

Projet d'étude sur l'adaptation aux changements climatiques du secteur de la pomme au Québec

Version 16 novembre 2009

Présenté par :

Nancy Lease
Alexandra Pichette
Diane Chaumont

Direction de l'agroenvironnement et du développement durable



Ministère
de l'Agriculture,
des Pêcheries
et de l'Alimentation
Québec 

Remerciements :

Nous désirons remercier le comité qui a aidé à la réalisation de cette étude.

René Audet, AAC
Sylvie Bellerose, IRDA
Sophia Boivin, MAPAQ
Gaétan Bourgeois, AAC
Alfredo Cadario, MAPAQ
Gérard Chouinard, IRDA
Patrice Mullier, La Financière agricole du Québec
Mélania Noël, Fédération des producteurs de pommes du Québec
Suzanne Pion, La Financière agricole du Québec
Michèle Roy, MAPAQ

Nous remercions également M^{me} Barbara Casati, du Consortium Ouranos, pour ses conseils concernant les analyses statistiques ainsi que M. Travis Logan, également du Consortium Ouranos, pour ses réflexions concernant les indicateurs.

Notons également la contribution de M. Paul-Émile Yelle (MAPAQ) sur les indicateurs appliqués aux pommiers.

Tables des matières

1	Introduction	1
1.1	Description du secteur de la pomme au québec	1
2	Méthodologie	3
2.1	Choix des indicateurs	3
2.2	Stations météorologiques	5
2.3	Analyse de tendance, période 1961 à 2003	6
2.4	Scénarios climatiques.....	6
2.5	Application des scénarios climatiques.....	9
3	Analyses de la période historique	9
3.1	Robustesse des indicateurs	11
3.2	Analyse de tendance – 1960 à 2003	12
3.3	Dommages historiques selon la Financière agricole du Québec	13
3.3.1	<i>Gel hivernal</i>	14
3.3.2	<i>Gel tardif printanier (gelée)</i>	14
3.3.3	<i>Dommages climatiques des années 1981 et 1982</i>	15
3.3.4	<i>Sécheresse</i>	15
4	Indicateurs climatiques du futur	16
4.1	Analyse de la robustesse des changements projetés	16
4.2	Applications des changements par station météorologique	18
4.2.1	<i>Indicateurs de température</i>	19
4.2.2	<i>Indicateurs de précipitations</i>	20
4.2.3	<i>Différences entre les modèles</i>	21
4.2.4	<i>Comparaison avec d'autres études régionales</i>	21
5	Conclusion	23
5.1	Adaptation aux changements climatiques	23
5.2	Méthodologie	24
5.3	Recommandations.....	25
6	Références	26
7	Annexes	28
7.1	Validation des indicateurs sur les séries simulées (1961 à 1990).....	28
7.2	Représentations historiques	34
7.3	Données de la FADQ	43
7.4	Représentations graphiques des résultats de modélisation du futur	46

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 :	Superficies cultivées (ha) pour chacun des types de pommiers pour les régions administratives pomicoles du Québec (2008)	2
Tableau 2:	Simulations climatiques retenues pour la construction des scénarios climatiques	7
Tableau 3 :	Médiane des données historiques (1961 à 1990) et intervalle de confiance (à 90 %)	11
Tableau 4 :	Analyse de tendance, TAM, GA, GP – 1960 à 2003	12
Tableau 5 :	Indicateurs TAM, GA, GP, médianes historiques et simulés	18
Tableau 6 :	Occurrences totales (sur 29 ans) des températures seuils pour les périodes de référence et futur.....	19
Tableau 7 :	Proportion d'années où on voit apparaître au moins une occurrence de $T_{\min} \leq -35^{\circ}\text{C}$ et $\leq -30^{\circ}\text{C}$ (%).....	20
Tableau 8 :	Variation moyenne régionale des deltas et des ratios entre les simulations climatiques	21

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Localisation de la production des pommiers, superficies déclarées (ha), mai 2008.	2
Figure 2 :	Localisation des stations météorologiques de référence	6
Figure 3 :	Comparaison entre les changements projetés par les simulations régionales retenues et les changements projetés par un ensemble de modèles globaux de climat (MCG).	8
Figure 4 :	Distribution du bootstrap pour le gel automnal à Oka, fonction de la densité des données.....	12
Figure 5 :	Intervalle de confiance du changement de la médiane du dernier gel printanier (DG) et de l'écart-type à Hemmingford (2041-2070 p/r 1961-1990).....	17
Figure 6 :	Intervalle de confiance du changement de la médiane et de l'écart-type des précipitations automnales à Hemmingford (2041-2070 p/r 1961-1990).....	17
Figure 7 :	Représentation des changements dans les précipitations pendant les mois de juin à août entre la période 1980 à 1999 et 2080 à 2099, moyenne de 21 modèles climatiques, IPCC, 2007.	20

LISTE DES TABLEAUX EN ANNEXE

Tableau A 1 :	Températures minimales annuelles ($^{\circ}\text{C}$).....	34
Tableau A 2 :	Occurrences de températures inférieures ou égales à -35°C	35
Tableau A 3 :	Occurrences de températures inférieures ou égales à -30°C	36
Tableau A 4 :	Occurrences de températures inférieures ou égales à -25°C	37
Tableau A 5 :	Date du premier gel automnal (Jours Juliens).....	38
Tableau A 6 :	Date du dernier gel printanier (Jours Juliens).....	39
Tableau A 7 :	Degrés jours cumulés à partir du 1 ^{er} mars jusqu'à GP.....	40
Tableau A 8 :	Degrés jours cumulés à partir du 1 ^{er} janvier jusqu'à GP.....	41
Tableau A 9 :	Précipitations saisonnières.....	42
Tableau A10 :	Superficies cultivées (ha) en poiriers pour les régions administratives du Québec (mai, 2008).....	50
Tableau A11 :	Superficies cultivées (ha) en pruniers pour les régions administratives du Québec (mai, 2008).....	51
Tableau A12 :	Superficies cultivées (ha) en vigne pour les régions administratives du Québec (mai, 2008).....	52

LISTE DES FIGURES EN ANNEXE

Figure A 1 : QQ-plot du minimum annuel de la température minimale (TAM) observée et simulée.....	28
Figure A 2 : QQ-plot du Dernier Gel printanier (GP) observé et simulé.....	28
Figure A 3 : QQ-plot du Premier Gel automnal (GA) observé et simulé.....	29
Figure A 4 : QQ-plot du cumul de Degrés-Jours de croissance avec le dernier gel printanier (DJ-GP) observé et simulé.....	29
Figure A 5 : QQ-plot des précipitations automnales observées et simulées.....	30
Figure A 6 : QQ-plot des précipitations printanières observées et simulées.....	30
Figure A 7 : QQ-plot de la fréquence de dépassement de l'équivalent percentile de -35 C.....	31
Figure A 8 : QQ-plot de la fréquence de dépassement de l'équivalent percentile de 30 C.....	32
Figure A 9 : QQ-plot de la fréquence de dépassement de l'équivalent percentile de -25 C.....	33
Figure A 10 : Pommiers affectés par le gel hivernal 1982 à 1999, 2000 à 2006, Financière agricole du Québec.....	43
Figure A 11 : Pommiers affectés par la gelée 1982 à 1999, 2000 à 2006, Financière agricole du Québec.....	44
Figure A 12 : Pommiers affectés par la sécheresse, 1982 à 1999, 2000 à 2006, Financière agricole du Québec.....	45
Figure A 13 : Premier gel automnal (JJ) (H = observations historiques, 1960 à 1989; adj, adl, aej, abx, aeh modèles climatiques).....	46
Figure A 14 : Dernier gel printanier (JJ) (H = observations historiques, 1960 à 1989; adj, adl, aej, abx, aeh modèles climatiques).....	47
Figure A 15 : Longueur de la saison de croissance (JJ) (H = observations historiques, 1960 à 1989; adj, adl, aej, abx, aeh modèles climatiques).....	48
Figure A 16 : Température minimale annuelle. (°C) (H = observations historiques, 1960 à 1989; adj, adl, aej, abx, aeh modèle cimatiques).....	49
Figure A 17 : Sites de production de poiriers, mai 2008.....	50
Figure A 18 : Superficies déclarées (ha) en pruniers, mai 2008.	51
Figure A 19 : Superficies déclarées (ha) en vigne, mai 2008.....	52

Projet d'étude sur l'adaptation aux changements climatiques du secteur de la pomme au Québec

1 Introduction

Ce document représente le deuxième volet d'une étude sur les changements climatiques et le secteur de la pomme. Le premier volet portait sur l'évolution historique de différents indicateurs biologiques du climat, notamment la phénologie de la pomme et des insectes ravageurs des pommes. Dans cette deuxième partie, nous visons surtout à dresser un portrait de l'évolution de certains indicateurs climatiques pertinents à la pomiculture pour l'horizon 2041-2070, et ce, selon cinq scénarios climatiques. L'objectif est de fournir de l'information aux acteurs du secteur pomicole québécois afin qu'ils soient en mesure d'évaluer leur vulnérabilité face à l'évolution climatique appréhendée et de profiter des opportunités.

Nous avons choisi le secteur de la pomiculture pour une étude sectorielle utilisant les plus récents outils de modélisation et d'analyse climatique pour trois raisons principales :

- le besoin de planification à long terme est plus important dans le cas d'une culture pérenne;
- les pommiers représentent la plus importante culture pérenne horticole au Québec;
- il existe une importante quantité de données climatiques et autres informations relatives à la production pomicole au Québec.

Cette étude se veut une étude pilote par laquelle nous souhaitons non seulement analyser les effets de l'évolution climatique dans le secteur de la pomme, mais aussi évaluer la méthodologie pour situer les plus récents outils de modélisation et d'analyse climatique dans leur rendement d'information pertinent, ce qui a une incidence sur les stratégies de développement des productions agricoles.

1.1 Description du secteur des pommes au Québec

En 2007, le Québec était le deuxième producteur de pommes en importance au Canada, ayant mis en marché 141 000 tonnes de pommes¹, après l'Ontario (183 705 tonnes) et avant la Colombie-Britannique (77 111 tonnes)². La production pomicole québécoise se caractérisait par quelque 730 entreprises qui exploitaient des vergers sur une superficie totale de 6 414 ha avec une valeur des ventes de 46 800 000 \$, ce qui représentait 5,6 % de l'ensemble de l'horticulture québécoise^{1, 3}. Au cours des dernières années (2003 à 2007), on a remarqué une diminution du nombre d'exploitations de 2 %³ et des superficies en production de près de 10 %¹. La production est variable selon les conditions climatiques annuelles, mais pendant cette même période, la production a augmenté de façon appréciable. En effet, la récolte de l'année a établi un record, étant bien supérieure à la moyenne de 94 346 tonnes pour la période 2002 à 2006.

¹ Institut de la statistique Québec, 2009.

² Statistique Canada, *Production de fruits et légumes*, juin 2008 (22-003-X).

³ Institut de la statistique du Québec et ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, *Profil sectoriel de l'industrie horticole au Québec*, édition 2007.

Les trois principales régions productrices de pommes au Québec sont la Montérégie (Est et Ouest), les Laurentides et la Capitale-Nationale, qui cultivent respectivement 66 %, 24 % et 3 % des superficies pomicoles québécoises (tableau 1). Toutefois, on retrouve des superficies de pommes dans la plupart des régions du Québec, même en Gaspésie, au Saguenay – Lac-Saint-Jean et en Abitibi-Témiscamingue (figure 1).

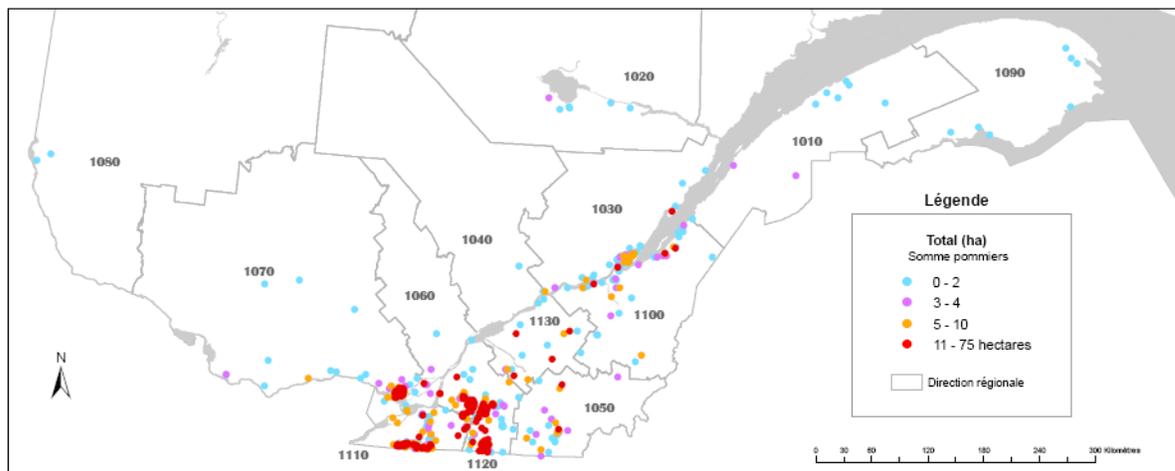


Figure 1 : Localisation de la production des pommiers, superficies déclarées (ha), mai 2008.
Source : Direction de l’agroenvironnement et du développement durable, MAPAQ

Tableau 1 : Superficies cultivées (ha) pour chacun des types de pommiers pour les régions administratives pomicoles du Québec (mai 2008)

Région	Nain	Semi-nain	Standard	Total
Bas-Saint-Laurent	1	9,2	2,3	12,5
Saguenay-Lac-Saint-Jean	0,4	1,5	4,8	6,7
Capitale-Nationale-Côte-Nord	16,5	119,1	85,6	221,2
Mauricie	0,6	7,5	5,00	13,0
Estrie	38,3	47,2	16,7	102,2
Montréal-Laval-Lanaudière	1	30,0	12,9	43,9
Outaouais-Laurentides	191,4	711,8	607,3	1510,5
Abitibi-Témiscamingue-Nord-du-Québec	0	0,8	1,1	1,9
Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	2	2,7	1,0	5,7
Chaudière-Appalaches	18,5	64,6	62,9	145,9
Montérégie-Ouest	333,3	612,3	432,4	1378,0
Montérégie-Est	795,2	1181,0	874,9	2851,1
Centre-du-Québec	25,9	63,9	36,7	126,4
Total provincial (ha)	1424,1	2851,4	2143,5	6419,0

Source : Direction de l’agroenvironnement et du développement durable, MAPAQ

Le type de pommiers cultivés dans ces régions est une des caractéristiques qui distingue ces régions pomicoles. Sur ces trois territoires sont cultivés principalement des arbres semi-nains. Toutefois, c’est en Montérégie qu’on retrouve le plus haut pourcentage de pommiers nains cultivés (26 %) et le plus faible pourcentage de pommiers standards (31 %).

Le climat différencie également les trois grandes régions pomicoles du Québec. La Montérégie se situe principalement dans la zone climatique agricole 1, qui se caractérise par une accumulation de degrés jours qui varient de 1 900 à 2 100. Dans la région des Laurentides, la production de pommes est concentrée dans les secteurs de Deux-Montagnes, Mirabel, Oka et St-Joseph-du-Lac en zone 2, où une accumulation de 1 800 à 1 900 degrés jours est observée. Quant à la région de la Capitale-Nationale, la production de pommes se situe en majorité sur l'Île-d'Orléans et la Côte-de-Beaupré. Ces secteurs se retrouvent dans la zone 3, qui accumule de 1 650 à 1 800 degrés jours (Doucet, 2006).

Ces variations climatiques entre les grandes régions pomicoles engendrent des différences dans la production de pommes de ces régions. Certaines variétés sont cultivées seulement en Montérégie puisque cette région offre une période de croissance plus longue. De plus, les températures automnales plus élevées de cette région permettent une moins bonne coloration des pommes qui nécessitent des nuits froides pour développer une belle couleur.

Le Réseau d'essai de cultivars et porte-greffes de pommiers (RECUPOM) est constitué de trois stations d'essai situées dans les trois principales régions productrices de pommes, soit les parcelles de Saint-Joseph-du-Lac, de Rougemont et de Sainte-Famille. Ce réseau est actif depuis 1995 et a pour mission l'introduction de nouveaux cultivars et porte-greffes adaptés aux conditions climatiques du Québec. RECUPOM permet donc d'évaluer les nouvelles variétés de pommes dans le contexte du climat québécois.

Actuellement, deux des principaux défis auxquels fait face la pomiculture québécoise sont l'augmentation de la productivité des vergers ainsi que leur modernisation par l'implantation de variétés qui répondent aux besoins du marché. Des efforts notables sont mis en place pour relever ces défis, entre autres, par une densité plus élevée de plantation, par une meilleure gestion des pommiers (ce qui influence la qualité ainsi que la fermeté des pommes) et par la mise en place du programme de « Modernisation des vergers d'arbres fruitiers au Québec ». La gestion des ravageurs de la pomme et l'introduction de la production fruitière intégrée sont également des défis d'importance sur lesquels travaillent les intervenants du secteur.

2 Méthodologie

2.1 Choix des indicateurs

À partir de certains indicateurs climatiques utilisés dans des études similaires (Rochette *et al.*, 2004; Nielsen *et al.*, 2001; Winkler *et al.*, 2002), nous en avons ciblé neuf qui nous permettent de lier les conditions climatiques au secteur pomicole. À la suite de cette sélection, nous avons consulté des experts qui nous ont, en quelques occasions, proposé des modifications pour l'adaptation de ces indicateurs aux conditions québécoises. D'un côté, nous souhaitons définir des indicateurs climatiques qui nous fournissent des informations sur une base journalière et qui sont liées spécifiquement à la pomiculture, mais il faut en même temps reconnaître que la puissance des scénarios climatiques du futur se trouve surtout dans leurs descriptions générales des conditions climatiques pour une période de 20 à 30 ans. Donc, l'interprétation des résultats de la modélisation des indicateurs, qui ciblent surtout des événements météorologiques particuliers (par exemple, la date du premier gel automnal), doit respecter les limites inhérentes à ces outils.

Pour toutes ces raisons, nous avons cherché un compromis en mettant l'accent sur les indicateurs suivants, dont certains visent des événements météorologiques particuliers dont l'importance est spécifique aux pommiers, tandis que d'autres se basent sur un cumul saisonnier (par exemple, les précipitations estivales) et sont d'intérêt plus général :

- La date, en jours juliens, du premier gel automnal (GA). Cette date doit être ultérieure au 1^{er} août, et la température minimale quotidienne doit être inférieure ou égale à 0°C.
- La date, toujours en jours juliens, du dernier gel printanier (GP) pour une température critique inférieure ou égale à -2°C entre le 1^{er} mars et le 1^{er} juillet. La combinaison de ces deux indicateurs (GA et GP) nous permet de connaître la longueur de la saison de croissance.
- Degrés-jours au gel printanier (DJ-GP), c'est-à-dire le cumul journalier des températures moyennes supérieures à 5°C avant le jour du dernier gel printanier. Au Québec, les degrés-jours sont utilisés davantage pour suivre le développement des pommes en fonction de leur vulnérabilité aux différents insectes ravageurs. Dans ce cas, on les calcule à partir du 1^{er} mars parce que les données historiques nous indiquent qu'une accumulation de degrés-jours antérieure à cette date ne contribue pas au développement de l'arbre.

Cet indicateur peut aussi nous renseigner sur le risque de dommages aux bourgeons dus aux gels printaniers tardifs. Plus précisément, l'effet des températures de gel sur les bourgeons dépend de leur stade de développement. Des températures de -2°C et de -4°C mettent en péril 10 à 90 % des bourgeons au stade de bouton rose (à environ 197 DJ)⁴. Nous obtiendrons alors une indication des dommages que subissent les pommiers lors du gel après le début de la croissance du pommier. Dans le cadre de cette analyse, nous souhaitons utiliser cet indicateur surtout pour estimer les risques des gels printaniers.

Compte tenu du réchauffement climatique prévu, nous pouvons supposer qu'il sera possible que les journées printanières avant le 1^{er} mars soient suffisamment chaudes pour accumuler des degrés-jours. Conséquemment, nous avons opté pour une version modifiée de cet indicateur afin de ne pas sous-estimer les risques de dommages et avons devancé la date de départ au 1^{er} janvier. La section 3.3.2 compare les deux méthodes de calculs afin de sélectionner la meilleure pour les fins de cette étude.

- La température annuelle minimale (TAM), ou la température la plus froide dans une année, est un facteur clé lié à la rusticité hivernale qui limite les espèces et les variétés d'arbres fruitiers capables de survivre aux températures extrêmes de l'hiver. Même si des facteurs autres que la température affectent la survie hivernale d'un cultivar (le porte-greffe, la couverture de neige, l'endurcissement hivernal⁵, les réserves nutritionnelles de l'arbre), les pommiers, les poiriers et les pruniers ont une plus grande rusticité hivernale que les cerises, les abricots, les pêches et certaines espèces de vignes. De plus, certains cultivars de pommiers démontrent plus de rusticité hivernale que d'autres. De façon générale, des températures en dessous de -35°C pour les pommiers et en dessous de -30°C pour les poiriers peuvent provoquer des dommages chez les cultivars utilisés au Québec.

⁴ RAP Avertissement Pommier, no. 5, 18 mai 2005.

