

Analyse prospective de la position concurrentielle du Québec en matière de production agricole dans un contexte de changements climatiques

Guy Debailleul, Université Laval

Lota Dabio Tamini, Maurice Doyon, Frédérick Clerson-Guicherd,
Université Laval

Louis-Samuel Jacques, Maribel Hernandez, Maria Olar, Julie Louvel,
EcoRessources Consultants

Consortium Ouranos

Mars 2013

Les résultats et opinions présentés dans cette publication sont entièrement la responsabilité des auteurs et n'engagent pas Ouranos ni ses membres



Table des matières

Table des matières	i
Table des tableaux.....	iii
Table des figures	v
Liste des sigles et acronymes	vi
1. Introduction	7
2. État des lieux de la position concurrentielle actuelle du Québec par rapport aux principales régions concurrentes en Amérique du Nord	8
2.1. MAÏS-GRAIN	8
2.1.1 Production de maïs-grain au Québec.....	8
2.1.2 Principaux concurrents du Québec en Amérique du Nord	11
2.1.2.1. Production de maïs-grain en Ontario.....	12
2.1.2.2. Production de maïs-grain en Iowa et en Illinois	14
2.1.3 Intensité de la concurrence	15
2.2. POMMES	17
2.2.1 Production de pommes au Québec.....	17
2.2.2 Principaux concurrents du Québec en Amérique du Nord	20
2.2.2.1. Production de pommes en Colombie-Britannique.....	20
2.2.2.2. Production de pommes en Ontario	22
2.2.2.3. Production de pommes dans l'État de Washington	24
2.2.3 Intensité de la concurrence	25
2.3. CULTURES PÉRENNES FOURRAGÈRES.....	27
2.3.1 Production du secteur fourrager au Québec	27
2.3.2 Principal concurrent du Québec en Amérique du Nord	29
2.3.2.1. Production du secteur fourrager en Ontario	29
2.3.3 L'intensité de la concurrence.....	30
3. Revue de la littérature : les impacts des changements climatiques sur l'agriculture au Québec et dans les régions concurrentes pour les productions ciblées	31
3.1. LES IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR L'AGRICULTURE DU QUÉBEC.....	32
3.1.1 L'impact des changements climatiques sur les cultures du maïs-grain, des cultures pérennes fourragères et de la pomme	34
3.1.1.1. L'impact des changements climatiques sur la culture de maïs-grain	34
3.1.1.2. L'impact des changements climatiques sur la culture de plantes pérennes fourragères ...	36
3.1.1.3. L'impact des changements climatiques sur la culture de pommes	37
3.2. LES IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR L'AGRICULTURE EN ONTARIO.....	38
3.3. LES IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR L'AGRICULTURE DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE ET DE L'ÉTAT DE WASHINGTON.....	41
3.3.1 L'impact des changements climatiques sur la culture de pommes	43
3.4. LES IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR L'AGRICULTURE DE L'ILLINOIS ET DE L'IOWA.....	45
3.4.1 L'impact des changements climatiques sur la culture du maïs-grain	47
3.5. RÉSUMÉ DES IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES POUR CHAQUE RÉGION DE RÉFÉRENCE	50
4. Approche méthodologique et d'analyse des impacts économiques.....	52
4.1. CONSTRUCTION DES SCÉNARIOS D'IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES : LA MÉTHODE DELPHI	52
4.1.1 Choix de la méthode Delphi	52
4.1.2 Contenu des questionnaires.....	53
4.1.3 Déroulement de la méthode Delphi.....	54
4.2. ANALYSE DES IMPACTS ÉCONOMIQUES : LA BUDGÉTISATION PARTIELLE.....	55
4.2.1. Approche méthodologique.....	55

5.	Résultats des analyses d'impact	56
5.1.	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES POUR LE QUÉBEC	56
5.1.1	<i>Résultats globaux</i>	56
5.1.1.1.	Secteur du maïs-grain	56
5.1.1.2.	Secteur de la pomme	58
5.1.1.3.	Secteur des cultures pérennes fourragères	60
5.1.2	<i>Hypothèses retenues de modification des coûts de production</i>	61
5.1.2.1.	Secteur du maïs-grain	61
5.1.2.2.	Secteur de la pomme	64
5.1.2.3.	Secteur des cultures pérennes fourragères	67
5.1.3	<i>Conséquences sur les coûts de production au Québec</i>	70
5.1.3.1.	Secteur du maïs-grain	70
5.1.3.2.	Secteur de la pomme	72
5.1.3.3.	Secteur des cultures pérennes fourragères	74
5.2.	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LES RÉGIONS CONCURRENTES DU QUÉBEC	76
5.2.1	<i>Secteur du maïs-grain</i>	76
5.2.2	<i>Secteur de la pomme</i>	80
5.2.3	<i>Secteur des cultures pérennes fourragères</i>	83
5.3.	POSITIONS CONCURRENTIELLES RELATIVES	84
5.3.1	<i>Secteur du maïs-grain</i>	84
5.3.2	<i>Secteur de la pomiculture</i>	86
5.3.3	<i>Secteur des fourrages</i>	90
6.	Conclusion et recommandations	91
6.1.	CONSTATS ET RECOMMANDATIONS GÉNÉRAUX	91
6.2.	CONSTATS ET RECOMMANDATIONS POUR LE MAÏS-GRAIN	91
6.3.	CONSTATS ET RECOMMANDATIONS POUR LA POMICULTURE	92
6.4.	CONSTATS ET RECOMMANDATIONS POUR LES FOURRAGES	92
6.5.	CONCLUSION	92
	Références	94
	Annexes	117
	ANNEXE A : GRILLES D'IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES PRODUCTIONS DE MAÏS (HORIZON 2050)	117
	ANNEXE B : GRILLES D'IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES PRODUCTIONS DE POMMES (HORIZON 2050)	120
	ANNEXE C : GRILLES D'IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES PRODUCTIONS DE CULTURES PÉRENNES FOURRAGÈRES (HORIZON 2050)	123
	ANNEXE D : QUESTIONNAIRE TRANSMIS AUX EXPERTS SPÉCIALISÉS DANS LA PRODUCTION DE MAÏS	125
	ANNEXE E : QUESTIONNAIRE TRANSMIS AUX EXPERTS SPÉCIALISÉS DANS LA PRODUCTION DE POMMES	136
	ANNEXE F : QUESTIONNAIRE TRANSMIS AUX EXPERTS SPÉCIALISÉS DANS LA PRODUCTION DE CULTURES PÉRENNES FOURRAGÈRES	154
	ANNEXE G : COÛTS DE PRODUCTION ACTUELS DANS LE SECTEUR DU MAÏS-GRAIN AU QUÉBEC	162
	ANNEXE H : COÛTS DE PRODUCTION ACTUELS DANS LE SECTEUR DES POMMES AU QUÉBEC	163
	ANNEXE I : COÛTS DE PRODUCTION ACTUELS DANS LE SECTEUR DES CULTURES PÉRENNES FOURRAGÈRES AU QUÉBEC	165
	ANNEXE J : COÛTS DE PRODUCTION 2050 DANS LE SECTEUR DU MAÏS-GRAIN AU QUÉBEC	166
	ANNEXE K : COÛTS DE PRODUCTION 2050 DANS LE SECTEUR DES POMMES AU QUÉBEC	170
	ANNEXE L : COÛTS DE PRODUCTION 2050 DANS LE SECTEUR DES FOURRAGES AU QUÉBEC	182
	ANNEXE M : RÉSUMÉ DE LA MÉTHODOLOGIE UTILISÉE	1

Table des tableaux

TABLEAU 1: IMPORTATIONS QUÉBÉCOISES DE MAÏS PAR PROVENANCE (MILLIERS DE TONNES) (2008 À 2011) (ADAPTÉ DE STATISTIQUE CANADA, 2012E).....	11
TABLEAU 2: TABLEAU RÉSUMÉ DES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DE PRODUCTION DE MAÏS-GRAIN AU QUÉBEC, EN ONTARIO, EN IOWA ET EN ILLINOIS	16
TABLEAU 3: SUPERFICIE, PRODUCTION ET RENDEMENTS DE LA CULTURE DE LA POMME POUR LES RÉGIONS DU QUÉBEC (2010) (ADAPTÉ DE ISQ, 2012A)	17
TABLEAU 4: PRINCIPALES DESTINATIONS DES POMMES BRITANNO-COLOMBIENNES (ADAPTÉ DE STATISTIQUE CANADA, 2012C ET NOS CALCULS).....	22
TABLEAU 5: TABLEAU RÉSUMÉ DES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DE PRODUCTION DE POMMES AU QUÉBEC, EN ONTARIO, EN COLOMBIE-BRITANNIQUE ET DANS L'ÉTAT DE WASHINGTON	26
TABLEAU 6: COÛT DE PRODUCTION DU FOIN EN ONTARIO EN FONCTION DE SON UTILISATION (ADAPTÉ DE MOLENUIS, 2008).....	30
TABLEAU 7: TABLEAU RÉSUMÉ DES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DE PRODUCTION DE CULTURES PÉRENNES FOURRAGÈRES AU QUÉBEC ET EN ONTARIO.....	31
TABLEAU 8: ÉVOLUTION DE LA LONGUEUR DE LA SAISON DE CROISSANCE POUR LES DIFFÉRENTES RÉGIONS DU QUÉBEC (ADAPTÉ DE SINGH ET COLL., 1996)	32
TABLEAU 9: PRÉVISION DES VARIATIONS DES DATES DES PREMIERS ET DERNIERS GELS POUR CERTAINES RÉGIONS DU QUÉBEC EN 2050 (ADAPTÉ DE LEASE ET COLL., 2009)	37
TABLEAU 10: PART DES TERRAINS AGRICOLES POSSÉDANT LES CONDITIONS CLIMATIQUES PERMETTANT L'ACCUEIL DE POMMIERS POUR CERTAINES RÉGIONS DU QUÉBEC POUR LA PÉRIODE 1951-1980 ET 2050 (ADAPTÉ DE SINGH ET STEWART, 1991).....	37
TABLEAU 11: MOYENNES ACTUELLES ET PRÉVISIONS POUR 2030 ET 2095 SELON LES SCÉNARIOS DE 365 PPM ET DE 560 PPM DE CO ₂ POUR L'ÉVAPOTRANSPIRATION, L'ÉVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE, LE RUISSELLEMENT DE SURFACE ET LE RENDEMENT EN EAU (EN MILLIMÈTRES) (ADAPTÉ DE ROSENBERG ET COLL., 2003).....	42
TABLEAU 12: FACTEURS DE PRODUCTION CRITIQUES DANS LA PRODUCTION DE POMMES DANS LA VALLÉE DE L'OKANAGAN (ADAPTÉ DE CAPRIO ET QUAMME, 1998).....	45
TABLEAU 13: MOYENNES ACTUELLES ET PRÉVISIONS POUR 2030 ET 2095 SELON LES SCÉNARIOS DE 365 PPM ET DE 560 PPM DE CO ₂ POUR L'ÉVAPOTRANSPIRATION, L'ÉVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE, LE RUISSELLEMENT DE SURFACE ET LE RENDEMENT EN EAU (EN MILLIMÈTRES) (ADAPTÉ DE ROSENBERG ET COLL., 2003).....	47
TABLEAU 14: FACTEURS DE PRODUCTION CRITIQUE DANS LA PRODUCTION DE MAÏS EN ILLINOIS ET EN IOWA (ADAPTÉ DE DIXON ET COLL., 1994; ROSENZWEIG, 2000; SOUTHWORTH ET COLL., 2000; ROSENZWEIG ET COLL., 2001; GOLDBLUM, 2009).....	49
TABLEAU 15: EXPERTS CONSULTÉS DANS LE CADRE DE LA MÉTHODE DELPHI.....	55
TABLEAU 16: RENDEMENTS ACTUELS ET PRÉVUS EN 2050 EN PRODUCTION DE MAÏS-GRAIN POUR LE QUÉBEC.....	57
TABLEAU 17: PARAMÈTRES DE CHANGEMENT DES SCÉNARIOS DU SECTEUR DU MAÏS-GRAIN AU QUÉBEC	63
TABLEAU 18: PARAMÈTRES DE CHANGEMENT DES SCÉNARIOS DU SECTEUR DE LA POMICULTURE AU QUÉBEC	66
TABLEAU 19: PARAMÈTRES DE CHANGEMENT DES SCÉNARIOS DU SECTEUR DES FOURRAGES AU QUÉBEC.....	70
TABLEAU 20: SYNTHÈSE DES PRÉVISIONS DE MODIFICATION DES COÛTS DE PRODUCTION DANS LE SECTEUR DU MAÏS-GRAIN AU QUÉBEC (2050) POUR LE SCÉNARIO BAS.....	71
TABLEAU 21: SYNTHÈSE DES PRÉVISIONS DE MODIFICATION DES COÛTS DE PRODUCTION DANS LE SECTEUR DU MAÏS-GRAIN AU QUÉBEC (2050) POUR LE SCÉNARIO MÉDIAN.....	71
TABLEAU 22: SYNTHÈSE DES PRÉVISIONS DE MODIFICATION DES COÛTS DE PRODUCTION DANS LE SECTEUR DU MAÏS-GRAIN AU QUÉBEC (2050) POUR LE SCÉNARIO ÉLEVÉ	72
TABLEAU 23: SYNTHÈSE DES PRÉVISIONS DE MODIFICATION DES COÛTS DE PRODUCTION DANS LE SECTEUR DES POMMES AU QUÉBEC (2050) POUR LE SCÉNARIO BAS	72
TABLEAU 24: SYNTHÈSE DES PRÉVISIONS DE MODIFICATION DES COÛTS DE PRODUCTION DANS LE SECTEUR DES POMMES AU QUÉBEC (2050) POUR LE SCÉNARIO MÉDIAN.....	73
TABLEAU 25: SYNTHÈSE DES PRÉVISIONS DE MODIFICATION DES COÛTS DE PRODUCTION DANS LE SECTEUR DES POMMES AU QUÉBEC (2050) POUR LE SCÉNARIO ÉLEVÉ	73
TABLEAU 26: SYNTHÈSE DES PRÉVISIONS DE MODIFICATION DES COÛTS DE PRODUCTION DANS LE SECTEUR DES FOURRAGES AU QUÉBEC (2050) POUR LE SCÉNARIO BAS.....	74
TABLEAU 27: SYNTHÈSE DES PRÉVISIONS DE MODIFICATION DES COÛTS DE PRODUCTION DANS LE SECTEUR DES FOURRAGES AU QUÉBEC (2050) POUR LE SCÉNARIO MÉDIAN.....	74
TABLEAU 28: SYNTHÈSE DES PRÉVISIONS DE MODIFICATION DES COÛTS DE PRODUCTION DANS LE SECTEUR DES FOURRAGES AU QUÉBEC (2050) POUR LE SCÉNARIO ÉLEVÉ	75

TABLEAU 29: COÛTS DE PRODUCTION DU MAÏS-GRAIN AU QUÉBEC EN 2050 POUR LE SCÉNARIO BAS	166
TABLEAU 30: COÛTS DE PRODUCTION DU MAÏS-GRAIN AU QUÉBEC EN 2050 POUR LE SCÉNARIO MÉDIAN	167
TABLEAU 31: COÛTS DE PRODUCTION DU MAÏS-GRAIN AU QUÉBEC EN 2050 POUR LE SCÉNARIO ÉLEVÉ	168
TABLEAU 32: COÛTS DE PRODUCTION DE LA POMME AU QUÉBEC EN 2050 POUR LE SCÉNARIO BAS.....	170
TABLEAU 33: COÛTS DE PRODUCTION DE LA POMME AU QUÉBEC EN 2050 POUR LE SCÉNARIO MÉDIAN	171
TABLEAU 34: COÛTS DE PRODUCTION DE LA POMME AU QUÉBEC EN 2050 POUR LE SCÉNARIO ÉLEVÉ	172
TABLEAU 35: IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES COÛTS DE PRODUCTION TOTAUX ET LES REVENUS EN 2050	
AU QUÉBEC POUR LE SCÉNARIO BAS ET DES POMMIERS À TRÈS HAUTE DENSITÉ	173
TABLEAU 36: IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES COÛTS DE PRODUCTION TOTAUX ET LES REVENUS EN 2050	
AU QUÉBEC POUR LE SCÉNARIO BAS ET DES POMMIERS À HAUTE DENSITÉ.....	174
TABLEAU 37: IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES COÛTS DE PRODUCTION TOTAUX ET LES REVENUS EN 2050	
AU QUÉBEC POUR LE SCÉNARIO BAS ET DES POMMIERS À MOYENNE DENSITÉ	175
TABLEAU 38: IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES COÛTS DE PRODUCTION TOTAUX ET LES REVENUS EN 2050	
AU QUÉBEC POUR LE SCÉNARIO MÉDIAN ET DES POMMIERS À TRÈS HAUTE DENSITÉ	176
TABLEAU 39: IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES COÛTS DE PRODUCTION TOTAUX ET LES REVENUS EN 2050	
AU QUÉBEC POUR LE SCÉNARIO MÉDIAN ET DES POMMIERS À HAUTE DENSITÉ	177
TABLEAU 40: IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES COÛTS DE PRODUCTION TOTAUX ET LES REVENUS EN 2050	
AU QUÉBEC POUR LE SCÉNARIO MÉDIAN ET DES POMMIERS À MOYENNE DENSITÉ.....	178
TABLEAU 41: IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES COÛTS DE PRODUCTION TOTAUX ET LES REVENUS EN 2050	
AU QUÉBEC POUR LE SCÉNARIO ÉLEVÉ ET DES POMMIERS À TRÈS HAUTE DENSITÉ.....	179
TABLEAU 42: IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES COÛTS DE PRODUCTION TOTAUX ET LES REVENUS EN 2050	
AU QUÉBEC POUR LE SCÉNARIO ÉLEVÉ ET DES POMMIERS À HAUTE DENSITÉ	180
TABLEAU 43: IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES COÛTS DE PRODUCTION TOTAUX ET LES REVENUS EN 2050	
AU QUÉBEC POUR LE SCÉNARIO ÉLEVÉ ET DES POMMIERS À MOYENNE DENSITÉ.....	181
TABLEAU 44: COÛTS DE PRODUCTION PAR HECTARE DANS LE SECTEUR DES FOURRAGES AU QUÉBEC EN 2050	
POUR LE SCÉNARIO BAS.....	182
TABLEAU 45: COÛTS DE PRODUCTION PAR TONNE DANS LE SECTEUR DES FOURRAGES AU QUÉBEC EN 2050	
POUR LE SCÉNARIO BAS.....	183
TABLEAU 46: COÛTS DE PRODUCTION PAR HECTARE DANS LE SECTEUR DES FOURRAGES AU QUÉBEC EN 2050	
POUR LE SCÉNARIO MÉDIAN	184
TABLEAU 47: COÛTS DE PRODUCTION PAR TONNE DANS LE SECTEUR DES FOURRAGES AU QUÉBEC EN 2050	
POUR LE SCÉNARIO MÉDIAN	185
TABLEAU 48: COÛTS DE PRODUCTION PAR HECTARE DANS LE SECTEUR DES FOURRAGES AU QUÉBEC EN 2050	
POUR LE SCÉNARIO ÉLEVÉ	186
TABLEAU 49: COÛTS DE PRODUCTION PAR TONNE DANS LE SECTEUR DES FOURRAGES AU QUÉBEC EN 2050	
POUR LE SCÉNARIO ÉLEVÉ	187

Table des figures

FIGURE 1: ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION ET DES RENDEMENTS DE MAÏS-GRAIN (1970-2011) (ADAPTÉ DE STATISTIQUE CANADA, 2012B).....	9
FIGURE 2: SUPERFICIE (HA) ET PRODUCTION ('000 T) DE MAÏS-GRAIN AU QUÉBEC, EN ONTARIO, EN IOWA ET EN ILLINOIS (2006 À 2011) (ADAPTÉ DE ISQ, 2012A; OMAFRA, 2012B; USDA, 2012A; B; C).....	12
FIGURE 3: ÉVOLUTION DU PRIX DE LA TONNE DE MAÏS-GRAIN AUX ÉTATS-UNIS ENTRE 2006 ET 2011 (ADAPTÉ DE USDA, 2012C).....	14
FIGURE 4: SUPERFICIE MISE EN CULTURE ET QUANTITÉS PRODUITES DE POMMES EN COLOMBIE-BRITANNIQUE (ADAPTÉ DE STATISTIQUE CANADA, 2011A).....	21
FIGURE 5: PRÉVISION DE L'ÉVOLUTION DES RENDEMENTS DE PRODUCTION DE POMMES AU QUÉBEC, EN ONTARIO, EN COLOMBIE- BRITANNIQUE ET DANS L'ÉTAT DE WASHINGTON EN NE CONSIDÉRANT QUE L'AUGMENTATION DES DENSITÉS (2012 À 2050)	60
FIGURE 6: PRÉVISION DE L'ÉVOLUTION DES RENDEMENTS DE MAÏS-GRAIN AU QUÉBEC, EN ONTARIO, EN IOWA ET EN ILLINOIS (2012 À 2050)	77
FIGURE 7: PRÉVISION DE L'ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION TOTALE DE MAÏS-GRAIN AU QUÉBEC, EN ONTARIO, EN IOWA ET EN ILLINOIS (2012 À 2050).....	78
FIGURE 8: PRÉVISION DE L'ÉVOLUTION DES COÛTS DE PRODUCTION DE MAÏS-GRAIN AU QUÉBEC, EN ONTARIO, EN IOWA ET EN ILLINOIS (2012 À 2050).....	79
FIGURE 9: PRÉVISION DE L'ÉVOLUTION DES RENDEMENTS DE PRODUCTION DE POMMES AU QUÉBEC, EN ONTARIO, EN COLOMBIE- BRITANNIQUE ET DANS L'ÉTAT DE WASHINGTON EN NE CONSIDÉRANT QUE L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (2012 À 2050)	81
FIGURE 10: PRÉVISION DE L'ÉVOLUTION DES RENDEMENTS DE PRODUCTION DE POMMES AU QUÉBEC, EN ONTARIO, EN COLOMBIE- BRITANNIQUE ET DANS L'ÉTAT DE WASHINGTON EN CONSIDÉRANT L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET L'AUGMENTATION DES DENSITÉS (2012 À 2050)	81
FIGURE 11: PRÉVISION DE L'ÉVOLUTION DES COÛTS DE PRODUCTION EN PRODUCTION DE POMMES AU QUÉBEC, EN ONTARIO, EN COLOMBIE-BRITANNIQUE ET DANS L'ÉTAT DE WASHINGTON (2012 À 2050)	83
FIGURE 12: PRÉVISION DE L'ÉVOLUTION DE LA POSITION CONCURRENTIELLE DU QUÉBEC, DE L'ONTARIO, DE L'IOWA ET DE L'ILLINOIS EN PRODUCTION DE MAÏS-GRAIN POUR LE SCÉNARIO BAS (2012 À 2050).....	85
FIGURE 13: PRÉVISION DE L'ÉVOLUTION DE LA POSITION CONCURRENTIELLE DU QUÉBEC, DE L'ONTARIO, DE L'IOWA ET DE L'ILLINOIS EN PRODUCTION DE MAÏS-GRAIN POUR LE SCÉNARIO ÉLEVÉ (2012 À 2050).....	85
FIGURE 14: PRÉVISION DE L'ÉVOLUTION DE LA POSITION CONCURRENTIELLE DU QUÉBEC, DE L'ONTARIO ET DE LA COLOMBIE- BRITANNIQUE EN PRODUCTION DE POMMES EN NE CONSIDÉRANT QUE L'AUGMENTATION DES SUPERFICIES ET L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (2012 À 2050)	87
FIGURE 15: PRÉVISION DE L'ÉVOLUTION DE LA POSITION CONCURRENTIELLE DU QUÉBEC, DE L'ONTARIO DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE ET DE L'ÉTAT DE WASHINGTON EN PRODUCTION DE POMMES EN NE CONSIDÉRANT QUE L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES COÛTS DE PRODUCTION LES RENDEMENTS ET LES SUPERFICIES (2012 À 2050)	88
FIGURE 16: PRÉVISION DE L'ÉVOLUTION DE LA POSITION CONCURRENTIELLE DU QUÉBEC, DE L'ONTARIO DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE ET DE L'ÉTAT DE WASHINGTON EN PRODUCTION DE POMMES EN CONSIDÉRANT LES IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET DES DENSITÉS DES VERGERS SUR LES COÛTS DE PRODUCTION, LES SUPERFICIES ET LES RENDEMENTS (2012 À 2050).....	89
FIGURE 17: PRÉVISION DE L'ÉVOLUTION DE LA POSITION CONCURRENTIELLE RELATIVE DU QUÉBEC ET DE L'ONTARIO EN PRODUCTION DE CULTURES PÉRENNES FOURRAGÈRES (2012 À 2050)	90

Liste des sigles et acronymes

AAC:	Agriculture et agroalimentaire Canada
ASRA:	Assurance stabilisation des revenus agricoles
BCFGA:	British-Columbia Fruit Growers' Association
CQPF:	Conseil québécois des plantes fourragères
CRAAQ:	Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec
CREAQ:	Comité des références économiques en Agriculture du Québec
FADQ:	Financière agricole du Québec
FAO:	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FPCCQ:	Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec
GIEC:	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
HRI:	Hôtellerie, restauration et institutions
IAASTD:	International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development
IFPRI:	International Food Policy Research Institute
IRDA:	Institut de recherche et de développement en agroenvironnement
ISQ:	Institut de la statistique du Québec
LT:	Long terme
MAPAQ:	Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
MT:	Moyen terme
NASS:	National Agricultural Statistics Service
OMAFRA:	Ministère de l'agriculture et de l'alimentation de l'Ontario
PCIC:	Pacific Climate Impacts Consortium
USDA:	United States Department of Agriculture
UTM:	Unité thermique maïs
VAN:	Valeur actuelle nette

1. Introduction

Le contexte de changement climatique pourrait entraîner pour les producteurs agricoles des variations importantes de leurs conditions de production (température, précipitations). Ces modifications du climat obligeront les agriculteurs à adapter leurs pratiques culturales pour tenir compte, entre autres, de l'allongement de la saison de croissance, de l'augmentation de la quantité de chaleur disponible durant cette dernière, d'une pression accrue de certains ennemis des cultures, d'une probabilité de stress hydrique plus important ou encore d'aléas climatiques plus fréquents et plus extrêmes. Autant de facteurs qui pourraient entraîner des variations de rendements. La position concurrentielle des agriculteurs québécois pourrait alors être modifiée.

