire, le citron, la cerise, etc. (Addesso et al., 2016). Chez les Diaspididae, seulement les nymphes de premier stade (crawlers dans la littérature anglophone) et les mâles ailés adultes peuvent se disperser. Tous les autres stades (les deux autres stades nymphaux et les femelles adultes) sont sessiles (EFSA PLH Panel et al., 2018). Les œufs, pondus sous la couverture cireuse de la femelle, sont blancs avec une teinte violette (Hoover, 2013). Le premier stade nymphal (stade mobile) est blanc (Hoover, 2013) à violet (Addesso et Blalock, 2015). Après quelques heures (Addesso et al., 2016) ou trois jours (EFSA PLH Panel et al., 2018) (variant des régions), ils commenceront à produire la substance blanche cireuse qui leur servira de carapace pour les deux prochains stades nymphaux (Addesso et Blalock, 2015; Addesso et al., 2016; EFSA PLH Panel et al., 2018). Le corps de l'adulte (1-2 mm) a une forme irrégulière ressemblant à une huître (Gill et al., 2013; Addesso et Blalock, 2015; EFSA PLH Panel et al., 2018). Les femelles ont un corps blanc et mou sous une carapace brune plus foncée. Cette carapace est recouverte d'une substance blanche cireuse servant de protection (Addesso et al., 2016). La femelle est donc dite « pupillariale », car elle se contracte, au stade adulte, à l'intérieur des exuvies de couleur brunes du deuxième stade larvaire, y vit et y pond ses œufs à l'intérieur (Hoover, 2013). Les mâles, quant à eux, feront une mue à leur 2e stade larvaire pour devenir un individu ailé (EFSA PLH Panel et al., 2018).

CYCLE DE VIE

Tout d'abord, le cycle de vie de ce ravageur n'est pas totalement compris. *Lopholeucaspis japonica* réalise une seule génération dans les régions au climat plus froid (e.g. le Japon (EFSA PLH Panel et al., 2018) et la Pennsylvanie) (Addesso et al., 2016), mais réalise deux générations qui se chevauchent dans les zones plus chaudes (Maryland et Virginia) (Gill et al., 2013; Addesso et al., 2016). Lorsque cette espèce complète une seule génération, ce sont les femelles fertilisées qui hivernent sur l'écorce des arbres (EFSA PLH Panel et al., 2018). Elles pondent leurs œufs (25-60) à la fin avril début mai (selon la température) (EFSA PLH Panel et al., 2018). Les stades larvaires,

environ 3 jours après avoir éclos, s'installent sur l'écorce des troncs et des branches (de fin mai jusqu'en août), ainsi que sur le feuillage en cas de grosses infestations (Gill et al., 2013; EFSA PLH Panel et al., 2018). Les mâles ailés produits s'envolent d'avril à juillet (Addesso et al., 2016). Dans le cas ou deux générations par année se produisent, ce sont les nymphes de 2e stade qui hivernent sur les troncs (Gill et al., 2013, EFSA PLH Panel et al., 2018).

DOMMAGES CAUSÉS

Ce ravageur s'alimente de la sève de la plante hôte sous l'écorce, provoquant ainsi la rupture et l'effondrement des cellules de stockage (Fulcher et al., 2011). Leur alimentation peut causer la chute prématurée des feuilles, un dépérissement de la branche en question et finalement la sénescence et dans certains cas, la mort de l'arbre lorsque les populations sont suffisamment importantes (Fulcher et al., 2011; Gill et al., 2013; EFSA PLH Panel et al., 2018).

AIRE DE RÉPARTITION ACTUELLE

L'aire d'origine de *L. japonica* est l'Asie (Hoover, 2013). Ce ravageur est maintenant présent dans plusieurs états du sud-est des États-Unis d'Amérique, au Brésil et dans quelques pays d'Europe de l'est (EFSA PLH Panel et al., 2018).

CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES

Lopholeucaspis japonica requiert un cumul de 816 degrés-jours pour le début de l'activité des stades mobiles de 1re génération et un cumul de 1 143 degrés-jours pour atteindre le pic d'activité de cette même génération. Quant à la seconde génération, les stades mobiles requièrent un cumul de 2 508 degrés-jours pour le début de leur activité et un cumul de 3 022 degrés-jours pour atteindre leur pic d'activité. Tous les degrés-jours cumulés sont obtenus avec une température de base de 10 °C (Gill et al., 2013). Dans certaines régions, il a été noté que les femelles hivernantes étaient capables de survivre à des températures allant de -20 à -25°C (EFSA PLH Panel et al., 2018).