⁵ Voir article de John Cline (2005) *Extreme Cold Temperatures over the Past Winter Likely to Cause Winter Injury to Apple Trees*. Department of Plant Agriculture/University of Guelph. Rick Gray and Ian Nichols. Ontario Weather Network/University of Guelph.

- Occurrences de froids intenses, $T_{\min} \leq -35^{\circ}\text{C}$. Le nombre d'occurrences de cette température critique nous informe sur les probabilités des dommages dus aux froids extrêmes pour les variétés de pommiers cultivées au Québec.
- Occurrence de grands froids, $T_{\min} \leq -30^{\circ}\text{C}$. Le nombre d'occurrences de cette température nous informe sur les probabilités des dommages dus aux froids.
- Occurrence de froids, $T_{\min} \leq -25^{\circ}\text{C}$. Le nombre d'occurrences de cette température critique nous informe sur les probabilités de dommages dus aux froids extrêmes pour d'autres cultures pérennes telles que les cerises.
- Précipitations cumulatives pendant la période estivale, c'est-à-dire pendant les mois de mai, juin, juillet et août. Cet indicateur pourra donner une indication des besoins en irrigation des pommiers.
- Précipitations cumulatives pendant la période de récolte, c'est-à-dire pendant les mois d'août, septembre et octobre. Cet indicateur vise à prévoir si de nouvelles problématiques pourraient voir le jour en raison de précipitations excessives en période de récolte. En effet, un plus grand taux d'humidité lors de la récolte crée un environnement propice au développement de plusieurs maladies telles que la tavelure, ainsi que plusieurs pourritures en entrepôt.

2.2 Stations météorologiques

Les séries de données climatiques historiques proviennent du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). Nous avons choisi des stations parmi celles qui ont été homogénéisées pour corriger des erreurs systématiques dues généralement à un changement de l'emplacement de la station (Yagouti *et al*, 2006). De plus, puisque la production commerciale de pommes est concentrée dans certaines zones (figure 1), nous avons orienté nos efforts sur les stations météorologiques couvrant les régions suivantes :

- Oka, avec la station d'Oka (7015730);
- Ste-Famille, avec la station de Québec aéroport (7016294);
- Bonsecours, en Estrie, avec la station Bonsecours (70208258);
- Farnham, avec la station éponyme (7022320);
- Hemmingford, avec la station Hemmingford-Four-Winds (7023075).

La figure 2 montre l'emplacement géographique des stations choisies. Nous devons toutefois consentir à un certain biais entre les conditions climatiques des stations météorologiques utilisées et les vergers dont l'emplacement est choisi afin de profiter d'une situation de microclimat favorable.

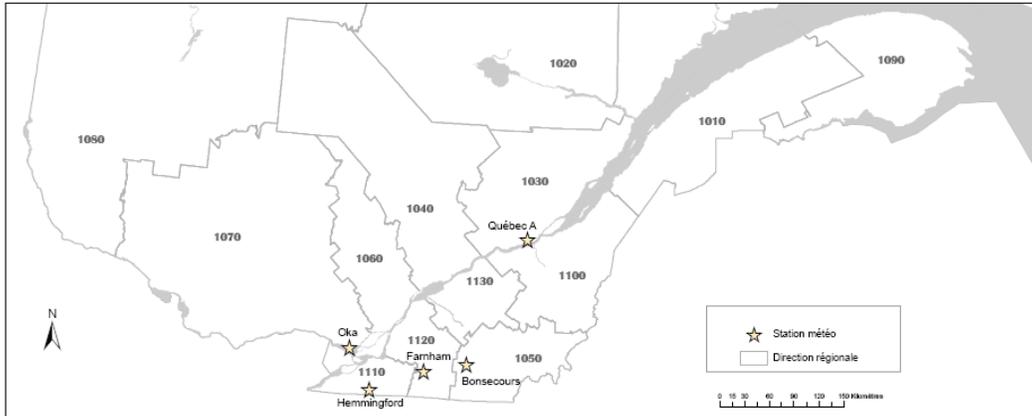


Figure 2 : Localisation des stations météorologiques de référence

2.3 Analyse de tendance, période 1961 à 2003

Afin de voir si on peut déceler un signal des changements climatiques pendant la période des données historiques (1961 à 2003), les tendances des indicateurs ont été évaluées avec l'approche non paramétrique proposée par Sen (1968) et le test de signifiante statistique Mann-Kendall (Kendell, 1975; Mann, 1945). Pour chaque série d'indicateurs, on calcule la différence par unité de temps entre chacune des données, et c'est la médiane de cette série qui nous donne une estimation de la tendance (*Sen slope*). Cette méthode d'analyse est moins affectée par des valeurs extrêmes et moins sensible au caractère non standard d'une distribution que la méthode des moindres carrés.

2.4 Scénarios climatiques

Parmi les différents modèles climatiques disponibles, le choix de modèles à fine résolution spatiale s'imposait puisque nous souhaitons surtout caractériser des variabilités (fréquence des froids extrêmes, cumul des degrés-jours de croissance avant le dernier gel, premier gel, etc.) et non des températures moyennes. Pour ces indicateurs, les modèles régionaux devraient mieux performer (Laprise, 2008). Les modèles climatiques régionaux retenus simulent des paramètres climatiques sur une grille de 45 km (vraie à 60°N) alors que les modèles globaux ont des résolutions de l'ordre de 400 km. Les sorties climatiques pour les points de grille les plus proches de chacune des cinq stations météorologiques ont été extraites pour cette étude.

Nous avons utilisé cinq simulations climatiques à l'échelle régionale produites par Ouranos sur le domaine nord-américain (AMNO) et couvrant les périodes 1961-1990 (climat de référence) et 2041-2070 (climat futur). Le recours à un ensemble de simulations vise la couverture d'un large éventail de climats futurs plausibles et permet ainsi de mieux cerner les incertitudes associées aux changements climatiques. La période d'intérêt pour le futur est établie sur l'horizon 2041 à 2070, car il est difficile de différencier le signal des changements climatiques du bruit de la variabilité climatique naturelle en choisissant une période plus proche.

Tel que décrit dans le tableau 2, trois des simulations ont été réalisées par le modèle régional canadien du climat (MRCC4.2.0) (Music et Caya, 2007; Brochu et Laprise, 2007) et pilotées par différentes versions et différents membres du Modèle couplé climatique global (MCCG2 et 3) canadien du climat (Scinocca et MacFarlane, 2004). Les deux autres simulations proviennent d'ARPÈGE-Climat-Ouranos (Déqué et Piedelievre, 1995; Gibein et Déqué, 2003), un modèle global à grille variable dont le centre est positionné à 50°N 95°O. Les cinq simulations produites chez Ouranos par l'Équipe *Simulations climatiques* ont des résolutions spatiales de l'ordre de 45 km sur le Québec.

Dans tous les cas, le scénario d'émissions de gaz à effet de serre A2 a été utilisé (Nakicenovic et Swart, 2000). En fait, on observe que le choix des scénarios d'augmentation des GES a peu d'impact dans les projections de changements climatiques quand on ne va pas au-delà de l'horizon qui nous intéressait, soit de 2041 à 2070.

Tableau 2 : Simulations climatiques retenues pour la construction des scénarios climatiques

Modèle climat	Modèle pilote	Membre MCG	SRES	Simulation 1961-1990	Simulation 2041-2070
MRCC4.2.0	CGCM3	Membre 4	A2	adj	adj
MRCC4.2.0	CGCM3	Membre 5	A2	adl	adl
MRCC.4.2.0	CGCM2	Membre 3	A2	aej	aek
ARPÈGE-Climat Ouranos 4.4	Ne s'applique pas	Membre 1	A2	abx	acb
ARPÈGE-Climat Ouranos 4.4	Ne s'applique pas	Membre 2	A2	aeh	aen

Afin de s'assurer que l'ensemble des simulations retenues soit représentatif par rapport à l'ensemble, plus grand, des simulations globales rendues disponibles via le projet CMIP3 (Meehl *et al.*, 2007), nous avons comparé les changements mensuels de température minimum et de précipitations des simulations régionales aux changements projetés par l'ensemble des simulations globales dans le sud du Québec (43° à 48°N; 71° à 74°O). L'ensemble des simulations globales comprend 75 simulations pour les températures minimum et 130 simulations pour les précipitations. La figure 2 permet de constater que, dans la région à l'étude et pour ces deux principales variables d'intérêt, les changements projetés par les simulations régionales sont bien répartis dans les projections de changements calculées sur l'ensemble de MCGs. Toutefois, il est clair qu'un plus large ensemble de simulations régionales aurait permis d'associer des niveaux de confiance dans les changements projetés et ainsi, de mieux supporter les mesures d'adaptation aux changements climatiques.

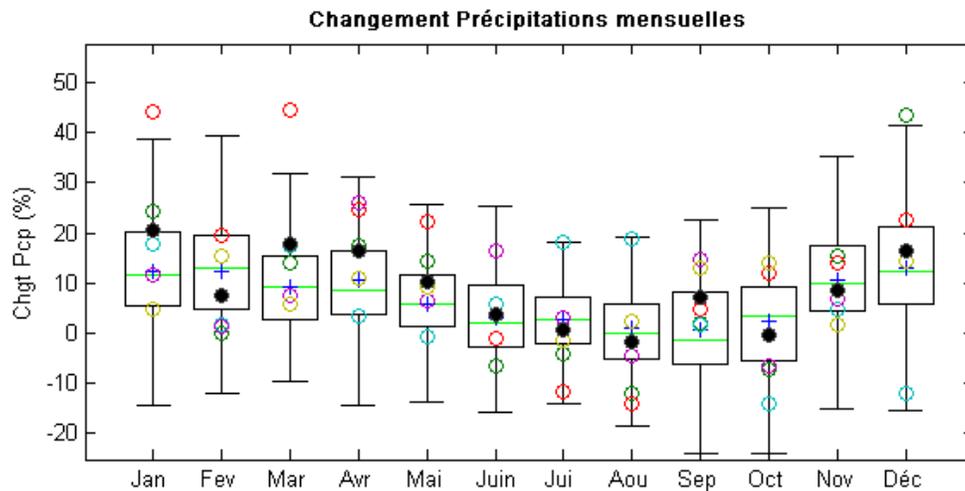
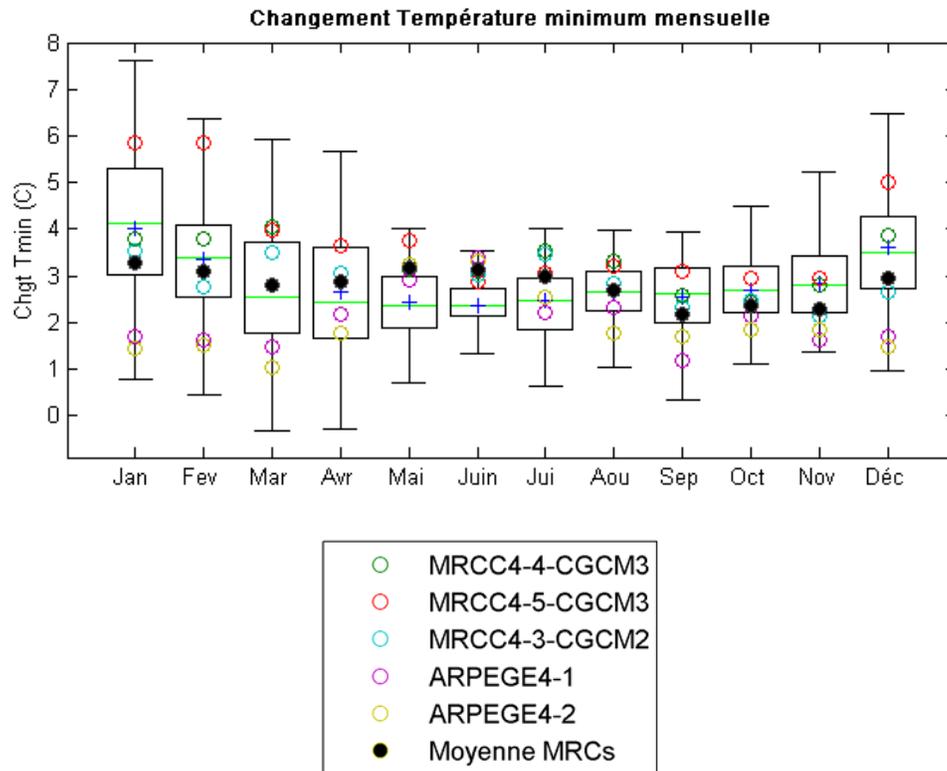


Figure 3 : Comparaison entre les changements projetés par les simulations régionales retenues et les changements projetés par un ensemble de modèles globaux de climat (MCG).

Les boîtes sont délimitées par les premiers et troisièmes quartiles, la longueur des segments vaut 1,5 fois l'écart interquartile ou les valeurs minimum et maximum. Le trait vert (croix bleue) montre la médiane (moyenne) des changements mensuels projetés par l'ensemble de modèles globaux. Les changements projetés par les simulations régionales sont représentés par les cercles, comme définis dans la légende.

Avant de procéder à la construction des scénarios climatiques, chacun des indicateurs a été validé afin de mieux apprécier la capacité des modèles climatiques à simuler les caractéristiques sur lesquelles reposent les indicateurs. La comparaison entre les indicateurs calculés sur les observations des stations météorologiques et ceux calculés sur les séries simulées sur la période 1961-1990 est présentée en annexe 7.1, figures A1 à A9.

En général, les séries simulées montrent une bonne performance. Des biais parfois importants sont présents (par exemple, pour TAM, figure A1). Toutefois, les distributions sont parallèles à la diagonale parfaite. Il semble donc que la variabilité des modèles soit adéquate. En posant l'hypothèse que les biais entre le modèle et les observations sont conservés dans le futur, nous pouvons construire les scénarios climatiques sur les séries quotidiennes (section 4.2).

Nous notons cependant que le cumul de degrés-jours avant le dernier gel printanier reproduit difficilement les observations historiques (figure A4). Il semble que, puisque cet indicateur cumule les degrés-jours au fil du temps, il cumule par le fait même les erreurs et devient de moins en moins fiable. Il en est de même pour les indicateurs de précipitations (figures A5 et A6).

Il faut noter que, pour les occurrences de dépassement de seuils de temps très froids, un ajustement a été appliqué sur les séries simulées, tel que suggéré par Déqué (2007). L'ajustement consiste à utiliser les valeurs percentiles plutôt que les valeurs de température. Par exemple, à la station de Farnham, le seuil de -25°C équivaut au 3^e percentile dans la série météorologique observée.

La valeur de température de ce percentile est calculée sur les simulations climatiques et c'est l'occurrence de dépassement de la valeur ajustée qui est recherchée sur les séries simulées actuelles et futures. À la station de Farnham, les valeurs simulées correspondantes aux seuils de -35°C , -30°C et -25°C sont de -29°C , -18°C et -15°C respectivement pour MRCC4-CGCM3, MRCC4-CGCM2 et ARPÈGE-Climat Ouranos. L'ajustement permet de contourner les biais qui entraîneraient des surestimations d'occurrence, dans le cas d'un biais froid et des sous-estimations, dans le cas d'un biais chaud. Tel que présenté en annexe (figures A7 à A9), l'ajustement des séries permet d'obtenir des occurrences simulées très semblables aux occurrences observées sur la période de référence.

2.5 Application des scénarios climatiques

La méthodologie, pour la construction des scénarios climatiques, consiste à comparer les indicateurs calculés sur les séries quotidiennes de la période de référence (1961-1990) à ceux de la période future (2041-2070). Par la suite, les changements notés entre les deux périodes sont appliqués aux indicateurs calculés sur les observations. Plus précisément, nous avons calculé la différence (Δ) entre la médiane de l'indicateur sur la période de référence et la période future et appliqué cette Δ à la médiane de l'indicateur calculé à partir des données météorologiques de la période historique. Nous avons choisi d'utiliser la médiane pour représenter le climat parce qu'elle est moins affectée par les valeurs extrêmes que la moyenne.

Dans le cas des indicateurs de dépassement de seuils de températures minimum de -35°C , -30°C , et -25°C , il s'agit d'une question d'occurrences et non de médianes. Nous avons calculé la différence entre les occurrences compilées pendant les deux périodes modélisées et appliqué la Δ aux occurrences historiques. Pour les précipitations, la Δ est calculée en pourcentage, et ce dernier est appliqué aux données historiques.

3 Analyses de la période historique

L'ensemble des indicateurs calculés pour la période 1960 à 2003 est présenté dans les tableaux A1 à A9 (annexe 7.2). La moyenne, la médiane et l'écart-type sont présentés pour les périodes 1960 à 1989 et 1960 à 2003. La première période a servi de référence historique des observations pour les fins de l'étude du futur. Afin d'inclure les observations des plus récentes années dans l'analyse de tendance de la période historique, la deuxième série, plus longue, a été utilisée.

L'examen des indicateurs calculés nous permet de faire certains constats concernant les cinq stations sur la période historique. Par exemple, entre les stations étudiées, la médiane de la température annuelle minimale pour la période 1960 à 2003 varie de $-31,1^{\circ}\text{C}$ à Québec, à $-33,5^{\circ}\text{C}$ à Farnham (tableau A1). Les occurrences de températures de -35°C ou moins sont peu fréquentes, soit entre 3 à 6 occurrences en autant d'années pendant la période 1960 à 2003 à Québec et à Bonsecours, mais plus fréquentes à Farnham, où une température de -35°C ou moins a été enregistrée 27 fois dans 15 ans pendant cette période de 43 ans (tableau A2).

La médiane des occurrences de températures de -30°C ou moins est seulement une par année à Québec comparativement à trois à Farnham (tableau A3). En 1964, 1969, 1990 et 2002 aucune des stations n'a enregistré de températures de -30°C ou moins. En revanche, en 1993 et 1994, toutes les stations avaient un nombre important de températures de -30°C ou moins, soit entre 4 et 15.

Des températures de -25°C ou moins ont été enregistrées à chaque station entre 1960 et 2003, à l'exception de l'année 2002 où la température n'est pas descendue en bas de -25°C ni à Oka et Farnham, et seulement une fois aux autres stations (tableau A4). La médiane des occurrences pour cette période varie de 8,5 à Hemmingford, à 11,0 à Farnham.

Le tableau A5 indique que la médiane des dates du premier gel automnal varie de 10 jours entre les stations, du 20 septembre à Bonsecours, au 1^{er} octobre à Québec, avec un écart type d'environ 9 à 10 jours. De même, la médiane des dates du dernier gel printanier varie du 28 avril à Farnham, au 7 mai à Bonsecours, avec un écart type de 9 à 12 jours (tableau A6). La combinaison des dates de premier gel automnal et de dernier gel printanier indique la longueur de la saison de croissance. Les médianes de la saison de croissance pour la période 1990 à 2003 sont de 136 à Bonsecours, 145 à Hemmingford, 149 à Oka, 154 à Farnham et de 155 jours à Québec, ce qui indique une saison de croissance de presque deux semaines plus longue à Québec en comparaison avec Bonsecours.

Comme nous l'avons mentionné, nous avons utilisé deux méthodes pour le calcul du cumul des degrés-jours, soit à partir du 1^{er} mars et à partir du 1^{er} janvier. Nous n'avons noté que quelques différences ponctuelles de 1 à 2 DJ de plus à deux stations en avançant la date de départ. Selon cet indicateur, des dommages dus au gel printanier auraient été observés sept années entre 1960 et 2003, mais jamais à Québec et le plus souvent à Hemmingford (5 ans). On remarque que cet indicateur peut être difficile à caractériser, la médiane et la moyenne étant très différentes et l'écart type important.

Finalement, le record des précipitations est interrompu aux stations de Québec et Bonsecours pendant la période qui nous intéresse, ce qui limite nos comparaisons. On remarque toutefois que les observations se situent dans une large gamme et ont un écart-type important.

3.1 Robustesse des indicateurs

Les indicateurs de GA, GP, TAM et DJ-GP ont subi un test de robustesse afin de déterminer si les médianes de ces indicateurs calculés pour la période 1961 à 1990, sur lesquelles l'analyse du climat actuel est basée, représentent une période suffisamment stable pour permettre de caractériser efficacement le climat de référence avec la médiane de l'indicateur en question pour pouvoir, par la suite, comparer avec les scénarios du futur.

Pour vérifier la robustesse de ces indicateurs, nous avons utilisé la méthode de *bootstrapping*. Cette méthode génère, pour toute quantité définie sur une distribution de probabilités, une estimation de cette quantité ainsi qu'une mesure de l'incertitude pesant sur cette estimation. La notion d' « **échantillon bootstrap** » est définie par l'échantillon de population $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$. On procède à n tirages **avec remise** de façon à constituer une collection $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ dans laquelle chaque observation figure maintenant avec une multiplicité comprise entre 0 et n , la somme des multiplicités étant égale à n . La collection obtenue est, par définition, un échantillon *bootstrap* (Rapacchi, B. 1994). Cette méthode nous permet donc d'obtenir, pour $n = 1\ 000$, 1 000 estimations de médianes pour une période aléatoire de 30 ans constituée à partir des données historiques (1961 à 1990).

Nous avons fixé le seuil de l'intervalle de confiance à 90 %, c'est-à-dire que 5 % des valeurs de l'extrême inférieur et 5 % des valeurs de l'extrême supérieur sont tronquées. Si la valeur historique de la médiane est un élément de l'intervalle, c'est que l'indicateur est suffisamment robuste pour être conservé.