Dans une première étape d'évaluation de l'impact des changements climatiques sur la position concurrentielle des producteurs québécois, trois produits ont été retenus : une culture annuelle, le maïs, et deux cultures pérennes, la pomme et les fourrages. Le choix du maïs-grain et des cultures fourragères s'est imposé par l'importance de ces cultures pour les productions animales qui représentent une fraction importante de la production agricole québécoise. De son côté, la culture pommicole représente la production fruitière la plus importante au Québec. L'analyse de la position concurrentielle du Québec dans un contexte de changement climatique devrait permettre de soulever les différents risques et opportunités socio-économiques auxquels les producteurs agricoles devront répondre. De plus, l'approche retenue pour cerner le contexte économique futur des productions agricoles permettra d'élaborer une méthodologie qui pourra par la suite être reproduite pour une évaluation d'autres productions agricoles. Cette méthodologie devrait permettre d'identifier les principaux postes de dépenses des agriculteurs qui seront affectés par les changements climatiques et de comparer ces nouveaux coûts de production avec les contextes attendus dans les principales régions concurrentes du Québec pour chacune des productions.

Ainsi, afin d'analyser la position concurrentielle de chacune des productions, il convient de définir les marchés sur lesquels s'échangent les productions ciblées. Cette étape permettra d'identifier les principaux concurrents pour les producteurs québécois, de définir leurs conditions de production et de cibler les débouchés pour leurs produits. Ces données permettront également d'évaluer la position concurrentielle du Québec par rapport aux autres acteurs d'importance en Amérique du Nord. Par la suite, une revue de la littérature sur les changements climatiques servira à soulever leurs impacts potentiels déjà documentés. Des scénarios de changements climatiques seront alors présentés à des experts pour chacune des productions et leurs avis seront utilisés pour évaluer l'impact des changements climatiques sur le commerce des denrées agricoles québécoises notamment par l'utilisation de budgets partiels.

2. État des lieux de la position concurrentielle actuelle du Québec par rapport aux principales régions concurrentes en Amérique du Nord

Pour débiter, il convient de bien identifier les contextes économiques actuels auxquels doivent faire face les producteurs agricoles québécois. Pour ce faire et pour chaque production, les déterminants de la production (productivité, superficies), ceux de la rentabilité des entreprises (coûts de production, prix) et ceux de l'utilisation de la production (principaux débouchés, importations, exportations) seront soulevés pour le Québec et pour chacune des régions concurrentes identifiées. Ainsi, les positions concurrentielles actuelles dans le secteur du maïs-grain seront soulevées pour le Québec, l'Ontario, l'Iowa et l'Illinois. Pour la production de pommes, les régions retenues seront, outre le Québec et l'Ontario, la Colombie-Britannique et l'État de Washington. Finalement, pour la production de cultures pérennes fourragères, seuls le Québec et l'Ontario auront été retenus.

2.1. Maïs-grain

2.1.1 Production de maïs-grain au Québec

Productivité

La production de maïs-grain au Québec a réellement pris son essor dans les années 1970 pour atteindre un sommet de production en 2007 avec plus de 4 millions de tonnes (Statistique Canada, 2012b) et elle demeure aujourd'hui une culture dominante. Les rendements en maïs ont aussi connu une croissance importante pendant cette période comme le montre la Figure 1.

Selon les données de Statistiques Canada (*Ibid.*), le maïs-grain représentait pendant la période de 2001 à 2010, environ 70 % du total des grains produits au Québec.

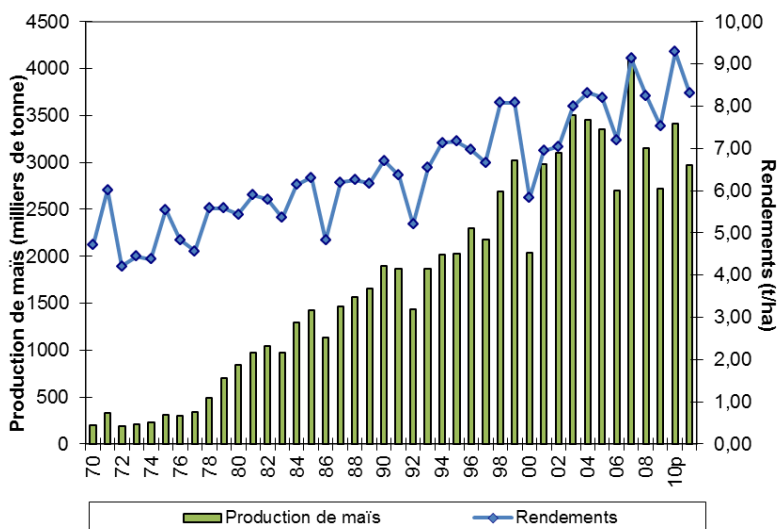


Figure 1: Évolution de la production et des rendements de maïs-grain (1970-2011) (Adapté de Statistique Canada, 2012b)

La production moyenne annuelle de maïs-grain a connu une hausse de près de 30 % entre 2003 et 2007, année où la production de maïs-grain au Québec a atteint son plus haut niveau (4,1 millions de tonnes), pour diminuer ensuite pendant la période 2008 – 2011, de 7% en moyenne.

Les superficies moyennes sont en recul. En effet, on constate une diminution de 2 % de la période 2004-2008 par rapport à 1999-2003, qui s'est accentuée par la suite. Ainsi, de 2008 à 2011 les superficies moyennes consacrées à la culture du maïs-grain ont diminué de près de 10% par rapport à la période 1999-2003 au profit du soya (*Ibid.*).

La baisse des superficies moyennes a été partiellement compensée par une augmentation des rendements d'environ 15 % entre 2003 et 2007, pour se stabiliser ensuite autour de 8,34 t/ha. En 2011, le Québec a produit 2,970 millions de tonnes de maïs (Statistique Canada, 2012b).

La Montérégie est la région productrice de maïs par excellence au Québec avec 62% de la production et environ 60 % des superficies consacrées au maïs. La région du Centre du Québec occupe la deuxième place, avec 12% de la production, suivie de la région de Chaudière-Appalaches. Cette dernière a toutefois vu ses superficies en maïs-grain diminuer de près de 50% de 2007 à 2011 (ISQ, 2012a).

Coût de production

Une analyse détaillée du coût de production du maïs-grain au Québec et son évolution de 1999 à 2010, soulève le fait que les principaux postes de dépenses correspondent à l'achat de fertilisants et de semences. Les postes qui ont suivi les hausses les plus importantes sont également les fertilisants car la diminution de la consommation d'engrais minéraux observée de 1989 à 2006 (Martin, 2010) n'a pas compensé l'augmentation importante de leurs coûts, les semences, suivis des carburants. Cela témoigne de la dépendance de la production du maïs de l'évolution des prix du pétrole.

Ainsi, selon les données de la Financière agricole du Québec (FADQ) (2012a), le coût de production d'un hectare de maïs-grain sous régie conventionnelle au Québec aurait été de 1 638,43\$ en 2010 pour un coût de production de 207,40 \$/t. Le calcul du revenu stabilisé¹ était donc à 192,68 \$/t ou 1 522,20 \$/ha.

Prix de vente

Pendant la période de 1997 à 2007 les prix de vente moyens du maïs-grain ont connu une hausse moyenne de 24%. Les prix sont en progression constante depuis 2004. La principale raison évoquée par le MAPAQ (2009) est la hausse de la demande de maïs pour la production de biocarburant. Le prix du maïs en 2010-2011 a connu un accroissement substantiel de 56\$/t pour se fixer à 229,21\$/t (FPCCQ, 2012). La marge nette dégagée était donc de 36,53 \$/t (*Ibid.*; FADQ, 2012a et nos calculs).

Principaux débouchés sur le marché intérieur pour le Québec

Selon les données du MAPAQ (2009), 80 % du maïs produit au Québec est destiné à l'alimentation animale (porc principalement). Ce pourcentage a néanmoins diminué passant de 92% de 1999-2003 à 85% de 2004 -2008. Cette différence s'explique par l'augmentation de l'utilisation du maïs à des fins industrielles, notamment à la production de biocarburants (environ 10% de la production annuelle). Depuis 2007, l'usine d'éthanol Greenfield située à Varennes offre un nouveau débouché pour le maïs du Québec.

Imports / exports par pays/province

Le Canada est un importateur net de maïs, ne réussissant à produire qu'environ 80% de sa consommation domestique (AAC, 2011). Cette production est surtout concentrée en Ontario et au Québec. La production québécoise compte pour 36% de la production canadienne (Statistique Canada, 2012b).

Les principales régions d'origine du maïs-grain importé au Québec sont l'Ontario et les États-Unis. La première région concurrente étant l'Ontario, les importations seront fortement dépendantes de la demande intérieure du maïs ontarien de même que de la production des récoltes (Gouin, 2012). Ainsi, le maïs ontarien peut représenter pour certaines années plus de 40% de la consommation intérieure du Québec alors que certaines années, les importations peuvent être minimales (*Ibid.*).

Les importations internationales québécoises de maïs-grain proviennent presque exclusivement des États-Unis (146 556t sur 147 142t en 2011) et plus particulièrement de l'Iowa (26% entre

¹ La production de maïs-grain est soumise à l'Assurance-stabilisation des revenus agricoles (ASRA) qui a pour but d'offrir un revenu au producteur visant à couvrir ses coûts de production ainsi que 90% du revenu d'un ouvrier spécialisé d'un autre secteur. Le revenu stabilisé correspond donc aux différents frais admissibles, à l'amortissement et à 90% du revenu d'un ouvrier spécialisé moins les autres revenus retirés de la culture.

2008 et 2011), l'Illinois (23,11% entre 2008 et 2011) et le Wisconsin (19,49% entre 2008 et 2011)².

Tableau 1: Importations québécoises de maïs par provenance (milliers de tonnes) (2008 à 2011) (adapté de Statistique Canada, 2012e)

Année	États-Unis	Iowa	Illinois	Wisconsin
2011	146,56	60,72	37,13	22,07
2010	379,84	146,71	80,19	35,59
2009	402,21	68,96	102,60	86,69
2008	195,80	17,51	39,89	74,81
Moyenne pondérée	99,87%	26,14%	23,11%	19,49%

Ainsi, le niveau des importations québécoises de maïs fluctue de façon importante entre les années. Cette fluctuation est reliée aux variations dans la production québécoise de maïs-grain, aux importations du maïs provenant de l'Ontario et aux usages connexes de la denrée (comme la fabrication d'éthanol, par exemple).

En moyenne près de la moitié des exportations totales de maïs-grain sont destinées aux autres provinces, 30 % des exportations totales sont acheminées vers les États-Unis et 20% en moyenne sont exportées vers l'outre-mer.

Pour l'année 2010, selon les estimations de la Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec (FPCCQ) (2011), le Québec aurait exporté 402 900 t de maïs-grain dont 145 500 t vers les autres provinces canadiennes, 96 800t vers les États-Unis (principalement les États de New-York, la Géorgie et le Vermont) et 160 600t vers la France³.

2.1.2 Principaux concurrents du Québec en Amérique du Nord

Les principales régions concurrentes en Amérique du Nord pour le maïs-grain québécois sont l'Ontario et les États-Unis, dont les principaux États producteurs de maïs-grain sont, selon les données du National Agricultural Statistics Service (NASS) (USDA, 2012b; c), l'Iowa et l'Illinois.

² Excluant les semences.

³ La base de données sur le commerce international canadien de marchandises mentionne plutôt qu'il s'agirait de 116 002 t qui auraient été exportées vers les États-Unis en 2010, 72 270 t vers la Libye et 67 299 t vers la Tunisie. Quant à la France, seules 81 t y auraient été exportées (Statistique Canada, 2013). Les différences importantes s'expliquent par le fait que les données de Statistique Canada sont les données telles qu'enregistrées au point de départ de l'exportation et non pas selon l'endroit où le maïs-grain a été produit. Les données de la FPCCQ suivent, quant à elles, le maïs-grain produit au Québec.

2.1.2.1. Production de maïs-grain en Ontario

Productivité

Les superficies mises en culture en Ontario ont connu leur apogée en 2007 avec 849 800 hectares (OMAFRA, 2012b). Après une diminution de près de 138 000 hectares l'année suivante⁴, les superficies ne cessent d'augmenter pour atteindre 768 900 en 2011 (*Ibid.* et nos calculs). Toutefois, en raison d'une augmentation des rendements de 8,4 t/ha en 2007 jusqu'à 10,3 t/ha en 2010, la production n'a pas souffert d'une diminution des superficies mises en culture. Pour 2011, le rendement était de 9,5 t/ha (OMAFRA, 2012b).

La production de maïs-grain en Ontario était donc de 6 985 300t en 2007 mais de 7 239 400 en 2011. Les années 2008 et 2009 auront connu de légères diminutions mais la récolte de 2010 avec 7 747 400t fixera de nouveaux standards (*Ibid.*). La Figure 2 présente une évolution de la superficie et de la production de maïs-grain pour toutes les régions suivies.

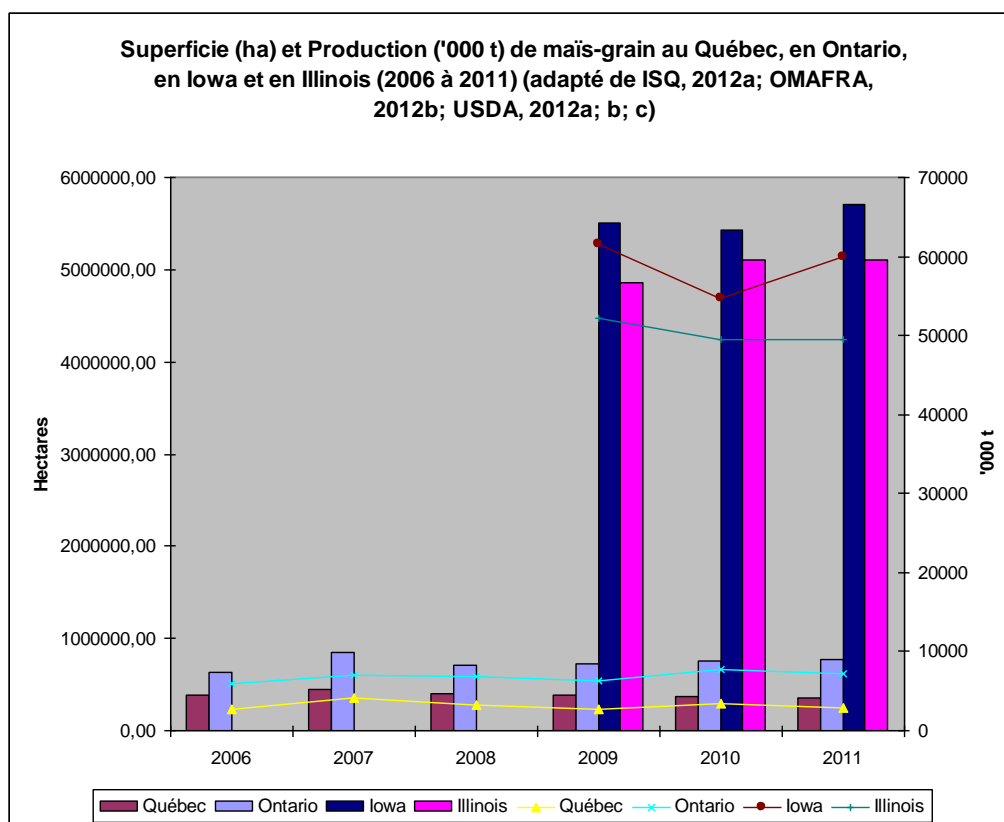


Figure 2: Superficie (ha) et Production ('000 t) de maïs-grain au Québec, en Ontario, en Iowa et en Illinois (2006 à 2011) (Adapté de ISQ, 2012a; OMAFRA, 2012b; USDA, 2012a; b; c)

⁴ Essentiellement en raison de la baisse drastique des superficies mises en culture dans le sud (Middlesex, Lambton, Haldimand-Norfolk et Chatham-Kent) et l'ouest (Huron et Perth) de l'Ontario (McGee 2008; 2009; 2010; 2011; Kulasekera, 2012 et nos calculs).

Données sur les coûts de production et les prix.

Depuis 2006, le prix du maïs-grain ontarien a été inférieur au prix québécois en deux occasions uniquement: en 2008 et en 2010. Cependant, il faut noter que l'analyse comparative a été réalisée sur une courte période de temps, sur la base des données disponibles. Une analyse sur un laps de temps plus long aurait pu générer des résultats différents. Les prix ontariens semblent toutefois suivre la même tendance à la hausse que le prix québécois de 2006 à 2011. Il semblerait que le prix américain soit celui qui détermine le prix québécois et ontarien

Le prix ontarien a atteint son niveau le plus élevé en 2010 avec 207\$/t, en hausse de 44\$/t par rapport à 2009. Jusqu'alors, le prix de 2008, 186 \$/t, avait été la valeur la plus élevée atteinte (*Ibid.*).

Toutefois le coût de production ontarien sous régie conventionnelle est 38,4% inférieur au coût de production du maïs-grain au Québec (1200,55 \$/ha, soit 127,71 \$/t), selon les données de l'OMAFRA (*Ibid.*) et celles des coûts de production du Québec présentées à la section 2.1.1. Il est difficile de pouvoir tirer des conclusions claires de ces comparaisons puisque la base du calcul des coûts de production diffère sensiblement entre le Québec et l'Ontario puisque les données pour le Québec proviennent d'enquêtes réalisées dans des productions agricoles réelles et constituent donc des moyennes de coûts de production alors que les données pour l'Ontario sont plutôt issues d'un modèle d'ingénierie. Ce type de modèle est réalisé par des experts qui se basent sur les coûts actuels pour établir un budget d'une entreprise modèle ayant une efficacité complète.

Principaux débouchés

De façon semblable au Québec, l'utilisation du maïs ontarien était répartie entre l'alimentation animale (60%) et l'usage industriel soit la production de biocarburants (40%) (OMAFRA, 2011c).

Part de la production exportée vers les régions / pays où le Québec exporte principalement son maïs-grain.

En 2010, l'Ontario a exporté 135 370t⁵ de maïs-grain vers les États-Unis soit 33% de ses exportations (30,1% de la valeur). Le principal État américain à avoir importé du maïs-grain de l'Ontario est le Michigan avec 54% des exportations qui y étaient dirigées. Les trois autres pays d'importance pour l'exportation de maïs-grain étaient l'Espagne avec 67 223t soit 16,6% des exportations (mais 18% de la valeur), la Libye avec 57 051t pour 14,1% des exportations (14,3% de la valeur) et la Tunisie avec 56 500t pour 14% des exportations (13,5% de la valeur) (Statistique Canada, 2013). C'est donc dire que les destinations du maïs-grain ontarien sont sensiblement les mêmes que pour le maïs-grain québécois.

⁵ Il s'agit des données au point de passage de la frontière et non pas nécessairement des quantités produites en Ontario.

2.1.2.2. Production de maïs-grain en Iowa et en Illinois

Productivité

Les superficies en maïs-grain en Iowa et en Illinois représentaient entre 2009 et 2011 près de 30% des superficies américaines cultivées en maïs-grain. Depuis 2009, elles sont en légère croissance pour atteindre 5 706 067 ha en Iowa et 5 099 039 ha en Illinois (USDA 2012b ; c). L'évolution des superficies est représentée dans la Figure 2 en concordance avec la production des dernières années.

La chute de 11% de la production entre 2009 et 2010 en Iowa est attribuable à des rendements de près de 2 t/ha de moins. L'année 2011 aura permis d'atteindre des rendements supérieurs à 2010 en Iowa avec 11,3 t/ha (par rapport à 10,9 t/ha) et donc de mettre en marché une quantité plus importante de maïs-grain (59 855 milliers de tonnes, en augmentation de 5160 milliers de tonnes). En Illinois, la récolte de 2011 aura, quant à elle, été fort semblable à celle de 2010 avec une production de 49 451 milliers de tonnes grâce à des rendements de 10,3 t/ha (*Ibid.*; USDA, 2012a).

Données sur les coûts de production et les prix.

Selon les données du United States Department of Agriculture (USDA) (2012a) le prix au producteur du maïs-grain américain pour 2011 s'élevait à 237,23 \$/t en hausse de près de 51% par rapport à 2009-2010. Il ne s'agissait que de la deuxième fois que le prix américain était supérieur au prix canadien depuis 1982-1983. L'évolution du prix du maïs-grain aux États-Unis est présentée à la Figure 3.