9.1.12 *Botryosphaeria dothidea* (Moug.)

Noms français : inconnu

Noms anglais : White rot, Bot rot of apple



CARACTÉRISTIQUES

Les champignons de la famille des *Botryosphaeriaceae* sont parmi les plus répandus et les plus importants pathogènes de dépérissement et de chancres d'arbres à travers le monde, et *Botryosphaeria dothidae* est l'une des espèces les plus communes que l'on retrouve sur un nombre important d'hôtes (Marsberg *et al.*, 2017). Plus de 24 genres d'hôtes (plus d'une centaine d'espèces) ont été confirmés pour cette espèce, dont plusieurs plantes ligneuses comme le pommier.

Les symptômes typiques incluent le dépérissement des branches, les chancres au niveau des rameaux, des branches et des tiges, la pourriture des fruits et dans les cas extrêmes la mort de la plante hôte (Marsberg *et al.*, 2017). Sur la pomme, les lésions sur fruits prennent la forme de petites taches circulaires, légèrement enfoncées, brunes et encerclées par un halo rougeâtre (Jones et Aldwinckle, 1990). Sur les branches et les rameaux, les infections se font au niveau des lenticelles et prennent la forme de petites lésions enfoncées et rouge ou au pourtour des plaies et prennent la forme de dépression décolorée (Jones et Aldwinckle, 1990).

Bien que les traits morphologiques de ce champignon étaient utilisés dans le passé pour son identification, il est plus simple et précis maintenant de réaliser une identification basée sur l'ADN en raison des importantes variations morphologiques entre les différents isolats (Marsberg *et al.*, 2017).

CYCLE DE VIE

Bien que cette espèce fut longtemps considérée comme un pathogène infectant les plaies des arbres, ce champignon est maintenant reconnu comme un endophyte (organisme qui vie à l'intérieur des plants durant une partie de leur cycle, sans causer de maladies apparentes) qui peut aussi infecter les tissus sains d'une plante ligueuse et demeurer dormant jusqu'à l'apparition de conditions de stress (Marsberg *et al.*, 2017). Les stress pouvant causer l'expression des symptômes sont : la sécheresse; les dommages physiques sur les plants; la saturation prolongée des racines; le gel et les conditions de croissance inadéquates (Marsberg *et al.*, 2017). C'est en demeurant à l'intérieur des tissus dans plantes infectées que *B. dothidae* survie à l'hiver (Jones et Aldwinckle, 1990).

Botryosphaeria dothidae se propage à l'aide de conidies et d'ascospores qui sont dispersés par le vent et la pluie sur de courtes distances. Bien que le processus expliquant la pénétration des tissus par *B. dothidae* est encore mal connu, on soupçonne que la pénétration directe se fait par la formation d'appressoria (cellules spécialisées permettant la pénétration de tissus végétaux), comme il fut documenté dans la pénétration des fruits de la pomme (Marsberg *et al.*, 2017).

DOMMAGES CAUSÉS

Aux États-Unis, des dégâts importants ont été observés dans le sud-ouest, où des pertes de 50 % des fruits ont été reportées (Jones et Aldwinckle, 1990).

AIRE DE RÉPARTITION ACTUELLE

Cette maladie fut décrite la première fois en Afrique du Sud en 1919 (Jones et Aldwinckle, 1990). Maintenant elle se retrouve dans 18 pays différents répartis sur 6 continents, dont les États-Unis (Marsberg *et al.*, 2017). Une première mention de cette maladie au Canada a été faite en 2018.

CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES

Pour infecter de nouveaux tissus, *B. dothidae* requiert un minimum de 8°C, un maximum de 35°C et le champignon a une température optimale de 28°C (Parker and Sutton 1993; Magarey et al. 2005/). L'infection se fait mieux dans l'eau, mais elle peut aussi se faire sans mouillure avec une humidité relative de 96 % ou plus (Jones et Aldwinckle, 1990).

9.1.13 *Rosellinia necatrix* Prill.