Cette analyse nous a permis de conclure que, pour la période historique, les médianes des indicateurs choisis étaient suffisamment robustes pour permettre de poursuivre l'analyse et l'orienter vers l'application des indicateurs climatiques modélisés. En effet, en comparant au tableau 3 les médianes historiques pour chaque indicateur, on observe qu'il est inclus dans l'intervalle de confiance.

Tableau 3 : Médiane des données historiques (1961 à 1990) et intervalle de confiance (à 90 %)

Stations	Indicateurs							
	GA		GP		DJ-GP		TAM	
	Médiane historique	Intervalle de confiance à 90%	Médiane historique	Intervalle de confiance à 90%	Médiane historique	Intervalle de confiance à 90%	Médiane historique	Intervalle de confiance à 90%
Oka	269	265 ; 272	119	115; 124	28	16; 63	-32,7	-34; -30,7
Québec	272	269 ; 279	121	115; 125	15	6; 24	-31	-32; -31,0
Bonsecours	260	259 ; 265	128	126; 131	44	34; 80	-33,5	-34; -32,9
Farnham	270	267 ; 275	120	114; 126	44	35; 80	-34,5	-35; -32,8
Hemmingford	265	262 ; 269	127	119; 130	106	57; 127	-33,3	-34; -32,0

À titre d'exemple, nous présentons la figure 4, qui montre la distribution des 1 000 médianes des échantillons obtenus par le tirage avec remise de 30 dates de jour de premier gel automnal parmi les 30 données historiques d'Oka. Le résultat de cette démarche montre des médianes comprises entre le 260^e et le 275^e jour de l'année. En tronquant 5 % de l'aire sous la courbe à la tête de la distribution et 5 % à sa queue, nous obtenons un intervalle de confiance de 90 %. Les extrêmes exclus, l'intervalle où le premier gel automnal devrait être observé est de 265 à 272 pour Oka (tableau 3, GA, ligne 1).

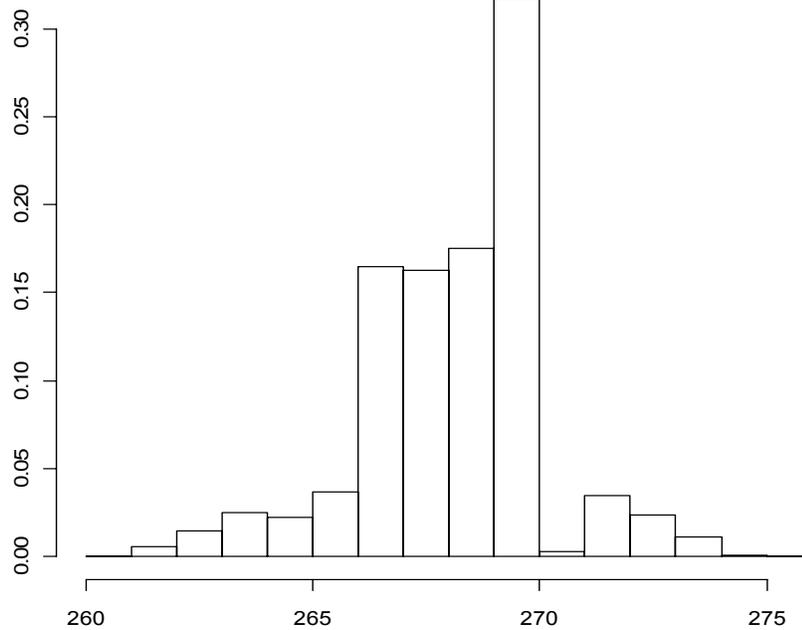


Figure 4 : Distribution du bootstrap pour le gel automnal à Oka, fonction de la densité des données

3.2 Analyse de tendance – 1960 à 2003

Le tableau 4 montre les résultats de l'analyse de tendance pour la température annuelle minimale (TAM), la date du premier gel automnal (GA) et la date du dernier gel printanier (GP) aux cinq sites.

Tableau 4 : Analyse de tendance, TAM, GA, GP – 1960 à 2003

Indicateur	Statistique	Station météo				
		Oka	Québec	Bonsecours	Farnham	Hemmingford
TAM	Sen slope (C/année)	0,022	0,023	0,060*	0,028	0,003
GA	Sen slope (jr/année)	-0,091	0,177*	0,111	0,221	0,214*
GP	Sen slope (jr/année)	0,176	-0,096	-0,087	-0,320**	-0,250**

* Indique que la pente (*Sen slope*) est statistiquement significative au seuil de probabilité de 90 %.

** Indique que la pente (*Sen slope*) est statistiquement significative au seuil de probabilité de 95 %.

De façon générale, on n'observe pas de tendance dans ces indicateurs pendant la période 1960-2003. Plus particulièrement, pour la température annuelle minimale, même si toutes les stations démontrent une augmentation, c'est statistiquement significatif au seuil de probabilité de 10 % seulement à une station. La date du premier gel automnal semble plus tardive pour quatre des cinq stations, mais c'est statistiquement significatif au seuil de probabilité de 10 % seulement à deux stations. On remarque des résultats semblables pour la date du dernier gel printanier, qui paraît plus hâtive pour toutes les stations sauf Oka, mais n'est statistiquement significative au seuil de probabilité de 5 % qu'à deux stations. C'est seulement à Hemmingford que l'on note un dernier gel printanier plus hâtif et un premier gel automnal plus tardif statistiquement significatifs.

Parce que les indicateurs ont été calculés à partir des mêmes données que l'étude de Yagouti *et al.* (2008), on s'attend à des résultats semblables dans les analyses de tendance des indicateurs dont les définitions sont comparables. En effet, les résultats, pour les dates de gel printanier et automnal, s'accordent avec leurs résultats pour la saison de croissance. Dans leur étude, même si on observe un allongement de la saison de croissance aux deux tiers des stations, ce n'est pas statistiquement significatif. Zhang *et al.* (2000) notent que des tendances climatiques à l'échelle régionale sont difficiles à détecter parce que la variabilité naturelle associée aux processus climatiques est plus grande. De plus, la période de 43 ans est peut-être courte pour une telle analyse.

3.3 Dommages historiques selon La Financière agricole du Québec

Afin de tester la capacité des indicateurs climatiques à déceler des pertes de production de pommes dues aux conditions climatiques, nous avons comparé les indicateurs avec l'information des compensations versées aux producteurs de pommes par La Financière agricole du Québec pour des dommages de nature climatique. Les figures A10 à A12, issues des données de La Financière entre 1982 et 2006 (annexe 7.3), font état des dommages causés par le gel (hivernal), la gelée (printanière) et la sécheresse.

Il faut signaler que ces données devraient être interprétées comme deux séries distinctes (la première étant la période 1982 à 1999 et la deuxième, 2000 à 2006), parce que ces programmes de la FADQ ont été modifiés en 2000. D'ailleurs, ce n'est qu'aux bureaux de Granby, La Prairie et St-Jean-sur-Richelieu qu'on retrouve un nombre significatif de producteurs assurés aux deux périodes. Le territoire couvert par ces bureaux correspond en partie à celui que nous avons ciblé avec les stations météorologiques d'Oka, Québec, Bonsecours, Farnham et Hemmingford. Il existe toutefois une différence notable entre la localisation des stations météo de cette étude, les bureaux de La Financière et les vergers eux-mêmes.

Ces données nous démontrent aussi l'effet régional des dommages climatiques. Selon l'ensemble de ces données, on observe en effet que les pommiers de la région de Granby sont généralement moins sujets à des dommages que ceux des autres régions.

Ces trois causes de pertes (le gel hivernal, la gelée printanière et la sécheresse), pourraient être liées aux indicateurs suivants : la température annuelle minimale ainsi que les occurrences de température quotidienne inférieure ou égale à -35°C , les années où le cumul de degrés-jours entre le 1^{er} janvier et le dernier gel printanier est supérieur au seuil critique de 197 DJ et finalement les précipitations cumulatives des mois de mai, juin, juillet et août.

3.3.1 Gel hivernal

On note en particulier l'importance qu'eut le gel de 1994 (figure A18) où, selon les régions, entre 50 et 100 % des pommiers assurés ont été affectés. Deux indicateurs climatiques pourraient être liés à ces dommages : la température annuelle minimale et les occurrences de froids intenses, c'est-à-dire où le mercure descend sous les -35°C . Effectivement, pour toutes les stations météorologiques à l'étude dans ce projet, on cumule de 1 à 3 occurrences de température égale ou inférieure à -35°C en 1993 et en 1994 (tableau A2). Les secteurs les plus touchés semblent être les régions de Farnham et Hemmingford, qui enregistrent des températures inférieures à -40°C pour cette même période (tableau A1).

Le lien entre d'autres événements de froid intense d'importance locale seulement et les compensations de La Financière est moins clair. Notons que, malgré des températures très froides enregistrées dans certaines régions (par exemple TAM de -37°C à Hemmingford en 1999), peu de compensations pour ces dommages ont été faites par la FADQ. À l'inverse, pour expliquer les dommages importants dus au gel à Granby en 1986 et 1990, on ne voit pas d'évidence dans les indicateurs TAM ou occurrences de température en dessous de -35°C à ces stations météorologiques.

On conclut que les indicateurs TAM et occurrences de température en dessous de -35°C à ces stations météorologiques peuvent expliquer les dommages causés aux pommiers dus au gel hivernal, surtout dans le cas d'un froid intense de grande envergure. La capacité de ces indicateurs à déceler des pertes dues aux froids de nature plus locale est cependant plus limitée. Cette situation peut être expliquée, comme mentionné précédemment, par la difficulté de faire une bonne correspondance entre la région couverte par les bureaux régionaux d'assurance agricole et les stations météorologiques de cette étude. Il est aussi important de considérer l'évolution de la rusticité des cultivars de pommes (principalement des porte-greffes) choisis par les producteurs, une plus grande rusticité permettant aux vergers de tolérer des températures hivernales plus froides.

3.3.2 Gel tardif printanier (gelée)

La figure A19 démontre qu'un pourcentage important des pommiers a subi des dommages dus aux gels printaniers tardifs. Ces dommages ont été comparés avec l'indicateur DJ-GP calculé à partir du 1^{er} janvier et du 1^{er} mars (tableaux A7 et A8). Pour l'ensemble de la période à l'étude, l'indicateur DJ-GP calculé à partir du 1^{er} mars et du 1^{er} janvier pour ces cinq stations confondues, ne fait ressortir que sept occurrences d'un dépassement du seuil critique des DJ (197) au dernier gel printanier. Les années sont 1961, 1963, 1969, 1981, 1986, 1987 et 2002. Conséquemment, pour la période équivalente à celle de La Financière (à partir de 1982), seulement trois années d'occurrences sont observées.

Les réclamations les plus importantes de La Financière ont eu lieu en 1986, 1987, 1992, 1993, 1995, 1998 et 2002. On voit que les années ciblées par l'indicateur DJ-GP, calculé à partir du 1^{er} janvier, révèlent des conditions climatiques qui appuient ces dommages aux pommiers à une ou plusieurs des stations seulement, et ce, trois années sur sept.

À l'instar des conclusions de la section 3.3.1, on juge que l'indicateur DJ-GP peut nous renseigner sur les dommages causés aux pommiers dus aux gelées printanières tardives suivant une période de redoux, mais en général il sous-estime ces risques.

3.3.3 Dommages climatiques des années 1981 et 1982

L'année 1981 fut une année catastrophique pour la production pomicole au Québec. En conséquence, La Financière agricole a élargi son offre de service en mettant en place le programme de compensation pour les dommages aux pommiers. Les résultats des indicateurs climatiques montrent en effet des risques importants de dommages pour ces années. Pour l'hiver 1981, un cumul de DJ au dernier gel printanier supérieur à 197 DJ est enregistré pour les stations météorologiques d'Oka, Bonsecours et Hemmingford. De plus, des températures très froides, soit inférieures ou égales à -35°C , ont été compilées au cours de l'hiver de 1981. Pendant cette période, la région de Farnham fut particulièrement touchée, avec un total de trois occurrences de températures inférieures ou égales à -35°C et une température minimum annuelle de $-37,8^{\circ}\text{C}$.

Une étude de Rouselle (1982) relate les conséquences de ces épisodes de froids. En tout, 15 % des pommiers furent considérés morts en 1981 et d'autres ont succombé aux dommages lors des années suivantes. La production annuelle de pommes a chuté de 118 516 tonnes en 1980, à 45 303 tonnes en 1981. Un des effets de la mort des pommiers fut d'accélérer la tendance vers des variétés naines et semi-naines. Les porte-greffes de ces variétés ne sont pas moins vulnérables aux froids hivernaux, mais étant obligés de remplacer des pommiers, plusieurs producteurs ont saisi l'occasion pour choisir des variétés qui ont un potentiel de rendement supérieur aux variétés standard.

3.3.4 Sécheresse

Pour les trois régions principales de pommiers assurés, on remarque que les dommages les plus importants (entre 18 et 30 % affectés par la sécheresse) sont pour les années 1995 et 1997. Le travail d'analyse des données historiques ne nous permet pas de faire le lien entre le cumul des précipitations mesurées et les réclamations. En effet, malheureusement, plusieurs séquences d'observation des précipitations sont interrompues précisément pendant cette période.

La tendance vers des pommiers de type semi-nain et nain a été accompagnée d'une infrastructure de l'irrigation des vergers parce que les racines des porte-greffes de ces types de pommiers sont relativement superficielles, ce qui limite l'apport d'eau aux pommiers. Le tableau 1 indique les superficies des types standard, nain et semi-nain selon les régions administratives du Québec. Donc, les pommiers qui subissent des dommages dus la sécheresse seront en général ceux qui ne sont pas irrigués, et l'indicateur cumul des précipitations (mai à août) reflète d'une certaine manière les besoins en irrigation des pommiers plutôt que les dommages dus à la sécheresse.

4 Indicateurs climatiques du futur

4.1 Analyse de la robustesse des changements projetés

Le *bootstrapping*, tel qu'expliqué dans la section 3.1, fut aussi utilisé pour évaluer les changements projetés par la modélisation pour les indicateurs GA, GP, TAM, DJ-GP, cumul des précipitations estivales (mai, juin, juillet, août) et automnales (août, septembre, octobre) ainsi que leur variabilité. L'analyse a indiqué des changements robustes seulement pour les médianes des indicateurs GA, GP et TAM. On conclut donc que les changements modélisés, quant aux médianes du cumul de D-J avant le dernier gel printanier et des cumuls des précipitations printanières et automnales, ne sont pas significatifs. On conclut également qu'il n'y a pas d'indication de changement dans la variabilité de tous les indicateurs entre la période de référence et celle future.

À titre d'exemple, la figure 5 présente l'intervalle de confiance du changement de la médiane et de l'écart-type pour la date du dernier gel printanier à Hemmingford. Nous notons que l'intervalle de confiance de 90 % n'inclut pas 0 pour le changement de la médiane de l'indicateur; ce changement est donc considéré comme robuste. Cependant, l'intervalle de confiance de 90 % inclut 1 comme ratio de l'écart-type. On conclut donc qu'une différence entre les écarts-types n'est pas robuste.

Par opposition à ce changement robuste de la médiane des indicateurs, la figure 6 présente les résultats obtenus pour les précipitations automnales à Hemmingford. Notons qu'ici, puisqu'il s'agit de précipitations, le changement de ces dernières est évalué par un ratio entre les précipitations sur la période future et la période de référence. Si l'intervalle de confiance inclut 1 comme ratio, ce changement des précipitations n'est pas robuste. On voit qu'aucune des simulations ne montre un changement robuste pour la valeur médiane du cumul des précipitations (les intervalles de confiance incluent 1).

Pareillement, cette analyse ne montre pas un changement robuste pour l'écart-type, sauf pour le scénario 5. Ainsi, nous concluons que les changements dans la médiane et l'écart-type de la distribution ne sont pas robustes.

Avec cette démonstration d'absence de changement robuste des écarts-types pour tous les indicateurs évalués, les deltas des changements significatifs des indicateurs peuvent être appliqués sur les indicateurs historiques sans considérer un changement de variabilité des indicateurs. Notons que les deltas pour les DJGP et les précipitations MJJA et ASO n'ont pas été appliqués, parce que les changements de médianes ne sont pas robustes.

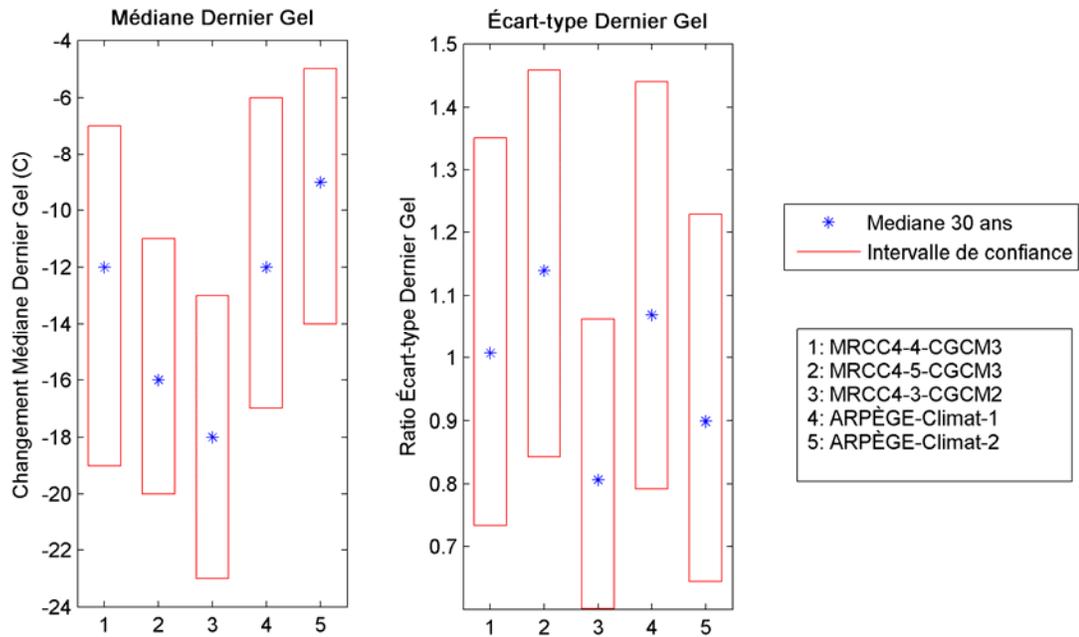


Figure 5 : Intervalle de confiance du changement de la médiane du dernier gel printanier (DG) et de l'écart-type à Hemmingford (2041-2070 p/r 1961-1990). Le changement de la médiane (Δ) illustre la différence entre les médianes du dernier gel de la période du futur et de la période de référence. Le ratio de l'écart-type illustre le quotient des écarts-types de ces deux périodes.

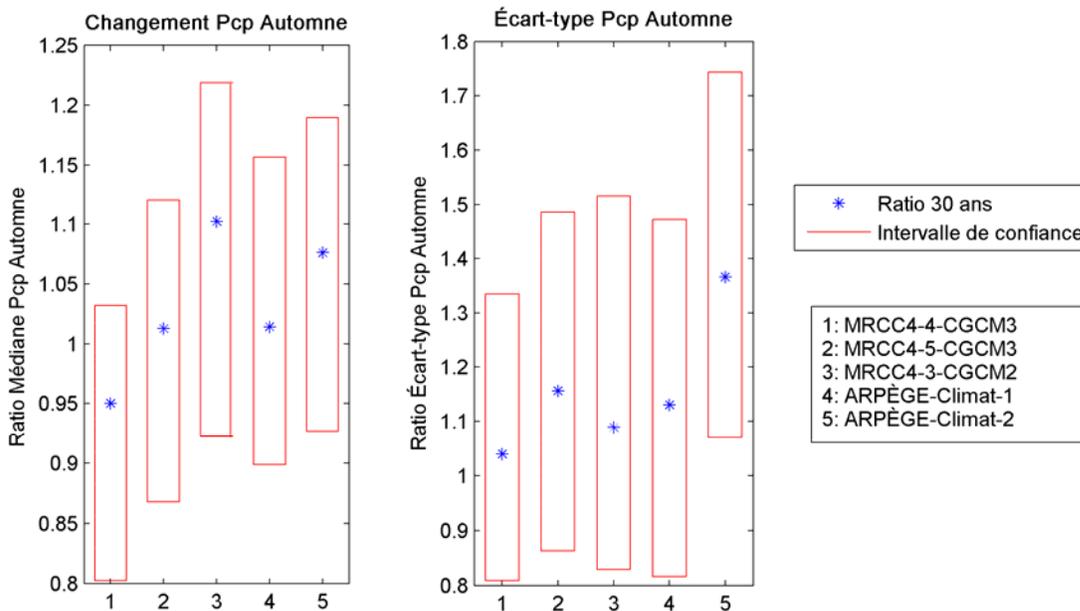


Figure 6 : Intervalle de confiance du changement de la médiane et de l'écart-type des précipitations automnales à Hemmingford (2041-2070 p/r 1961-1990). Le changement de la médiane illustre le ratio entre les médianes des précipitations automnales sur les deux périodes; le ratio de l'écart-type illustre le ratio entre les écarts-types des deux périodes.

4.2 Applications des changements par station météorologique

Les résultats de l'application des deltas par station météorologique sont colligés dans le tableau 5. Afin d'alléger la présentation, ce tableau ne présente que les médianes historiques des indicateurs avec la plus petite et la plus grande médiane selon les simulations climatiques utilisées. Puisque nous avons appliqué, pour les indicateurs de température, un delta à additionner ou soustraire à la valeur historique, la distribution de chaque indicateur sur la période de 30 ans subit une translation de la même grandeur et dans le sens de ce delta en accord avec les résultats de la section précédente.