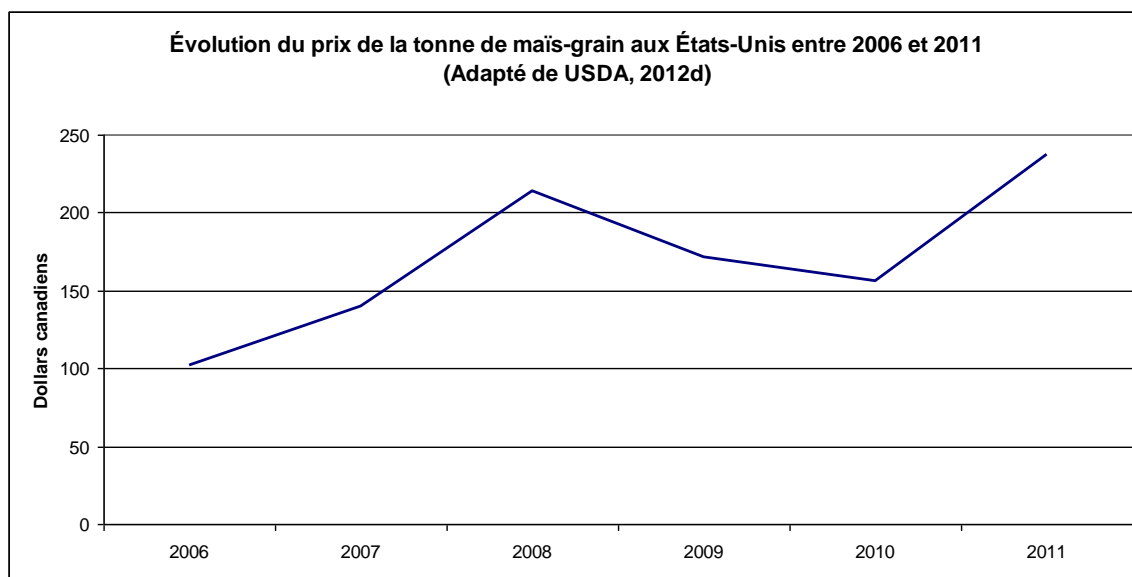


Figure 3: Évolution du prix de la tonne de maïs-grain aux États-Unis entre 2006 et 2011 (Adapté de USDA, 2012c)

Au niveau du coût de production, il semblerait qu'il était de 163,21 \$/t en Iowa en 2009 alors qu'il était de 142,41 \$/t pour la même époque en Illinois⁶ (USDA, 2012b; c). Ainsi, le coût de production en Iowa était-il inférieur de 21,3% au coût de production québécois. En Illinois, le coût de production était de 31,3% inférieur au prix québécois.

Principaux débouchés

Pour l'Iowa, la production de biocarburants représente 45% de l'utilisation du maïs, l'alimentation animale 13%, les exportations 16% et les autres usages 26% (Iowa corn, 2011). Du côté de l'Illinois, c'est vers l'exportation qu'est dirigée la majorité de la production de maïs (53%) suivi de la production d'éthanol (25%), de la transformation alimentaire (15%) et de l'alimentation animale (7%) (Illinois Corn marketing board, 2011).

Part de la production exportée vers les régions / pays où le Québec exporte principalement son maïs-grain.

Étant donné que la principale destination du maïs-grain québécois est les États-Unis, la production nationale représente certainement la principale compétition sur ce marché.

2.1.3 Intensité de la concurrence

Le Québec présente en général des rendements plus faibles et des coûts de production plus élevés par rapport aux régions concurrentes, pour une production à la baisse depuis 2008, contrairement à ces dernières. Comme mentionné plus haut, selon l'analyse de Gouin (2012), les importations de maïs-grain au Québec sont fortement dépendantes de la demande intérieure du maïs ontarien de même que du niveau de production au Québec.

⁶ Les coûts de production des États américains sont des coûts enquêtés.

Tableau 2: Tableau résumé des principales caractéristiques de production de maïs-grain au Québec, en Ontario, en Iowa et en Illinois

	Québec	Ontario	Iowa	Illinois
Production	2,970 Mt (2011)	7,239 Mt (2011)	59,855 Mt (2011)	49,451 Mt (2011)
Rendement	8,29 t/ha (2011)	9,5 t/ha (2011)	11,3 t/ha (2011)	10,3 t/ha (2011)
Prix producteur	229,21 \$/t (2012)	207 \$/t (2010)	237,23 \$/t (2011)	237,23 \$/t (2011)
Coûts de production	207,40\$/t (2010)	127,71\$/t (2009)	163,21\$/t (2009)	142,41\$/t (2009)
Débouché de la production	80% animaux 10% biocarburants (2009)	60% animaux 40% biocarburants (2010)	13% animaux 45% biocarburants 16% exportations (2010)	53% exportation 25% biocarburants 7% animaux 15% industrie (2010)
Principaux marchés à l'exportation	Canada Vermont Espagne Syrie	Canada Michigan New York Espagne	Mexique Portugal	Taiwan Mexique Japon
Principales sources des importations	Ontario États-Unis	Michigan Ohio	n.d.	n.d.

Comparée à la production dans les principales régions de référence, la production de maïs au Québec est en stagnation à cause, principalement, de la diminution des superficies consacrées à la culture du maïs-grain.

Les rendements⁷ au Québec sont les plus faibles des quatre régions considérées : en moyenne on produit au Québec 77% du maïs-grain par hectare produit en Iowa, 81% de celui produit en Illinois et 86% de celui produit en Ontario⁸. De plus, une analyse de la variance des rendements de 1990 à 2011 montre que c'est le Québec qui subit la plus faible variation de ses rendements de façon annuelle alors que c'est l'Iowa qui subit les variations les plus importantes (ISQ, 2012a; OMAFRA, 2012b; USDA, 2012a; b; c; Statistique Canada, 2012b et nos calculs).

Les coûts de production au Québec sont plus élevés que dans les autres régions concurrentes. La tendance est à la hausse dans les coûts de production des quatre régions analysées, mais les projections sur la base des données passées montrent que les coûts de production au Québec devraient continuer à être, à court terme, supérieurs à ceux des principales régions concurrentes.

⁷ Le rendement du maïs dépend de six facteurs principaux : le potentiel des semences utilisées, le type de travail du sol, le type de récolte précédente (monoculture ou présence de résidus), la densité de peuplement de la population végétale, les pratiques de fertilisation et les pratiques phytosanitaires et les conditions climatologiques.

⁸ Basé sur les productions de 2009 à 2011.

2.2. Pommes

2.2.1 Production de pommes au Québec

Productivité

La quantité de pommes produites au Québec pour l'année 2010 fut de 90 151 tonnes métriques, en forte diminution par rapport aux dernières années (119 468 tonnes métriques pour 2009, 108 037 pour 2008 et 140 614 pour 2007) (Statistique Canada, 2011a). Les superficies mises en culture représentaient, quant à elles, 5989 ha pour 2010, en diminution constante depuis 2006 (*Ibid.*). Le rendement québécois se trouvait alors à être de 15,05 t/ha en 2010, en diminution de 24% par rapport à 2009.

Les principales régions productrices de pommes au Québec sont la Montérégie, Montréal – Laval – Laurentides – Outaouais et l'Estrie et produisent environ 96% des pommes québécoises. Le Tableau 3 montre la répartition des superficies, des quantités produites et des rendements associés pour chacune de ces régions.

Tableau 3: Superficie, production et rendements de la culture de la pomme pour les régions du Québec (2010) (Adapté de ISQ, 2012a)

Région	Superficie (ha)	Production (t)	Rendements (t/ha)
Montérégie	3362	60 167	17,90
Montréal – Laval – Laurentides – Outaouais	1356	32 298	23,82
Estrie	794	12 898	16,24
Autres	325	3915	12,04

Historiquement, ce sont les régions de Laurentides et de Lanaudière qui ont les rendements les plus élevés suivis par les régions de St-Hyacinthe, l'Estrie et le Haut-Richelieu (CRAAQ, 2012e). Toutefois, la moyenne provinciale varie considérablement d'une année à l'autre alors qu'entre 2001 et 2009, elle a varié entre 146,4 kg/unité arbre et 262,9 kg/unité arbre selon les années. Les rendements peuvent entre autres être affectés par les conditions météorologiques, des maladies ou la présence d'espèces nuisibles. Depuis 2008, les principales causes affectant les rendements pour la Montérégie sont la présence de grêle et de gel. Pour Montréal – Laval – Laurentides – Outaouais, il s'agit de grêle et pour l'Estrie, du gel (ISQ, 2011).

La répartition par espèce des pommes produites au Québec en 2008 allait comme suit : McIntosh à 64%, Cortland à 8%, Spartan à 6%, Empire et Paulared à 4%, autres variétés tardives à 10% et variétés hâtives 4% (*Ibid.*).

Coût de production

Le coût de production de la pomme est particulièrement influencé par 4 facteurs qui expliquent environ la moitié des coûts de production: le coût de la main-d'œuvre, la quantité de pesticides épandus, les frais d'entreposage et les frais d'entretien et de réparation de la machinerie (FADQ, 2011c). Les coûts de la main-d'œuvre sont fortement influencés par les variations du

salaires minimum en vigueur au Québec. Les coûts associés aux pesticides épandus, eux, varient en fonction des cours mondiaux du pétrole mais aussi en fonction de la superficie mise en production et l'occurrence de maladies. De leur côté, les frais d'entreposage varient essentiellement selon la quantité de pommes commercialisées. Quant à eux, les frais d'entretien et de réparation de la machinerie varient autant en fonction des cours du pétrole que des superficies mises en production. Les autres dépenses consistent essentiellement à l'achat de pommiers, de fertilisants, d'électricité et de chauffage, de travaux à forfait et des frais fixes.

Le calcul des coûts de production est basé sur une ferme modèle définie comme étant, pour l'année 2011-2012, une entreprise exploitant 10 344 pommiers (2473,7 unités arbres) (FADQ, 2011a). Pour l'année 2009, le coût de production global était évalué à 248 680,38\$ pour la ferme modèle (FADQ, 2011c) soit 585,2\$/t de pommes vendues. Selon les mêmes calculs, la vente de pommes devait rapporter 416,4\$/t de pommes vendues, ce à quoi venait s'ajouter une compensation de 106,3\$/t de pommes vendues. Ainsi, en prenant en compte la compensation de l'ASRA, la Financière agricole considère que les producteurs de pommes québécois ont reçus 522,7\$/t de pommes avec un coût de production estimé à 585,2\$/t montrant un déficit de 62,5\$/t de pommes vendues (*Ibid.*).

Prix de vente

De leur côté, les prix pour la pomme fraîche se situaient en moyenne à 601,1\$/t pour l'ensemble du Québec en 2010, en augmentation constante depuis 2005 (sauf pour 2008). C'est toutefois l'Estrie qui réussit à obtenir le meilleur prix pour ses pommes avec 636,5\$/t en moyenne (ISQ, 2012b). Au niveau des pommes de transformation, les pommes se vendaient en moyenne au Québec à 184,2\$/t. Bien qu'il s'agisse généralement des pommes de moins bonne qualité, les pommes de transformation représentaient tout de même près de 45% des pommes transigées au Québec en 2010.

La structure de détermination des prix est particulière au secteur de la pomme québécoise. Il existe deux comités de prix chargés de négocier les prix de vente des produits frais et des produits de transformation. La négociation des prix vise à assurer une place concurrentielle de la pomme québécoise sur le marché québécois tout en tenant compte des coûts de production, de la quantité de pommes produites et des frais d'emballage et de distribution.

Comme il a déjà été soulevé, la culture pomicole est aussi une culture sous régime de l'ASRA. Le but de cette assurance est de garantir la couverture des coûts de production en plus de fournir un revenu au producteur équivalent à 90% du revenu d'un ouvrier spécialisé d'un autre secteur. La présence de l'ASRA permet aux producteurs agricoles de mieux faire face aux risques du marché, particulièrement les variations de prix.

Principaux débouchés sur le marché intérieur pour le Québec

Les pommes québécoises sont majoritairement consommées à l'état brut (57% en 2008) (MAPAQ, 2011). Elles sont écoulées à 64% dans les marchés d'alimentation et à 25,5% dans le secteur de l'hôtellerie, de la restauration et des institutions (HRI) (données de 2003) (*Ibid.*). Il

faut aussi prendre en considération que 10,5% des pommes mises en marché (2008) n'aboutissent pas dans les circuits de distribution, étant écoulées directement à la ferme.

La part des produits transformés a été en forte augmentation au début des années 2000. En effet, l'augmentation de la production de pommes au Québec a induit une augmentation des quantités de pommes transformées. Les produits transformés sont essentiellement les jus de pommes, les compotes de pommes, les pommes tranchées et les pommes congelées, la garniture pour tarte, les confitures et les boissons alcoolisées.

Les transformateurs doivent toutefois faire face à plusieurs défis. D'abord, les producteurs québécois auraient de la difficulté à approvisionner de façon régulière les transformateurs, les obligeant à importer des pommes de transformation du Nord-est des États-Unis. Par ailleurs, la surreprésentation de la pomme McIntosh au sein des productions québécoises limite les transformateurs dans leurs capacités à innover en plus d'augmenter la sensibilité des producteurs québécois aux variations entourant la pomme McIntosh.

La consommation de pommes fraîches en 2008 était de 43 115 tonnes en stabilité depuis 2006. De son côté, la consommation de jus de pommes était en décroissance de 5% à 24,6 millions de litres. Seule la sous-section des jus congelés était en croissance, à 5% (*Ibid.*). Les tendances à long terme d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) projettent une stabilité de la consommation de pommes et des sous-produits de la pomme au courant des prochaines années (Serecon Management Consulting Inc., 2005). Toutefois, selon la Food and Agriculture Organization (FAO) (2010), la consommation canadienne de pommes a connu une diminution importante pendant les années 1990 après une croissance dans les années 1970 et 1980 et elle serait en croissance entre 2003 et 2007.

Imports / exports par pays/province

Le commerce interprovincial est très difficile à mesurer, l'absence de régulation rendant impossible la prise de statistiques. Une estimation du solde du commerce interprovincial montre tout de même que le Québec est un importateur provincial net avec un solde de 38 345,2 t en 2010, en croissance de 10 000t par rapport à 2009⁹ (Statistique Canada, 2011a; c; Statistique Canada 2012b).

Toutefois, au niveau du commerce international, les pommes ou produits dérivés quittant le Québec par ses frontières terrestres, par avion ou par bateaux sont enregistrés. Bien qu'il ne soit pas possible d'attribuer toutes les pommes franchissant les frontières du Québec aux producteurs québécois, ceci semble être la meilleure estimation possible.

Selon les données de l'ISQ, entre les saisons de production de 2000-2001 et de 2008-2009¹⁰, le principal partenaire commercial du Québec autant en termes de quantité qu'en termes de

⁹ L'estimation est réalisée à partir de la formule suivante :
Consommation apparente = Production totale + Importations - Exportations + Commerce interprovincial

¹⁰ Une saison de production s'étale du 20 août d'une année jusqu'au 19 août de l'année subséquente. Les données pour la saison de production 2002-2003 n'étaient pas disponibles.

valeurs sont les États-Unis avec plus de 93% des volumes en moyenne (96,79% pour 2008-2009) et plus de 92% de la valeur (97,31% pour 2008-2009) (ISQ, 2012c). Particulièrement, les États du Michigan (56%) et de New-York (42%) semblent accaparer les exportations québécoises (MAPAQ, 2011). Toutefois, l'exportation de pommes est en déclin au Québec avec une diminution de l'ordre de 31% entre 2002 et 2008 (en quantité). Pourtant, le prix offert pour les pommes exportées, 1046\$/t en 2008, reste supérieur au prix offert sur le marché québécois. Les exportations québécoises étaient composées à 100% de pommes fraîches en 2008 (*Ibid.*).

Au niveau des importations, près de 60%, en quantité, proviennent des États-Unis¹¹ (à tendance haussière) et plus du quart proviennent du Chili (à tendance stable). Toutefois, exprimées en termes de valeurs, les importations chiliennes représentent 35% des pommes importées et les États-Unis 43% (ISQ, 2012d). Les espèces de pommes de même que leur degré de transformation pourraient expliquer cette différence entre les quantités et les valeurs importées.

2.2.2 Principaux concurrents du Québec en Amérique du Nord

Les principales régions productrices de pommes au Canada sont la Colombie Britannique et l'Ontario. En Amérique du Nord, l'État de Washington est le premier producteur.

2.2.2.1. Production de pommes en Colombie-Britannique

Productivité

Les surfaces en production en Colombie-Britannique pour la pomme, principalement dans la vallée de l'Okanagan, sont en diminution importante depuis 2003 (39,5% entre 2003 et 2010) toutefois la quantité de pommes mises en marché ne suit pas une tendance semblable, signe qu'il y a une amélioration des rendements. En effet, bien que la diminution des superficies soit constante, il n'en va pas de même pour les quantités produites. À ce niveau, les années 2005 et 2006 auront permis la production de plus de pommes qu'en 2003 malgré des superficies inférieures. Toutefois, entre 2003 et 2010, il y a eu une diminution de 20,8% de la quantité de pommes produites avec une commercialisation de 92 146 tonnes métriques de pommes en 2010 (Statistique Canada, 2011a) (voir Figure 4). Le rendement à l'hectare pour 2010 se situe à près de 26 t/ha soit considérablement plus que pour le Québec (*Ibid.* et nos calculs) qui se situe autour de 15,05 tonnes métriques/ha en moyenne. Ce rendement est en croissance de 4,38% en moyenne annuellement pour une croissance totale de 47,09% entre 2002 et 2010 (*Ibid.*). Ceci serait notamment causé par une augmentation de la densité de plantation des arbres pouvant atteindre jusqu'à 12 000 arbres par hectare (British Columbia Ministry of Agriculture, 2010).

¹¹ Dont 42% de l'État de Washington (MAPAQ, 2011).

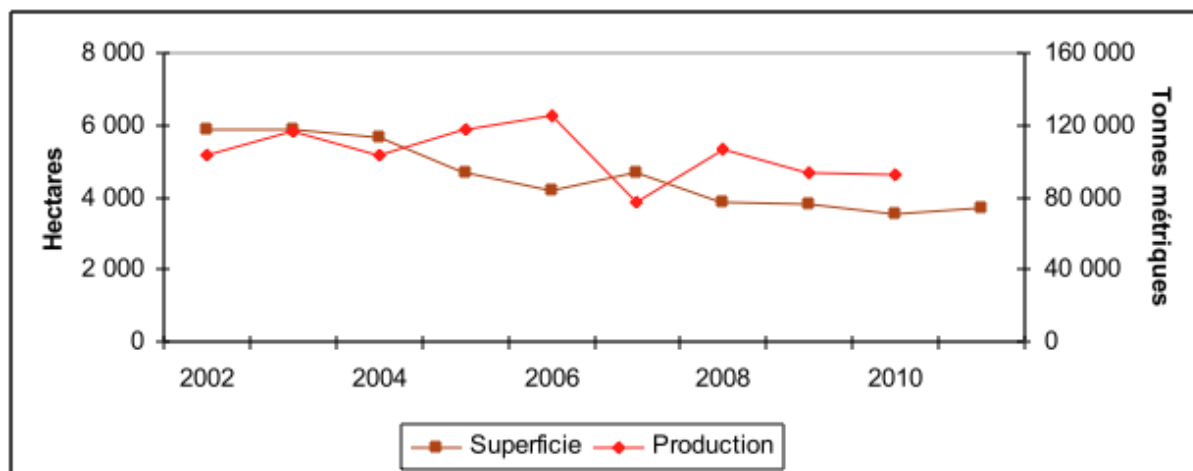


Figure 4: Superficie mise en culture et quantités produites de pommes en Colombie-Britannique (Adapté de Statistique Canada, 2011a)

Les variétés les plus produites en Colombie-Britannique sont la Red Delicious, la Golden Delicious, la McIntosh et la Spartan (British Columbia Ministry of Agriculture, 2011). À ces variétés, il faudrait ajouter la Gala et la Ambrosia (BC Fruit growers' association, 2011).

Données sur les coûts de production et les prix.

Le prix de la pomme fraîche britanno-colombienne est inférieur au prix moyen québécois. Selon le MAPAQ (2011), le prix moyen de la tonne de pommes fraîches en 2008 était de 592\$ soit 42\$/t de moins que pour le Québec. En prenant en compte les rendements et les pommes destinées à la transformation, on obtient une valeur à la ferme par hectare de 8878\$/ha soit plus de 2900\$/ha qu'au Québec (Statistique Canada, 2011a). Ceci peut s'expliquer par les rendements substantiellement plus élevés en Colombie-Britannique ainsi que par la part prépondérante des produits frais (91% des pommes) (MAPAQ, 2011).

Le prix plus bas en Colombie-Britannique contraste avec le coût de production calculé par le British Columbia Fruit Grower's Association (BCFGA) pour l'année 2007 soit de 727,5\$/t contre 585,2\$/t au Québec. De ce montant, 489,4\$/t proviendraient de coûts directs (BC Fruit growers' association, 2011). Le manque à gagner apparent des producteurs fait l'objet de requêtes de la part du BCFGa. Entre autres, ils voudraient imiter leurs collègues québécois et mettre en place des conventions de mise en marché (*Ibid.*). Toutefois, le rendement à l'hectare beaucoup plus grand en Colombie-Britannique ainsi que la part de la production destinée au frais font en sorte que la production britanno-colombienne de pommes est plus rentable que la production québécoise.

Principaux débouchés

Au niveau des débouchés, la production britanno-colombienne est très axée sur le frais. Ce n'est donc que 9% de leurs pommes qui seront transformées, le plus bas taux parmi les trois principales provinces productrices de pommes (MAPAQ, 2011). La présence d'un très gros joueur au niveau de la distribution des pommes, BC Tree Fruits Ltd, qui distribue environ 75%

des pommes pourrait expliquer le faible développement de la transformation pommicole (British Columbia Ministry of Agriculture, 2010).

Part de la production exportée vers les régions / pays d'Amérique du Nord où le Québec exporte principalement ses pommes et produits transformés de la pomme.

La Colombie-Britannique est la province la plus exportatrice de pommes au Canada. En effet, leurs exportations représentent plus de 50% des exportations canadiennes (MAPAQ, 2011). Leurs exportations sont davantage axées sur le marché du frais avec 75% des exportations provenant du frais, représentant 28,6% des pommes fraîches mises en marché en 2008 (*Ibid.*). La tendance est toutefois à la baisse avec une baisse moyenne de la quantité de pommes fraîches exportées de 11% entre 2002 et 2008, pour une baisse totale de 51% (*Ibid.*). Les exportations étaient dirigées à 77% vers les États-Unis et à 7% vers le Mexique (en valeurs) pour 2011 (Statistique Canada, 2012c). Les principaux états américains où les pommes fraîches de la Colombie-Britannique sont exportées sont la Californie, l'État de Washington et l'Arizona avec respectivement 5 355 tonnes (valeur de 5,729 millions de dollars soit plus de 53% des exportations vers les États-Unis), 3 362 tonnes (valeur de 3,113 millions de dollars soit plus de 29% des exportations vers les États-Unis) et 1 715 tonnes (valeur de 1,565 millions de dollars soit près de 15% des exportations vers les États-Unis) (Statistique Canada, 2012c).

Tableau 4: Principales destinations des pommes britanno-colombiennes (adapté de Statistique Canada, 2012c et nos calculs)

		Quantité (t)	% des quantités	Valeur (\$)	% de la valeur
États-Unis		10661	74,82%	10699330	74,27%
	Californie	5355	37,58%	5728644	39,77%
	État de Washington	3362	23,60%	3113202	21,61%
	Arizona	1715	12,04%	1564855	10,86%
Mexique		1259	8,84%	1148833	7,97%

2.2.2.2. Production de pommes en Ontario

Productivité

La production ontarienne en 2010 a subi un choc important avec une réduction de 29% par rapport à 2009 causé par un printemps particulièrement tardif qui a retardé le bourgeonnement jusqu'au mois de mai (Brian Gilroy, 2011). Il s'est donc produit 126 623 tonnes métriques de pommes en Ontario en 2010 (Statistique Canada, 2011a). Au cours des 5 années précédentes, la production avait été relativement stable. Toutefois, l'année 1999 a permis de mettre en marché des quantités record avec 370 857 tonnes métriques (*Ibid.*).