Nom français : Pourridié laineux du pommier

Noms anglais : Root rot, White root rot



CARACTÉRISTIQUES

Le genre *Rosellinia* est retrouvé partout à travers le monde et il est commun autant dans les régions tempérées que les régions tropicales (Petrini, 1993; ten Hoopen et Krauss, 2006). La plupart sont saprophytes (vivent dans de la matière organique morte ou en décomposition), d'autres vivent de façon endophyte (dans les tissus végétaux) et deviennent occasionnellement pathogènes. Très peu d'espèces de ce genre sont de vrais pathogènes, mais *Rosellinia necatrix* est l'un des pathogènes des racines les plus connues des régions tempérées (ten Hoopen et Krauss, 2006). On compte maintenant plus de 197 hôtes pour cette espèce parmi 30 familles de plantes vasculaires et 3 algues (Pérez-Jiménez, 2006). Parmi ces hôtes on retrouve des cultures d'importance économique comme la pomme, la vigne (Pérez-Jiménez, 2006) et aussi sur certains petits fruits comme la fraise et la framboise (Plantwise 2017a).

Les symptômes de cette maladie se manifestent à deux niveaux; ceux du système racinaire dans le sol et ceux de la partie aérienne de la plante comme conséquence de la destruction du système racinaire. Au niveau des racines, le premier symptôme observé est la présence d'un mycélium blanc et cotonneux (initialement), mais qui devient brun-noir avec le temps (Pérez-Jiménez, 2006). Le champignon pénètre alors les racines, développant un réseau mycéliel blanc typique entre le bois et l'écorce (pour les plantes ligneuses) et cause une décomposition générale des racines qui deviennent alors brunes foncées (Pérez-Jiménez, 2006). L'évolution des symptômes aériens peut se faire rapidement ou lentement, marquée par un affaiblissement du plant. Dans le premier cas, dans un court laps de temps, le plant va soudainement perdre de la vigueur. Les feuilles vont flétrir et sécher, et même si elles restent attachées à l'arbre pendant des mois, celui-ci va mourir. Cela arrive généralement après une forte arrivée d'eau au niveau des racines ou un stress physiologique. Dans le deuxième cas, les symptômes apparaissent plus lentement et le plant montre un retard de croissance. On peut observer aussi peu de feuillage avec des feuilles flétries et chlorosées, en plus de la mort de ramilles et de branches. Ces symptômes vont s'empirer d'années en année, et ce jusqu'à ce que l'arbre meure (Pérez-Jiménez, 2006). Puisque les infections se font par contact, et que le début de celles-ci peut se faire à différents endroits dans la couronne racinaire, et à différentes profondeurs, il est difficile de diagnostiquer précocement cette maladie. De plus, les symptômes aériens peuvent se manifester de façon fulgurante ou non (Pérez-Jiménez, 2006). Il est donc plus facile de l'identifier grâce à ces caractéristiques morphologiques. Une des caractéristiques morphologiques importantes de l'hyphes de cette espèce est la présence de renflement en forme de poire immédiatement au-dessus du septum. Ce critère est généralement utilisé pour son identification (Pérez-Jiménez, 2006).

CYCLE DE VIE

Rosellinia necatrix à un cycle de vie asexué et sexué. Le cycle sexué implique deux types de spores : chlamydospores and conidiospores. On voit davantage les conidies en milieu naturel. Les structures sexuelles (contenant les ascospores) de *R. necatrix* sont formées à l'intérieur du perithecium et sont expulsées en une masse mucilagineuse une fois atteint leur maturité. Ces structures sphériques, douces, gélatineuses et de couleur miel au début, deviennent plus sèches et brun-foncé avec le temps. Elles ont été observées sur des racines de pommiers et d'autres espèces arbres. Le rôle de ces trois types de spores dans l'épidémiologie de ce champignon est encore mal compris, et semble varier d'un pays à l'autre. De façon générale, ce champignon se disperse dans le sol à l'aide de son mycélium ou part les racines infectées directement. Au contact de racines saines, le réseau de mycélium prolifère et couvre la surface des racines pour ensuite former des agrégats mycéliales. Ensuite le champignon va pénétrer les racines à travers des ouvertures naturelles (lenticelles), des plaies ou directement en formant une structure de pénétration (sclerotium). Ainsi se complète le cycle d'infection d'un nouveau plant (Pliego *et al.*, 2012).