Tableau 5 : Indicateurs TAM, GA, GP, médianes historiques et simulés

Indicateur	Stations	Médianes historiques, 1961 à 1990	Simulations, 2041 à 2070 (limites supérieures et inférieures)	
TAM (°C)	Oka	-32,7	-30,4	-27,7
	Québec-A	-31,0	-28,6	-25,6
	Bonsecours	-33,5	-30,6	-27,0
	Farnham	-34,5	-32,8	-29,3
	Hemmingford	-33,3	-30,9	-27,5
GA (date/jours)	Oka	26 sept.	+ 7	+ 15
	Québec-A	29 sept.	+ 6	+ 26
	Bonsecours	17 sept.	+ 6	+ 17
	Farnham	27 sept.	+ 6	+ 14
	Hemmingford	22 sept.	+ 7	+ 13
GP (date/jours)	Oka	29 avr.	-15	- 21
	Québec-A	1 mai	- 14	- 19
	Bonsecours	8 mai	- 8	- 23
	Farnham	30 avr.	- 13	- 22
	Hemmingford	7 mai	- 12	- 23

Afin de faciliter l'interprétation des résultats, les représentations graphiques des distributions de chaque station sont présentées en annexe 7.4, sous la forme de diagrammes en boîte à moustaches. La boîte rectangulaire (l'écart interquartile) représente 50 % de la distribution et la barre transversale est la médiane de la distribution. Si des valeurs extrêmes sont présentes, c'est-à-dire excédant 1,5 fois la valeur de l'écart interquartile, alors elles sont représentées par des points au-dessus ou en dessous des moustaches. Dans le cas contraire, les moustaches supérieures et inférieures représentent respectivement la tête et la queue de chaque distribution. Notons que nous utilisons les désignations « adj », « adl », « aej », « abx », « aeh » des différentes simulations de la période de référence (tableau 2) pour désigner les résultats des scénarios climatiques.

4.2.1 Indicateurs de température

Selon les scénarios climatiques utilisés, on voit que la plupart des indicateurs de température augmentent considérablement, et ce, dans toutes les régions ciblées par cette étude. En effet, concernant les dates de gel et la saison de croissance (figures A13 à A15), on note un allongement de la saison productive d'environ trois semaines à un mois, selon le modèle et la station météorologique.

Les occurrences de températures froides, pour les périodes historique et future, sont présentées aux tableaux 6 et 7. Dans le premier tableau, il s'agit de la somme des occurrences quotidiennes de températures inférieures ou égales au seuil pendant la période de 29 ans. Nous avons effectué l'exercice pour des seuils de $\leq -35^{\circ}\text{C}$, $\leq -30^{\circ}\text{C}$ et $\leq -25^{\circ}\text{C}$. En comparant les deux périodes 1961 à 1989 et 2041 à 2069, la baisse de la fréquence des températures inférieures à -35°C , -30°C et -25°C est frappante. Il existe quand même un certain risque de températures $\leq -35^{\circ}\text{C}$, mais moindre. Pareillement, malgré la diminution importante des occurrences de $T_{\text{min}} \leq -30^{\circ}\text{C}$ et $\leq -25^{\circ}\text{C}$, ces températures seront néanmoins rencontrées régulièrement.

Tableau 6 : Occurrences totales (sur 29 ans) des températures seuils pour les périodes de référence et future

Indicateur	Station	Historique (1961-1989)	Application des deltas (2041-2069)	
			min	max
Occurrence $T_{\text{min}} \leq -35^{\circ}\text{C}$	Oka	9	1	4
	Québec-A	3	1	2
	Bonsecours	3	0	1
	Farnham	23	8	11
	Hemmingford	7	1	4
Occurrence $T_{\text{min}} \leq -30^{\circ}\text{C}$	Oka	77	11	27
	Québec-A	53	9	27
	Bonsecours	95	7	34
	Farnham	127	32	51
	Hemmingford	75	14	31
Occurrence $T_{\text{min}} \leq -25^{\circ}\text{C}$	Oka	288	50	137
	Québec-A	332	87	183
	Bonsecours	342	66	173
	Farnham	368	92	196
	Hemmingford	270	50	128

Le tableau 7 présente ces mêmes résultats, mais sous une forme qui nous montre le risque, exprimé en nombre d'années par période de 29 ans (historique et future), où l'on voit apparaître au moins une occurrence de $T_{\text{min}} \leq -35^{\circ}\text{C}$, $\leq -30^{\circ}\text{C}$. Nous ne présentons pas les résultats des températures de -25°C et moins parce que comme noté plus haut, ces températures continueront d'être fréquentes dans le futur.

Tableau 7 : Proportion d'années où on voit apparaître au moins une occurrence de T min $\leq -35^{\circ}\text{C}$ et $\leq -30^{\circ}\text{C}$ (%).

	T $\leq -35^{\circ}\text{C}$			T $\leq -30^{\circ}\text{C}$		
	Historique (1961-1989)	2041-2069		Historique (1961-1990)	2041-2069	
		min	max		min	max
Oka	28%	70%	17%	76%	21%	38%
Québec-A	10%	30%	70%	69%	10%	41%
Bonsecours	10%	0%	30%	90%	31%	59%
Farnham	45%	10%	17%	93%	31%	66%
Hemmingford	24%	10%	17%	83%	24%	48%

Dans le futur, les risques de dommages aux pommiers causés par le froid hivernal seront donc réduits. Dans certains cas, il serait même possible d'envisager une culture plus septentrionale telle que la poire, alors que la culture des arbres fruitiers plus vulnérables au froid, tel que les cerisiers, demeure risquée.

4.2.2 Indicateurs de précipitations

Tel que noté dans la section 4.1, les scénarios utilisés n'ont pas indiqué de changements significatifs des précipitations pendant la période de croissance. Toutefois, puisque tous les scénarios indiquent une augmentation de la température, il pourrait y avoir plus d'évapotranspiration, et donc, un plus grand besoin en eau des pommiers. Les précipitations lors de la saison de récolte ne semblent pas représenter un plus grand problème dans le futur qu'actuellement.

L'absence de changements significatifs des précipitations MJJA et ASO modélisés sur l'horizon de 2041 à 2070 s'accorde avec le rapport récent du GIEC (IPCC, 2007) où l'on note que, pour les mois d'été, le sud du Québec se retrouve dans une zone où peu de changements sont prévus sur l'horizon 2080-2099 par rapport à 1980-1999. En effet, le sud du Québec se trouve dans une zone transitoire variable entre une augmentation des précipitations au nord et une diminution de ces dernières au sud. La figure 7 montre ces changements des précipitations pour les mois de juin à août selon la moyenne d'un ensemble de 21 modèles climatiques.

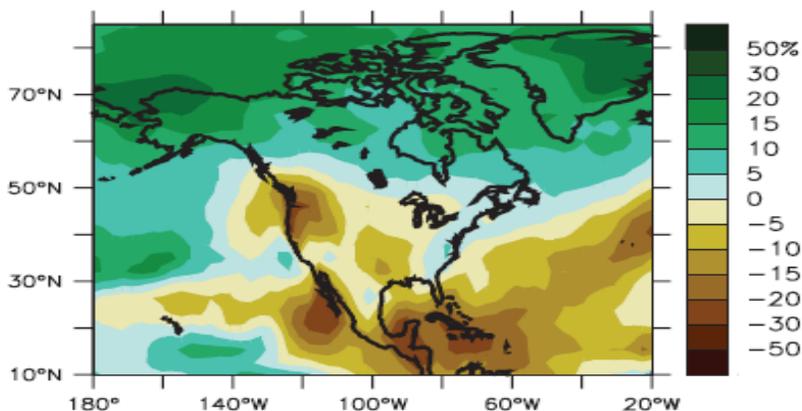


Figure 7 : Représentation des changements dans les précipitations pendant les mois de juin à août entre la période 1980 à 1999 et 2080 à 2099, moyenne de 21 modèles climatiques, IPCC, 2007.

4.2.3 Différences entre les modèles

La première partie du tableau 8 compare les résultats des cinq simulations en utilisant des valeurs moyennes régionales des indicateurs des cinq sites. Notons que les changements pour les précipitations (MJJA et ASO) et pour DJ-GP ne sont pas robustes.

Tableau 8 : Variation moyenne régionale des deltas et des ratios entre les simulations climatiques

	Delta					
	GP (jr)	GA (jr)	DJ-GP (DJ-jan)	TAM (°C)	MJJA (mm)	ASO (mm)
adj	-16	13	-7	4,6	-2%	-5%
adl	-15	17	-5	5,2	-2%	1%
aej	-19	9	-21	4,7	14%	5%
abx	-21	7	-18	2,6	2%	0%
aej	-14	9	-9	2,3	6%	15%
Moyenne globale (des deltas pour simulations)	-17	11	-10,3	3,9	4%	3%
Moyenne régionale des médianes historiques	03-mai	24-sept	72	-33	Années manquantes	
Application des deltas aux moyennes régionales	14-avr	05-oct	n.s.	-29,1	n.s.	
Écart-type	2,8	3,9		1,3		

Même si les groupes adj, adl et aej sont issus du même modèle régional alors que abx et aeh représentent un autre modèle régional, pour les indicateurs calculés, on observe parfois des écarts qui paraissent importants (notamment pour la précipitation d'été). On voit donc l'importance d'utiliser plusieurs scénarios climatiques afin de tenir compte de l'incertitude dans un contexte de changements climatiques. Il faut toutefois noter que pour les indicateurs associés à la température, tous les changements sont de même signe.

4.2.4 Comparaison avec d'autres études régionales

L'étude de Rochette *et al.* (2004) propose une analyse similaire d'indices agroclimatiques pour évaluer le potentiel des dommages en hiver aux arbres fruitiers pour 15 régions de l'est du Canada, incluant celle de notre étude. Les différences les plus importantes entre la méthodologie des deux études se situent dans les scénarios climatiques utilisés. Dans l'étude de Rochette *et al.*, les indicateurs ont été calculés à partir des données mensuelles du modèle CGCM1. Tandis que nous avons utilisé plutôt la médiane, ces auteurs ont plutôt utilisé la moyenne pour caractériser les périodes historique et future. De plus, la région « Ottawa Valley – Southern Québec » est comparable mais non identique à celle de la présente étude.

Entre la période historique de 1961 à 1990 et la période 2040 à 2069, l'étude de Rochette *et al.* propose, pour les régions de la vallée d'Ottawa et du sud-ouest du Québec, un prolongement de la saison de croissance à l'automne de 16 jours (du 29 septembre au 15 octobre). Pour le territoire de notre étude, la moyenne des scénarios suggère que la date médiane de premier gel automnale reculera de 11 jours entre la période 1961 à 1990 et celle 2041 à 2070 (du 24 septembre au 5 octobre.)

Concernant le dernier gel printanier, l'étude de Rochette propose le 29 avril comme date moyenne historique et prévoit le 15 avril pour la période du futur, un avancement de 2 semaines. Dans notre cas, le tableau 8 indique un avancement de la date du dernier gel printanier de 17 jours, du 3 mai au 14 avril.

L'indicateur de température annuelle minimale est aussi commun aux deux études. La moyenne de nos scénarios climatiques suggère une augmentation de 3,9 °C entre la période historique de 1960 à 1989 et celle de 2041 à 2070 (de -33,0 °C à -29,1°C), alors que Rochette *et al.* proposent, pour tout l'est du Canada, une augmentation de TAM de 4,7°C (de -30,6°C pour la période de 1961 à 1990 à -25,9°C pour la période de 2040 à 2069).

Nous pouvons donc constater qu'il s'agit de valeurs tout à fait comparables, malgré les différences de méthodologies et des régions à l'étude.

Pour l'indicateur DJ-GP, l'étude de Rochette *et al.* propose qu'il n'y aura pas de changement dans la moyenne régionale (tout l'est du Canada) de cet indicateur de risque de dommages aux bourgeons dus aux gels printaniers. Par contre, le portrait par région suggère des différences. En effet, la modélisation indique une légère augmentation des DJ-GP pour la région comparable à la nôtre (+7 DJ), mais une augmentation plus importante pour le sud de l'Ontario (+39 DJ). Notons que le changement de cet indicateur (-12 DJ) n'était pas robuste selon notre analyse et que cette information découle, entre autres, du recours à un ensemble de simulations alors que l'étude de Rochette porte seulement sur un modèle de climat.

Une étude de Winkler *et al.* (2002) sur les changements climatiques et les arbres fruitiers de la région des Grands Lacs a eu des conclusions semblables aux nôtres, soit : une saison de croissance allongée, une légère diminution des températures froides mais peu de changement dans les risques des dommages dus aux gels printaniers. Ils ont aussi noté le risque d'une augmentation des générations d'insectes nuisibles, surtout aux sites de production nordiques. Ils ont signalé l'importance d'évaluer des événements de seuil au lieu des changements des moyennes cumulatives. Toutefois, leurs résultats étaient souvent contradictoires selon les modèles climatiques utilisés et, parfois, les changements prévus selon les scénarios climatiques étaient très différents selon les stations étudiées.

Par ailleurs, les résultats d'une étude récente réalisée dans la vallée de l'Okanagan en Colombie-Britannique (Neilsen *et al.*, 2001), où l'hiver est beaucoup moins rigoureux qu'au Québec, suggèrent que, dans cette région, les risques dus à la chaleur et reliés à la production des pommes deviendront plus importants et que d'autres fruits pourraient se cultiver d'ici 2070 à 2099.

5 Conclusion

Les résultats des cinq scénarios climatiques indiquent que, d'ici 2040 à 2069, il y aura :

- un allongement de la saison de production des pommes, (entre 23 à 32 jours additionnels);
- moins de dommages causés aux pommiers dus aux froids intenses;
- peu de changement dans les dommages causés aux bourgeons dus aux gelées printanières;
- peu de changement des précipitations estivales ou automnales.

5.1 *Adaptation aux changements climatiques*

En matière d'adaptation, on peut conclure que, d'ici 2040 à 2069 :

- la production de la pomme restera une culture adaptée aux conditions climatiques des régions pomicoles actuelles du Québec;
- il y aura possibilité d'utiliser des variétés (ou cultures) qui ont besoin d'une plus longue saison de croissance que celles utilisées à l'heure actuelle;
- il y aura possibilité pour des cultures ou des variétés plus vulnérables aux froids intenses;
- il y aura un besoin de voir à améliorer l'efficacité de l'irrigation des pommiers.

Malgré les résultats des scénarios climatiques qui démontrent des conditions climatiques généralement plus favorables pour les pommiers d'ici 50 ans, nous n'avons pas assez d'information pour proposer un agrandissement dans le futur de la culture de la pomme en dehors des régions actuelles de la production au Québec. Tel que noté dans l'introduction, les régions productrices de pommes sont généralement situées dans des régions géographiques spécifiques, où le climat local offre une certaine atténuation des risques dus au gel, où le sol y est favorable et où il existe des possibilités de mise en marche du produit. La situation mondiale de la production de la pomme est probablement le facteur qui déterminera si de nouvelles régions au Québec consacreront des superficies à la pomiculture. Si les conditions climatiques deviennent plus défavorables pour la production de la pomme dans les régions principales de sa production actuelle, des régions plus nordiques, au Québec et ailleurs, pourraient jouir d'un avantage dans cette production.

Quant aux possibilités accrues pour l'établissement d'autres cultures pérennes telles que la poire, la prune ou la vigne, on remarque à l'annexe 7.5 que les superficies consacrées actuellement à ces cultures sont très limitées et se retrouvent généralement dans les mêmes régions que les pommiers. Les pomiculteurs seraient donc les producteurs les plus susceptibles d'être intéressés par la possibilité de nouvelles cultures pérennes.

Avant d'envisager l'introduction, à plus grande échelle, de nouveaux cultivars ou de nouvelles cultures, les producteurs et les conseillers du milieu agricole auraient avantage à déterminer les moyens (suivis climatiques, vergers « pilotes d'essais », etc.) qui seraient les plus pertinents pour saisir de nouvelles opportunités au bon moment, c'est-à-dire, les opportunités climatiques et de marché.

Ces décisions impliquent des investissements et des risques importants et doivent être accompagnées d'une stratégie de mise en marché. L'information de la modélisation climatique n'est pas de nature à pouvoir nous renseigner à savoir à quel moment il serait justifié d'anticiper des conditions climatiques permettant ces cultures sans risques excessifs.

D'ailleurs, prévoir l'adaptabilité bioclimatique des arbres fruitiers au froid et aux autres facteurs climatiques est un phénomène complexe. Par exemple, on note que les cerisiers peuvent gagner de la résistance au froid si la température descend lentement. Une descente abrupte à -25°C peut tuer un arbre, tandis qu'une descente progressive de température jusqu'à -25°C n'est pas meurtrière.⁶ La lutte aux maladies et aux insectes nuisibles aux pommiers est liée étroitement aux conditions climatiques, mais cette relation est aussi très complexe.

En ce qui concerne les précipitations prévues selon les scénarios climatiques, puisque bon nombre de vergers dépendent maintenant de l'irrigation, la disponibilité de l'eau est toujours une préoccupation du secteur pomicole. Étant donné les prévisions de températures plus élevées et une demande pour l'eau plus grande des autres secteurs de la population, il est évident qu'on ne pourra pas compter sur une plus grande disponibilité de l'eau dans le futur.

Il faudra donc prévoir des méthodes de gestion de l'eau pour éviter un éventuel conflit d'usage des ressources en eau. Une stratégie importante, pour l'adaptation aux changements climatiques et pour assurer la pérennité des vergers, sera pour le développement et d'adoption de mesures de stockage des réserves d'eau et leur utilisation efficace à des fins d'irrigation.

5.2 Méthodologie

Tel qu'expliqué dans l'exemple de la résistance au froid des cerisiers, les facteurs climatiques exprimés sous forme d'indicateurs n'ont qu'une capacité limitée d'exprimer la relation complexe entre les arbres fruitiers et le climat. Nous avons vu que les indicateurs choisis ont une certaine capacité de faire ressortir les conditions climatiques responsables des dommages historiques causés aux pommiers par le froid, mais il faut les voir seulement comme des indicateurs imparfaits et ne pas leur prêter des qualités de prévision.

Les conclusions, quant aux conditions climatiques futures, sont essentiellement les mêmes qu'on tire d'une interprétation des informations générales des scénarios climatiques (allongement de la saison de croissance, moins d'occurrences de froids intenses, peu de changement au niveau des précipitations). Toutefois, les résultats de cette étude nous permettent de croire que l'augmentation de la variabilité pour ces indicateurs dans le sud du Québec n'est pas présente, ce qui devrait reconforter les producteurs pomicoles.

L'étude de l'indicateur particulier aux pommiers, DJ-GP, semble indiquer que nous n'avons pas à appréhender une augmentation des risques dus aux gels tardifs dans nos régions de production pomicole d'ici 2041 à 2069. Toutefois, cet indicateur est limité dans sa capacité de bien représenter le risque des dommages observés des vergers, entre autres parce que les conditions climatiques des vergers ne sont pas celles des stations météo utilisées.

⁶ Communication personnelle, Diane Neilsen, Gaétan Bourgeois.

5.3 Recommandations

Ces résultats ne démontrent pas la nécessité, pour les producteurs de pommes du Québec, d'effectuer un revirement brusque dans leur gestion actuelle. Sans pouvoir offrir des stratégies spécifiques d'adaptation, cette étude peut permettre aux intervenants du secteur pomicole de déterminer **un processus** qui favorisera la prise de décision optimale des producteurs afin de tenir compte de l'évolution climatique.

Étant donné:

- la complexité et les interactions des impacts biologiques en réponse aux changements climatiques;
- le manque de données climatiques qui représentent les conditions climatiques des vergers qui sont de qualité suffisante pour permettre leur utilisation dans une étude de cette nature;
- l'importance des facteurs non-climatiques dans la production de la pomme;

une démarche d'adaptation du secteur aux changements climatiques aura avantage à :

- mettre l'accent sur les risques actuels liés aux conditions climatiques et identifier les moyens pour les réduire;
- s'assurer de la continuité dans la compilation et le suivi des données climatiques et bioclimatiques des vergers et la consolidation des stations météorologiques en verger afin de mieux juger de l'importance des changements;
- s'appuyer sur le dépistage des ravageurs (insectes, acariens, maladies, etc.) et la prévision annuelle des risques aux pommiers;
- soutenir le développement et l'utilisation des outils agroclimatiques pertinents.