Au niveau de la superficie, il y a une diminution entre 1996 et 2011 de 48% des superficies en production en Ontario (Statistique Canada, 2011a et nos calculs). Ainsi, en 2010, il s'est cultivé 6 232 ha de pommes en Ontario. Le rendement de 2010 était donc de 20,32 t/ha soit plus de

5t/ha que pour la production québécoise (*Ibid.*). Ceci est entre autres dû au fait que certains producteurs ontariens utilisent des porte-greffes nanisant permettant une plus forte densité de culture. Les variétés produites en Ontario diffèrent aussi un peu avec les variétés québécoises. Historiquement, la pomme McIntosh n'accapare que 30% de la production ontarienne (contre plus de 60% au Québec) alors que les variétés Empire (15-18%), Northern Spy (10%) et Rouge délicate (10%) complètent le tableau pour les principales variétés de pommes produites en Ontario (OMAFRA, 2011e).

Données sur les coûts de production et les prix.

L'Ontario est la province mettant en marché le plus de pommes et bénéficiant des meilleurs rendements au Canada. Le prix à la ferme est substantiellement inférieur au prix québécois avec 545\$/t de pommes fraîches en moyenne en Ontario en 2008 (MAPAQ, 2011) contre 601\$/t pour le Québec. En prenant en compte l'ensemble de la valeur de la production à la ferme (ce qui inclut donc les pommes destinés à la transformation), la valeur à la ferme par hectare en Ontario se situait à 9537\$/ha de revenus par rapport à 5959\$/ha pour le Québec (Statistique Canada, 2011a). Ceci peut s'expliquer d'abord par les rendements beaucoup plus importants en Ontario puis par le fait que c'est plus de 75% des pommes ontariennes qui sont consommées fraîches (OMAFRA 2011a et nos calculs). La présence du prix plus bas en Ontario peut s'expliquer entre autres par l'absence de négociation des prix par le regroupement des producteurs de pommes. Le seul prix qui est négocié est le prix des pommes pour le jus de pommes qui a été fixé en 2011 à 126,77\$/t pour une convention de 2 ans (Gilroy, 2012).

Au niveau du coût de production, les principales dépenses sont le travail (18%), l'établissement (17%) et la lutte contre les ennemis de la culture (15%) pour un total de coût de production moyen de 8 878,4\$/ha. Considérant un rendement de 12,58t/ha, le coût de production de la pomme ontarienne se situe à 705,5\$/t de pommes vendues soit 120,3\$/t plus élevé que pour le coût de production québécois (OMAFRA, 2011d et nos calculs).

Principaux débouchés

La tendance de consommation de la pomme fraîche est en hausse importante depuis les dernières années en Ontario. En effet, pour l'année de production 2009-2010 c'est 75% des pommes produites qui ont été consommées de façon fraîches en nette augmentation depuis les dernières années (environ 60% de 2007 à 2009 et autour de 50% auparavant) (OMAFRA, 2011b; h; i; j; k; l et nos calculs). De la faible part des pommes servant à la transformation, environ 90% seront transformées en jus de pommes, le 10% restant servant essentiellement à faire de la garniture à tarte, de la compote de pommes et des pommes tranchées (OMAFRA, 2011m).

Ceci semble s'inscrire dans la tendance canadienne puisqu'en comparant les taux de croissance de la consommation de pommes fraîches avec la consommation des produits transformés de la pomme, il est possible de remarquer que la pomme fraîche est la seule à présenter une croissance positive entre 2005 et 2010 (sauf 2007). De leur côté, la garniture à tarte aux pommes a une croissance stable, la compote de pommes une décroissance de 10%, les pommes en conserve de 40% et le jus de pommes de 5% (OMAFRA, 2011f et nos calculs).

Part de la production exportée vers les régions / pays d'Amérique du Nord où le Québec exporte principalement ses pommes et produits transformés de la pomme.

Des données avancées en 2004 par le Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales (OMAFRA) font état d'une exportation des pommes à hauteur de 10% de la production ontarienne. Les États-Unis seraient la destination d'environ 65% des pommes ontariennes alors qu'environ 30% iraient vers le Royaume-Uni (OMAFRA, 2011m). Les états américains qui reçoivent le plus de pommes fraîches ontariennes sont le Michigan et l'état de New York avec chacun, respectivement, 1 216 tonnes (valeur de 1,721 millions de dollars) et 2006 tonnes (valeur de 1,125 millions de dollars) pour 2011 (Statistique Canada, 2012c).

L'exportation de pommes ontariennes se ferait essentiellement par des pommes fraîches (69% des cas en 2008) mais serait toutefois en diminution depuis 2002 d'un taux moyen annuel de 1%. De leur côté, les pommes transformées seraient en hausse de 11% entre 2002 et 2008, représentant 91% des pommes transformées exportées au Canada (MAPAQ, 2011).

Comme les variétés produites au Québec sont semblables aux variétés produites en Ontario et que le marché américain est le marché pour les pommes d'exportation autant québécoises qu'ontariennes, il semble que les pommes québécoises et ontariennes soient en concurrence directe sur ces marchés. Le Québec a toutefois tendance à n'exporter que des pommes fraîches contrairement à l'Ontario.

2.2.2.3. Production de pommes dans l'État de Washington

L'état de Washington est le principal état producteur de pommes aux États-Unis avec environ 60% de la production en quantité et 70% de la valeur produite en 2011 (USDA, 2011 et nos calculs). Les autres états producteurs de pommes sont l'état de New York avec environ 14% de la production en quantité et 8,1% de la valeur et le Michigan avec 6,3% de la quantité produite pour 3,3% de la valeur pour 2011 (*Ibid.*).

Productivité

La superficie utilisée en 2010 pour produire des pommes a été de 61 916,87 hectares soit plus de 10 fois plus que la superficie québécoise. Les cultivateurs ont enregistré des taux de rendements de 40,69 t/ha pour une production totale de 2 519 208 tonnes métriques (USDA, 2011). Depuis 2001, ces rendements sont en croissance de 1,49% annuellement en moyenne pour une augmentation totale de 14,87% des rendements en 10 ans. (*Ibid.* et nos calculs).

Les variétés principales qui sont produites dans l'État de Washington en 2009 furent la Red Delicious (31,33%), la Gala (18,77%), la Fuji (13,82%), la Granny Smith (13,46%) et la Golden Delicious (11,76%) (Gallardo et coll., 2012). Les variétés cultivées ne sont donc pas les mêmes que les variétés produites au Québec. La structure de compétition avec les pommes québécoises est donc altérée en fonction des préférences des consommateurs.

Données sur les coûts de production et les prix¹²

Le prix reçu par tonne de pommes fraîches pour les producteurs de Washington fut de 609,10\$/t pour les 6 premiers mois de 2011 (contre 601,09\$/t au Québec) en diminution de près de 15% par rapport à 2010. Pour la même période, le prix américain était de 598,57\$/t (USDA, 2011 et nos calculs). Au niveau de la transformation, le prix moyen pour les pommes de l'État de Washington était de 172,27\$/t pour un prix moyen global de la tonne de pommes produites de 566,95\$/t. Tous les prix sont en augmentation importante depuis 2008 (*Ibid.*). En prenant en compte l'attribution des pommes selon leur utilisation, la valeur de la production à l'hectare est de 23 065,63 \$ soit près de 4 fois la valeur à l'hectare du Québec. Ceci est certainement lié aux forts rendements et aux prix supérieurs que les producteurs américains réussissent à obtenir (*Ibid.*).

Le coût de production de la pomme Gala, seule variété importante produite autant au Québec qu'à Washington, est établi à 585,54 \$/t pour des rendements de l'ordre de 51,84 t/ha en 2009. Les principaux postes de dépenses sont l'entretien et le mûrissement des pommes (11,64%), la cueillette (10,69%) et les engrais et fertilisants (8,37%) (Gallardo et coll. 2012). Il faut toutefois prendre ces coûts de production avec un grain de sel puisqu'ils représentent le coût de production à la 5^e année de production et non pas pour un producteur établi depuis longtemps.

Principaux débouchés

Les pommes washingtoniennes sont majoritairement consommées ou exportées sous leur forme fraîche. En 2010, c'était près de 82% des pommes qui étaient vendues à l'état frais. Les 453 592 tonnes dédiées à la transformation ont surtout servi au jus de pommes (55%) et aux conserves (15%). Les autres utilisations ont été une transformation en pommes congelées, séchées ou simplement tranchées (USDA, 2011).

Part de la production exportée vers les régions / pays d'Amérique du Nord où l'État de Washington exporte principalement ses pommes et produits transformés de la pomme.

Les principales régions à considérer pour la concurrence des pommes québécoises sont le Canada et le Royaume-Uni. En 2008-2009, l'État de Washington exportait 102 464 tonnes de pommes vers le Canada (en augmentation d'environ 762t) et 20 108 tonnes au Royaume-Uni. Toutefois, les variétés particulièrement exportées sont la Red Delicious (45%), Gala, Golden Delicious, Granny Smith et Fuji (Washington apple commission, 2007). Comme il ne s'agit pas de variétés de pommes produites au Québec, la possibilité de concurrence entre les pommes washingtoniennes exportées sur ces marchés et les pommes québécoises est limitée par les préférences des consommateurs.

2.2.3 Intensité de la concurrence

¹² Le taux de change utilisé pour convertir les dollars américains en dollars canadiens a été fixé au taux moyen de clôture pour l'année de référence selon la banque du Canada (2012). Par exemple, le taux de change pour l'année 2011 a été fixé à 0,9891CAD.

Il semble donc que le Québec soit en concurrence directe avec les pommes ontariennes autant sur son marché interne que sur les cours mondiaux. L'absence de barrières au commerce interprovincial fait en sorte que les pommes peuvent circuler librement entre les deux provinces et comme les variétés produites au Québec sont aussi produites en Ontario et que le prix ontarien est plus bas que le prix du Québec, la concurrence entre les pommes ontariennes et les pommes québécoises peut être catégorisée comme étant très vive. Bien que l'Ontario vende ses pommes à un prix plus bas qu'au Québec malgré un coût de production par tonne plus élevé, les rendements à l'hectare plus importants en Ontario et la plus forte proportion de pomme destinées au marché de table permettent aux producteurs ontariens d'obtenir un revenu par hectare environ deux fois plus important que celui du Québec. Par ailleurs, la concurrence avec les pommes de la Colombie-Britannique ou de l'État de Washington dépendra beaucoup des préférences des consommateurs puisque les espèces produites y diffèrent de celles produites au Québec. De plus, dans ces régions, on observe la même situation qu'en Ontario, à savoir des prix plus bas combinés à des coûts de production plus élevés et un revenu à l'hectare beaucoup plus important qu'au Québec.

Tableau 5: Tableau résumé des principales caractéristiques de production de pommes au Québec, en Ontario, en Colombie-Britannique et dans l'État de Washington

	Québec	Ontario	Colombie-Britannique	État de Washington
Production	90,151 Mt (2010)	126,623 Mt (2010)	92,146 Mt (2010)	2 519,208 Mt (2010)
Rendement	15,05 t/ha (2010)	20,32 t/ha (2010)	26 t/ha (2010)	40,69 t/ha (2010)
Prix des pommes fraîches	601,1 \$/t (2010)	545 \$/t (2008)	592 \$/t (2008)	609,10 \$/t (6 premiers mois de 2011)
Coûts de production	585,2 \$/t (2011-2012)	705,5 \$/t (2010)	727,5 \$/t (2007)	585,54 \$/t (2009, Gala)
Débouché de la production	57% frais 43% transformé (2008)	75% frais 25% transformé (2009-2010)	91% frais 9% transformé (2008)	82% frais 18% transformé (2010)
Principaux marchés à l'exportation	Michigan État de New York	Michigan État de New York Royaume-Uni	Californie État de Washington Arizona	Sud-est des États-Unis Outre-mer
Principales sources des importations	Canada États-Unis Chili	État de Washington Chili	État de Washington	Canada Chili Nouvelle-Zélande

Ainsi la production de pommes québécoises est-elle en déclin autant au niveau des superficies que des quantités produites. Il en va de même pour la production ontarienne qui profite toutefois d'une amélioration technologique -les porte-greffes nanisants - qui a amélioré les rendements au cours des dernières années. En Colombie-Britannique, les superficies sont aussi en décroissance mais l'amélioration des rendements provenant essentiellement d'une plus grande densité de pommiers à l'hectare fait en sorte que la production britanno-colombienne est en croissance nette. Les superficies mises en culture pour la production de pommes sont aussi en forte diminution (23% entre 1997 et 2007) mais les améliorations aux pratiques culturales

permettent une augmentation annuelle des rendements de l'ordre de 1,5%. De plus, au Québec, la variabilité des rendements tant inter-régionale qu'inter-annuelle est très importante. En effet, la production québécoise est particulièrement sensible au gel et à la grêle et peut connaître des pertes allant jusqu'à 9 t/ha. Finalement, les coûts de production (par tonne) au Québec sont les plus bas par rapport aux régions sélectionnées à égalité avec l'État de Washington¹³. Les coûts de production au Québec varient d'environ 0,04\$/kg par an selon les années. Ce sont essentiellement les coûts associés à la main-d'œuvre et aux pesticides qui expliquent cette différence.

2.3. Cultures pérennes fourragères

2.3.1 Production du secteur fourrager au Québec

Productivité

Le Québec a mis en culture 858 000 ha en 2006 (ISQ, 2012a) puis a diminué les superficies jusqu'à 766 611 ha en 2011 (Statistique Canada, 2012a) répartis parmi environ 17 000 entreprises (Table filière des plantes fourragères, 2008). Ce sont les régions de Chaudière-Appalaches et du Bas-Saint-Laurent – Gaspésie – Îles-de-la-Madeleine qui sont les principales régions productrices avec respectivement 20% et 16% des terres mises en culture pour le foin en 2007 (ISQ, 2012a). Cette superficie a permis de produire 4 324 500 tonnes en 2011 en croissance depuis 2009. Le rendement québécois s'élevait donc à 5,64 t/ha de foin en 2011. Les régions offrant des rendements les plus élevés sont la Montérégie et Montréal – Laval – Lanaudière (*Ibid.*) avec respectivement 6,29 t/ha et 5,89 t/ha pour 2007.

À cette quantité, il faut ajouter les 305 000 ha (estimation) de pâturage cultivés en 2011 répartis également entre la plupart des régions avec Chaudière-Appalaches mettant en culture 20% des pâturages suivi de Montréal – Laval – Lanaudière avec 15% (*Ibid.*).

Les données concernant le commerce intra-provincial des fourrages montrent que les déficits (surplus) des régions ne sont pas stables à travers le temps. Par exemple, la région de Québec-Mauricie est passée d'un surplus de 125 000 t en 2006 à un déficit de 26 100 t en 2007. Au cours de la période 2003-2007, les seules régions ayant conservé des surplus pour toutes les années ont été le Bas-Saint-Laurent-Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine, Montréal-Laval-Lanaudière et l'Abitibi-Témiscamingue-Nord-du-Québec (CQPF, 2011).

Coût de production

À partir de la banque de données Agritel, le CRAAQ a calculé des coûts de production pour le foin cultivé. Ils obtiennent des coûts variables de 545\$/ha pour un rendement de 5,03 t/ha pour 2010 (CRAAQ, 2012a). Les principaux déterminants de ces coûts de production seraient l'entretien de la machinerie et des équipements (17%), le carburant (14%) et les salaires payés

¹³ De la même façon que pour le maïs-grain, il faut prendre les données de coûts de production avec précaution puisque le calcul de ceux-ci n'est pas réalisé de la même façon en fonction de la région. Dans le cadre de la pomme, seules les données québécoises sont établies par enquête.

(12%). Au niveau de la variabilité dans le temps des postes budgétaires, il semble que ce soit les frais de mise en marché qui varient le plus, suivi des pesticides et du carburant (*Ibid.*; 2011a; 2010a; 2006a).

Prix de vente

Le prix de vente calculé en 2010 par la Financière agricole du Québec (ISQ et MAPAQ, 2012) était établi à 136,91\$/t pour le foin cultivé en hausse de près de 7% par rapport à 2009. Les recettes de marché ont donc représenté 46 830 k\$ pour le foin et le trèfle auquel il faut ajouter 8518,80 k\$ d'assurance-récolte. Le montant obtenu par l'assurance-récolte en 2010 contraste avec celui des années précédentes (23 226,5\$ pour 2009 et 32 201,0\$ pour 2008). Les recettes du marché représentent toutefois mal la réalité de la production fourragère puisque la majorité de la production est consommée à la ferme et ne génère pas de recettes directes¹⁴.

Principaux débouchés sur le marché québécois

Selon Denis (2005), il existe 4 types d'acheteurs pour le foin de commerce qui consomment 4 types de produits. Le premier groupe est composé des producteurs de chevaux qui demandent des balles de luzerne, de fléole ou d'un mélange des deux de 15 à 25 kg (petites balles) ou de 45 à 50 kg (balles compactées). Le second groupe est composé des producteurs laitiers qui vont demander de la luzerne ou un mélange de mil et de luzerne en petites balles, balles compactées ou grosses balles (400 à 500 kg). Les producteurs de viande représentent le troisième groupe et demandent des grosses balles pour des bovins ou des cubes de luzerne pour les producteurs de lapin. Finalement, le dernier groupe représente les utilisateurs de foin comme litière. Ils demandent donc un foin de basse qualité en petite balle.

Ce sont les producteurs laitiers qui consomment majoritairement les fourrages produits au Québec avec 63% de la production qui leur est destinée. Les bovins en consomment 31%, les chevaux 4%¹⁵, les ovins 2% et les caprins 0,4% (CQPF, 2011).

De plus, deux types de transformation sont possibles soit la déshydratation de la luzerne et la compaction des fourrages (*Ibid.*).

Imports / exports par pays/province

Pour la luzerne, le Québec a exporté, en 2011, 113 t, toutes vers les États-Unis en baisse importante depuis 2009 quand le Québec avait exporté 847 t (Statistique Canada, 2012d). C'est le Vermont qui accapare la majorité des exportations québécoises avec plus de 50% des exportations en 2011 et 100% en 2010 (*Ibid.*).

¹⁴ Une étude actuellement menée par Édith Charbonneau tente d'évaluer l'impact des changements climatiques sur l'utilisation des différents intrants nutritionnels des animaux.

¹⁵ Le calcul ne prend en compte que les producteurs de chevaux produisant pour au moins 5000\$ de produits agricoles.

Les importations de luzerne proviennent en presque totalité des États-Unis, du New Jersey pour 2011 (25 t) et 2010 (25 t), du Massachussets en 2009 (2,3 t) et de Californie (112 t) en 2008. Les quantités varient toutefois considérablement entre les années (45 t en 2011, 27 t en 2010, 2,4 en 2009 t et 112 t en 2008) (Statistique Canada, 2012f).

Au niveau du foin cultivé, les données sur le commerce international regroupent les betteraves, les rutabagas, le foin cultivé, les racines fourragères et autres produits connexes. Le Québec transige majoritairement avec les États-Unis (plus de 99%) et plus particulièrement avec le Massachussets pour une valeur de 3 280 723\$ en 2011 (42%) et le New Hampshire pour 1 742 858\$ (22%) (Industrie Canada, 2012). En termes de volume, des données de 2007 mentionnaient une exportation de 38 488 t vers les États-Unis, en croissance de 4000 t par rapport à 2006 (CQPF, 2011). C'est donc environ 1% de sa production de foin cultivé que le Québec exporte.

Les importations de foin cultivé provenaient à 73% (en quantité) des États-Unis pour 80t d'une valeur de 34 309\$. C'est l'Idaho qui exporte le plus de foin vers le Québec avec 38 t pour une valeur de 17 729\$, surpassant le Vermont, premier exportateur historique vers le Québec avec 35t en 2011 pour une valeur de 6554\$ (Statistique Canada, 2012f).

2.3.2 Principal concurrent du Québec en Amérique du Nord

Le Québec fait très peu de commerce international par rapport au volume de foin produit. De plus, avec le reste du Canada, malgré une forte production des provinces de l'Ouest, il semble que ce soit essentiellement l'Ontario qui soit un concurrent direct avec le Québec (Yungblut, 2012; Tyrchniewicz Consulting, 2012; Industrie Canada, 2012).

2.3.2.1. Production du secteur fourrager en Ontario

Productivité

L'Ontario a mis en culture 1 011 700 ha en culture pérennes en 2011 pour produire 5,5 millions de tonnes de foin (Statistique Canada, 2012b) pour un rendement de 6,0 t/ha en moyenne. Depuis 2003, l'Ontario a toujours obtenu des rendements fourragers supérieurs au Québec (CQPF, 2011).

Données sur les coûts de production et les prix.

Le prix ontarien du foin commercialisé pour 2010 a été de 126,9 \$/t en croissance de 8 \$/t par rapport à 2009 (OMAFRA, 2011g).

Au niveau des coûts de production, ils varient en fonction de l'utilisation du foin de commerce (voir Tableau 6).

Tableau 6: Coût de production du foin en Ontario en fonction de son utilisation (adapté de Molenuis, 2008)

Type de balles	Coût de production
Petite balle carrée	128,75 \$/t
Balle ronde 4''x4'	123,90 \$/t
Balle ronde 4'x5'	119,71 \$/t
Balle enveloppées 4'x4'	121,47 \$/t
Grosse balle carrée	124,34 \$/t

Le coût de production des fourrages ontariens est donc supérieur au coût de production du Québec. Il faut toutefois garder en tête en les comparant que les données ontariennes sont issues d'un modèle d'ingénierie alors que les données québécoises sont plutôt enquêtées.

Principaux débouchés

Les principaux acheteurs de foin ontarien sont des producteurs laitiers ou chevalins de l'Ontario ou du Nord-Est des États-Unis. Quant à eux, les producteurs de bovins de boucherie, d'ovins ou de chèvres sont généralement autosuffisants, diminuant l'importance du commerce (Yungblut, 2012).

Part de la production exportée vers les régions / pays d'Amérique du Nord où le Québec exporte principalement ses fourrages

Pour la luzerne, les exportations ontariennes vers les États-Unis ont représenté 14 299 t pour une valeur de 3 900 017\$ ce qui représente également une faible valeur de la production totale. La première destination de 2008 à 2011 est le Vermont avec 3621 t en 2011 pour un montant de 837 095\$ (*Ibid.*). Les exportations ontariennes de luzerne représentent 12 654% des exportations québécoises.

Finalement, pour le foin cultivé¹⁶, l'Ontario a exporté pour 10 982 635\$ vers les États-Unis. Ce n'est par contre que 8% de leurs exportations (913572\$) qui ont été dirigées vers le Massachussets, première destination pour le foin québécois et 1% (98 864\$) vers le New Hampshire, seconde destination d'importance pour le foin québécois (Industrie Canada, 2012).