DOMMAGES CAUSÉS

Ce pathogène est considéré comme un facteur limitant dans la production de pomme dans plusieurs pays dont la France, le Portugal et le Brésil (Pérez-Jiménez, 2006). En Amérique du Nord, les dégâts semblent moins étendus, ne causant que des pertes importantes dans la culture de la pomme en Californie, même si d'autres plantes, particulièrement des arbres à fruits, ont aussi été infectés par ce pathogène (Thomas *et al.*, 1953).

AIRE DE RÉPARTITION ACTUELLE

Nous en savons très peu sur l'origine de ce pathogène, mais on le retrouve maintenant à travers le monde (Pérez-Jiménez 2006; Plantwise 2017a). Aux États-Unis, ce champignon est présent dans quelques régions, dont l'état de la Californie et de New York (Plantwise 2017a). Toutefois, il n'y a eu aucune mention au Canada à ce jour.

CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES

Basé sur des études *in vitro*, *R. necatrix* requiert un minimum de 4 °C, un maximum de 32 °C et une température optimale de 22 – 24°C pour se développer (Pliego *et al.*, 2012). Au niveau des racines, le facteur influençant le plus la croissance du champignon est l'humidité du sol. La condition optimale est lorsque le sol a atteint sa capacité de rétention en eau (Anselmi et Giorcelli, 1990).

9.1.14 *Fusarium oxysporum* f. sp. *Fragariae* Winks and Williams

Nom français : Fusariose vasculaire du fraisier

Noms anglais : Fusarium wilt of strawberry, yellows disease of strawberry



CARACTÉRISTIQUES

Fusarium oxysporum f. sp. *Fragariae* est un champignon causant une importante maladie de la fraise à travers le monde (Koike et Gordon, 2015). Ce champignon pathogène n'a pas d'autres hôtes connus (Kodama, 1974; Koike et Gordon, 2015).

Ce pathogène du sol infecte les racines des plants, se développe dans le xylème et résulte en une infection systémique (Henry *et al.*, 2017). Les défenses de la plante, à la suite d'une infection, empêche la circulation de l'eau vers les pousses ce qui contribue à l'apparition de symptômes qui inclue le retardement de la croissance, le flétrissement et le dépérissement du plant. Sur les fraisiers, les symptômes apparaissent généralement lorsque les plants sont en fleur et produisent des fruits. À ce moment, les vieilles feuilles flétrissent, deviennent gris-vert et commencent à s'assécher. Au fur et à mesure que la maladie progresse dans la plante, toutes les feuilles s'effondrent et s'assèchent, à l'exception des jeunes feuilles au centre du plant. Les tissus corticaux et vasculaires des plants sont alors brun foncé à orange et le tissu interne des racines principales est décoloré ou brun foncé (Koike et Gordon, 2015).

Les symptômes de cette maladie ressemblent aux symptômes de plusieurs autres maladies ou troubles physiologiques. De plus, il est impossible de diagnostiquer et de confirmer la présence de la maladie en champs. Il est donc conseillé d'identifier le pathogène avec l'aide d'un laboratoire de diagnostic qui peut mettre la maladie en culture et l'isoler (Koike et Gordon, 2015). Des méthodes d'identification moléculaire sont aussi disponibles pour cette maladie (Koike et Gordon, 2015).

CYCLE DE VIE

La source initiale des inocula de *F. oxysporum* dans les champs de fraises (dispersion « naturelle » du champignon) est toujours inconnue à ce jour. Toutefois, lorsque ce pathogène est présent dans le sol, il forme des structures de survie microscopique que l'on nomme chlamydospores qui permettent au champignon de persister dans le sol (potentiellement hiverner) pour de longues périodes. Lorsque les conditions sont favorables, les chlamydospores germent et infectent les racines des fraisiers. Ensuite, le champignon se développe et colonise la couronne et les pétioles du plant infecté. À ce moment, même si le plant est infecté par *F. oxysporum*, il ne présentera aucun symptôme et paraîtra en pleine santé. Les symptômes se remarquent seulement une fois que le plant est exposé à des conditions de stress notamment lors de la fructification. Les stress environnementaux sont : conditions climatiques extrêmes, particulièrement les températures élevées; stress hydrique à la suite d'une irrigation insuffisante ou d'une saturation prolongée de la zone racinaire; mauvaises conditions du sol; pression de ravageurs, tels que les acariens. Puisque l'ensemble des tissus des plants sont colonisés par *F. oxysporum* l'incorporation de ces tissus infectés dans le sol à la fin de la saison contribue l'augmentation de l'inoculum dans le champ (Koike *et al.*, 2013).