6 Références

- Brochu, R. et R. Laprise. 2007. *Surface Water and Energy Budgets over the Mississippi and Columbia River Basins as Simulated by Two Generations of the Canadian Regional Climate Model*. Atmos.-Ocean. 45(1), p. 19-35.
- Déqué, M. et J. Piedelievre. 1995. *High-resolution climate simulation over Europe*, Clim. Dyn. 11, p. 321–339.
- Doucet, R. 2006. *Le climat et les sols agricoles*. Éditions Berger A.C. 700 pages.
- Gibelin, A.-L. et M. Déqué. 2003. *Anthropogenic climate change over the Mediterranean region simulated by a global variable resolution model*. Clim. Dyn. 20, p. 327–339.
- Institut de la statistique du Québec et Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. 2008. *Profil sectoriel de l'industrie horticole au Québec, Édition 2007*.
- IPCC, 2007 : *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., et Miller, H.L. éds.). Cambridge University Press. Cambridge. Royaume-Uni et New York. NY. États-Unis. 996 pages.
- Kendall, M.G. 1975. *Rank correlation methods*. 4th Edition, Charles Griffin. London. 202 pp.
- Laprise, R. 2008. *Regional climate modelling*. Jour. Comp. Phys. 227:3641-3666.
- Mann, H.B. 1945. *Nonparametric tests against trend*. Econometrica. 13: 245-259.
- Meehl, G.A., Covey, C., Delworth, T., Latif, M., McAvaney, B., Mitchell, J.F.B, Stouffer, R.J. et K.E. Taylor. 2007. *The WCRP CMIP3 Multimodel Dataset, A New Era in Climate Change Research*. BAMS, p. 1383-1394.
- Music, B. et D. Caya. 2007. *Evaluation of the Hydrological Cycle over the Mississippi River Basin as Simulated by the Canadian Regional Climate Model (CRCM)*. J. Hydromet. 8(5), p. 969-988.
- Nakicenovic, N. et R. Swart. (éds.) 2000. *Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Cambridge. Royaume-Uni and New York. NY. États-Unis. 599 pages.
- Rochette, P., Bélanger, G., Castonguay, Y., Bootsma, A., and D. Mongrain. 2004. *Climate change and winter damage to fruit trees in eastern Canada*. Can. J. Plant Sci. 84: p. 113 à 1125.

- Rousselle Gilles L. 1983. *Tree Recovery from 1980-1981 Winter Damage in Québec Province*. Compact Fruit Tree. Vol. 16, p. 111-115.
- Scinocca, J.F. and N.A. McFarlane. 2004. *The Variability of Modelled Tropical Precipitation*. J. Atmos. Sci. 61, p. 1993-2015.
- Sen, P.K. 1968. *Estimates of the Regression Coefficient based on Kendall's tau*. J. Am. Stat. Assoc. 63: p. 1379–1389.
- Statistique Canada. 2008. *Production de fruits et légumes*. Juin 2008.
- Winkler, J.A., Andresen, J.A., Guentchev, G. et R.D. Kriegel. 2002. *Possible Impacts of Projected Temperature Change on commercial Fruit Production in the Great Lakes Region*. J. Great Lakes Res. 28: p. 608-624.
- Yagouti, A., Boulet, G., Vincent, L., Vescovi, L. et É. Mékis. 2008. *Observed Changes in Daily Temperature and Precipitation Indices for Southern Québec. 1960-2005*. Atmosphere-Ocean. 46 : p. 243-256.
- Zhang, X., Vincent, L.A., Hogg, W.D. et A. Niitsoo. 2000. *Temperature and Precipitation Trends in Canada during the 20th Century*. Atmosphere-Ocean 38: p. 395-429.

7 Annexes

7.1 Validation des indicateurs sur les séries simulées (1961 à 1990)

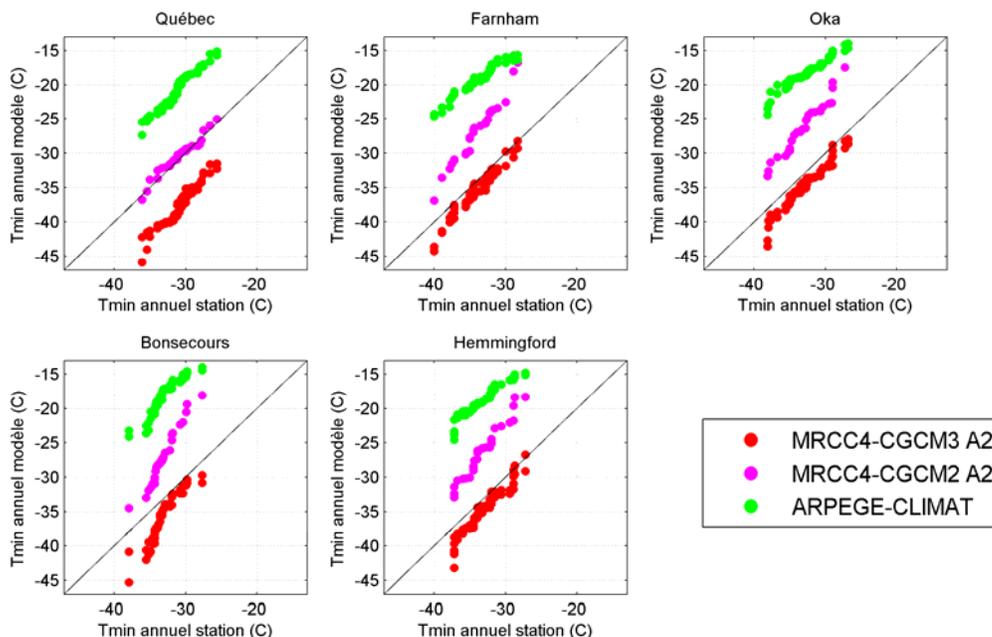


Figure A 1 : QQ-plot du minimum annuel de la température minimale (TAM) observée et simulée.

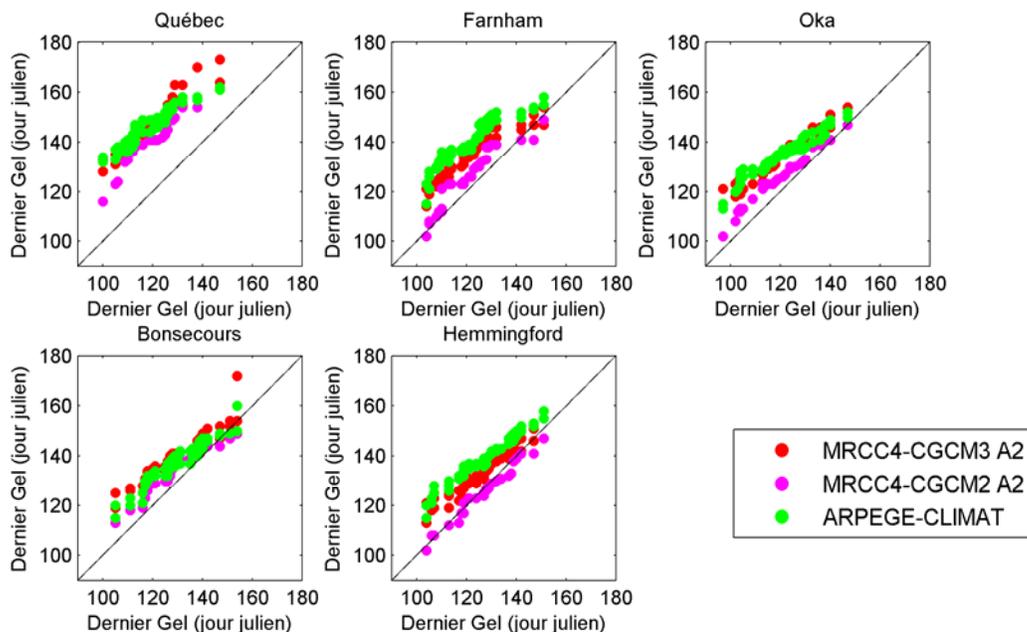


Figure A 2 : QQ-plot du Dernier Gel printanier (GP) observé et simulé.

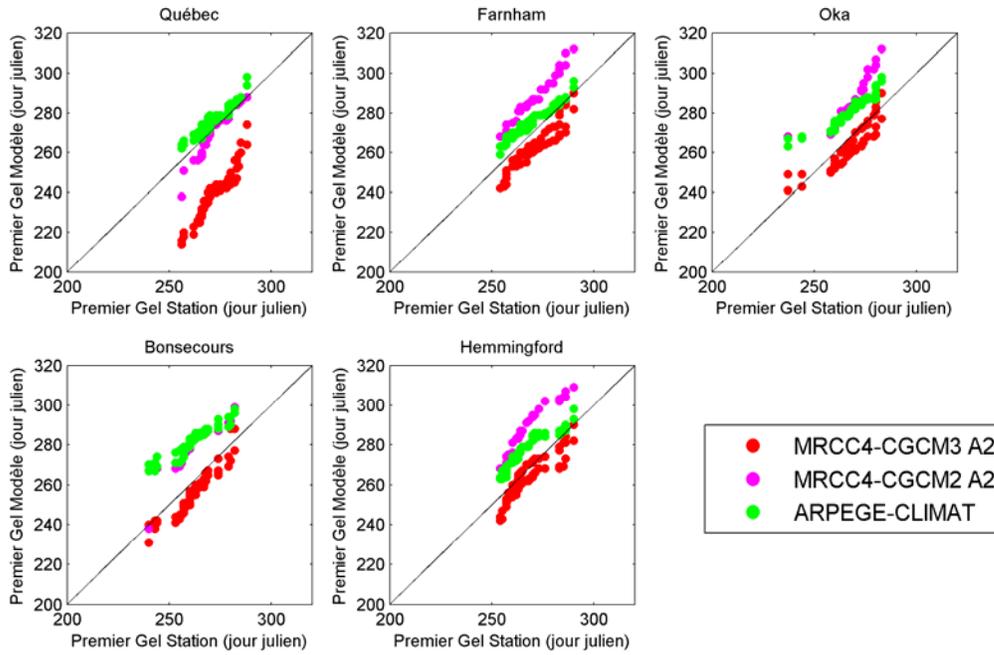


Figure A 3 : QQ-plot du Premier Gel automnal (GA) observé et simulé.

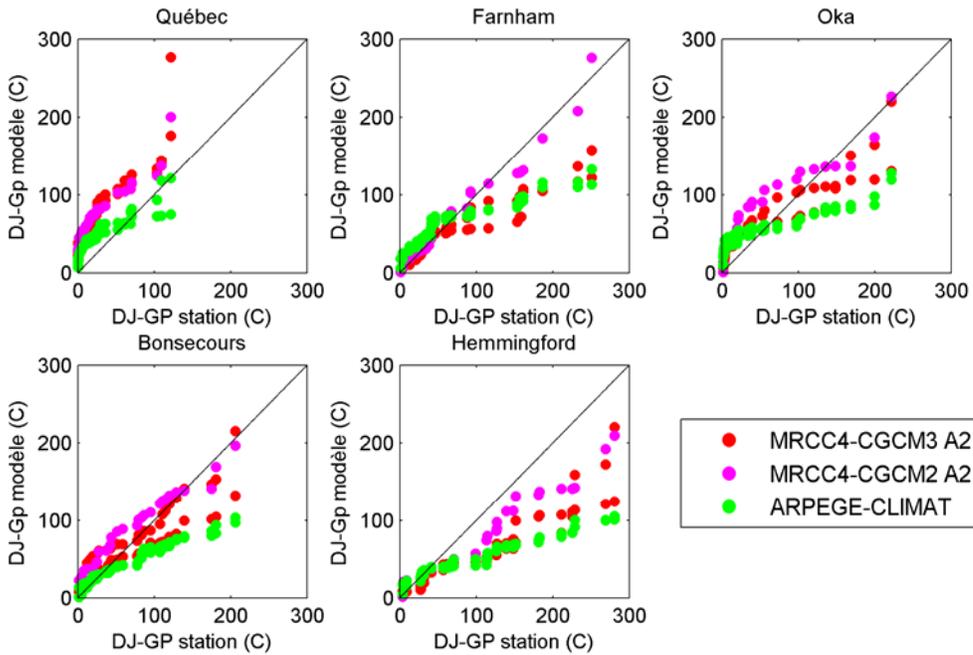


Figure A 4 : QQ-plot du cumul de Degrés-Jours de croissance avec le dernier gel printanier (DJ-GP) observé et simulé

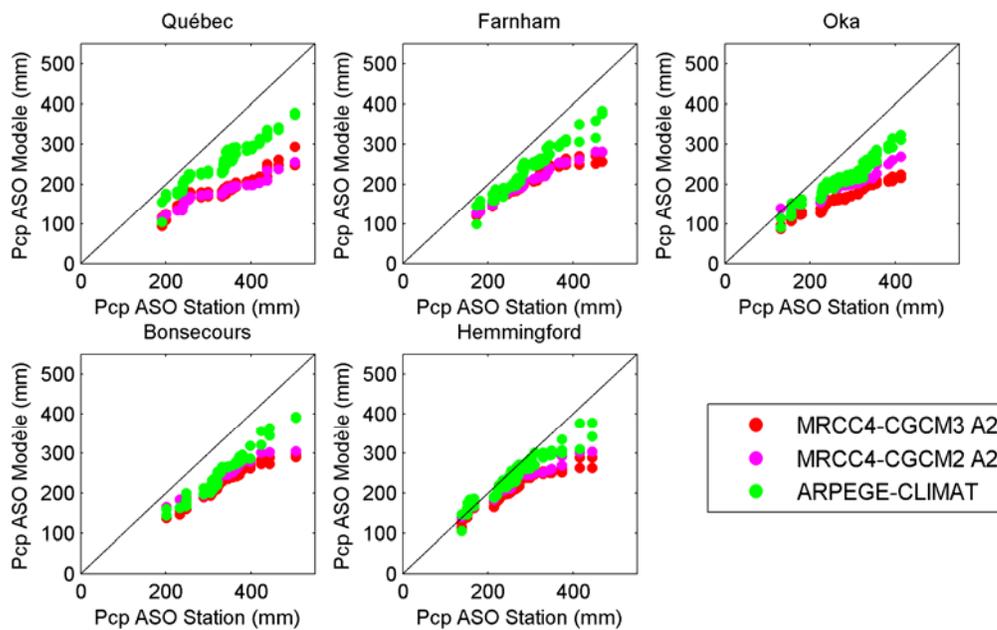


Figure A 5 : QQ-plot des précipitations automnales observées et simulées

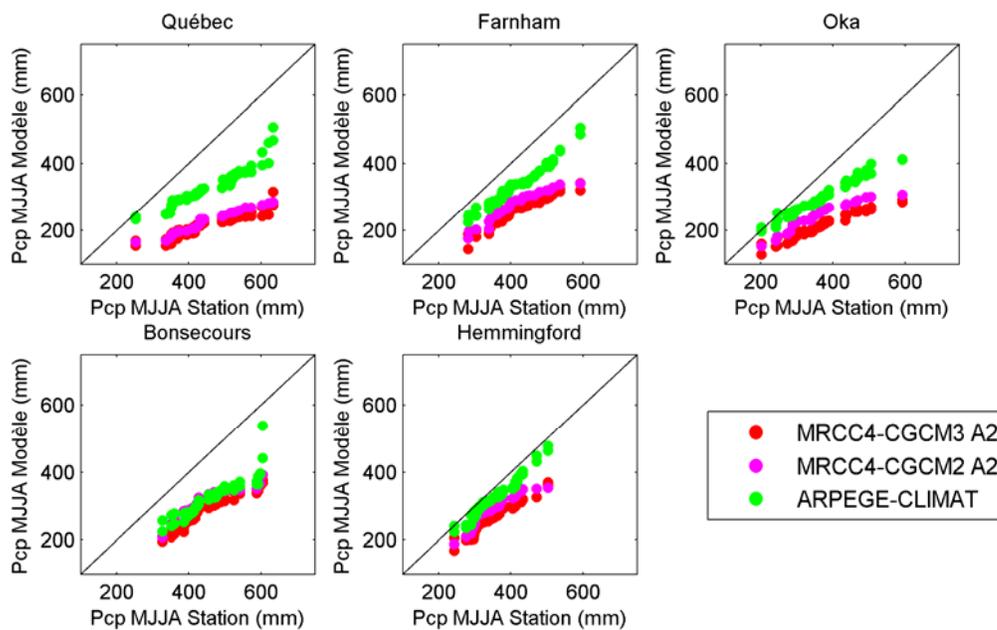


Figure A 6 : QQ-plot des précipitations printanières observées et simulées.

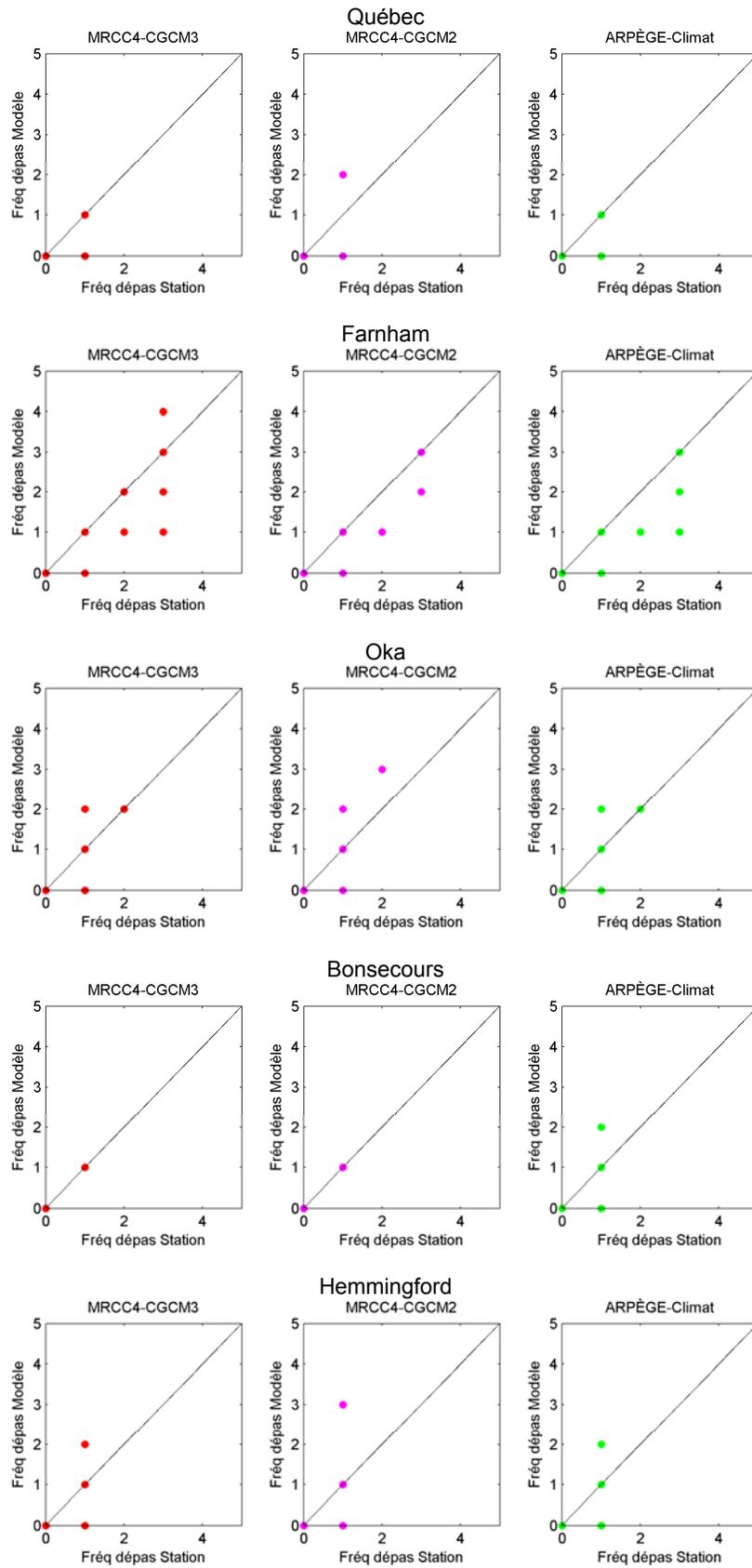


Figure A 7 : QQ-plot de la fréquence de dépassement de l'équivalent percentile de -35 C

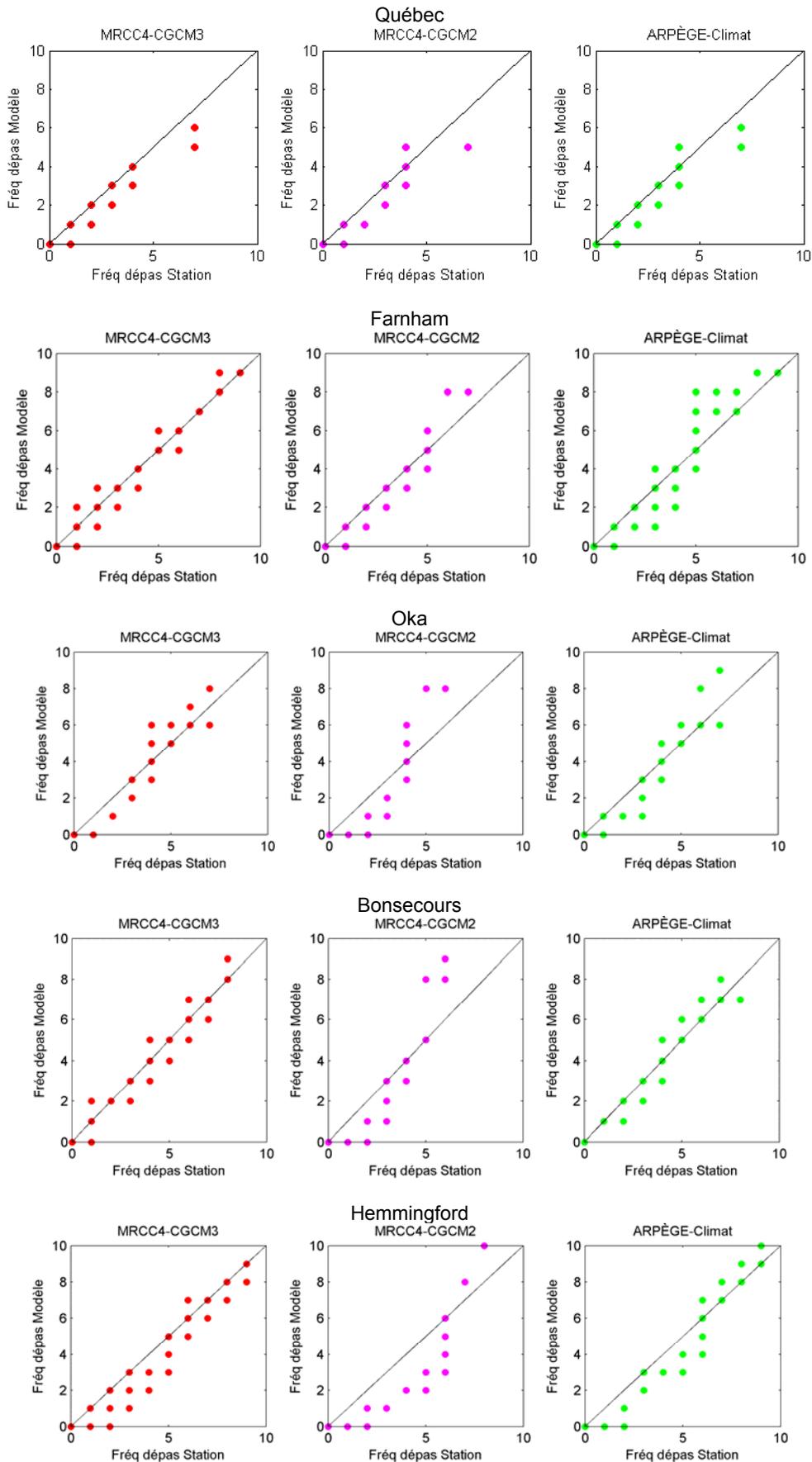


Figure A 8 : QQ-plot de la fréquence de dépassement de l'équivalent percentile de -30 C