2.3.3 L'intensité de la concurrence

À partir des données disponibles, il semblerait que la production fourragère du Québec soit majoritairement axée vers la consommation à la ferme. Le commerce du foin, de la paille et des

¹⁶ Les données incluent aussi les rutabagas, les betteraves et autres racines fourragères ainsi que les produits connexes.

cube de luzerne représente une partie minime de la production québécoise rendant difficile l'accès à des données fiables. Le commerce (intérieur et international) de produits fourragers est très faible. Selon différentes données de Statistique Canada (2012c), le Québec n'exporte qu'environ 1% de sa production de foin et presque exclusivement vers les États-Unis. Ainsi, le seul joueur d'importance qui pourrait influencer la position concurrentielle du Québec est l'Ontario qui exporte vers les mêmes marchés que les producteurs québécois mais dans une moindre mesure (sauf pour la luzerne).

Tableau 7: Tableau résumé des principales caractéristiques de production de cultures pérennes fourragères au Québec et en Ontario

	Québec	Ontario
Production	4,325 Mt (2011)	5,5 Mt (2011)
Rendement	5,64 t/ha (2011)	6,0 t/ha (2011)
Prix	136,91 \$/t (2010)	126,9 \$/t (2010)
Coûts de production	190 \$/t (2010)	119,71-128,75 \$/t (2008)
Débouché de la production	Bovins laitiers Bovins de boucherie Chevaux Ovins et caprins (2011)	Bovins laitiers Bovins de boucherie Chevaux Ovins et caprins (2011)
Principaux marchés à l'exportation	Ontario	Québec
Principales sources des importations	Ontario	Québec

Les superficies québécoises et ontariennes semblent donc être en déclin depuis les années 1970 avec une légère croissance depuis le milieu des années 1990. Par contre, du côté québécois, la chute a été beaucoup plus abrupte qu'en Ontario. La production ne semble toutefois pas évoluer de la même façon que les superficies alors que malgré des variations annuelles très importantes, les productions québécoises et ontariennes ont subi une diminution importante qu'à partir du milieu des années 1980. La légère croissance actuelle entraîne tout de même une légère croissance de la production. Ces évolutions seraient causées par une croissance des rendements jusqu'au milieu des années 1990 où une chute importante des rendements perdurera jusqu'au milieu des années 2000. Au niveau des coûts de production, ceux-ci semblent varier d'environ 14% au Québec selon les années. Plus particulièrement, ce sont les modifications liées aux opérations culturales qui viennent influencer la variation des coûts de production.

3. Revue de la littérature : les impacts des changements climatiques sur l'agriculture au Québec et dans les régions concurrentes pour les productions ciblées

Dans cette section, il sera tenté d'estimer à l'aide d'une revue de littérature exhaustive l'effet des changements climatiques sur certaines variables clés. L'attention est principalement concentrée sur le Québec, l'Ontario et la Colombie-Britannique et sur les états américains de Washington, de l'Iowa et de l'Illinois qui sont les principales régions concurrentes identifiées au chapitre précédent pour les productions ciblées,

3.1. Les impacts des changements climatiques sur l'agriculture du Québec

Les scénarios climatiques pour le Québec prévoient un réchauffement des températures à l'horizon 2050, qui sera plus important en hiver qu'en été (Ouranos, 2010). En effet, l'augmentation prévue de la température moyenne durant l'hiver sera de 2,5 à 3,8 °C (*Ibid.* Bélanger et coll., 2002) au sud du 48^e parallèle et de 4,5 à 6,5 °C au nord de celui-ci (Ouranos, 2010). L'été, les températures augmenteront en moyenne de 1,9 à 3,0 °C au sud du 48^e parallèle et de 1,6 à 2,8 °C au nord (*Ibid.*; MAPAQ et Ouranos, 2013). Pour les températures printanières, elles devraient augmenter de 1,9 à 3,0°C pour le sud du Québec alors que les températures automnales devraient augmenter de 2,0 à 3,1°C (Ouranos, 2010).

En conséquence, les saisons de croissance devraient être allongées de 20,5 à 37,8% selon les régions du Québec (voir Tableau 8) (Singh et coll., 1996) soit de 2 semaines à 1 mois (MAPAQ et Ouranos, 2013). Ainsi, les régions ayant des saisons de croissance plus courtes actuellement devraient profiter d'améliorations plus substantielles que les régions possédant déjà des saisons de croissance étendues. L'allongement de la saison de croissance se ferait essentiellement par des conditions propices à la culture plus tôt en début de saison selon Singh et coll. (1996) alors que Bélanger et Bootsma (2002) prédisent que le dernier gel devrait survenir 12 à 20 jours plus tôt et le premier gel de 15 à 18 jours plus tard.

Tableau 8: Évolution de la longueur de la saison de croissance pour les différentes régions du Québec (Adapté de Singh et coll., 1996)

Régions	Longueur de la saison de croissance		
	1961-1990 (jours)	Prévision (jours)	% de variation
Bas-St-Laurent	111,0	153,0	37,8%
Québec	129,5	168,3	30,0%
Beauce-Appalaches	127,3	166,0	30,4%
Bois-Francs	138,0	172,5	25,0%
Estrie	138,0	175,0	26,8%
Richelieu-St-Hyacinthe	151,0	185,3	22,7%
Montréal-Sud	152,0	186,5	22,7%
Outaouais	140,4	176,6	25,8%
Abitibi-Témiscamingue	120,3	159,7	32,8%
Montréal-Nord	161,0	194,0	20,5%
Mauricie	135,3	171,3	26,6%
Saguenay-Lac-St-Jean	119,3	158,3	32,7%

Comme les principaux facteurs climatiques qui limitent la production agricole au Québec sont liés à la température (durée de la saison de croissance et cumul de chaleur restreint) subiraient des améliorations considérables, l'impact sur l'agriculture québécoise devrait être globalement positif (Ouranos, 2010). Toutefois, un ensemble de facteurs doit être pris en compte (allongement de la saison de croissance, augmentation des températures, stress hydrique, atmosphère plus riche en CO₂, modifications des populations d'agents pathogènes, insectes et mauvaises herbes) pour déterminer les effets des changements climatiques sur les cultures et leurs rendements.

Les unités thermiques maïs (UTM) sont un indice développé pour représenter la durée des saisons de croissance et l'accumulation de chaleurs en fonction des degrés-jours de croissance. Bélanger et Bootsma (2002) estiment que les UTM devraient augmenter de 29% (2 390 UTM en 2002, contre 3 088 UTM prévues pour 2040-2069). Ces augmentations seront plus importantes au nord du Québec, où l'on prévoit une hausse de 38 %, contre 25 % d'augmentation prévue dans le sud du Québec. Cela pourrait se traduire par un accroissement des rendements potentiels du maïs, du soja et des plantes fourragères, moyennant des conditions d'humidité et de sol propices à leur croissance.

On prévoit, ainsi, une augmentation importante du potentiel agronomique pour certaines cultures, comme le maïs ou le soja, qui profiteront de la chaleur estivale et d'une saison de croissance plus longue (Bootsma et coll., 2004; 2005). Or, selon Dubé (2002) le potentiel agronomique ne sera pas nécessairement amélioré dans les zones à sol limitant (pierrosité, pente, drainage déficient, texture très légère, etc.), malgré une amélioration climatique. Cela permettrait également aux agriculteurs, de choisir des cultivars ou des hybrides plus tardifs ou de cultiver de nouvelles espèces.

On prévoit également une hausse des précipitations de 10% à 30% sur tout le Québec pendant la saison hivernale. Plus spécifiquement, le nord du Québec¹⁷ devrait recevoir de 16,8 à 29,4% de plus de neige alors que le sud du Québec devrait recevoir entre 8,6 et 18,1% plus de précipitations sous forme de pluie. De plus, une partie des précipitations qui y tombe actuellement sous forme de neige devrait être transformée en pluie (*Ibid.*). Bélanger et coll. estiment qu'il devrait y avoir environ 83 mm de pluie supplémentaire en hiver dans le sud du Québec par rapport à une diminution de 75 cm de neige. Ainsi, on s'attend à une accumulation plus importante de neige au sol dans le nord tandis qu'une diminution du cumul de neige au sol est prévue au sud du Québec (Lepage et coll., 2011; Bélanger et coll., 2002). Cette diminution devrait être de l'ordre de 48% des jours (39,4 jours) où le couvert de neige est égal ou supérieur à 10 cm (Bélanger et coll., 2002). Durant la saison chaude, les scénarios indiquent une augmentation des précipitations au nord de 3,0 à 12,1% (pour s'établir à 150 mm), tandis qu'au sud, les changements en termes de précipitations estivales sont incertains. On prévoit peu ou pas de changement dans les quantités globales de précipitations au sud du Québec pendant la saison chaude (Ouranos, 2010; MAPAQ et Ouranos, 2013).

¹⁷ Au-dessus du 48^e parallèle.

Le déficit hydrique, chiffré en 2002 à 79 mm, devrait augmenter jusqu'à 106 mm en 2040-2069 entraînant des complications hydriques pouvant être importantes dans certaines régions (Bélanger et Bootsma, 2002). Par exemple, l'augmentation du déficit hydrique serait plus importante au sud (41 mm de déficit hydrique sont prévus pour l'Outaouais) qu'au nord du Québec (9 mm de déficit hydrique sont prévus pour la région du Continental Nord). Ceci s'explique par une augmentation de l'évapotranspiration potentielle en raison des températures plus élevées qui ne serait pas compensée par une augmentation conséquente des précipitations (Singh et coll., 1996; Bootsma et coll., 2004; MAPAQ et Ouranos, 2013). Un facteur atténuant le stress hydrique pourrait être la capacité améliorée des végétaux à utiliser l'eau lorsque la concentration en CO₂ augmente (Ouranos, 2010).

L'intensité, la fréquence ainsi que l'ampleur de certains événements climatiques extrêmes (vents, chaleur, orage) pourraient également se faire ressentir sur l'ensemble du Québec (Kharin et Zwiers, 2000; GIEC, 2007; MAPAQ et Ouranos, 2013). De même, au niveau des températures extrêmes hivernales, elles devraient être beaucoup moins présentes en 2050 avec une diminution de 23,8 jours par année où les températures descendent sous -15 °C (Bélanger et coll., 2002). °C. Au contraire, en été, le nombre de jours où les températures seront supérieures à 30 °C augmenterait d'environ 7 jours pour un scénario inférieur et de 8 à 21 jours selon un gradient nord-sud pour un scénario supérieur en 2041-2070 par rapport aux normales 1971-2000 (MAPAQ et Ouranos, 2013).

Les changements climatiques devraient aussi entraîner des conséquences sur les agents pathogènes, les insectes et les plantes nuisibles. Ces conséquences sont toutefois difficiles à prévoir en raison des divergences entre les scénarios de précipitations qui sont déterminantes pour la plupart de ces organismes, la réponse non-linéaire de leurs systèmes biologiques et leurs capacités non-prévisibles d'adaptation aux nouvelles réalités (Schern, 2004 dans Ouranos, 2010).

Certains facteurs pourraient avoir des effets plus généralisables comme une augmentation de leur taux de croissance en fonction des nouveaux paramètres climatiques, le voltinisme, une meilleure survie hivernale, une migration de leur aire de répartition et l'arrivée de nouvelles espèces (Bourgeois, 2009; Gagnon et coll., 2011; MAPAQ et Ouranos, 2013). Les changements climatiques pourraient aussi entraîner un décalage entre la croissance du bioagresseur et la croissance de la plante entraînant une rupture de l'équilibre établi (Bourgeois, 2009). Le décalage des agressions envers les plantes cultivées serait d'autant plus présent que la multiplication des événements climatiques extrêmes entraînera une plus grande précarisation des plantes, notamment les sécheresses qui augmentent la concentration des glucides dans la plante les rendant dès lors plus attrayantes (Ziska et Runion, 2007 dans Gagnon et coll., 2011; Gagnon et coll., 2011).

3.1.1 L'impact des changements climatiques sur les cultures du maïs-grain, des cultures pérennes fourragères et de la pomme

3.1.1.1. L'impact des changements climatiques sur la culture de maïs-grain

Les conditions climatiques annoncées devraient permettre d'envisager une expansion de l'aire de culture du maïs-grain vers des régions telles que le Saguenay/Lac-Saint-Jean, l'Abitibi, le Bas-Saint-Laurent/Gaspésie ou l'est de l'Estrie qui présentent actuellement une accumulation d'UTM trop faible pour envisager cette production (UTM < 2 300) sous contrainte des conditions topographiques adéquates (Bootsma et coll., 2004). Selon Bélanger et Bootsma (2002) des rendements de 6,4 à 8,0 t/ha en maïs-grain pourraient être obtenus dans ces régions.

Pour les régions actuellement productrices, une augmentation des rendements est aussi prévue. Ils devraient augmenter de 54% au sud du Québec, de 70 % au centre du Québec et de 57 % dans l'Outaouais (*Ibid.*). Ces augmentations devraient notamment dépendre de l'allongement de la saison de croissance du maïs-grain qui est actuellement de 135 à 149 jours et qui passerait de 165 à 194 jours (Bootsma et coll., 2004). Almaraz et coll. (2008) ont identifié deux facteurs prédominants qui pourraient venir altérer ces gains de rendement. D'abord, la température du mois de juillet expliquerait 38% des rendements en maïs-grain en Montérégie. Ainsi, pour chaque degré Celsius supplémentaire à 21°C, il y aurait une augmentation de 0,126 t/ha des rendements alors qu'une baisse de 1°C entraînerait une diminution de 0,377 t/ha, avec un optimum à 22°C. Le second déterminant, qui expliquerait 18,8% de la variabilité des rendements serait associé aux précipitations du mois de mai où chaque 10 mm supplémentaire entraînerait une diminution de 0,077 t/ha les rendements avec un optimum à 68 mm pour le mois de mai (en diminution de 20 mm). L'atteinte d'un plafond d'augmentation des rendements à 3500 UTM devrait toutefois se produire dans certaines régions pouvant entraîner une augmentation de la variabilité des rendements et une plus grande précarité face aux conditions d'humidité (Bootsma et coll., 2004).

Par ailleurs, le stress provoqué par une hausse du déficit hydrique pourrait avoir un impact significatif sur les rendements du maïs certaines années et plus particulièrement dans les terres non irriguées (Bélanger et Bootsma, 2002). Cependant, le déficit hydrique ne devrait pas avoir un effet notable sur les rendements moyens.

En ce qui concerne les ennemis des cultures, on prévoit le développement d'une génération additionnelle de la pyrale du maïs, une expansion de l'aire géographique de la pyrale vers le nord, une arrivée plus hâtive de celle-ci en saison et conséquemment une augmentation des coûts d'insecticide (Gagnon et Roy, 2011). Du côté de la chrysomèle du maïs, il devrait y avoir une augmentation de sa pression sur les cultures en raison de l'augmentation de la concentration en CO₂ (Dermody et coll., 2008 dans Gagnon et coll., 2011). De même, les conditions plus propices à la survie hivernale devraient faciliter la propagation du mildiou du maïs (Salinari et coll., 2006 dans Gagnon et coll., 2011). La maladie de Stewart devrait profiter des hivers plus cléments et des plus grandes chaleurs de l'été pour étendre ses dommages en causant des pertes de rendement de 40 à 100% (Greifenhagen et Noland, 2003).

Lorsque la concentration de CO₂ dans l'atmosphère augmente, on constate une plus grande vulnérabilité des cultivars face à certaines mauvaises herbes de type C3. Dans ces conditions, des pertes de rendement sont possibles à cause de la prolifération des mauvaises herbes, si les précipitations sont faibles. L'efficacité de certains insecticides augmente dans une

atmosphère plus riche en CO₂, mais on observe également une diminution de l'efficacité de certains insecticides systémiques (Gagnon et coll., 2011).

Les événements climatiques extrêmes entraînant des précipitations importantes pourraient aussi entraîner une augmentation des risques d'asphyxie des racines du maïs et le développement de champignons (Ouranos, 2010).

3.1.1.2. L'impact des changements climatiques sur la culture de plantes pérennes fourragères

Parmi les impacts possibles des changements climatiques sur la culture des plantes fourragères on peut mentionner des conditions de survie plus difficiles en hiver avec un déplacement vers le nord et en altitude des zones plus propices, où les risques de gels tardifs et hâtifs demeurent à un seuil sécuritaire (Dubé, 2002). Pour les fourrages, des automnes plus chauds accompagnés d'une diminution de la couverture de neige et d'une hausse des pluies hivernales, augmenteraient les risques de mortalité (Bélanger et Bootsma, 2002).

En effet, la diminution attendue du cumul de neige au sol, réduirait l'efficacité de la protection qu'offre la couverture neigeuse, car elle ne sera plus suffisante pour isoler les plantes fourragères des cycles de gel-dégel. Par ailleurs, Bélanger et Bootsma (*Ibid.*) estiment que le nombre de jours d'exposition à des températures létales sans couverture de neige devrait augmenter dans toutes les régions du Québec (16 jours de plus dans le Bas-Saint-Laurent-Gaspésie et 28 dans le centre du Québec), ce qui ferait accroître le risque de dommages et ce, malgré une diminution du nombre de 23,8 jours où les températures risquent de descendre sous les -15°C, température dommageable pour les plantes pérennes fourragères et de 39,4 jours de la période avec au moins 10 cm de neige (Bélanger et coll., 2002). Le choix des variétés moins sensibles au gel hivernal serait donc nécessaire dans un contexte de changements climatiques. De plus, des automnes plus doux pourraient diminuer les conditions optimales à l'endurcissement et les risques associés à la perte d'endurcissement au cours de l'hiver augmenteront (*Ibid.*).

La période d'endurcissement débute actuellement le 1^{er} novembre et se termine le 25 novembre. Les prédictions de Bélanger et coll. (*Ibid.*) font ressortir qu'elle devrait être réduite de 11% en plus de débiter autour du 11 novembre et de terminer pour le 1^{er} décembre. Ainsi, les conditions propices à l'endurcissement devraient être présentes 91% des années au Bas-St-Laurent, 45% des années au sud du Québec et 48% dans le nord du Québec (*Ibid.*). De plus, les qualités nutritives des fourrages pourraient diminuer d'ici 2050 (Gitz et coll., 2006 dans Ouranos, 2010).

Cependant, les changements climatiques auraient également des effets positifs sur la culture de plantes fourragères. L'élargissement de la période de croissance, par exemple, devrait permettre une coupe additionnelle de plantes fourragères dans toutes les régions agricoles du Québec, ce qui pourrait se traduire par des augmentations de rendement annuel de 2 à 5 t/ha (*Ibid.*; Bélanger et Bootsma, 2002; Bootsma et coll., 2004). De plus, selon le même auteur, une

amélioration du potentiel agronomique est possible dans les zones plus chaudes de la Plaine du Saint-Laurent, lorsque les conditions thermiques et d'humidité nécessaires sont présentes.

3.1.1.3. L'impact des changements climatiques sur la culture de pommes

Les changements climatiques prévus pour le Québec devraient en général avoir des effets positifs (Rochette et coll., 2004; Lease et coll., 2009). Les pommiers pourraient profiter d'une saison de croissance allongée (entre 14 à 45 jours additionnels selon les régions, voir le Tableau 9) et ils seraient exposés à un risque moindre de froids extrêmes en hiver (Dubé, 2002; Rochette et coll., 2004; Lease et coll., 2009; Ouranos, 2010). Tout comme pour les cultures pérennes fourragères, les conditions d'endurcissement pourraient ne pas être atteintes en raison d'un automne trop chaud (Dubé, 2002). De plus, des températures excessivement douces en hiver pourraient entraîner un désendurcissement plus tôt que prévu augmentant les risques pour les arbres (*Ibid.*, Rochette et coll., 2004). Certains auteurs mentionnent aussi que les bourgeons et les fleurs verront leur probabilité de gel augmenter (Chouinard et coll., 2012) alors que la plupart s'entendent pour dire que ces risques devraient diminuer dans les régions agricoles les plus nordiques et rester stables pour les régions du Bas-St-Laurent et du sud du Québec (Rochette et coll., 2004; Ouranos, 2010).

Tableau 9: Prévion des variations des dates des premiers et derniers gels pour certaines régions du Québec en 2050 (Adapté de Lease et coll., 2009)

Régions	Gel automnal		Gel printanier	
	Date actuelle	Nombre de jours plus tard	Date actuelle	Nombre de jours plus tôt
Bonsecours	17 septembre	6-17 jours	8 mai	8-23 jours
Farnham	27 septembre	6-14 jours	30 avril	13-22 jours
Hemmingford	22 septembre	7-13 jours	7 mai	12-23 jours
Oka	26 septembre	7-15 jours	29 avril	15-21 jours
Québec	29 septembre	6-26 jours	1 mai	14-19 jours)

Selon Bélanger et Bootsma (2002) la production d'arbres fruitiers, dont les pommiers, pourrait s'étendre plus au nord avec le changement climatique. Singh et Stewart (1991) évaluent que les conditions propices à la culture des pommes, sans considérations topographiques, devraient augmenter considérablement dans toutes les régions du Québec (voir Tableau 10).

Tableau 10: Part des terrains agricoles possédant les conditions climatiques permettant l'accueil de pommiers pour certaines régions du Québec pour la période 1951-1980 et 2050 (Adapté de Singh et Stewart, 1991)

Région	Période ciblée	Présence de conditions propices à la culture de la pomme				
		Nulles	Faibles	Adéquates	Bonnes	Très bonnes
Montréal-Sud	1951-1980	61%	26%	0%	12%	1%
	2050	0%	0%	16%	5%	79%
Montréal-Nord	1951-1980	38%	62%	0%	0%	0%
	2050	0%	0%	5%	7%	88%
Outaouais	1951-1980	58%	21%	20%	1%	0%
	2050	0%	0%	0%	37%	63%

Abitibi-Témiscamingue	1951-1980	47%	41%	12%	0%	0%
	2050	0%	0%	0%	30%	70%
Québec	1951-1980	48%	48%	1%	3%	0%
	2050	0%	0%	0%	0%	100%
Lac-St-Jean	1951-1980	21%	79%	0%	0%	0%
	2050	1%	4%	0%	24%	71%
Bas-St-Laurent	1951-1980	8%	52%	40%	0%	0%
	2050	0%	0%	0%	0%	100%

Il y aurait également, selon Chouinard (2012), des effets négatifs des changements climatiques sur la culture de la pomme, notamment un risque d'augmentation des générations d'insectes et acariens nuisibles, ainsi que l'apparition de nouvelles espèces. Il existe également un risque accru de développement de certaines maladies, comme le feu bactérien, par exemple. De plus, l'augmentation du stress hydrique pourrait obliger certains producteurs à adopter l'irrigation (Lease et *coll.*, 2009).

3.2. Les impacts des changements climatiques sur l'agriculture en Ontario

Les changements climatiques prévus pour l'Ontario sont très proches de ceux du Québec d'ici 2050 :

Une augmentation de la température moyenne annuelle de 2.5°C à 3.7°C. Comme au Québec, selon Bruce et *coll.*(2011) la hausse des températures sera plus importante en hiver (de 2 à 3,5 °C) qu'en été (de 2 à 3 °C);

Les températures minimum augmenteront plus que les températures maximum (Boland et *coll.*, 2004);

Un allongement de la période de croissance (30 à 45 jours) (Bootsma, 2007);

Une diminution de la couverture neigeuse au sol en hiver;

Une augmentation du risque de sécheresse (Boland et *coll.*, 2004);

Des événements climatiques extrêmes plus fréquents et intenses (*Ibid.*; Ontario Experts Panel on Climate Change, 2009);

Une augmentation des précipitations de l'ordre de 10 mm pour la période sans gel (Smit et *coll.*, 1989);

Selon Bryant et *coll.* (2007), les changements climatiques auront, en Ontario comme au Québec, des effets négatifs et positifs sur les cultures.

Combiné avec des températures plus élevées, l'allongement de la période de croissance aura un impact positif sur les rendements de certaines cultures, comme le maïs ou le soya, lorsque les conditions d'humidité le permettent.