DOMMAGES CAUSÉS

Dans les champs fortement infestés, la croissance des plants peut être sévèrement affectée en début de saison au point de ne pas produire de fruits (Koike et Gordon, 2015). Les conditions climatiques très chaudes, où les plants peuvent à la fois souffrir d'un manque ou d'un excès d'irrigation, peuvent causer un développement plus rapide et plus grave de la maladie. Dans ces conditions, les plants peuvent éventuellement s'effondrer et même mourir (Koike *et al.*, 2013).

AIRE DE RÉPARTITION ACTUELLE

Cette maladie a été décrite la première fois en Australie en 1962 (Winks, 1965; Henry *et al.*, 2017) et a été mentionnée peu de temps après au Japon (Okamoto *et al.*, 1970; Henry *et al.*, 2017). *Fusarium oxysporum* a été identifié dans plusieurs pays en Amérique et en Europe depuis, entre autres la Californie en 2006 dans des champs de fraises où la fumigation avec du bromure de méthyle et du chloropicrine n'était plus utilisé (Koike et Gordon, 2015).

CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES

Nous n'avons trouvé aucune information à ce sujet pour cette espèce.

9.1.15 *Leptosphaeria coniothyrium* (Fuckel) Sacc.

Autres noms Latin : *Kalmusia coniothyrium*, *Paraconiothyrium fuckelii*

Noms français : Brûlure / Dessèchement des tiges du framboisier, Dessèchement des cannes du framboisier

Noms anglais : Cane blight



CARACTÉRISTIQUES

Leptosphaeria coniothyrium est un champignon causant une maladie très dommageable dans la framboise. Bien que plus fréquente sur la framboise noire (Ellis, 2016), on la retrouve sur la plupart des *Rubus sp.*, mais aussi occasionnellement sur les roses et les fraises (The Royal Horticultural Society, 2017).

Ce champignon infecte les plaies des canes de framboisiers et cause : le flétrissement et la mort des pousses latérales (au-dessus de la zone infectée); un affaiblissement général de la canne et une réduction du rendement (Ellis, 2016).

Sur les canes de premières années (primocanes), des chancres brun foncé à violacé se forment près des plaies causées par la taille, les insectes ou par le frottement (Ellis, 2016; University of Minnesota Extension, 2017). Les chancres s'élargissent et peuvent descendre le long de la canne ou même encercler celle-ci, provoquant ainsi le flétrissement des pousses latérales au-dessus de la zone infectée et éventuellement la mort de ces pousses. De petites taches noires, les structures de reproductions, se développent alors sur l'écorce chancrée de la canne. Durant les périodes de mouillures, de microscopiques gouttelettes vont suinter de ces taches et donner une apparence gris foncé à l'écorce. Durant l'hiver, les cannes infectées peuvent généralement se fissurer et même casser facilement (Ellis, 2016). Il arrive parfois que les symptômes ne soient visibles lors de la saison où l'infection a eu lieu. Toutefois, il est possible d'observer une décoloration vasculaire si l'on retire l'écorce autour des plaies (Madeiras, 2017). Sur les cannes infectées de 2^e années (floricanes), les branches latérales peuvent soudainement flétrir et mourir, généralement entre la floraison et la maturation des fruits (Ellis, 2016).

CYCLE DE VIE

Ce champignon hiverne dans les canes infectées ou dans les tiges taillées et laissées au champ (Madeiras, 2017). Au printemps, les ascospores et les conidies sont libérés des structures de reproductions matures lorsqu'il y a présence de mouillure et ils sont dispersés par les éclaboussures de pluie ou d'irrigation Ces

spores vont germer dans des plaies sur des cannes de framboisiers et causer une nouvelle infection (Madeiras, 2017).