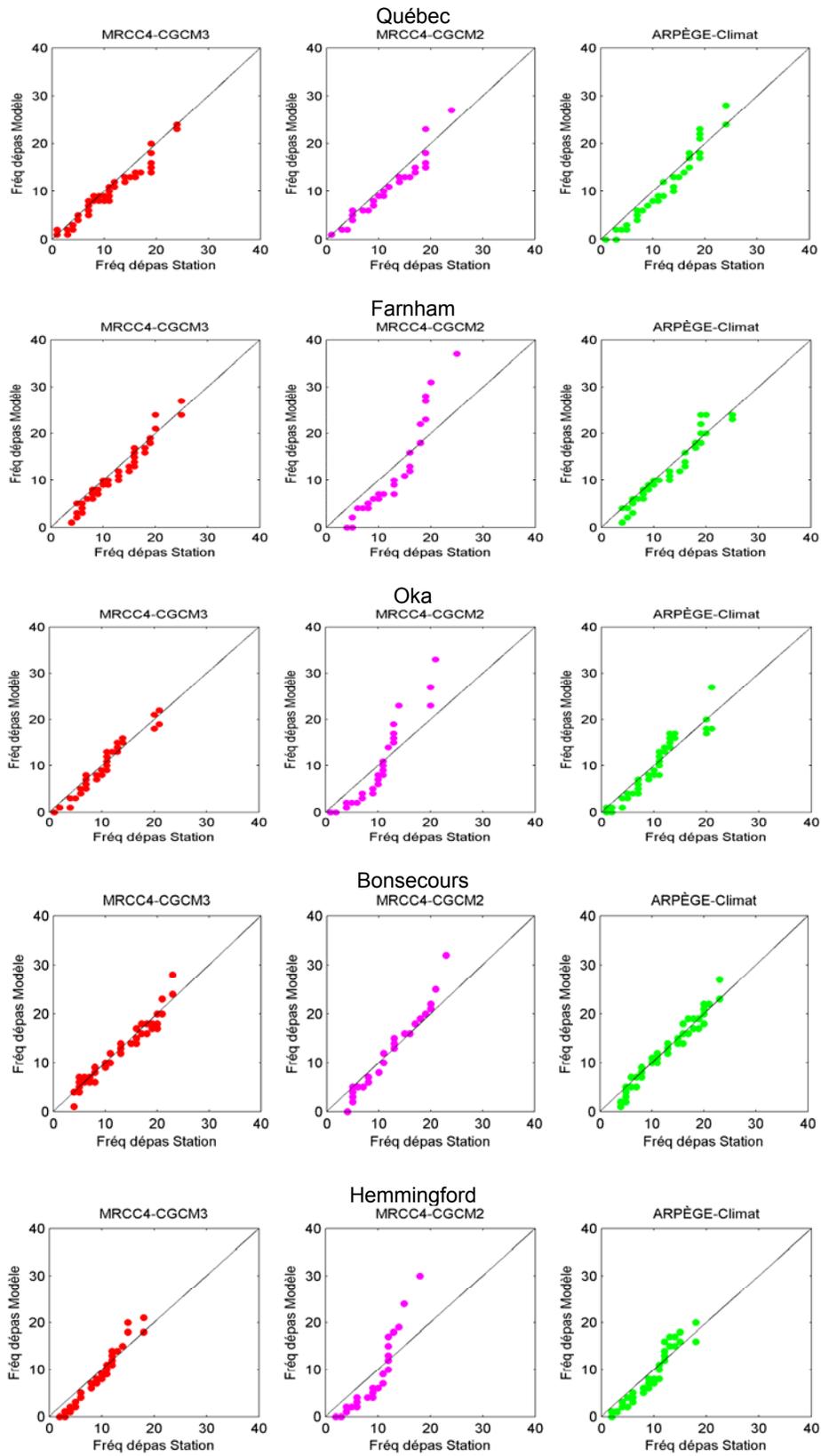


Figure A 9 : QQ-plot de la fréquence de dépassement de l'équivalent percentile de -25 C

7.2 Représentations historiques

Tableau A 1 : Températures minimales annuelles (°C)

Date	Stations				
	Oka	Québec-A	Bonsecours	Farnham	Hemmingford
1960	-27,8	-32,8	-35,9	-32,8	-33,1
1961	-29,5	-30,0	-33,6	-32,8	-29,4
1962	-34,4	-36,1	-37,9	-32,2	-33,9
1963	-32,8	-31,1	-31,8	-37,2	-35,6
1964	-26,8	-28,3	-29,8	-28,3	-27,2
1965	-30,4	-31,7	-33,9	-31,7	-30,6
1966	-29,1	-30,6	-30,4	-35,0	-34,4
1967	-32,4	-33,3	-34,1	-32,8	-37,2
1968	-30,7	-31,7	-34,3	-32,2	-35,0
1969	-29,0	-25,6	-27,7	-28,9	-28,9
1970	-33,9	-28,3	-31,9	-34,4	-33,3
1971	-38,1	-33,9	-34,3	-38,9	-33,3
1972	-37,7	-32,8	-33,6	-40,0	-36,7
1973	-36,7	-30,0	-33,3	-35,0	-32,2
1974	-29,0	-32,2	-34,3	-37,2	-37,2
1975	-32,7	-31,1	-32,9	-31,1	-33,9
1976	-38,0	-33,9	-32,2	-37,2	-37,2
1977	-27,3	-29,1	-31,9	-30,0	-28,9
1978	-33,2	-26,6	-29,9	-35,0	-32,2
1979	-35,0	-30,4	-34,9	-35,6	-32,8
1980	-32,6	-32,2	-34,6	-34,5	-34,0
1981	-35,6	-35,4	-35,5	-37,8	-34,5
1982	-35,2	-35,0	-34,3	-37,5	-36,0
1983	-33,5	-29,6	-34,2	-34,5	-32,0
1984	-34,7	-30,9	-33,8	-32,0	-32,0
1985	-29,5	-27,8	-35,2	-34,5	-31,5
1986	-30,7	-28,0	-33,3	-32,5	-28,7
1987	-35,0	-27,5	-33,2	-35,5	-34,5
1988	-32,0	-31,2	-30,8	-33,5	-34,5
1989	-31,5	-31,6	-33,1	-35,5	-32,0
1990	-26,0	-27,3	-28,2	-29,5	-29,0
1991	-32,0	-32,4	-32,3	-31,5	-30,0
1992	-31,0	-30,6	-31,8	-34,0	-35,0
1993	-36,0	-32,6	-35,7	-41,5	-41,0
1994	-35,0	-33,0	-35,3	-42,0	-41,0
1995	-30,0	-29,5	-30,0	-30,0	-35,5
1996	-32,0	-30,3	-31,0	-34,0	-35,0
1997	-35,0	-32,6	-32,0	-33,0	-32,0
1998	-31,0	-27,5	-29,0	-33,5	-32,5
1999	-30,0	-33,1	-33,0	-32,0	-37,0
2000	-32,0	-31,2	-30,5	-31,5	-29,0
2001	-29,0	-25,8	-26,7	-33,0	-31,5
2002	-24,0	-29,6	-28,5	-26,5	-22,5
2003	-30,0	-33,0	-36,0	-33,0	-33,0
Médiane 1961-1990	-32,7	-31,0	-33,5	-34,5	-33,3
Moyenne 1961-1990	-32,4	-30,8	-33,0	-34,1	-33,0
Écart-type 1961-1990	3,3	2,7	2,2	3,0	2,8
Médiane 1960-2003	-32,0	-31,1	-33,2	-33,5	-33,2
Moyenne 1960-2003	-32,0	-30,8	-32,7	-33,9	-33,1
Écart-type 1960-2003	3,3	2,5	2,5	3,3	3,5

Tableau A 2 : Occurrences de températures inférieures ou égales à -35°C

Date	Stations				
	Oka	Québec-A	Bonsecours	Farnham	Hemmingford
1960	0	0	1	0	0
1961	0	0	0	0	0
1962	0	1	1	0	0
1963	0	0	0	1	1
1964	0	0	0	0	0
1965	0	0	0	0	0
1966	0	0	0	1	0
1967	0	0	0	0	1
1968	0	0	0	0	1
1969	0	0	0	0	0
1970	0	0	0	0	0
1971	1	0	0	3	0
1972	1	0	0	1	1
1973	1	0	0	2	0
1974	0	0	0	1	1
1975	0	0	0	0	0
1976	2	0	0	3	1
1977	0	0	0	0	0
1978	0	0	0	1	0
1979	1	0	0	3	0
1980	0	0	0	0	0
1981	1	1	1	3	0
1982	1	1	0	2	1
1983	0	0	0	0	0
1984	0	0	0	0	0
1985	0	0	1	0	0
1986	0	0	0	0	0
1987	1	0	0	1	0
1988	0	0	0	0	0
1989	0	0	0	1	0
1990	0	0	0	0	0
1991	0	0	0	0	0
1992	0	0	0	0	1
1993	1	0	1	2	3
1994	1	0	1	2	2
1995	0	0	0	0	1
1996	0	0	0	0	1
1997	1	0	0	0	0
1998	0	0	0	0	0
1999	0	0	0	0	1
2000	0	0	0	0	0
2001	0	0	0	0	0
2002	0	0	0	0	0
2003	0	0	0	0	0
Total 1961-1990	9	3	4	23	7
Total 1960-2003	12	3	6	27	16

Tableau A 3 : Occurrences de températures inférieures ou égales à -30°C

Date	Stations				
	Oka	Québec-A	Bonsecours	Farnham	Hemmingford
1960	0	2	2	2	2
1961	0	1	3	6	0
1962	4	4	5	2	3
1963	2	1	1	5	4
1964	0	0	0	0	0
1965	1	1	1	1	1
1966	0	1	2	5	3
1967	3	7	4	5	7
1968	2	4	6	9	6
1969	0	0	0	0	0
1970	6	0	5	8	4
1971	5	4	5	7	3
1972	1	2	1	6	3
1973	7	1	5	6	4
1974	0	3	3	3	2
1975	4	4	4	2	1
1976	6	4	4	9	5
1977	0	0	1	1	0
1978	3	0	0	3	3
1979	8	2	7	8	3
1980	3	2	2	5	4
1981	3	3	5	6	4
1982	5	3	8	6	4
1983	1	0	3	2	1
1984	3	2	4	4	1
1985	0	0	3	2	2
1986	1	0	1	3	0
1987	2	0	2	5	3
1988	3	1	1	2	2
1989	4	3	9	6	2
1990	0	0	0	0	0
1991	2	2	1	1	1
1992	2	2	2	3	3
1993	6	4	6	10	10
1994	9	7	6	15	10
1995	2	0	1	1	3
1996	3	1	2	3	3
1997	6	4	3	4	2
1998	1	0	0	1	1
1999	1	1	1	1	1
2000	2	1	1	5	0
2001	0	0	0	2	1
2002	0	0	0	0	0
2003	5	2	4	3	5
Médiane 1961-1990	2,5	1,0	3,0	5,0	3,0
Moyenne 1961-1990	2,6	1,8	3,2	4,2	2,5
Écart-type 1961-1990	2,3	1,8	2,4	2,7	1,9
Médiane 1960-2003	2,0	1,0	2,0	3,0	2,5
Moyenne 1960-2003	2,6	1,8	2,8	4,0	2,7
Écart-type 1960-2003	2,4	1,8	2,3	3,2	2,4

Tableau A 4 : Occurrences de températures inférieures ou égales à -25°C

Date	Stations				
	Oka	Québec-A	Bonsecours	Farnham	Hemmingford
1960	3	6	6	6	7
1961	9	12	16	19	10
1962	10	19	18	16	14
1963	7	14	11	20	8
1964	1	3	5	4	3
1965	7	7	5	10	9
1966	4	7	6	6	6
1967	12	16	13	16	11
1968	9	24	21	19	18
1969	4	1	4	6	6
1970	21	11	20	25	12
1971	13	17	15	18	12
1972	11	14	5	9	6
1973	11	14	13	15	15
1974	7	10	8	8	10
1975	13	15	13	15	12
1976	20	19	16	16	12
1977	2	4	7	5	2
1978	7	7	5	10	8
1979	14	19	17	19	11
1980	10	9	10	13	9
1981	11	11	11	13	12
1982	13	19	19	18	13
1983	6	5	8	5	4
1984	13	11	20	13	11
1985	7	9	8	7	4
1986	5	5	5	8	5
1987	10	5	10	11	9
1988	11	8	10	8	6
1989	20	17	23	16	12
1990	4	3	4	3	2
1991	14	9	11	7	4
1992	17	16	14	12	12
1993	19	15	18	22	25
1994	24	23	20	27	26
1995	12	10	7	10	5
1996	14	12	14	12	8
1997	9	11	10	9	7
1998	5	3	3	5	5
1999	9	4	6	5	3
2000	13	9	8	11	7
2001	8	1	3	8	6
2002	0	1	1	1	0
2003	16	9	14	16	17
Médiane 1961-1990	10,0	11,0	10,5	13,0	9,5
Moyenne 1961-1990	9,7	11,2	11,5	12,4	9,1
Écart-type 1961-1990	5,0	5,9	5,8	5,7	4,0
Médiane 1960-2003	10,0	10,0	10,0	11,0	8,5
Moyenne 1960-2003	10,3	10,5	10,9	11,9	9,2
Écart-type 1960-2003	5,5	6,0	5,8	6,1	5,4

Tableau A 5 : Date du premier gel automnal (Jours Juliens)

Date	Stations				
	Oka	Québec-A	Bonsecours	Farnham	Hemmingford
1960	276	276	261	260	260
1961	273	288	260	278	260
1962	264	265	265	264	265
1963	274	257	257	257	257
1964	273	256	257	257	257
1965	270	269	243	270	260
1966	269	270	263	270	263
1967	280	279	280	254	254
1968	280	279	274	280	283
1969	263	278	262	262	262
1970	279	279	279	290	290
1971	237	270	282	286	286
1972	267	267	267	267	264
1973	260	264	260	264	264
1974	267	266	267	267	267
1975	276	275	256	276	276
1976	244	269	244	286	286
1977	280	280	255	281	255
1978	260	262	253	257	257
1979	263	266	263	263	263
1980	268	268	268	268	268
1981	274	284	274	274	273
1982	283	283	240	283	283
1983	258	283	258	283	258
1984	266	266	260	271	271
1985	276	285	257	256	285
1986	260	280	260	283	270
1987	270	282	269	270	270
1988	260	273	260	260	260
1989	270	270	268	273	268
1990	251	293	251	293	262
1991	263	265	265	273	265
1992	256	267	268	268	268
1993	263	274	263	263	264
1994	274	279	285	284	274
1995	251	292	251	254	254
1996	268	268	268	278	268
1997	267	267	265	267	275
1998	267	267	266	277	267
1999	278	278	277	278	278
2000	269	270	249	272	272
2001	258	281	258	273	273
2002	279	282	272	277	282
2003	280	292	280	280	252
Médiane 1961-1990	26-sept	29-sept	17-sept	27-sept	22-sept
Moyenne 1961-1990	24-sept	1-oct	19-sept	28-sept	25-sept
Écart-type 1961-1990	10,6	9,2	10,3	11,0	10,4
Médiane 1960-2003	25-sept	1-oct	20-sept	29-sept	24-sept
Moyenne 1960-2003	24-sept	1-oct	20-sept	29-sept	25-sept
Écart-type 1960-2003	10,0	9,1	10,3	10,1	9,8

Tableau A 6 : Date du dernier gel printanier (Jours Juliens)

Année	Stations				
	Oka	Québec-A	Bonsecours	Farnham	Hemmingford
1960	110	112	122	111	111
1961	109	125	151	151	151
1962	128	116	131	132	132
1963	122	126	126	122	132
1964	102	112	142	142	142
1965	115	125	125	125	134
1966	130	132	131	130	130
1967	133	126	127	126	127
1968	97	121	129	128	128
1969	147	147	147	147	147
1970	104	110	111	110	106
1971	114	106	135	108	107
1972	119	119	118	119	119
1973	104	105	105	104	121
1974	140	125	140	125	140
1975	118	112	118	118	118
1976	103	116	116	105	104
1977	124	128	128	128	128
1978	121	121	121	121	121
1979	126	126	127	110	127
1980	113	113	126	110	113
1981	138	138	138	113	138
1982	105	120	120	105	119
1983	117	109	138	109	137
1984	113	113	139	113	113
1985	129	129	129	129	129
1986	124	124	154	124	124
1987	136	122	136	123	139
1988	114	100	117	114	117
1989	119	113	117	119	119
1990	123	109	124	109	112
1991	104	104	139	104	118
1992	118	118	128	118	127
1993	118	118	118	98	118
1994	123	119	123	123	123
1995	127	127	127	128	115
1996	120	128	127	106	120
1997	125	112	128	110	125
1998	117	112	117	117	117
1999	118	102	132	132	133
2000	140	122	122	109	117
2001	119	119	119	119	119
2002	145	120	145	117	117
2003	108	120	120	108	124
Médiane 1961-1990	29-avr	1-mai	8-mai	30-avr	7-mai
Moyenne 1961-1990	30-avr	30-avr	9-mai	1-mai	6-mai
Écart-type 1961-1990	12,3	10,2	11,6	12,1	12,1
Médiane 1960-2003	29-avr	29-avr	7-mai	28-avr	2-mai
Moyenne 1960-2003	30-avr	29-avr	8-mai	29-avr	4-mai
Écart-type 1960-2003	11,9	9,4	10,6	11,6	10,7

Tableau A 7 : Degrés jours cumulés à partir du 1^{er} mars jusqu'à GP

Date	Stations				
	Oka	Québec-A	Bonsecours	Farnham	Hemmingford
1960	14	3	30	38	33
1961	1	22	139	233	229
1962	73	15	43	93	99
1963	39	29	52	41	114
1964	2	16	206	251	281
1965	7	23	20	46	127
1966	56	24	27	62	66
1967	53	14	38	67	57
1968	20	36	120	154	148
1969	168	122	129	187	211
1970	3	1	5	12	9
1971	3	0	59	3	4
1972	2	0	2	1	5
1973	7	1	16	31	126
1974	135	11	111	92	181
1975	14	4	8	27	27
1976	4	18	107	28	31
1977	121	69	114	161	183
1978	20	6	12	22	27
1979	98	71	84	38	115
1980	34	9	77	41	42
1981	200	109	175	88	226
1982	2	26	40	4	71
1983	16	1	87	21	140
1984	21	3	95	42	29
1985	102	52	80	116	127
1986	148	61	382	157	152
1987	222	103	181	159	269
1988	38	1	44	60	62
1989	22	5	25	34	32
1990	111	1	124	21	33
1991	21	3	186	45	111
1992	37	14	60	45	81
1993	39	27	49	1	45
1994	49	10	42	66	71
1995	77	34	55	90	34
1996	37	43	57	9	53
1997	62	0	36	15	73
1998	86	25	84	92	94
1999	29	1	135	174	175
2000	175	11	39	37	50
2001	49	27	41	51	61
2002	210	40	171	112	130
2003	13	15	64	27	97
Médiane 1961-1990	28,2	15,3	78,6	43,6	106,3
Moyenne 1961-1990	58,0	28,5	86,7	76,4	107,3
Écart-type 1961-1990	64,6	34,8	78,8	69,6	81,4
Médiane 1960-2003	37,5	15,3	59,3	45,1	76,9
Moyenne 1960-2003	59,9	25,2	82,9	70,2	98,3
Écart-type 1960-2003	62,2	30,1	70,8	63,3	71,6