La disponibilité en eau deviendra également un enjeu majeur pour les agriculteurs ontariens, notamment pendant la période estivale (Lease et *coll.*, 2009) entraînant une augmentation des besoins en irrigation (Boland et *coll.*, 2004) estimée à 79% du territoire propice à la culture du maïs-grain (Smit et *coll.*, 1989).

Selon Bootsma et *coll.* (2005), les rendements moyens annuels du maïs-grain pourraient augmenter de 40% à 115%, selon les conditions d'humidité. Ces données ne tiennent pas compte de l'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère, des progrès dans la sélection végétale et l'évolution des pratiques agricole ou des impacts sur le rendement des mauvaises herbes, insectes et maladies.

L'expansion de l'aire de culture du maïs-grain vers d'autres régions agricoles sera également possible (Bootsma et *coll.*, 2004). Les producteurs pourront également choisir des nouvelles variétés ou hybrides avec des rendements potentiels plus élevés puisque les UTM pourraient atteindre jusqu'à 5200 dans certaines régions entraînant des besoins en eau différents des besoins actuels. La diminution des précipitations en juin, août et septembre devraient entraîner une augmentation importante du stress hydrique et donc un besoin criant d'irrigation (Viau et Mitic, 1992). Ainsi, le rendement serait diminué de 4% pour chaque jour de stress hydrique en juin et de 8% en juillet.

Les rendements des nouvelles aires de culture devraient atteindre pour les meilleurs sols entre 7 et 9 t/ha. L'est de l'Ontario devrait, lui, voir ses rendements augmenter de 2 à 3 t/ha tout comme le centre de l'Ontario. Les régions du centre-sud, de l'ouest de du sud-ouest devraient voir leurs rendements diminuer globalement d'environ 0,2 à 1 t/ha sauf pour certains types de sols (Smit et *coll.*, 1989).

Les hivers seront plus doux, avec une diminution de jours de froid extrême et une diminution de la couverture neigeuse au sol, ce qui aurait les mêmes impacts sur la survie des plantes fourragères que dans le cas du Québec. Comme au Québec, on s'attend à avoir plus de coupes de fourrages (en raison de l'allongement de la période de croissance) dans l'est, le centre-sud et le sud-ouest ontarien, mais l'augmentation des rendements serait limitée par la disponibilité de l'eau et la survie hivernale des plantes fourragères (Smit et *coll.*, 1989; Bootsma et *coll.*, 2004). Bootsma et *coll.* (2004) mentionnent que la saison de croissance des plantes fourragères devrait augmenter d'environ 39 jours grâce à un devancement de la saison d'un peu moins d'un mois et un allongement d'environ 2 semaines. Toutefois, les conditions propices à l'endurcissement ne devraient être présentes que 51% des années dans le sud de l'Ontario et 48% des années dans le nord, affectant dès lors la survie des plantes fourragères notamment en raison d'un raccourcissement de la saison propice de 6 jours (Bélanger et *coll.*, 2002). Les rendements du nord de l'Ontario ne devraient pas varier considérablement alors qu'ils devraient augmenter d'environ 0,5 t/ha pour l'est de l'Ontario et de 1 à 1,5 t/ha pour le centre-sud. Au contraire, les régions du centre et de l'ouest de l'Ontario devraient voir leurs rendements diminuer de 0,2 à 0,5 t/ha (Smit et *coll.*, 1989).

De même, pour la pomiculture, les conditions climatiques devraient être plus propices si le pommier réussit son endurcissement. Les froids extrêmes devraient voir leur occurrence diminuer considérablement alors qu'ils devraient être absent 9 années sur 10 (1 année sur 2

actuellement). Les froids pouvant causer des dommages aux pommiers en absence d'un couvert de neige adéquat seront tout de même présent 1 année sur 3 alors qu'ils sont actuellement présent à toutes les années (Rochette et coll., 2004). Il s'agit d'une considération importante puisque Rochette et coll. (*Ibid.*), définissent que les températures hivernales représentent le principal frein à la production de pommes en Ontario et au Québec. Toutefois, la diminution du couvert de neige entraînera une plus grande sensibilité aux dommages printaniers et les bourgeons et les fleurs devraient subir plus de dégâts (*Ibid.*).

Les mêmes craintes existent ici quant aux organismes nuisibles (Bootsma et coll., 2005; Winkler et coll., 2002 dans Lease et coll., 2009; Gouvernement de l'Ontario 2011a; 2011b). On s'attend à un plus grand développement de mauvaises herbes et organismes nuisibles en raison de l'augmentation du stress des plantes ce qui les rendra plus vulnérables, ainsi qu'à l'apparition de nouvelles espèces (Boland et coll., 2004). Cela aurait un impact négatif sur les rendements des cultures, notamment dans un contexte d'atmosphère plus riche en CO₂ qui ferait que certaines cultures, comme le maïs, seraient plus vulnérables.

Au niveau des cultures pérennes fourragères, l'antracnose devrait être moins présente en raison des chaleurs plus élevées en été diminuant sa capacité de propagation. Toutefois, des conditions de survie hivernale plus propices devraient lui permettre de faire des dégâts plus tôt en saison (Boland et coll., 2004). L'impact de la fonte des semis et de la pourriture des racines devrait aussi diminuer considérablement en raison des chaleurs estivales plus présentes ainsi qu'une diminution des conditions d'humidité et ce, malgré une meilleure survie hivernale (*Ibid.*). Par contre, la pression exercée par la verticilliose devrait augmenter en réaction à l'augmentation de la vulnérabilité de la plante causée par les nouveaux stress climatiques, notamment ceux causés par les événements climatiques extrêmes.

Pour la culture du maïs-grain, l'antracnose devrait aussi voir son impact diminué pour les mêmes raisons que pour les fourrages. Le piétin-verse devrait aussi voir son occurrence diminuer en raison de la chaleur estivale ralentissant sa propagation, tout comme l'helminthosporiose du Nord (*Ibid.*). Par contre, le charbon du maïs et la fusariose devraient être beaucoup plus présent puisqu'ils profiteront de la chaleur estivale plus élevée pour mieux se propager et des dégâts causés par les températures extrêmes pour profiter de la plus grande vulnérabilité de la plante (la fusariose profitera aussi de la diminution des températures hivernales pour améliorer ses chances de survie). La tache grise du maïs devrait aussi voir sa survie améliorée grâce aux températures hivernales plus clémentes. Toutefois, un manque d'humidité et la chaleur plus importante en été devrait modérer quelque peu sa propagation (*Ibid.*). Finalement, la pression exercée par la maladie de Stewart devrait augmenter en raison de l'augmentation de la survie des vecteurs la propageant grâce à un hiver plus clément et d'une diminution des défenses de l'hôte due aux événements climatiques extrêmes.

Au niveau de la culture des pommes, la plupart des bio-agresseurs devraient voir leur présence diminuée. Notamment, la tavelure du pommier, la rouille du genévrier et la pourriture noire (diminution de la propagation en raison des chaleurs estivales, augmentation du stress hydrique mais hiver plus doux), la pourriture amère de la pomme (mêmes impacts que pour la tavelure et la pourriture noire mais la prolongation de la période où les fruits sont dans les arbres facilitera

sa propagation), la pourriture du collet (la diminution de l'humidité estivale nuira considérablement à son développement malgré un allongement de la période de dégâts en raison de la présence plus longue des fruits dans les arbres et des hivers plus cléments) et la moucheture verront leur présence diminuée en Ontario. Par contre, l'oïdium du pommier devrait profiter des températures plus clémentes en hiver, de l'augmentation de la chaleur estivale et des dommages causées par les événements climatiques extrêmes pour accroître sa présence. Finalement, le feu bactérien ne devrait pas voir sa présence modifiée alors que l'augmentation de son taux de survie hivernal, l'allongement de la présence des fruits sur les arbres et les nombreux dégâts causés par les événements climatiques extrêmes seront compensés par la diminution importante de l'humidité pendant la période estivale et d'une chaleur plus élevée (*Ibid.*).

On prévoit, finalement, des coûts de maintenance plus élevés à cause des impacts des phénomènes climatiques extrêmes (orages, inondations, grêle) sur les infrastructures agricoles.

3.3. Les impacts des changements climatiques sur l'agriculture de la Colombie-Britannique et de l'État de Washington

Du côté de la Colombie-Britannique et de l'État de Washington, les prévisions d'augmentation de la température se situent entre 0,61°C et 1,83°C pour 2020, entre 0,83°C et 2,89°C pour 2040 et entre 1,56°C et 5,39°C pour 2080 (Lettenmaier et *coll.*, 1999; Leung et *coll.* 2004; Christensen et *coll.* 2007; Parry et *coll.* 2007; Preparation and Adaptation Working Groups, 2008; Littell et *coll.*, 2009; Stöckle et *coll.*, 2009). Plus particulièrement, Rosenberg et *coll.* (2003) mentionnent que, pour l'État de Washington, la température devrait augmenter de 0,6°C en 2030 et de 3°C en 2095 pour les mois de décembre à février la moyenne actuelle de température de ces mois étant de 3,9°C. Pour les mois de mars à mai, les augmentations prévues seraient respectivement de 0,5°C d'ici 2030 et de 1,5°C d'ici 2095¹⁸ avec une température moyenne actuelle de 14,7°C. Pour les mois de juin à août, ces auteurs font la prévision d'une diminution de 0,7°C d'ici 2030 et une augmentation de 2,6°C pour 2095 alors que la moyenne actuelle est de 27,1°C. Finalement, pour les mois de septembre à novembre, Rosenberg et *coll.* (2003) prévoient une diminution de 1,8°C pour 2030 et une augmentation de 0,9°C pour 2095 pour une moyenne de température actuelle de 16,1°C. De la même façon, pour la Colombie-Britannique, le Pacific Climate Impacts Consortium (PCIC, 2011) prévoient que les températures hivernales pour l'horizon 2050 vont augmenter de 0,6 à 3,6°C, qu'elles augmenteront de 1,1 à 3,2°C au printemps, de 1,4 à 4,4°C en été et de 1,3 à 3,9°C en automne. Ceci devrait s'accompagner d'une diminution de la variabilité journalière en hiver alors que la variabilité journalière de la température devrait augmenter en été (British Columbia Ministry of Water, Land and Air protection, 2002).

Quant aux précipitations, il est prévu qu'elles soient plus importantes en automne et en hiver mais que les précipitations printanières et estivales soient en baisse (Leung et *coll.*, 2004; Parry et *coll.*, 2007; Preparation and Adaptation Working Groups, 2008; Littell et *coll.*, 2009, Stöckle et

¹⁸ Les horizons temporels des différentes régions à l'étude ne correspondent pas toujours, il s'agit d'une limite de la littérature étudiée.

coll., 2009). Plus précisément, Rosenberg et coll. (2003) prévoient que pour les mois de décembre à février les précipitations vont augmenter de 25% d'ici 2030 et de 40% d'ici 2095 alors que la moyenne est actuellement à 255 mm. Pour les mois de mars à mai, ils prévoient une augmentation de 33% d'ici 2030 et de 27% pour 2095 alors que la moyenne est actuellement à 160 mm. Les mois de juin à août devraient, quant à eux, recevoir 16% de plus de précipitations en 2030 et 6% de plus en 2095 alors que la moyenne actuelle est de 85 mm. Finalement, pour ce qui est des mois de septembre à novembre, des augmentations de 59% en 2030 et 44% en 2095 sont prévues par rapport à la moyenne actuelle de 177 mm. De plus, en ce qui concerne l'évapotranspiration, l'évapotranspiration potentielle, le ruissellement de surface et le rendement en eau, ils prévoient des augmentations pour 2030 et 2095 (voir Tableau 11). Ces évolutions sont entre autres influencées par les changements qui sont à prévoir au niveau des précipitations hivernales. Selon les prédictions, en raison de l'augmentation de la température, il devrait y avoir une plus grande part des précipitations hivernales sous forme de pluie (Zebarth et coll., 1996; Leung et coll., 2004; Preparation and Adaptation Working Groups, 2008; Littell et coll., 2009, Stöckle et coll., 2009). Ainsi, le couvert de neige au premier avril serait amputé de 28% en 2020, 40% en 2040 et 59% en 2080 (Preparation and Adaptation Working Groups, 2008; Littell et coll., 2009).

Conséquemment, la saison de production des denrées alimentaires devrait augmenter, permettant l'utilisation de nouveaux cultivars (Preparation and Adaptation Working Groups, 2008). Ainsi, Fischer, Shah et van Velrhuizen (2002) concluent que la saison de production en Colombie-Britannique et dans l'État de Washington devrait augmenter de 10 à 30 jours (selon les productions) en 2080 par rapport aux saisons de production de 1961 à 1990.

Tableau 11: Moyennes actuelles et prévisions pour 2030 et 2095 selon les scénarios de 365 ppm et de 560 ppm de CO₂ pour l'évapotranspiration, l'évapotranspiration potentielle, le ruissellement de surface et le rendement en eau (en millimètres) (Adapté de Rosenberg et coll., 2003)

	Évapotranspiration		Évapotranspiration potentielle		Ruissellement de surface		Rendement en eau	
	2030	2095	2030	2095	2030	2095	2030	2095
Moyenne actuelle	235		1000		192		400	
Années	2030	2095	2030	2095	2030	2095	2030	2095
365 ppm de CO₂	309	322	1070	1057	279	277	539	538
560 ppm de CO₂	295	309	1044	1144	284	281	553	549

La concentration de gaz à effets de serre en équivalent CO₂ dans l'atmosphère devrait dépasser 500 ppm d'ici 2020 et atteindre 560 ppm pour 2030. Pour 2060 il est plutôt question de près de 700 ppm alors que 2090 devrait connaître des concentrations supérieures à 1000 ppm (GIEC, 2007). L'impact sur les cultures peut être important, particulièrement chez celles de type C₃ qui profiteront de gains de biomasse importante (Stöckle et coll., 2009). L'augmentation de biomasse pourra avoir un impact important puisque les plantes auront des superficies de photosynthèse plus importantes et donc une meilleure capacité à produire des fruits de qualité. Toutefois, elles ne seront possibles que si les plantes sont en mesure de puiser des quantités suffisantes d'azote du sol. De plus, l'augmentation de CO₂ dans l'atmosphère entraîne une

diminution de la perte en eau par transpiration des plantes puisqu'elle amène les stomates des plantes à se refermer. L'impact de l'augmentation du CO₂ aura donc aussi un impact au niveau des besoins hydriques des plantes.

Par ailleurs, des événements météorologiques extrêmes (verglas, orages, etc.) pourraient être plus fréquents (Parry, 2007). Ils pourraient, entre autres, se traduire par une dégradation permanente des sols et des cultures (Wreford, Moran et Adger, 2010).

3.3.1 L'impact des changements climatiques sur la culture de pommes

Les changements climatiques précédemment mentionnés pour la Colombie-Britannique et l'État de Washington auront peu d'impacts sur la pomiculture de ces régions. En effet, Stöckle et coll. (2009) prédisent qu'en tenant compte des augmentations de CO₂ dans l'atmosphère, les rendements des pommes irriguées s'accroîtront de 6% pour 2020, 9% pour 2040 et 16% pour 2080 (Si on ne tient pas compte de l'augmentation du CO₂, il s'agirait plutôt de diminutions de 1%, 3% et 4%). L'hypothèse d'augmentation du CO₂ retenue dans ce cas (600 ppm) induirait une augmentation de 20% de la production de biomasse par les arbres. De plus, en tenant compte d'une adaptation des producteurs (développement de variétés permettant de profiter de la saison de production allongée et développement de nouvelles technologies) les rendements pourraient s'accroître de façon encore plus importante avec des gains de 5% en 2020, 4% en 2040 et 4% en 2080 sans augmentation du CO₂ atmosphérique et de 11% en 2020, 16% en 2040 et 19% en 2080 en tenant compte de l'augmentation de CO₂. L'amélioration de rendement serait causée par l'augmentation de la période chaude après la récolte des pommes qui permettrait alors aux pommiers d'emmagasiner plus de carbone et donc d'avoir une meilleure résistance au froid. De même, le réchauffement climatique permettrait aux pommiers de débourrer plus rapidement (3 jours plus tôt en 2020) (Stöckle et coll., 2009). Bien que ceci puisse sembler profitable pour les entreprises qui pourront alors utiliser des cultivars à saison de production plus longue, un débourrage plus hâtif entraîne une augmentation du risque de gel des bourgeons et donc pourrait entraîner des pertes substantielles (*Ibid.*). De plus, les augmentations de rendement prévues illustrent en fait un ralentissement de la croissance actuelle des rendements telle que vue précédemment. Ceci s'explique par la seule prise en compte des modifications climatiques sans amélioration des techniques de production. De plus, ces prédictions négligent plusieurs facteurs dont les modifications au régime hydrique de la région, la plus grande prolifération des insectes et les événements climatiques extrêmes. D'abord, au niveau du régime hydrique, il faut savoir que la majorité de la production de pommes se fait sur des sols qui sont irrigués à partir de la rivière Yakima dans l'État de Washington et dans la vallée de l'Okanagan en Colombie-Britannique (plus particulièrement près des villes de Vernon et de Cranbrook). Le fait de devoir irriguer les vergers risque donc d'accroître la sensibilité des cultures aux modifications du régime hydrique. Cette problématique est d'ailleurs déjà très présente dans l'État de Washington alors qu'un régime de droits d'utilisation de l'eau a dû être mis en place (Department of Ecology, 2012). Ces droits ont été distribués sur une base de l'utilisation historique faisant en sorte que ce soit les plus récents détenteurs de permis qui soient touchés en cas de pénurie d'eau. Selon Kruger (2007), actuellement, les plus récents détenteurs de permis se font rationner dans leur utilisation d'eau une année sur sept. Cet auteur prédit qu'en fonction des prévisions hydrologiques, ce taux

devrait atteindre une année sur deux en 2020 et neuf années sur dix en 2040 rendant précaire tout développement ultérieur du secteur. Littell et *coll.* (2009), quant à eux, prévoient qu'en 2020 ce sera une année sur trois, en 2040 deux années sur cinq et en 2080 quatre années sur cinq que la rivière Yakima sera à un niveau trop bas pour répondre aux besoins de tous. Cela entraînerait donc une diminution des rendements des nouveaux producteurs de pommes de 20 à 25% pour 2020 et de 40 à 50% en 2080. La situation pourrait être semblable en Colombie-Britannique alors que l'augmentation des températures devrait entraîner une diminution des débits d'eau des affluents du bassin de la rivière Columbia de 20 à 90% (Gayton, 2008). Pour éviter ces problèmes, le Preparation and Adaptation Working Groups (2008) conseille aux acteurs du milieu de revoir leurs installations de stockage de l'eau et de modifier l'attribution des droits concernant l'utilisation de l'eau. Ils soulèvent d'ailleurs le fait que l'impact se répercutera sur d'autres sources d'eau comme l'eau sous-terrainne qui verra sa demande augmenter.

Les modifications au régime hydrique hivernal auront aussi des répercussions sur les pommiers. Il y aura d'abord une amélioration des conditions de protection des arbres pendant l'hiver. En effet, le fait que le sol soit plus humide entraînera une diminution de la pénétration du froid dans le sol et donc une meilleure protection pour les racines des arbres (Zebarth et *coll.*, 1996). Le sol humide hivernal amènera aussi une diminution du stress hydrique au printemps (*Ibid.*) mais cette augmentation de l'humidité du sol risque de ralentir les travaux pouvant être effectués dans les vergers par de la machinerie si les producteurs ne veulent pas endommager leur sol (Preparation and Adaptation Working Groups, 2008). De même, l'humidité risque de favoriser la présence de champignons ou de mauvaises herbes augmentant du même coup l'utilisation de fongicides et d'herbicides. Aussi, la diminution des précipitations au printemps risque d'augmenter le stress hydrique des pommiers. Par ailleurs, comme l'électricité de la région de Washington provient en grande partie de l'hydroélectricité, une augmentation du stress hydrique risque d'entraîner une augmentation des coûts d'énergie (*Ibid.*).

Pour ce qui est de la prolifération des insectes ravageurs, il est plus difficile de prévoir quelles seront les nouvelles espèces qui profiteront de l'augmentation de la température pour s'établir dans l'État de Washington ou en Colombie-Britannique (*Ibid.*). Par contre, Stöckle et *coll.* (2009) ont évalué quelles seraient les conséquences des changements climatiques sur la carpocapse des pommes et des poires (*Cydia pomonella* L.), l'espèce causant le plus de dégâts dans les vergers washingtoniens. Actuellement, en fonction du climat, il y a habituellement 2 générations de carpocapses qui voient le jour dans une année avec un très faible pourcentage de troisième génération (6%). Or, selon leurs prédictions, comme toutes les éclosions auraient lieu plus tôt, la probabilité d'avoir une troisième génération de carpocapses serait considérablement augmentée (entre 70 et 90% pour 2080). L'augmentation du nombre de ravageurs à traiter de même que le rallongement de leur saison d'activité entraînera alors une augmentation du coût de vaporisation des pesticides que Kruger (2007) évalue entre 132,28 et 265,64 \$/ha. De plus, le traitement à base de phéromones qui est actuellement utilisé perdrait de son efficacité. De plus, le Preparation and Adaptation Working Groups (2008) mentionne qu'il devrait y avoir une augmentation de l'occurrence de d'autres ravageurs notamment en raison de l'augmentation de la température hivernale qui induira moins de morts en raison du froid mais aussi parce que la saison chaude s'étirera et leur permettra de compléter leur cycle de vie.

Quant aux événements climatiques extrêmes, il est très difficile de prévoir leur occurrence. Caprio et Quamme (1998) ont tout de même identifié, à partir des données météorologiques de la Vallée de l'Okanagan de 1920 à 1991, des points critiques dans la production de pommes (voir Tableau 12).

Tableau 12: Facteurs de production critiques dans la production de pommes dans la Vallée de l'Okanagan (Adapté de Caprio et Quamme, 1998)

Période critique	Facteurs déterminants	Conséquences
Printemps	≤ 5°C	Difficile pour les arbres
Floraison	≥ 21°C de jour ≥ 11°C de nuit	Température idéale
	≥ 28°C de jour ≤ 10°C de nuit	Empêche la pollinisation
Débourrage (juin)	≥ 30°C	Production plus faible l'année suivante
Fin de la floraison (août)	≥ 33°C précipitations journalières moyennes ≤ 2 mm	Baisse de la photosynthèse Baisse de la taille des fruits Possibilité de coups de soleil Production plus faible l'année suivante
Récolte	≥ 17°C	Diminue les pertes causées par le froid Facilite la récolte
Novembre, décembre ou février	≤ -7°C ≤ -29°C	Principal facteur limitant la production
Janvier	≥ 5°C de façon répétée	Dommages aux arbres
Mars	Précipitations journalières moyennes ≥ 1 mm	Bonne production

Finalement, l'augmentation de la température permettra une augmentation de la superficie cultivable, particulièrement en Colombie-Britannique. Les prédictions de Zebarth et coll. (1996) font état des augmentations de superficies potentielles pour la production de pommes liées à une hausse de 3°C de la température moyenne. De cette façon, la pomiculture serait possible sur environ 160 à 250 km de plus au nord et à des hauteurs plus élevées de 200 à 250 m. Toutefois, Littell et coll. (2009) et Preparation and adaptation working group (2008) mentionnent que le niveau de la mer risque de s'élever, d'ici 2100, de 5 à 33 centimètres entraînant du même coup une diminution potentielle des terres disponibles pour la pomiculture (inondation des champs et déplacement des populations).