DOMMAGES CAUSÉS

Dans l'état du Minnesota, deux maladies (dont celle-ci causée par *L. coniothyrium*) ont causé la mort d'environ 90% des cannes d'un champ mal taillé (University of Minnesota Extension, 2017). En Écosse, jusqu'à 30% de perte de rendement a été noté dans des champs expérimentaux où la récolte se faisait à la machine (Plantwise 2017b). Toujours en Écosse, 37% de mortalité des cannes a été noté lors d'une saison où il y avait eu beaucoup d'abrasion sur les cannes dans un champ où la cueillette se fait à la main et dont il n'y avait pas eu de traitement contre cette maladie. Malgré tout, l'impact économique de cette maladie demeure difficile à estimer (Plantwise 2017b).

AIRE DE RÉPARTITION ACTUELLE

Leptosphaeria coniothyrium est retrouvé sur tous les continents (Plantwise 2017b). Aux États-Unis, ce champignon est présent dans plusieurs régions, dont en Nouvelle-Angleterre (Madeiras, 2017). Au Canada, on trouve des mentions de ce champignon dans l'ouest en Colombie-Britannique (Plantwise 2017b).

CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES

Nous n'avons trouvé aucune information à ce sujet pour cette espèce.

9.2 SONDAGE ENVOYÉ AUX SPÉCIALISTES ET LISTE DE CONTACTS

9.2.1 Secteur de la canneberge

19/02/2019

Blackheaded fireworm

Blackheaded fireworm

Name

First name

Last name

Is blackheaded fireworm an important pest in your area?

How many generations do you have usually ?

How often do you observe a third generation? (Every year, one year in two, ...)

In which conditions do you observe a third generation?

- warm summer
 young production

Other

Which monitoring method do you use on generation 1?

Which monitoring method do you use on generation2?

Are you using degree-day model in your management?

- yes
- no

Can you describe it (starting date, predict stage and degree-days)?

What is the most efficient strategy used to manage the first generation of blackheaded fireworm in your region?

Which generation is causing more damage?

- generation 1
- generation 2
- generation 3

Is it more difficult to manage the second generation?

- yes
- no

What is the most efficient strategy used to manage the second generation of blackheaded fireworm in your region?

Are you using biological or physical control?

- Mating disruption
- Spring flooding
- Parasitoids
-

What is your opinion about efficacy of biological or physical control?

Do you observe pesticide resistance?

- yes
- no

Bitter Rot (*Collectotrichum acutatum*)

Is bitter rot a problem in your area?

- low
- moderate
- high

Are you using a model to predict bitter rot infection? Which one?

What methods are used by growers to control bitter rot?

19/02/2019

Blackheaded fireworm

Liste de contacts

Contacts	Pays/États	Réponse
Charles Armstrong, Cranberry Professional, University of maine	Maine	oui
Daniel L. Mahr	Wisconsin	
Patricia Mcmanus, University of Wisconsin-Madison	Wisconsin	
Patty Mcmanus, UWEX Fruit crops Specialist and Plant pathologist	Wisconsin	
Jed Colquhoun, UWEX Fruit crops weed scientist	Wisconsin	
Christelle Guédot, Fruit crops entomologist	Wisconsin	oui
Amaya Atucha, Extension fruit crop Specialist	Wisconsin	
Shawn A. Steffan	Wisconsin	
Juan E. Zalapa, Research geneticist	Wisconsin	
Peter V. Oudemans, Rutgers University	New Jersey	
George C. Hamilton, Ph.D. Specialist in pest management	New Jersey	
Bradley A. 'ajek, Ph.D. Specialist in Weed Science	New Jersey	
Sridhar Polavarapu Ph.D. Specialist in Entomology	New Jersey	
Nicholi Vorsa Ph.D. Research professor in cranberries	New Jersey	
Jere D. Downing, Executive Director Cranberry Institute	Massachussets	
Erika Saalau Rojas, Umass-Amherst	Massachussets	
Martha M. Sylvia, Umass Cranberry Station	Massachussets	oui
Anne L. Averill, University of Massachusetts	Massachussets	
Cesar Rodriguez-Saona, Extension specialist in entomology	New Jersey	

La demande pour remplir le sondage a été envoyée 3 fois (05-09-2018, 13-09-2018, 01-10-2018)

Nous avons eu 4 réponses dont 1 répondant inconnu.

9.2.2 Secteur de la fraise et de la framboise

19/02/2019

Pests and disease of fruits

Pests and disease of fruits

Nom

First Name

Last Name

Japanese beetle (*Popillia japonica*)

Is the japanese beetle an agricultural nuisance in your area for these crops?