Tableau A 8 : Degrés jours cumulés à partir du 1^{er} janvier jusqu'à GP

Date	Stations				
	Oka	Québec-A	Bonsecours	Farnham	Hemmingford
1960	14	3	30	38	33
1961	1	22	139	233	229
1962	73	15	43	93	99
1963	39	29	52	41	114
1964	2	16	206	251	281
1965	7	23	20	46	127
1966	56	24	27	62	68
1967	53	14	38	67	57
1968	20	36	120	156	148
1969	168	122	129	187	211
1970	3	1	5	12	9
1971	3	0	59	3	4
1972	2	0	2	1	5
1973	7	1	16	31	126
1974	135	11	111	92	181
1975	14	4	8	27	27
1976	4	18	108	28	32
1977	121	69	114	161	183
1978	20	6	12	22	27
1979	98	71	84	38	115
1980	34	9	77	41	42
1981	211	111	206	120	261
1982	2	26	40	4	71
1983	16	1	87	21	140
1984	22	3	101	45	33
1985	102	52	82	116	127
1986	148	61	382	157	152
1987	222	103	181	159	269
1988	38	1	45	60	63
1989	22	5	25	34	32
1990	111	1	124	21	33
1991	21	3	186	46	115
1992	37	14	60	45	81
1993	39	27	49	1	45
1994	52	11	48	67	74
1995	77	34	55	90	34
1996	37	43	58	10	55
1997	62	0	36	16	75
1998	86	25	84	92	94
1999	29	1	138	174	177
2000	176	11	45	40	53
2001	49	27	41	51	61
2002	210	40	173	117	134
2003	13	15	64	27	97
Médiane 1961-1990	28,2	15,3	79,6	45,4	106,3
Moyenne 1961-1990	58,4	28,5	88,0	77,6	108,8
Écart-type 1961-1990	65,5	34,9	80,2	70,0	83,2
Médiane 1960-2003	37,5	15,3	59,3	45,4	77,8
Moyenne 1960-2003	60,3	25,2	84,3	71,4	99,8
Écart-type 1960-2003	62,8	30,2	71,8	63,7	73,0

Tableau A 9 : Précipitations saisonnières (données manquantes pour les blocs ombragés)

Années	Précipitations estivales - Stations					Précipitations automnales - Stations				
	Oka	Québec	Bonsecours	Farnham	Hemmingford	Oka	Québec	Bonsecours	Farnham	Hemmingford
1960	284,9	365,1		255,2	69,9	204,7	254,6		222,8	222,7
1961	379,0	354,2		465,8	399,0	244,3	226,8		210,5	155,3
1962	151,0	409,9		362,3	244,3	118,3	375,9		283,3	310,0
1963	365,7	431,0		389,8	312,4	299,0	354,4		289,8	272,1
1964	241,4	423,7		283,9	242,8	131,6	238,3		215,2	167,3
1965	340,2	420,2		276,4	321,8	402,9	515,4		334,7	350,1
1966	290,7	368,0		339,3	351,4	179,8	354,5		217,2	156,8
1967	338,0	572,8	413,0	394,5	368,3	239,1	364,4	331,9	285,2	270,6
1968	281,3	251,8	326,2	339,4	353,8	156,4	200,0	201,0	173,6	272,9
1969	366,7	521,0	401,2	396,6	323,6	224,0	282,4	247,2	236,0	224,9
1970	245,1	419,6	454,8	434,2	300,4	280,9	356,9	310,3	333,4	302,5
1971	272,7	527,1	474,9	444,6	286,4	256,2	419,1	371,4	373,4	240,0
1972	592,8	538,3	604,5	506,8	404,4	333,2	437,7	323,2	315,2	200,1
1973	461,1	634,0	591,8	375,6	503,0	290,5	463,8	323,9	321,9	242,7
1974	343,0	556,0	588,0	516,3	280,7	161,1	256,1	313,3	189,6	121,7
1975	369,5	431,6	427,6	350,6	296,3	355,6	239,3	336,9	266,6	308,9
1976	377,5	603,8	597,5	535,9	428,0	332,3	354,3	412,3	335,1	362,7
1977	290,0	373,5	359,3	375,0	275,9	355,9	389,8	443,3	414,1	445,1
1978	300,4	336,4	426,5	413,3	367,9	230,2	298,6	288,0	246,0	223,0
1979	348,9	516,5	388,0	399,1	363,1	413,0	437,9	309,6	383,2	373,4
1980	370,2	393,5	417,2	392,8	288,9	329,8	424,4	381,7	344,4	289,7
1981	447,6	514,0	498,5	498,8	411,7	343,8	403,6	423,9	468,3	415,9
1982	388,5	351,6	352,0	362,1	343,9	269,3	253,0	250,8	282,2	265,4
1983	346,9	408,7	463,7	428,6	319,8	227,6	240,7	339,3	281,7	215,4
1984	437,2	491,2	480,0	451,6	303,1	229,1	191,1	232,6	258,3	137,5
1985	287,5	347,6	525,5	396,7	379,2	226,3	256,5	321,3	340,9	254,7
1986	433,4	621,2	487,4	592,3	471,6	346,1	437,2	345,4	365,9	374,2
1987	506,2	495,0	395,4	375,1	335,8	324,8	332,6	306,3	306,5	248,2
1988	319,4	353,6	426,8	303,1	310,2	264,6	335,8	365,6	268,4	221,2
1989	360,8	441,6	409,5	343,7	297,4	334,5	337,4	316,2	299,3	252,6
1990	419,2	433,8	542,0	478,9	405,4	295,0	401,6	504,6	452,9	329,0
1991	445,0	321,0	408,3	356,9	275,8	329,9	358,0	388,7	318,5	251,4
1992	435,8	532,0	426,6	376,2	319,4	215,0	346,0	376,2	331,0	228,4
1993	361,6	450,2	506,8	395,2	355,2	250,4	407,4	409,2	352,0	276,6
1994	407,5	603,2	632,6	500,8	343,4	215,7	243,8	240,4	224,2	208,2
1995	440,0	427,1	421,7	401,2	267,4	371,7	865,4	381,8	350,2	252,8
1996	380,7		510,8	441,8	341,6	243,3		228,8	271,4	273,6
1997	408,3		441,0	331,8	158,4	227,1		298,9		
1998	375,2		501,9	299,2	304,7	206,5		307,2		
1999	276,7		418,4	415,1	282,4	286,4		430,2	386,8	349,8
2000	434,1		416,7	430,6	425,6	237,4		222,2	260,2	238,4
2001	269,8		460,2	449,0	380,0	233,4		241,8	234,2	278,2
2002	332,6		394,5	504,5	427,2	224,2		271,5	268,7	221,4
2003	321,6		447,9	354,7	476,4	369,8		402,4	333,5	335,8
2004	307,2		586,4	386,6	367,1	174,6		300,5	205,0	170,0
2005	366,2		504,7	428,3	355,6	500,8		472,0	470,5	362,6
2006	366,2		504,7	428,3	355,6	500,8		472,0	470,5	362,6
Moyenne	359,3	451,1	465,9	403,8	336,1	276,3	351,5	336,1	306,5	267,5
Médiane	365,7	431,3	451,4	396,6	341,6	256,2	354,4	323,6	299,3	254,7
Écartype	76,9	94,4	74,8	70,9	76,6	84,7	120,2	75,1	75,6	73,7

7.3 Données de la Financière agricole du Québec

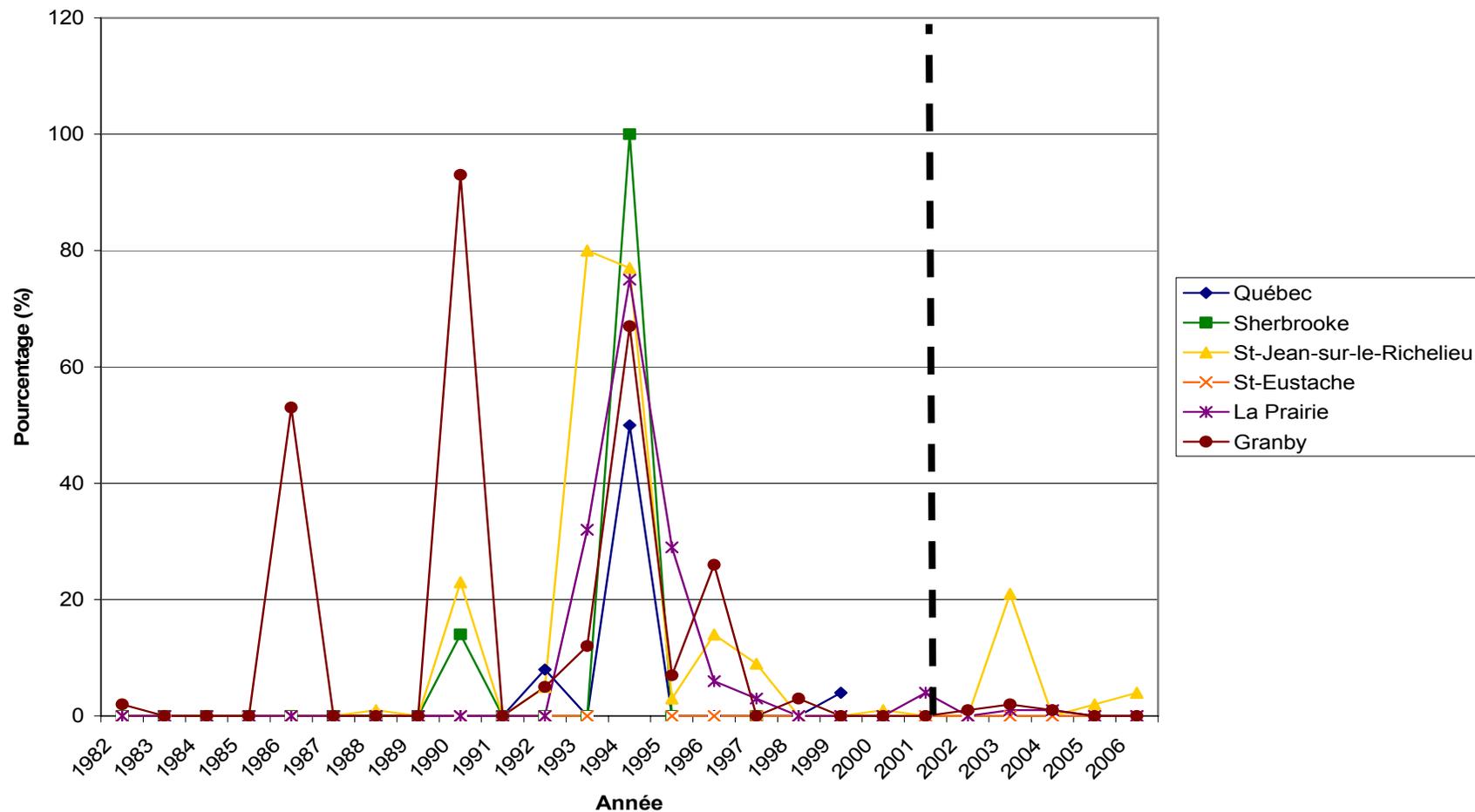


Figure A 10 : Pommiers affectés par le gel hivernal 1982 à 1999, 2000 à 2006, Financière agricole du Québec

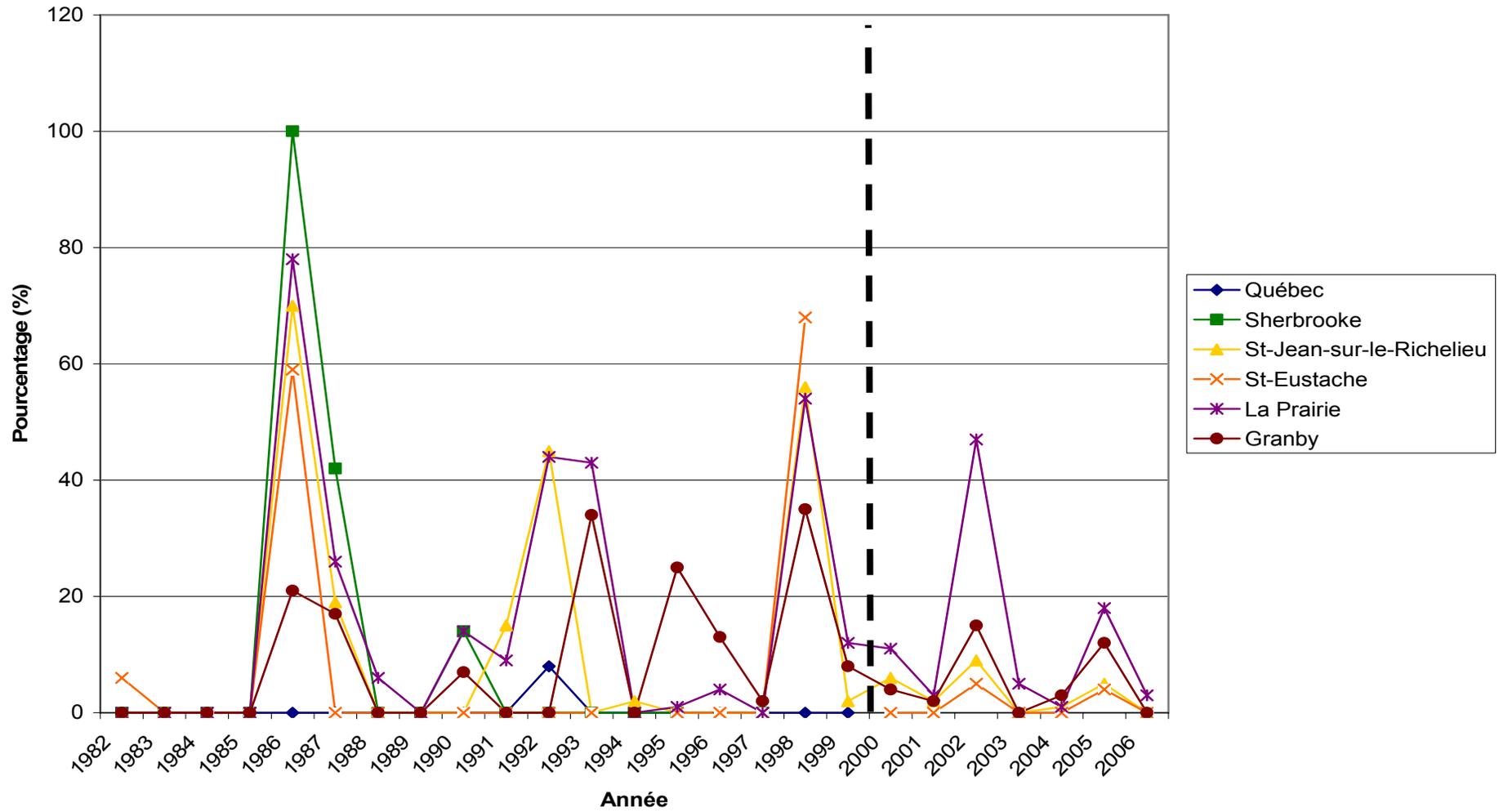


Figure A 11 : Pommiers affectés par la gelée 1982 à 1999, 2000 à 2006, Financière agricole du Québec

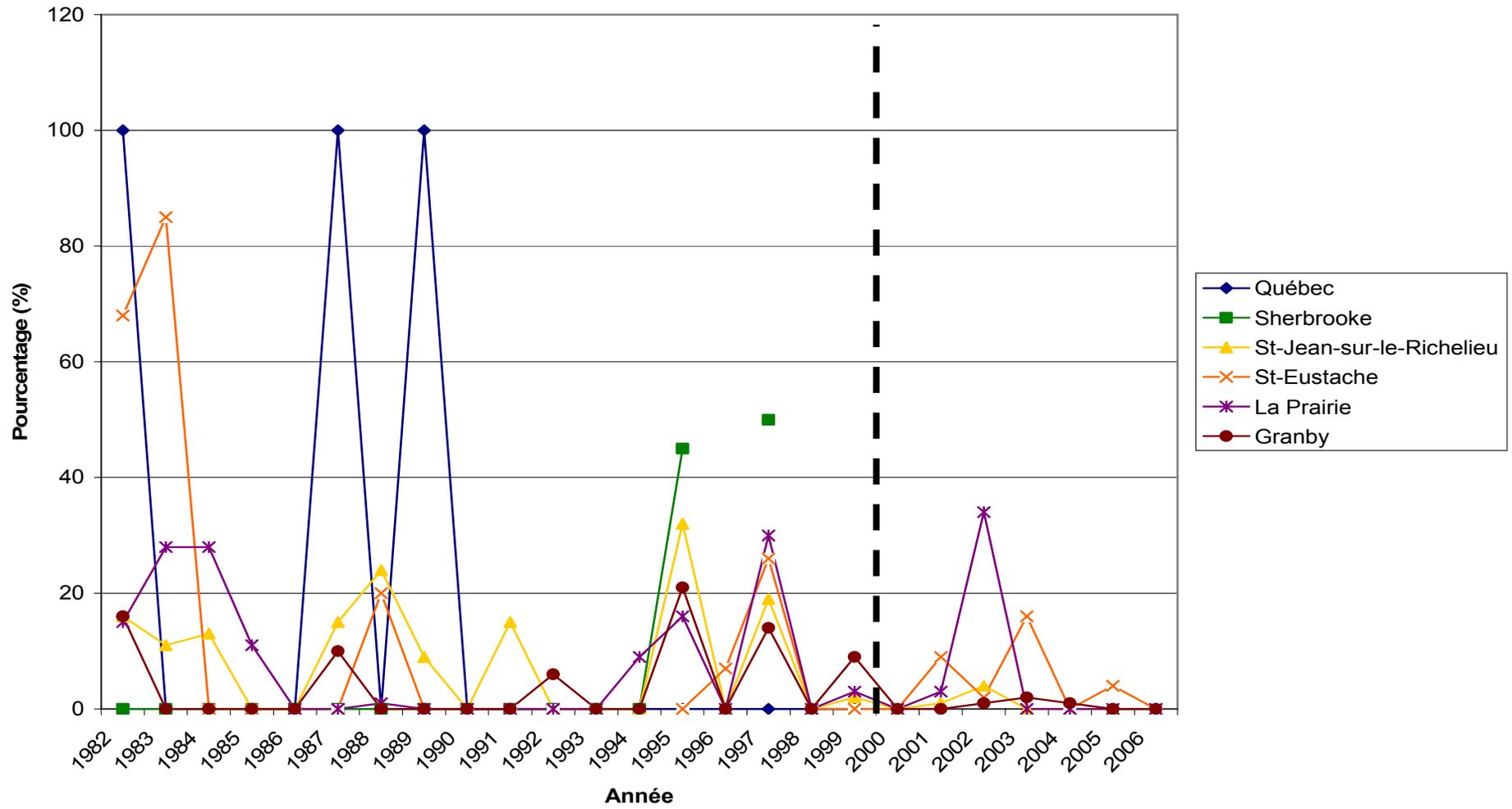


Figure A 12 : Pommiers affectés par la sécheresse, 1982 à 1999, 2000 à 2006, Financière agricole du Québec

7.4 Représentations graphiques des résultats de modélisation du futur

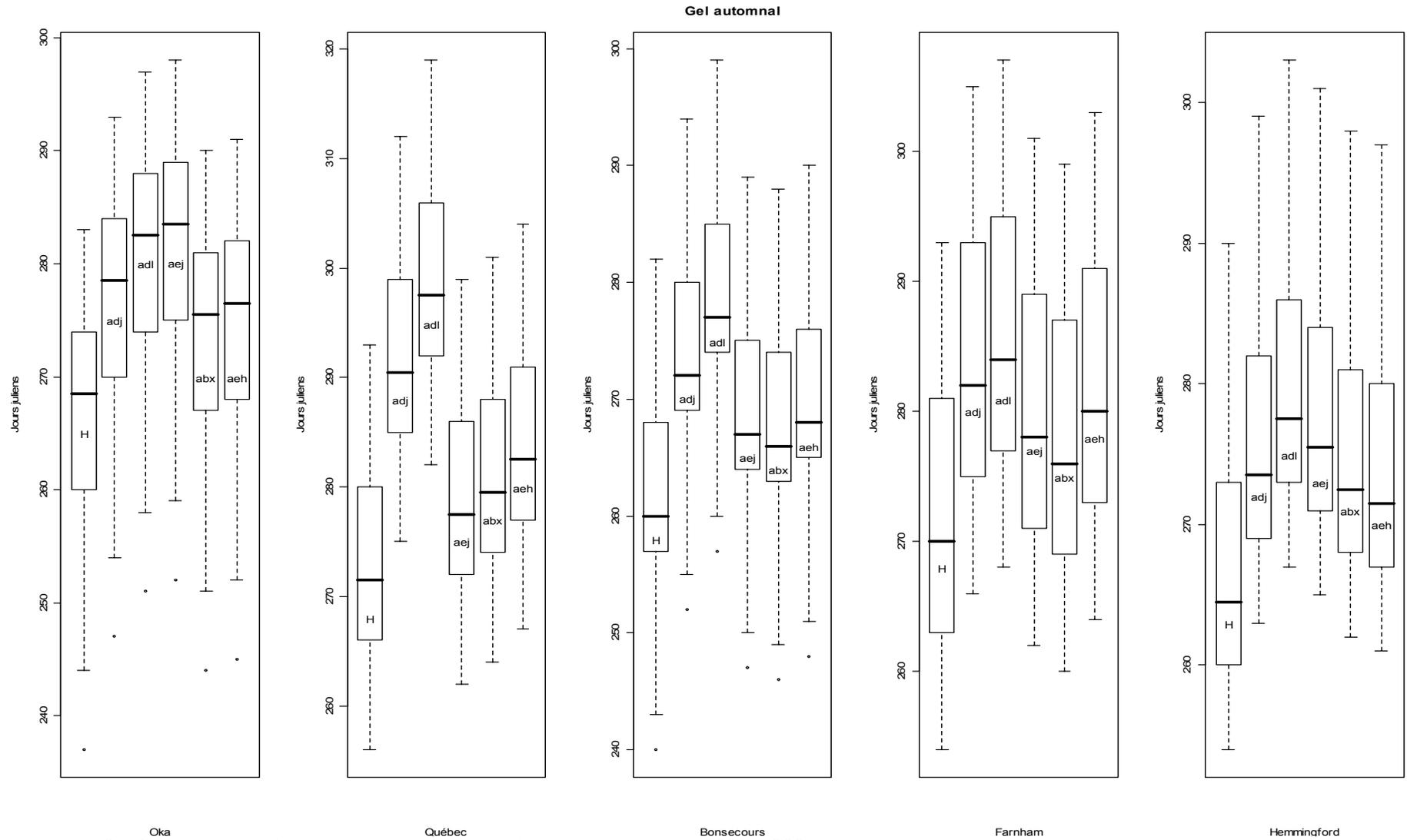


Figure A 13 : Premier gel automnal (JJ) (H = observations historiques, 1960 à 1989; adj, adl, aej, abx, aeh modèles climatiques)