3.4. Les impacts des changements climatiques sur l'agriculture de l'Illinois et de l'Iowa

Pour ce qui est des États de l'Illinois et de l'Iowa, les prévisions d'augmentation de la température se situent entre 0,8 et 6°C d'ici 2100 (Rosenzweig et Iglesias, 1994 ; Brown et Rosenberg, 1999; Rosenzweig et coll., 2000 ; Adams et coll., 2003; Christensen et coll. 2007; Parry et coll., 2007; Goldblum, 2009). Rosenberg et coll. (2003), Brown et Rosenberg (1999) de même que Goldblum (2009) décomposent les variations climatiques par saison. Rosenberg et coll. (2003) mentionnent que pour une température moyenne actuelle de -1°C entre décembre

et février pour le haut du Mississippi, il devrait y avoir une augmentation de 0,3°C en 2030 et de 2,4°C en 2095. Pour la période de mars à mai, ils prévoient une augmentation de 1,3°C pour 2030 et de 2°C pour 2095 alors que la moyenne actuelle est de 14,4°C. Les mois de juin à août devraient, quant à eux, subir une augmentation de température de 1,7°C pour 2030 et de 0,2°C pour 2095 alors que la moyenne serait actuellement à 28,1°C. Finalement, pour les mois de septembre à novembre, les augmentations de température devraient être de l'ordre de 1,3°C pour 2030 et de 2°C pour 2095, alors que la moyenne est actuellement de 16,2°C. De leur côté, Brown et Rosenberg (1999) prévoient une augmentation de la température entre 1,3 et 2,3°C pour les mois de décembre à février (moyenne à -2°C), des augmentations entre 1,1 et 1,5°C pour les mois de mars à mai (moyenne de 10,2°C), des augmentations entre 0,8 et 1,7°C pour les mois de juin à août (moyenne de 22,3°C) et des augmentations entre 1,4 et 1,8°C pour les mois de septembre à novembre (moyenne de 12,1°C). Pour Goldblum (2009), la température devrait augmenter en hiver entre les mois de décembre et février de 5 à 6°C d'ici 2050 alors que le printemps et l'automne devraient ne voir une augmentation de la température que de 2 ou 3 °C. Pour l'été (juillet-août), l'augmentation devrait être d'environ 4,5°C. De cette façon, la hausse globale de température d'ici 2050 devrait être d'environ 3,75°C.

Les précipitations devraient connaître une hausse (Changnon et Hollinger, 2003; Rosenberg et coll. 2003; Diffenbaugh et coll. 2012) mais essentiellement sous forme d'averses très fortes (Rosenzweig et coll., 2002; Changnon et Hollinger, 2003). Goldblum (2009) prédit toutefois une diminution des précipitations particulièrement à la fin de l'automne et pendant l'hiver. Pour le printemps et l'été, il prévoit une diminution d'environ 5% des précipitations. Tout comme pour la température, Brown et Rosenberg (1999) et Rosenberg et coll. (2003) ont décomposé les variations des précipitations selon les mois. D'abord, Brown et Rosenberg (1999) estiment qu'il y aura une variation de 1 à 12% des précipitations pour les mois de décembre à février alors que la moyenne est actuellement de 190 mm. Pour les mois de mars à mai, ils estiment une variation entre -4 et 3% pour une moyenne actuelle à 300 mm. La variation de juin à août serait, quant à elle, entre -4 et 1% (moyenne actuelle de 315 mm). Finalement, pour les mois de septembre à novembre ils prédisent une diminution des précipitations entre 2 et 5% (moyenne actuelle de 231 mm). Quant à eux, Rosenberg et coll. (2003) prédisent pour 2030 une augmentation des précipitations de 2% pour les mois de décembre à février et de 16% en 2095 (moyenne actuelle de 100 mm). Pour les mois de mars à mai, la moyenne actuelle est de 230 mm et les augmentations prévues sont de 11% en 2030 et de 22% en 2095. De la même façon, pour les mois de juin à août et pour une moyenne actuelle de 297 mm, les augmentations prévues sont de 12% pour 2030 et de 31% pour 2095. Finalement, pour les mois de septembre à novembre (moyenne actuelle de 214 mm), les augmentations des précipitations prévues sont de 9% en 2030 et de 32% en 2095. Les variations des précipitations de même que les variations des températures entraîneront des variations de l'évapotranspiration, de l'évapotranspiration potentielle, du ruissellement de surface et du rendement en eau. Celles-ci sont présentées dans le Tableau 13.

Tableau 13: Moyennes actuelles et prévisions pour 2030 et 2095 selon les scénarios de 365 ppm et de 560 ppm de CO₂ pour l'évapotranspiration, l'évapotranspiration potentielle, le ruissellement de surface et le rendement en eau (en millimètres) (Adapté de Rosenberg et coll., 2003)

	Évapotranspiration		Évapotranspiration potentielle		Ruissellement de surface		Rendement en eau ¹⁹	
Moyenne actuelle	512		1076		237		313	
Années	2030	2095	2030	2095	2030	2095	2030	2095
365 ppm de CO₂	556	580	1191	1203	277	364	348	464
560 ppm de CO₂	538	566	1190	1214	288	375	363	479

De plus, comme pour ce qui est des autres régions, l'occurrence des événements météorologiques extrêmes devrait augmenter (Rosenzweig et coll., 2001; 2002; Parry, 2007). Selon Rosenzweig et coll. (2002), ces événements extrêmes devraient voir leur occurrence majorée de 30% d'ici 2030 et de 65% d'ici 2090 et devraient essentiellement être composés de pluies fortes (+90% et +150% respectivement pour 2030 et 2095). Ces pluies devraient amener des surcharges d'eau importantes entraînant des dégâts aux cultures. Ils estiment que les pertes liées à une surcharge en eau devraient doubler en valeurs monétaires par rapport à actuellement.

3.4.1 L'impact des changements climatiques sur la culture du maïs-grain

Les changements climatiques auront un impact important sur les cultures de maïs de l'Illinois et de l'Iowa. Ces impacts seraient principalement dus au fait de l'augmentation de la température et de la concentration en CO₂ de l'atmosphère

Mearns et coll. (2003) ont utilisé deux modèles pour estimer l'impact des changements climatiques sur les rendements de maïs. Ils ont obtenu que sans adaptation mais en considérant une hausse de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère les rendements en maïs non-irrigué devraient subir une diminution entre 5 et 17% alors que le maïs irrigué devrait subir une diminution entre 18 et 20%. En considérant une adaptation de la part des cultivateurs, les rendements de maïs non-irrigué devraient évoluer entre -13 et 5% alors que les rendements de maïs irrigué devraient subir une diminution de 13%. Adams et coll. (2003) ont utilisé ces données et ont calculé que les modifications aux rendements, considérant la modification de la structure de coûts, seraient entre -21 et 7% sans adaptation alors qu'avec adaptation, elles seraient de -17 à +16%. Changnon et Hollinger (2003) estiment plutôt que les rendements devraient augmenter de 15% d'ici 2030 et de 30% d'ici 2090. Ils mettent toutefois un bémol sur leurs résultats et sur la plupart des résultats en comparant les prévisions de leurs modèles avec des résultats en laboratoire, ils en déduisent qu'il y a probablement une surestimation de la variation des rendements. De leur côté, Brown et Rosenberg (1999) ont évalué qu'une augmentation de 1°C entraînerait une diminution des rendements comprise entre 2 et 7%. Phillips et coll. (1996), par une série de comparaisons évaluent qu'une augmentation de la

¹⁹ Le rendement en eau correspond à la somme de l'eau de surface, du ruissellement latéral dans le profil du sol et de l'écoulement souterrain.

température de 2°C entraînerait une diminution de 3% des rendements notamment en raison d'une augmentation de l'érosion éolienne de 15-18% (compensée en partie par une diminution de l'érosion causée par l'eau de 3 à 5%). De même, Stöckle et coll. (1992) ont établi qu'une augmentation de 2°C n'aurait aucun impact sur les rendements si elle est accompagnée d'une augmentation de la concentration de CO₂ (550 ppm). Ils ont aussi trouvé qu'en augmentant uniquement la concentration de CO₂, ils obtenaient une amélioration des rendements de 18% pour le maïs non-irrigué et de 5% pour le maïs irrigué. Rosenzweig et coll. (2002) ont fait un exercice semblable en distinguant les terres irriguées et les terres non-irriguées en plus de définir des données différentes pour Des Moines (Iowa) et Indianapolis (Indiana). En ne tenant compte que de l'augmentation de la température de 3 à 5°C, les rendements devraient diminuer de 21 à 27% à Des Moines pour les terres non-irriguées et de 25 à 28% pour les terres irriguées. Pour ce qui est d'Indianapolis, les rendements devraient diminuer de 7 à 59% pour les terres non-irriguées et de 6 à 20% pour les terres irriguées. De même, en ajoutant une augmentation de la concentration de CO₂ à 555 ppm, les rendements devraient diminuer de 18 à 21% à Des Moines sur les terres non-irriguées et de 21 à 24% sur les terres irriguées. Du côté d'Indianapolis, les rendements devraient diminuer de 3 à 15% sur les terres irriguées et être modifiés de -32% à 1% sur les terres non-irriguées. Ainsi, les conclusions basées sur l'augmentation de la température et l'augmentation de la concentration en CO₂ de l'atmosphère semblent pointer majoritairement vers une diminution des rendements de la production de maïs en Illinois et en Iowa. Ceci viendrait alors s'ajouter à la tendance à la baisse des rendements qui est déjà observable actuellement en Illinois (taux de croissance composé du rendement de -3,23% entre 2008 et 2011 pour une diminution totale de 12,29%) et une augmentation minime des rendements en Iowa (taux de croissance composé du rendement de 0,15% entre 2008 et 2011 pour une augmentation totale de 0,58%) (NASS, 2012 et nos calculs).

Des modélisations ont aussi été réalisées en fonction d'une modification des précipitations ainsi que de la force des vents. D'abord, Changnon et Hollinger (2003) estiment qu'il faudra une importante hausse des précipitations pour qu'un changement soit perceptible. En effet, une augmentation des précipitations d'environ 10% n'aurait aucun impact alors qu'une augmentation de 25% des précipitations entraînerait une augmentation des rendements de 4%. Pour ce qui est d'une augmentation des précipitations de 40%, il y aurait une augmentation des rendements de 9%, augmentation qui serait annulée lors des années particulièrement froides et humides. De la même façon, Stöckle et coll. (1992) ont déterminé qu'une diminution des précipitations de 30% entraînerait une diminution des rendements de 25%, qu'une diminution de 15% des précipitations entraînerait une diminution des rendements de 16%, qu'une augmentation des précipitations de 15% entraînerait une augmentation des rendements de 8% et qu'une augmentation des précipitations de 30% entraînerait une augmentation des rendements de 18%. Ceci semble cohérent avec les résultats de Phillips et coll. (1996) qui font état d'une diminution des rendements de 13% à la suite d'une diminution de 20% des précipitations et d'une augmentation de 6% des rendements à la suite d'une augmentation de 20% des précipitations. Résultat intéressant dans cette étude, il ne semble pas y avoir de différences entre des précipitations étendues sur plusieurs pluies ou concentrées lors d'averses plus importantes.

En ce qui concerne les variations de la force des vents, une augmentation de leur vitesse de 20% entraînerait une diminution des rendements de 3 à 6% ainsi qu'une augmentation du stress hydrique équivalent à 1 à 3 jours de plus. Inversement, une diminution de 20% de la vitesse du vent entraînerait une augmentation des rendements de 2% ainsi qu'une journée de moins de stress hydrique en moyenne (*Ibid.*).

Le stress thermique est déjà très présent en Illinois alors qu'en moyenne, 20 jours de l'année, la température maximale va dépasser 32°C, température considérée comme point critique (Brown et Rosenberg, 1999; Rosenzweig et coll., 2001). Advenant une augmentation de 2°C, le nombre de jours causant du stress thermique au maïs serait amené à doubler (Rosenzweig et coll., 2001). Brown et Rosenberg (1999) font plutôt état d'environ 6 à 8 jours de stress hydrique (moyenne actuelle 7,5), de 24 à 25,5 jours de stress thermique (moyenne actuelle 21) et de 2 à 4 jours de stress azoté (moyenne actuelle 3,8) advenant une augmentation de 1 °C. Un plus grand stress hydrique aura des conséquences sur les espèces indésirables, notamment sur les aflatoxines qui seront présentes en plus grande quantité (Rosenzweig et coll., 2001). Par ailleurs, les précipitations plus concentrées pourraient entraîner un engorgement d'eau plus important des sols favorisant la prolifération d'espèces comme le charbon et le mildiou du maïs (*Ibid.*).

Diffenbaugh et coll. (2008) ont étudié la prolifération des quatre principaux ravageurs de maïs aux États-Unis soit la pyrale du maïs, le ver de l'épi, la chrysomèle des racines du maïs de l'ouest et la chrysomèle des racines du maïs du nord. D'abord, en ce qui concerne la pyrale du maïs, elle nécessite un nombre de degrés-jours de 284 ($T \geq 10^\circ\text{C}$) pour que 50% de sa population atteigne sa maturité. Ainsi, comme le nombre de degrés-jours devrait augmenter (Diffenbaugh et coll., 2012), la pyrale du maïs devrait pouvoir établir une troisième génération complète pendant l'été. Pour ce qui est du ver de l'épi, il ne nécessite que 150 degrés-jours ($T \geq 12,5^\circ\text{C}$) pour que la moitié de sa population atteigne sa maturité. Selon les prévisions de Diffenbaugh et coll. (2008), un réchauffement climatique devrait permettre à cette espèce particulièrement résistante aux insecticides de se propager à l'ensemble des États-Unis. Quant aux deux chrysomèles des racines du maïs, elles nécessitent respectivement 265 degrés-jours et 340 degrés-jours ($T \geq 10^\circ\text{C}$) pour atteindre leur maturité. Elles devraient donc profiter du réchauffement climatique pour mieux s'étendre à travers l'Amérique du Nord. Présentement, le coût de la lutte contre ces ravageurs varie entre 23,45 et 72,48\$/ha et ce coût devrait connaître une hausse (*Ibid.*).

De plus, certains points critiques de la production de maïs ont été identifiés. Le Tableau 14 résume le travail de plusieurs auteurs.

Tableau 14: Facteurs de production critique dans la production de maïs en Illinois et en Iowa (Adapté de Dixon et coll., 1994; Rosenzweig, 2000; Southworth et coll., 2000; Rosenzweig et coll., 2001; Goldblum, 2009)

Période critique	Facteurs déterminants	Conséquences
Toute la saison de production	$\geq 37,7^\circ\text{C}$	Domages sévères
	$44^\circ\text{C} \leq T^\circ \leq 8^\circ\text{C}$	Pas de croissance
	$\leq -2^\circ\text{C}$	Arrêt de la croissance

Début de croissance	Sécheresse	Augmentation du réseau racinaire Meilleure résistance à la sécheresse
Avant la 6^e feuille	≥ 25°C+inondation (24h) ≤ 25°C+inondation (4 jours)	Arrêt de la croissance
Moins de 15 cm	Inondation (24h)	Baisse de rendement de 18%
Juillet-août	≥ 33,3°C	Baisse des rendements
	Précipitations élevées	Bons rendements
Émergence de l'épi	T° chaude et sèche	Baisse des rendements
Croissance de l'épi	Forte radiation solaire	Augmentation des rendements
Avant la pollinisation	Forte radiation solaire	Baisse des rendements
Pollinisation	≥ 36°C	Pas de pollinisation
Septembre	Précipitations élevées	Bonne récolte l'année suivante
Avant la panicule	4 jours consécutifs de stress hydrique	Baisse de 10 à 25% de rendement
Avant le stade laiteux	4 jours consécutifs de stress hydrique	Baisse de plus de 50% du rendement
Stade pâteux mou	4 jours consécutifs de stress hydrique	Baisse de 40% du rendement

Finalement, en fonction des changements climatiques prévus et en effectuant une analyse par région des États constitutifs du Corn Belt, Southworth et *coll.* (2000) ont trouvé qu'une façon de diminuer les pertes de rendements serait d'opter pour des cultivars de maïs dont la durée de croissance est qualifiée de moyenne (800-843 degrés-jours). En retardant la date de plantation, les cultivateurs éviteraient les désagréments pouvant survenir au printemps tout en profitant de rendements intéressants. Fischer et *coll.* (2002) prédisent d'ailleurs que la saison de croissance risque d'être amputée pour ces états d'environ 30 jours. De plus, il risque d'y avoir une modification au sein de la répartition de la chaleur au sein de la saison de croissance. En effet, Diffenbaugh et *coll.* (2012) mentionnent que l'augmentation du nombre de degrés-jours se fera essentiellement par les températures supérieures à 29°C. Les degrés-jours associés aux températures supérieures à 29°C augmenteront de 100 à 160% alors que les degrés jours associés aux températures entre 10 et 29°C n'augmenteront que de 6%.

3.5. Résumé des impacts des changements climatiques pour chaque région de référence

Les impacts des changements climatiques prévus pour le Québec, l'Ontario, la Colombie-Britannique et l'État de Washington sont très similaires. Parmi les différences, il est important de noter qu'il devrait y avoir une augmentation plus importante des températures au Québec, un risque probablement supérieur de stress hydrique en Ontario et une présence de ravageurs plus importante en Colombie-Britannique et dans l'État de Washington. L'État de Washington risque aussi de devoir réviser sa politique de distribution des permis d'utilisation de l'eau pour éviter les pénuries d'eau à usage agricole prévues pour les prochaines années. De leur côté,

les États de l'Illinois et de l'Iowa subiront une augmentation importante du stress hydrique en raison d'une augmentation de la température ainsi qu'une diminution des précipitations pendant la période estivale. Ils devront donc faire évoluer leur agriculture vers des cultivars à demande en eau plus réduite.

Le tableau suivant compile les impacts prévus des changements climatiques sur les cultures à l'étude au Québec et en Ontario. De plus, il compare les changements prévus dans la production de maïs avec l'Illinois et l'Iowa de même que la pomiculture en Colombie-Britannique et dans l'État de Washington.

Culture	Impact des changements climatiques		
	Québec	Ontario	Iowa et Illinois
Maïs	<p>Hausse des rendements de 54% à 70% causé par l'allongement de la saison de croissance;</p> <p>Expansion de l'aire de culture : rendements attendus de 6,4 à 8,0 t/ha dans les nouvelles régions de culture;</p> <p>Pas d'effet notable du déficit hydrique sur les rendements moyens;</p> <p>Développement d'une génération additionnelle de la pyrale du maïs et expansion de l'aire géographique de la pyrale vers le nord;</p> <p>Pertes de rendement causées par la prolifération des mauvaises herbes, si les précipitations sont faibles;</p> <p>Hausse d'infections fongiques.</p>	<p>Hausse des rendements de 40% à 115% en raison de l'allongement de la saison de croissance;</p> <p>Expansion de l'aire de culture;</p> <p>Effet probable du déficit hydrique sur les rendements;</p> <p>Impact négatif du développement de mauvaises herbes et organismes nuisibles sur les rendements;</p> <p>Coûts de maintenance plus élevés en présence de phénomènes climatiques extrêmes ;</p>	<p>Diminution des rendements entre 15 et 20% en raison de l'augmentation des stress thermiques et hydriques;</p> <p>L'augmentation des précipitations et de la concentration de CO2 devraient tempérer l'ampleur des baisses de rendements;</p> <p>Expansion de la pyrale du maïs, de la chrysomèle des racines du maïs et du ver de l'épi;</p> <p>Expansion probable du charbon et du mildiou du maïs;</p> <p>Augmentation des températures extrêmes affectant à la baisse les rendements;</p>
Cultures fourragères	<p>Augmentations du rendement annuel de 2 à 5 t/ha, avec une coupe additionnelle;</p> <p>Diminution des rendements en raison des conditions de survie plus difficiles en hiver et de la diminution des conditions optimales à l'endurcissement;</p>	<p>Augmentation du nombre de coupes;</p> <p>Diminution des rendements en raison des conditions de survie plus difficiles en hiver et de la diminution des conditions optimales à l'endurcissement;</p> <p>Coûts de maintenance plus élevés en présence de phénomènes climatiques extrêmes ;</p>	n.d.

Pomme	Allongement de la saison de croissance; Risque moindre de froids intenses en hiver; Diminution du gel printanier des bourgeons dans les régions agricoles les plus nordiques. Pas de changement dans les autres régions; Expansion de l'aire de culture; Risque d'augmentation des générations d'insectes et acariens nuisibles et d'apparition de nouvelles espèces; Augmentation du risque d'exposition des bourgeons, fleurs et fruits à plus de conditions extrêmes;	Coûts de maintenance plus élevés en présence de phénomènes climatiques extrêmes.	Colombie-Britannique et État de Washington Augmentation des rendements de 11% pour 2020, 16% pour 2040 et 19% pour 2080 en raison de l'augmentation de la concentration de CO ₂ et de l'allongement de la saison de croissance; Augmentation de la demande en eau; Expansion de l'aire de culture; Augmentation des ravages par la carpocapse des pommes et des poires ;
--------------	---	--	---

4. Approche méthodologique et d'analyse des impacts économiques

4.1. Construction des scénarios d'impacts des changements climatiques : la méthode Delphi

4.1.1 Choix de la méthode Delphi

Suivant notre revue de littérature, des scénarios de positionnement concurrentiel ont été créés afin de permettre une quantification de l'impact des changements climatiques. Afin de valider ces scénarios et de les moduler ou modifier si nécessaire, l'avis d'experts externes a été sollicité. Ces personnes ont été sélectionnées pour leurs connaissances en pomiculture, en production de maïs-grain ou de cultures pérennes fourragères. La méthode Delphi a été employée à cette fin. Ainsi, différents groupe d'experts ont été consultés, chaque production sous étude ayant un groupe d'experts spécifiques.

La méthode Delphi, utilisée dans le cadre de cette étude, consiste à organiser une consultation d'experts sur un sujet précis pour faire ressortir des convergences entre leurs propos par l'entremise de vagues de questionnaires. Elle est particulièrement adaptée aux besoins de l'approche prospective et permet une certaine interaction entre les experts consultés. Cette dernière se fait par l'intermédiaire de réponses aux questions posées, qui sont regroupées en ensembles de convergences et divergences puis présentées à nouveau dans le questionnaire suivant. Ainsi, la méthode Delphi est un bon moyen de réduction des incertitudes reliées à un projet (dans ce cas-ci, aux scénarios de positionnement concurrentiels du Québec dans trois domaines de production sur un horizon 2050). Un bon bassin d'experts est nécessaire à sa réussite, car le taux de réponse peut être faible dû à l'ampleur de la participation requise de la part des personnes interpellées. La méthode Delphi avait été retenue en partie parce que la

quantité d'experts disponibles pour commenter les scénarios de changements climatiques était relativement faible. Il semblerait que les craintes par rapport à l'introduction de considérations sur les changements climatiques au sein des préoccupations des experts s'avèrent plus fondées que prévues. Ainsi, le nombre d'experts se disant aptes à répondre semble avoir été sur-estimé. Afin de pouvoir réaliser ce type de méthode, le lien entre les changements climatiques et les connaissances agronomiques aurait tout avantage à être développé.

Les experts ont été consultés par voie de questionnaires électroniques en s'assurant de l'anonymat de chaque participant. Après l'envoi d'un premier questionnaire, les convergences et divergences parmi les propos des experts ont été relevées puis colligées et un nouvel envoi a été fait. En ayant accès au raisonnement des autres participants, ceux-ci peuvent enrichir leurs réflexions et ainsi soit se rallier à l'avis des autres experts ou encore préciser les raisons qui les poussent à diverger des opinions présentées. Dans le cas présent, deux vagues de questionnaires ont été envoyées pour chacune des productions sous étude.