- Raspberry
- Strawberry
- Apple
- Other

When first adults are observed in general?

Are you using degree-day models to predict adult emergence? Which one?

Are you using traps for monitoring?

- Yes
- No

Where do you place your traps and how many are you using?

Which stage are you controlling?

- Grubs
- Adults

What is the most efficient strategy growers used to manage japanese beetle?

Your opinion about mass trapping?

Your opinion about biocontrol (entomophagous nematode, bacterial)? Where do you applied your treatment? Do you scout for grubs?

Your opinion about cover crops?

Your opinion about using geranium as plant trap?

Cyclamen mite (*Phytonemus pallidus*)

How do you rate problems caused by cyclamen mites in your area?

- Low
- Medium
- High

How do you monitor for cyclamen mite?

What is the most efficient strategy used to manage cyclamen mite?

What is your opinion about control by predatory mites and their costs?

Anthracnose (*Colletotrichum acutatum*)

In your area, is anthracnose a problem in

- Day neutral strawberry plant
- Early strawberry plant

How do you monitor for anthracnose

- degree-day model
- scouting
- don't monitor

Which degree-day model are you using?

What is the most efficient strategy against anthracnose? (fongicides, number of applications, irrigation, scouting...)

Soumettre

Liste de contacts

Contacts	États/Pays	Réponse
Els Mechant, Ornamental plant research	Belgique	
Ana Legrand, Assistant Extension Professor, University of Connecticut	Connecticut	
Mary Concklin, Extension Professionals	Connecticut	
Leanne Pundt, Extension Educator	Connecticut	
Guillaume Lorin, Hortis Aquitaine	France	
Jacques Pommier	France	oui
Emilie Lascaux, Koppert France	France	
Douglas B. Jones, University of Illinois Extension Specialist, Integrated Pest Management	Illinois	
Rhonda J. Ferree, Extension Educator, Horticulture	Illinois	
Elizabeth Wahle, Extension educator	Illinois	
Douglas Scott Richmond, Entomology associate professor, Purdue University	Indiana	
Clifford S Sadof, Entomology Professor, Purdue University	Indiana	
Erin Hodgson, Associate Professor Extension Entomologist Specialist	Iowa	
Malavolta Carlo	Italie	
L. Raudonis	Lituanie	
James F. Dill, Pest management specialist	Maine	oui
David T. Handley	Maine	
Mary Kay Malinoski, Extension specialist	Maryland	
Pat Vittum, Professor and Associate director	Massachusetts	
Zsofia Szendrei, Associate Professor, Michigan state University	Michigan	
Rufus Isaacs	Michigan	oui
Vera Krischik, Associate Professor	Minnesota	
Jaime Pinero, Lincoln University	Missouri	
Rachel Maccini	New Hampshire	
Gregory Loeb, Professor	New York	
Janet J. Knodel, professor and extension entomologist	North Dakota	
patrick B. Beauzay, State IPM coordinator and research specialist	North Dakota	
David Sheltar, Professor Ohio	Ohio	
Mrs. Jennifer E Andon, MS	Ohio	
Luis Canas, Associate professor	Ohio	
Grzegorz Krawczyk	Pennsylvanie	
Barbara H. Labanowska	Poland	
Adam J. Varenhorst, Assistant professor & SDSU Extension field crop entomologist	South Dakota	
Markus Bünter, agroscope	Suisse	
BAROFFIO Catherine Aryelle, Agroscope	Suisse	
hristian Linder, Agroscope	Suisse	
Sven Hellqvist	Suisse	
Chris Williamson	Wisconsin	
phillip Pellitteri, Faculty associate, entomology	Wisconsin	
Annemiek Schilder, Associate professor	Michigan	
William Turechek	New York	
Kathy Demchak	Pennsylvanie	oui

BRONIAREK-NIEMIEC Agata	Pologne	
Natasa Dubuk,	Serbie	
Frank Louws, director and professor forNSF- integrated pest management	North Carolina	oui
Angela Madeiras	Massachusets	

La demande pour remplir le sondage a été envoyée 3 fois (11-10-2018, 29-10-2018,)
Nous avons eu 8 réponses dont 3 inconnus.

9.2.3 Secteur de la pomme

Insects in fruit production

Nom

First name

Last name

Codling moth (CM)

Is the codling moth a problem in your area (states or countries)?