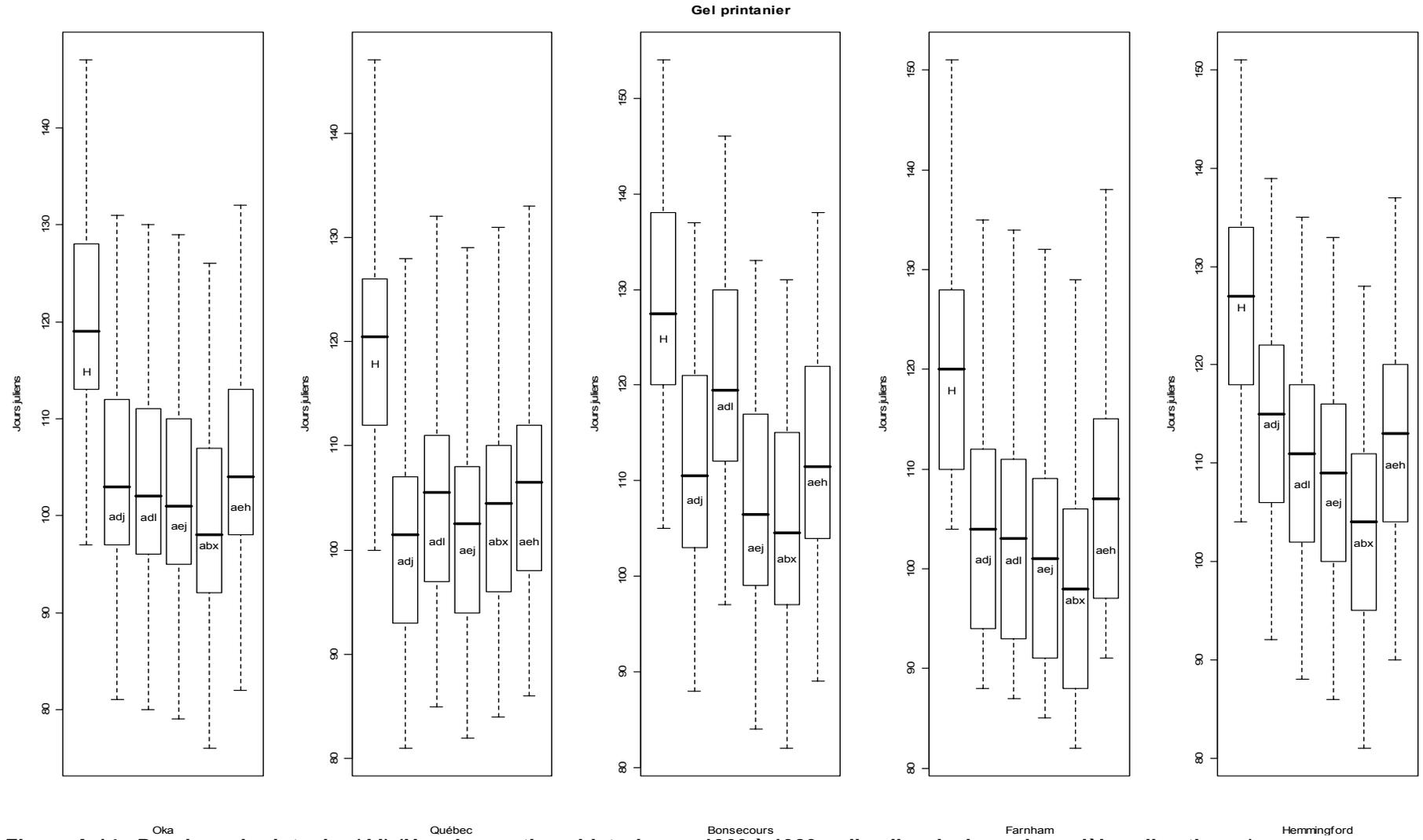


Figure A 14 : Dernier gel printanier (JJ) (H = observations historiques, 1960 à 1989; adj, adl, aej, abx, aeh modèles climatiques)

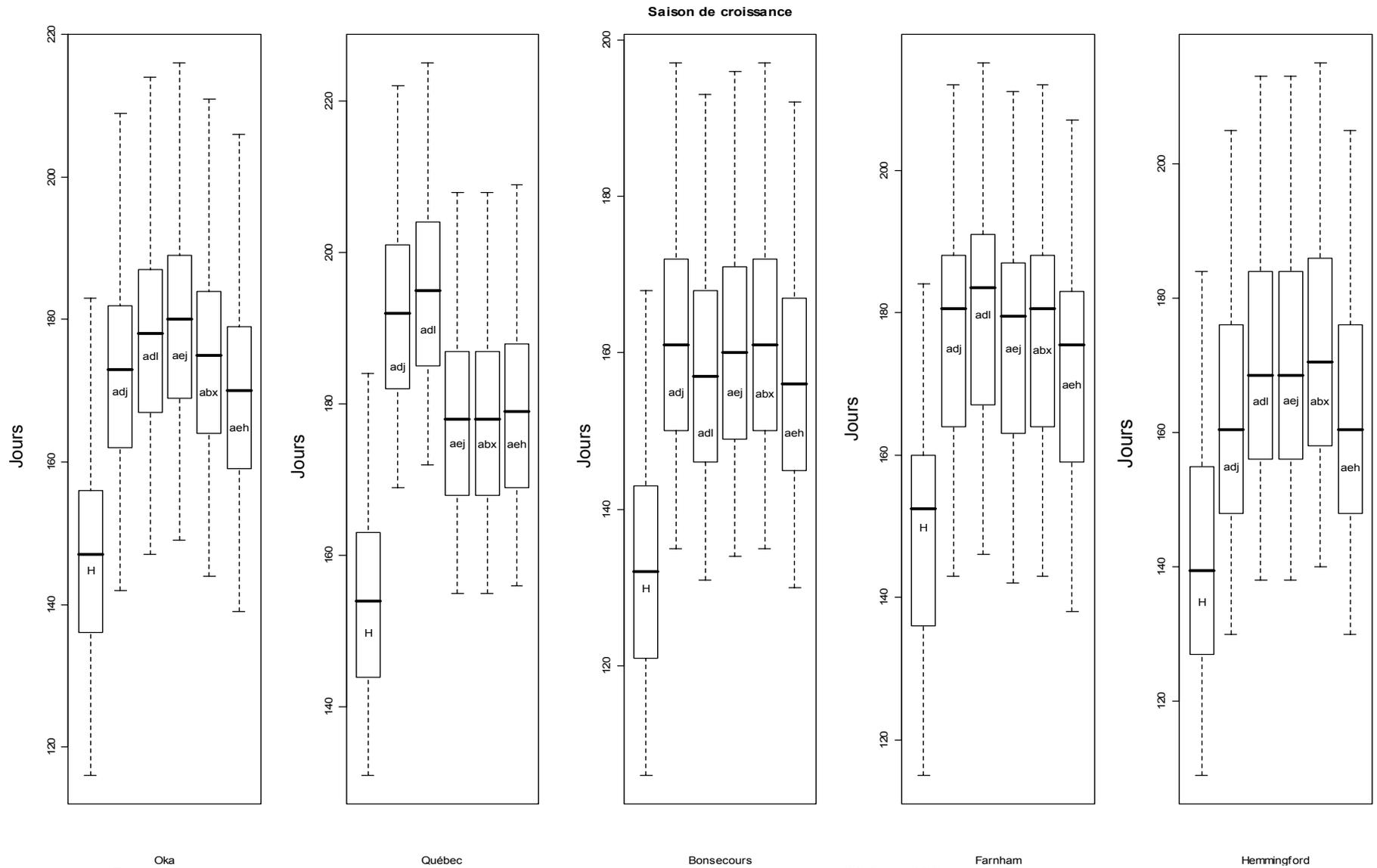
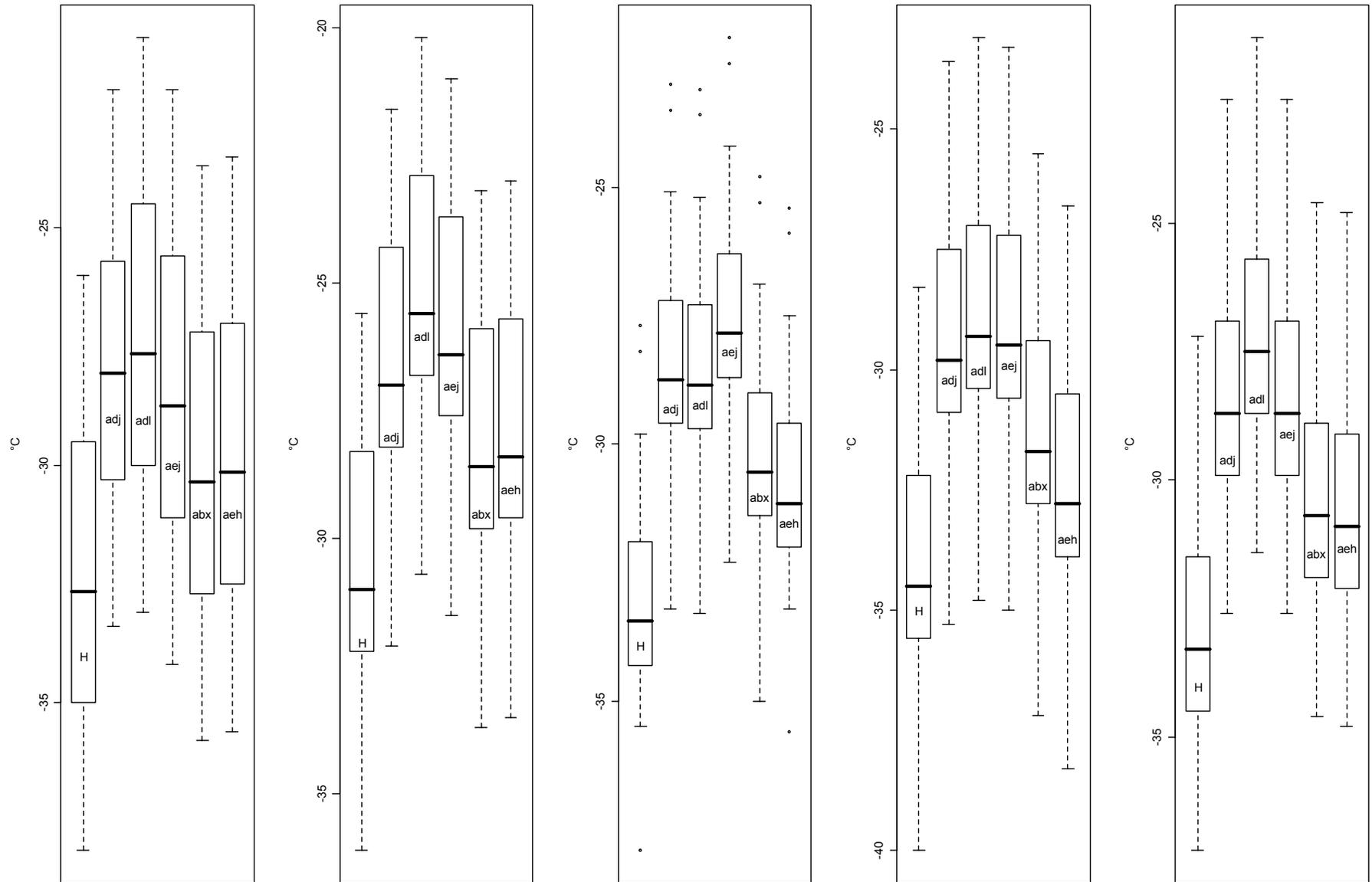


Figure A 15 : Longueur de la saison de croissance (JJ) (H = observations historiques, 1960 à 1989; adj, adl, aej, abx, aeh modèles climatiques)

Temp. annuelle minimale



Oka

Québec

Bonsecours

Farnham

Hemmingford

Figure A 16 : Température minimale annuelle. (°C) (H = observations historiques, 1960 à 1989; adj, adl, aej, abx, aeh modèles climatiques)

7.5 Localisation et superficies de production d'autres arbres fruitiers et de la vigne

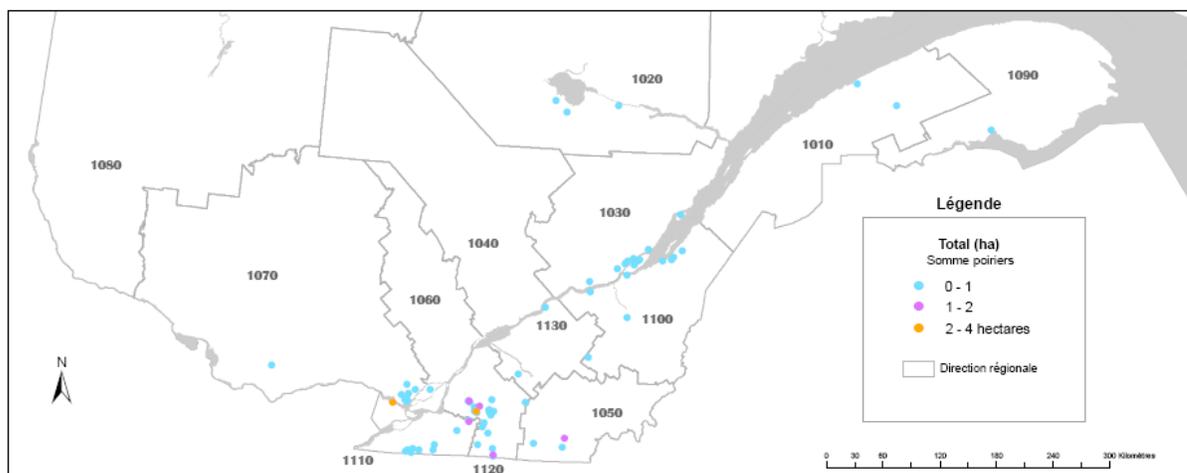


Figure A 17 : Sites de production de poiriers, mai 2008.

Source : Direction de l'agroenvironnement et du développement durable, MAPAQ

Tableau A10 : Superficies cultivées (ha) en poiriers pour les régions administratives du Québec (mai, 2008)

	DIRECTION RÉGIONALE	Poirier (ha)
1010	Bas-Saint-Laurent	0,3
1020	Saguenay-Lac-Saint-Jean	0,6
1030	Capitale-Nationale-Côte-Nord	3,3
1040	Mauricie	0
1050	Estrie	2,0
1060	Montréal-Laval-Lanaudière	0,5
1070	Outaouais-Laurentides	2,1
1080	Abitibi-Témiscamingue-Nord-du-Québec	0
1090	Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	0,2
1100	Chaudière-Appalaches	3,3
1110	Montérégie-Ouest	9,3
1120	Montérégie-Est	22,7
1130	Centre-du-Québec	0,1
	Total provincial	44,3

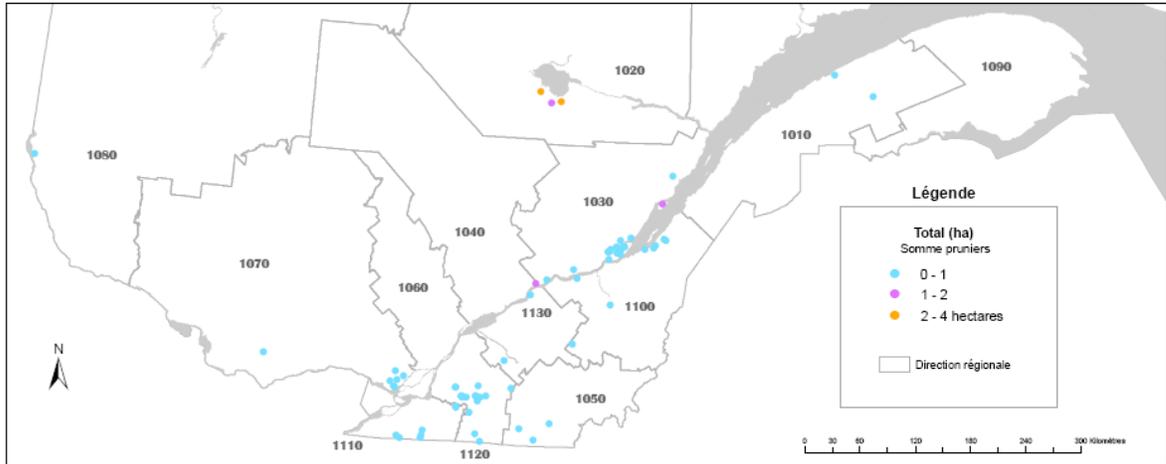
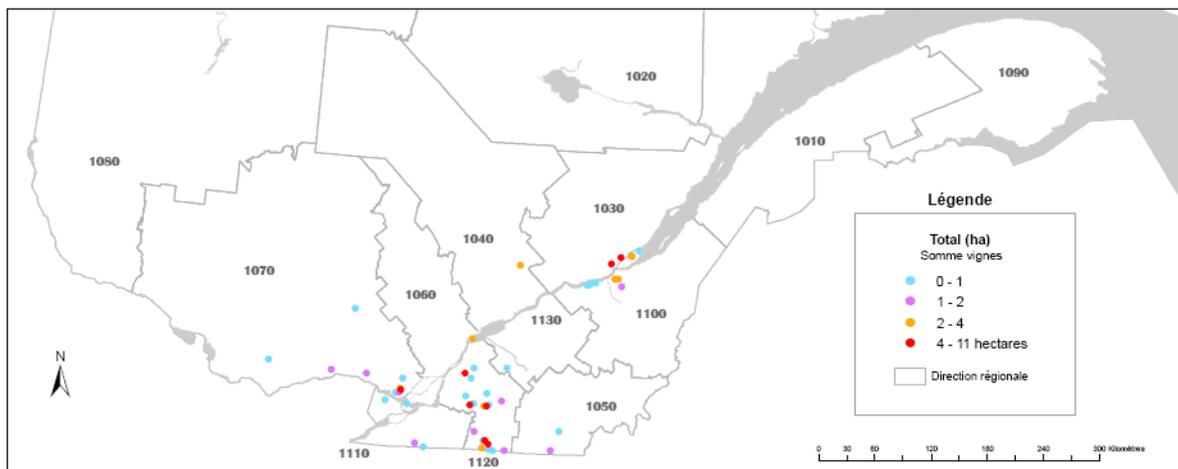


Figure A18 : Superficies déclarées (ha) en pruniers, mai 2008.

Source : Direction de l'agroenvironnement et du développement durable, MAPAQ

Tableau A 11 : Superficies cultivées (ha) en pruniers pour les régions administratives du Québec (mai, 2008)

DIRECTION RÉGIONALE		Prunier (ha)
1010	Bas-Saint-Laurent	0,7
1020	Saguenay-Lac-Saint-Jean	6,7
1030	Capitale-Nationale-Côte-Nord	6,2
1040	Mauricie	1,5
1050	Estrie	1,1
1060	Montréal-Laval-Lanaudière	0
1070	Outaouais-Laurentides	1,5
1080	Abitibi-Témiscamingue-Nord-du-Québec	0,5
1090	Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	0
1100	Chaudière-Appalaches	4,1
1110	Montérégie-Ouest	3,3
1120	Montérégie-Est	6,6
1130	Centre-du-Québec	0,1
	Total provincial	32,3



FigureA19 : Superficies déclarées (ha) en vigne, mai 2008.

Source : Direction de l'agroenvironnement et du développement durable, MAPAQ

Tableau A12 : Superficies cultivées (ha) en vigne pour les régions administratives du Québec (mai, 2008)

DIRECTION RÉGIONALE		Vignes (ha)
1010	Bas-Saint-Laurent	14,1
1020	Saguenay-Lac-Saint-Jean	19,5
1030	Capitale-Nationale-Côte-Nord	67,1
1040	Mauricie	12,2
1050	Estrie	37,7
1060	Montréal-Laval-Lanaudière	49,8
1070	Outaouais-Laurentides	65,0
1080	Abitibi-Témiscamingue-Nord-du-Québec	4,0
1090	Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	4,6
1100	Chaudière-Appalaches	32,6
1110	Montérégie-Ouest	62,8
1120	Montérégie-Est	213,8
1130	Centre-du-Québec	22,6
	Total provincial	605,7