- low
 moderate
 high

What is the most efficient strategy used to manage the first generation of codling moth in your region? Select more than one if needed.

- Degree-days model
 Mating disruption
 Granulosis virus
 Insecticides
 Netting
 SIT
 Attract and kill
 Other

Which generation is causing more damage?

- generation 1
 generation 2
 Other

Is it more difficult to manage the second generation?

- yes
 no

What is the most efficient strategy used to manage the second generation of codling moth in your region? Select more than one if needed.

- Degree-days model
- Mating disruption
- Granulosis virus
- Insecticides
- Netting
- SIT
- Attract and kill
- Other

Your opinion about mating disruption for CM

Your opinion about granulosis virus for CM

Your opinion about netting

Your opinion about sterile insect technique for CM

Your opinion about attract and kill for CM

If you had a control strategy to recommend to a grower with large populations, what would it be?

Do you observe pesticide resistance in Codling Moth populations in your area?

- Yes
- No

Brown marmorated stink bug (BMSB)

Is BMSB present in your area? yes no

In which fruit crops BMSB is causing damage in your area? (ex: strawberry, apples...)

How many generations do you have in your area?

In fruit crops, when the second generation adults appear? (please indicate wich fruit crops)

What method is used by growers to control BMSB?

Are you using alternative method? (ex: mass trapping, netting) yes no

Which one?

Does the management of BMSB interfere with IPM?

Contact	Pays/États	Réponse
Alan L. Knight	Washington	
Dr. Gale E. Ridge / Department of Entomology/ The Connecticut Agricultural Experiment Station	Connecticut	
Dr. Renae Moran, tree fruit specialist	Maine	oui
GRZEGORZ (GREG) KRAWCZYK, PH.D. / Extension tree fruit entomologist	Pennsylvanie	oui
Bruce A. Barrett / Entomology, MU Extension	Missouri	
Jeffrey Hahn, Extension entomologist, University of Minnesota	Minnesota	
Kathleen Delate, Department of horticulture, Iowa State University	IOWA	
John Wise, MSU Extension / Center for Integrated Plant Systems	Michigan	
Larry Gut, Professor, Center for Integrated plant systems	Michigan	
Matthew Grieshop, Associate professor, Center for integrated plant systems	Michigan	
Peter J Jentsch, Extension Associate/ Department of Entomology / Cornell University's Hudson Valley Lab	New York	
Arthur Agnello,	New York	oui
Benjamin Jaffe, Post-doc. University of Wisconsin-Madison	Wisconsin	
Benjamin Jaffe, Post-doc. University of Wisconsin-Madison	Wisconsin	
Alan T. Eaton, Extension Specialist in entomology	New Hampshire	
Cesar Rodriguez-Saona, Extension Specialist in Entomology	New Jersey	
Jon Clements, Extension specialist in commercial tree fruit production	Massachusetts	
Celeste Welty, Associate professor	Ohio	oui
Endrit Kullaj, Associate professor in Agricultural University of Tirara	Albanie	
Dejana Tesanovic, Doctorante	Bosnie-Herzégovine	
Dejana Tesanovic, Doctorante	Bosnie-Herzégovine	
CLAUDIO IORIATTI	Italie	
Gino Angeli, Plant Protection Department, IASMA Research Center, Istituto Agrario S. Michele a/A, S. Michele a/A, Italy	Italie	oui
Mihaela Sumedrea	Roumanie	
Snejana Damianov	Roumanie	
Nora Gheban	Roumanie	
Novica Miletic, Nemad Tamas	Serbie	
Nemad Tamas	Serbie	
Stanislav Trdan	Slovénie	
Marco Tasin, Researcher at the Institutionen för växtskyddsbiologi	Suède	oui
Jörg Samietz, station de recherche Agroscope	Suisse	

Heinrich Höhn, station de recherche Agroscope	Suisse	
Mesut ISCI	Turquie	
I. G. Rubezhniak, Associate professor of National University of life and Environmental Sciences of Ukraine	Ukraine	

La demande pour remplir le sondage a été envoyée 3 fois (08-08-2018, 20-08-2018, 17-09-2018)

Nous avons eu 6 réponses pour le carpocapse/feu bactérien et 9 réponses pour la punaise marbrée