4.1.2 Contenu des questionnaires

Les questions posées aux participants ont touché différents facteurs liés aux trois productions étudiées, ainsi que l'impact combiné de ces facteurs et des changements climatiques. Il est à noter que l'étude se concentrait uniquement sur l'impact des changements climatiques et donc que certains facteurs externes (changements de politique, modification des habitudes de production, modification des prix, etc.) n'ont pas été considérés. Ainsi, le but recherché fut de présenter un portrait global fidèle de ce à quoi pourrait ressembler la situation pour le Québec et ses principaux concurrents en 2050 suivant l'impact des changements climatiques pour les productions concernées. Les différentes sections des questionnaires transmis aux experts sont les suivantes :

Objectifs de l'étude et de la démarche

Présentation de la production au Québec et des impacts attendus des changements climatique (scénarios)

Avis de l'expert sur

Le scénario proposé

Les aspects qui auraient été omis

Son propre scénario à propos des éléments extrêmes violents, des rendements, de l'utilisation des différents intrants de production, de la structure de production.

Présentation de la production dans les principales régions concurrentes du Québec et des impacts attendus des changements climatiques sur ces régions

Avis de l'expert sur

Le scénario proposé

Les aspects qui auraient été omis

Son scénario d'évolution de la position relative du Québec (par rapport à ses concurrents) sur les rendements, les superficies exploitées, la production, la structure de production, le coût de production et la présence sur le marché.

Selon les productions analysées, des questions spécifiques ont été abordées. Ainsi, par exemple, en ce qui concerne la pomiculture, la question de la densité des vergers a été ajoutée aux questionnaires. Le changement de densité pourrait avoir pour le Québec un impact important sur la différence de rendements pour la période 2012-2050 et donc sur la position concurrentielle relative de la province. En effet, il existe déjà un mécanisme en place pour favoriser la replantation des vergers en augmentant les densités (programme de Modernisation des vergers d'arbres fruitiers au Québec du MAPAQ)²⁰. Le pourcentage de la production consacré à la transformation est également un fait important à considérer dans le cas des pommes puisqu'il s'agit d'un indicateur important de la rentabilité des productions. Les questions posées sur la structure de la production tiennent donc compte de ces facteurs. Pour ce qui est des fourrages, la qualité de ceux-ci a été intégrée dans les questions posées aux experts, l'influence de ce facteur étant considérable mais difficile à juger. Le document initial soumis aux experts pour chacune des productions sous étude est disponibles dans les annexe D, E et F.

Trois scénarios ont été réalisés pour chacune des productions à partir des réponses des experts. Le scénario élevé correspond au scénario présentant la situation la plus optimiste (rendements plus élevés, moins de nouvelles charges liées à la présence de ravageurs, etc.) causée par les changements climatiques alors que le scénario bas représente le scénario le plus pessimiste des experts au niveau de la production québécoise dans un contexte de changements climatiques. Le scénario médian, quant à lui, se veut un scénario mitoyen des scénarios élevés et bas. Pour chacun des scénarios, les modifications se basent essentiellement sur les commentaires et les indications des experts.

4.1.3 Déroulement de la méthode Delphi

Pour la pomiculture, le questionnaire initial²¹ a été envoyé à treize experts, tandis que dix experts ont été consultés pour le maïs-grain et quatorze pour les cultures pérennes fourragères. Les consensus et divergences émanant de leurs réponses à la suite du deuxième tour de questionnaires ont permis de peaufiner les scénarios présentés ainsi que de quantifier de façon plus précise les impacts sur les productions qu'entraîneront les changements climatiques. Comme le démontre le tableau suivant, le faible nombre de répondants est une des limites de

²⁰ Il s'agit du seul impact des politiques qui a été considéré puisqu'il s'agit d'un déterminant majeur en production fruitière et que le programme est actuellement en place.

²¹ Il est à noter que des courriels de rappels étaient envoyés aux experts qui n'avaient pas répondu environ une semaine après le premier envoi

cette approche de construction des scénarios de changements climatiques. Toutefois, l'introduction d'une revue de littérature développée permet de mettre en relation les réponses des experts avec l'état actuel de la littérature et ainsi de s'assurer que les réponses des experts ne divergent pas trop de ce qui semble communément admis.

Tableau 15: Experts consultés dans le cadre de la méthode Delphi

Culture	Pommes	Maïs-grain	Fourrages
Nombre d'experts contactés	13	10	14
Nombre d'experts ayant répondu à la première ronde	3	4	4
Nombre d'experts ayant répondu à la deuxième ronde	1	3	2

4.2. Analyse des impacts économiques : la budgétisation partielle

L'objectif principal de cette étape est d'estimer les impacts économiques des changements climatiques sur les productions identifiées et d'analyser les changements en termes de positionnement concurrentiel des différentes productions qui en résulteraient.

4.2.1. Approche méthodologique

La méthodologie utilisée est composée de deux étapes. Tout d'abord, un budget a été réalisé au niveau des exploitations agricoles québécoises pour les trois secteurs de production étudiés, le maïs-grain, les fourrages et la pomme. Ces budgets de fermes types ont été construits pour chaque production en s'appuyant notamment sur les budgets établis par le Ministère de l'agriculture des pêcheries et de l'alimentation du Québec (MAPAQ), le Centre de référence agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) et la Financière agricole du Québec (FADQ). La période la plus récente pour laquelle toutes les données nécessaires à la confection des budgets type étaient disponibles est l'année 2010. Celle-ci constitue par conséquent notre année de référence pour les éléments techniques (rendement, utilisation des intrants, ...) et de prix.

Dans le cas spécifique des pommes, la budgétisation partielle a été établie pour des vergers en considérant trois niveaux de densité différents :

Un verger de très haute densité de 2246 pommiers par hectare;

Un verger de haute densité de 1667 pommiers par hectare;

Un verger de moyenne densité de 685 pommiers par hectare;

Les scénarios seront par conséquent appliqués à chacun de ces vergers.

Les modifications qui seront apportées aux budgets partiels québécois actuels seront déterminées par la consultation d'experts. Ensuite, la consultation servira de base pour tenter de représenter la position concurrentielle du Québec par rapport à ses régions concurrentes pour chacune des productions retenues. Ainsi, à l'aide des réponses des experts la prédiction des coûts de production pour 2050 dans un contexte de changements climatiques sera mise en parallèle avec les prédictions quant à l'augmentation des superficies en culture, des rendements, des coûts de production des autres régions ainsi que d'autres facteurs spécifiques aux cultures.

Par la suite, une analyse a été réalisée afin de déterminer quels impacts auraient les différences de coûts de production et de revenus par hectare et par tonne des exploitations québécoises sur la position concurrentielle du Québec dans ces secteurs de production par rapport aux principales régions compétitrices. Cette analyse s'est basée sur les résultats obtenus grâce aux budgets partiels et par le biais de la méthode Delphi.

Les principales hypothèses retenues sont présentées en introduction des résultats obtenus pour chacun des secteurs. Le détail des hypothèses utilisées pour les différents scénarios ainsi que les budgets actuels à partir desquels ces scénarios ont été calculés sont présentés en annexes G à I. Dans l'ensemble de l'analyse, les prix sont supposés constants et les données présentées dans les budgets sont exprimées en dollar 2010.

Il faut toutefois noter que l'utilisation de budgets partiels dans l'analyse présente certaines limites, du fait notamment qu'ils ne reflètent pas la réalité complète des entreprises agricoles parce qu'ils ne considèrent qu'une seule des activités de l'entreprise. De plus, les prévisions relatives aux changements climatiques ne reflètent pas les variations annuelles qui peuvent survenir car la présente analyse est basée sur des moyennes. Or, chaque année apporte ses surprises climatiques, commerciales, etc. Ces variations ont une influence sur les activités agricoles.

5. Résultats des analyses d'impact

5.1. Impacts des changements climatiques pour le Québec

5.1.1 Résultats globaux

5.1.1.1 Secteur du maïs-grain

Au Québec, de nouvelles régions de productions pourraient apparaître avec la hausse des températures, tandis que celles cultivant actuellement le maïs-grain verront leur rendement augmenter de manière variable selon les secteurs. L'adaptabilité aux changements climatiques, pour le Québec et ses concurrents, devrait entre autres prendre en compte la disponibilité des ressources hydriques et l'accroissement de l'irrigation, tout comme la présence d'événements climatiques extrêmes et la modification de la présence des espèces nuisibles, pathogènes, maladies fongiques et autres ravageurs.

Rendements

L'impact sur le Québec est moins consensuel entre les experts consultés. Les augmentations de rendements évoquées varient entre environ 0,5 t/ha à 1,35 t/ha par rapport à 2012. Les variations seront principalement visibles entre les régions du Québec, alors que certaines amorceront la culture du maïs-grain avec l'arrivée de conditions climatiques plus chaudes, propices à l'extension géographique de la production. Le Tableau 16 fait état de ces variations régionales.

Tableau 16: Rendements actuels et prévus en 2050 en production de maïs-grain pour le Québec

Régions administratives	Rendements actuels (t/ha)	Rendements en 2050 (t/ha)	Variance annuelle des rendements (t/ha)
Bas-St-Laurent/Gaspésie/Îles-de-la-Madeleine	-	6,5 à 7,35	1-1,5
Saguenay-Lac-St-Jean/Côte-Nord	-	6,5 à 8,2	1-1,5
Capitale-Nationale/Mauricie	7,51	10 à 12,6	1,5-2
Estrie	5,45	9	1,5-2
Montréal/Laval/Lanaudière	8,36	11-12	1,5-2
Outaouais/Laurentides	8,51	10-12	1,5-2,5
Abitibi-Témiscamingue/Nord-du-Québec	-	4-7	2-2,5
Chaudières-Appalaches	6,53	9	1,5-2
Montérégie Nord-est	8,92	12-13	1,5-2
Montérégie Sud-ouest	9,25	12-13	1,5-2
Centre du Québec	7,43	10-11	1-1,5

De nouvelles régions productrices feront leur apparition, soit les secteurs Bas-Saint-Laurent-Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine, Saguenay-Lac-Saint-Jean-Côte-Nord et Abitibi-Témiscamingue-Nord-du-Québec (principalement le Témiscamingue, les conditions climatiques ne se prêtant pas à la culture du maïs-grain ailleurs dans ce secteur). Dans les régions actuellement en production, l'Estrie et Chaudière-Appalaches verraient leur production limitée notamment en raison de l'importance des pentes et des sols de piètre qualité. Toutefois, tous s'entendent sur l'opportunité que constitue la culture du maïs-grain pour le Québec grâce aux changements climatiques et sur l'avantage que la province possède par rapport aux réserves d'eau. La gestion des sols et l'irrigation restent, selon les experts, des éléments importants dans un contexte de hausse des températures et des périodes de déficit hydrique.

Superficies

Le Québec serait la seule région à l'étude qui verrait ses superficies en maïs-grain augmenter, alors que l'expansion vers le nord et l'est des superficies cultivables, en lien avec l'augmentation des températures, permettrait d'accroître la culture du maïs-grain en implantant cette production dans des régions où les conditions climatiques ne s'y prêtent pas actuellement.

Un point est également soulevé par rapport aux sols. Les limites de productivité des sols dans les régions particulièrement favorisées par les augmentations de températures pourraient être affectées soit l'Estrie, les Laurentides et Chaudière-Appalaches. Des experts soulignent également que même avec un prix de marché peu alléchant, le facteur agronomique pourrait jouer un rôle important pour l'introduction du maïs dans les rotations de production dans de nouvelles régions.

Production totale

La production totale du Québec se situera en 2050 entre 3,85 Mt et 11,5 Mt²², soit entre 0,850 Mt et 8,5 Mt de plus qu'en 2012. Pour l'Ontario, la production totale s'établirait à environ 9,79 Mt (2,5 Mt de plus). L'évolution de la production totale de maïs-grain du Québec liée aux facteurs présentés n'a toutefois pas fait l'unanimité entre les experts, alors que leurs visions divergent à ce sujet, rendant impossible l'établissement d'une position consensuelle pour 2050. En effet, si tous s'entendent sur les facteurs qui modifieront la production totale de maïs-grain, l'impact de ces facteurs sur l'augmentation de la production québécoise n'est pas évalué au même niveau par tous les experts consultés. Plusieurs s'entendent toutefois à propos du fait que la production connaîtra une hausse pouvant atteindre 8,5 Mt, donnant une production totale estimée se rapprochant de 11,5 Mt en 2050.

Coûts de production

La réduction des coûts de production par tonne dans les scénarios bas et élevé pourrait se traduire par une augmentation des superficies cultivées en maïs au Québec si les coûts de production des cultures concurrentes demeuraient stables. L'augmentation conjuguée des rendements et des superficies augmenterait ainsi la production québécoise de maïs. Étant donné que les coûts par tonne diminuent dans les scénarios bas et élevés, et que la production de maïs au Québec tendrait à s'accroître, la compétitivité des exploitations québécoises pourrait s'améliorer par rapport aux compétiteurs américains et ontariens, *ceteris paribus*. Toutefois, les rendements devraient atteindre un niveau suffisamment élevé pour compenser les coûts d'installation de l'irrigation et éviter l'augmentation des coûts par tonne prévue dans le scénario bas.

Par hypothèse, dans les trois scénarios les frais d'entreposage et de séchage progressent proportionnellement au volume de production. Il est toutefois envisageable que des économies d'échelle soient réalisées sur ces postes avec l'augmentation des rendements, ce qui permettrait d'améliorer la compétitivité du Québec par rapport aux résultats obtenus dans les trois scénarios.

5.1.1.2. Secteur de la pomme

Le scénario établi comme réaliste est que les principales régions québécoises productrices de pommes verront leurs températures augmenter d'ici 2050, entraînant du même souffle le déficit

²² Il s'agit d'un écart considérable entre les experts mais qui semble se répercuter à travers la littérature (voir les travaux de Singh et Stewart, 1991; Singh et coll., 1996 et Bootsma et coll., 2004 notamment).

hydrique à la hausse et le couvert de neige à la baisse. L'allongement de la saison de croissance des pommes de 23 à 32 jours cumulé à l'impact positif de l'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère permettra de plus d'introduire de nouveaux cultivars dans la province. Les événements climatiques extrêmes et la modification de la présence d'insectes nuisibles, de pathogènes et de maladies fongiques seront aussi des facteurs à considérer sur un horizon 2050.

Superficies

Somme toute, autant le Québec que ses concurrents verront leur saison de croissance augmenter et les problèmes reliés à l'eau (irrigation et stress hydrique) s'intensifier. Les superficies de vergers de pommiers du Québec devraient s'accroître grâce à l'expansion vers le nord de la province des zones de culture. Toutefois cette augmentation sera modérée car les terres propices à la pomiculture resteront plutôt rares et à des prix élevés. Son seul avantage sera alors son avancée vers des superficies près de celles ontariennes. Pour le Québec, l'avantage se situe toutefois principalement au niveau de la densité des vergers. Afin d'effectuer le constat de la situation actuelle et de mesurer l'impact des facteurs liés aux changements climatiques sur lesquels les experts ont été questionnés, il est possible de consulter le tableau 9 ainsi que l'annexe B où se trouve la grille d'impacts des changements climatiques.

Rendement et densité

Pour le Québec, certains experts pondèrent leurs réactions sur une augmentation des rendements ceux-ci étant compris entre 16 t/ha et près de 22 t/ha en 2050. Il est également important de noter que bien que tous s'entendent sur l'augmentation de la densité, la composition des vergers québécois ne sera jamais uniforme, alors que les pommiers nains ne représenteront pas l'ensemble de la production, principalement pour des raisons agronomiques et agrotouristiques et ce, plus particulièrement dans les régions limitrophes. Il en résultera toutefois une hausse de la qualité et de la quantité des fruits produits. Ces pommiers nains sont également plus sensibles au verglas et au gel que les pommiers actuellement en culture, un fait important à relever alors que l'impact des événements climatiques extrêmes sera plus important. La Figure 5 présente ces changements dans l'évolution des rendements liés à la densité des vergers. Les rendements des différentes régions varieront donc en conséquence, alors que la variance annuelle devrait diminuer en raison du climat hivernal plus doux. Les changements climatiques auront donc un impact déterminant sur la culture des pommes au Québec, alors que le rendement accru amené par l'implantation généralisée des pommiers nains pourra être tempéré par le climat.

Le pourcentage élevé (43%) de pommes québécoises destinées à la transformation pourrait diminuer de manière importante selon les experts, alors que les changements climatiques ainsi que l'implantation de vergers à haute densité entraîneront un changement dans les variétés produites. Ces nouvelles variétés devraient être dirigées vers la production de pommes fraîches permettant d'obtenir un prix supérieur pour les pommes récoltées, et réduire à moins de dix pourcent la quantité de pommes destinées à la transformation.

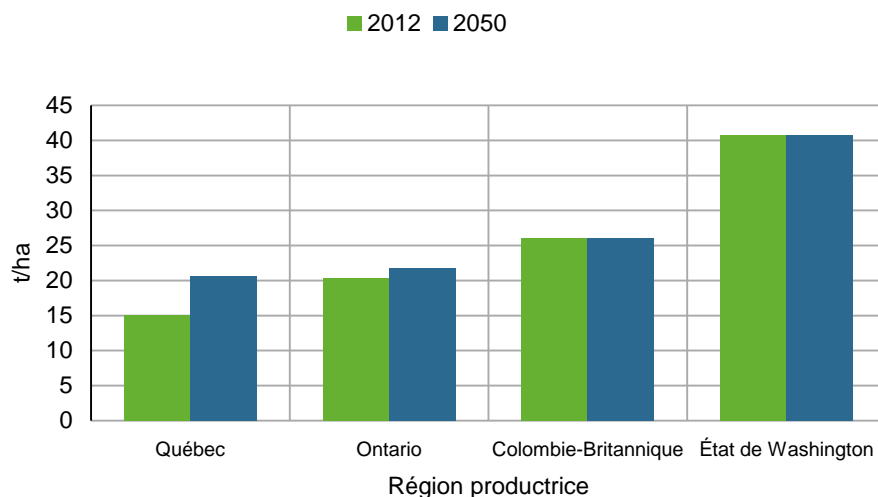


Figure 5: Prévion de l'évolution des rendements de production de pommes au Québec, en Ontario, en Colombie-Britannique et dans l'État de Washington en ne considérant que l'augmentation des densités (2012 à 2050)

Coûts de production

Les experts ne s'entendent pas sur le niveau des coûts de production du Québec pour 2050. Les opinions varient entre un niveau stable et une augmentation à moyen terme de ceux-ci en raison des frais de renouvellement des arbres étant donné que la densité des vergers sera modifiée. Le Québec verrait, selon les experts, ses coûts de production augmenter de manière importante sur un horizon 2050 (entre 18\$/t et 36\$/t de plus), ce qui constitue la plus importante augmentation des coûts de production en pomiculture comparativement à ses plus proches concurrents. L'impact des changements climatiques et de la modification de la densité des vergers sur les coûts de production est presque similaire à celui de la seule modification de la densité. Les changements climatiques ne devraient donc pas avoir un impact notable sur les coûts de production en pomiculture ou seront obliérés par la modification de la densité. Toutefois, des mesures d'adaptation pourront être mises de l'avant, dont l'irrigation et l'accroissement des applications d'insecticides.

5.1.1.3. Secteur des cultures pérennes fourragères

Les changements climatiques toucheront les régions productrices de fourrages au Québec qui s'étendent sur l'entièreté de son territoire habité. L'augmentation des températures et du déficit hydrique, en plus d'une hausse des précipitations sous forme de pluie en hiver et des événements climatiques extrêmes auront donc une influence sur la production de fourrages. La situation de production pourrait être modifiée d'une manière similaire à celle du maïs-grain pour ce qui est des événements climatiques extrêmes, insectes nuisibles, pathogènes et maladies fongiques. L'augmentation de la concentration en CO₂ pourrait également favoriser l'apparition de mauvaises herbes et les changements affectant la période hivernale augmenteront possiblement les risques pour les cultures. Des mesures d'adaptation seront donc nécessaires d'ici 2050, selon les experts.

Superficies

Les quatre experts ayant accepté de répondre à notre questionnaire Delphi (voir annexe F pour le questionnaire) mentionnent que les hausses des prix des grains pourraient avoir un effet important sur les superficies cultivées en fourrage, soit une tendance à la diminution, notamment avec des rotations plus courtes, pour consacrer ces espaces à des productions plus rentables.

Rendements

La généralisation d'une troisième coupe, pratique en cours en 2012 dans les régions les plus au sud, devrait permettre une certaine augmentation des rendements. Les experts s'entendent aussi à propos d'une augmentation du commerce international des fourrages liée à la hausse des rendements. Les opportunités de commerce de fourrages pourraient augmenter, avec l'augmentation des sécheresses et autres situations climatiques extrêmes. Au Québec, cela se refléterait principalement par une possible diminution des terres mises en culture, alors qu'elles seraient consacrées à des productions plus économiquement rentables. Les personnes consultées prévoient par contre que la couverture de neige moins abondante et l'augmentation de la présence de glace pourraient causer d'importants dommages aux plantes pérennes. Les conditions d'acclimatation au froid à l'automne pourraient s'avérer sous-optimales et les cultures pourraient connaître également plus d'épisodes de sensibilité au gel. Toutefois, les plus grandes pertes hivernales devraient amplement être compensées par la généralisation de la troisième coupe. En tenant compte de l'ensemble de ces facteurs, le rendement québécois serait accru de 1 à 3 tonnes/ha au Québec en 2050, portant ce dernier entre 6 et 8 t/ha.

Coûts de production

Par l'entremise de la méthode Delphi, les prévisions des experts concernant la modification des coûts de production pour le Québec consistent essentiellement en une hausse d'environ 20 \$/t, portant les coûts totaux à environ 208 \$/t en 2050. Toutefois, les modèles économiques produits montrent des différences avec ces chiffres, établissant le coût de production variant entre 172,45\$/t et 235,41\$/t selon les scénarios proposés. Également basés sur les résultats de la méthode Delphi, ces scénarios de changements prennent en compte plusieurs facteurs importants. Une amélioration de la productivité devrait toutefois se faire au Québec, tout comme une meilleure efficacité lors des récoltes. L'impact de l'introduction d'une coupe supplémentaire au Québec se fera également sentir au niveau des coûts de production, comme détaillé plus loin dans la présente étude.

5.1.2 Hypothèses retenues de modification des coûts de production

5.1.2.1 Secteur du maïs-grain

Les hypothèses de croissance des rendements sont de 20% dans le scénario bas, de 40% dans le scénario médian et de 60% pour le scénario élevé (voir annexe G). De plus, il est fait l'hypothèse que l'usage de fertilisants augmenterait avec la progression des rendements, sans tenir compte du fait que des gains de productivité pourraient être réalisés à l'avenir par un

usage plus rationnel de fertilisants ou par des cultivars demandant un moins grand apport en nutriments et minéraux. Par hypothèse, le scénario bas est celui pour lequel les prévisions de rendements et par conséquent d'usage de fertilisants sont les plus bas et pour lequel les prévisions d'augmentation des coûts (hors fertilisants) sont les plus élevées. Dans la situation actuelle, aucun système d'irrigation n'est en place. Les trois scénarios prévoient l'installation d'un système d'irrigation. Les ci-dessous présente les différents postes du budget partiel qui ont été touchés.

Analyse des résultats

Si on considère conjointement les coûts de production totaux et les revenus tirés de la culture du maïs par hectare, les revenus et coûts de production à l'hectare augmentent dans les trois scénarios. Les revenus augmentent dans une proportion plus importante que les coûts dans les scénarios médian et élevé. L'augmentation des revenus et des coûts est la plus faible dans le scénario bas, et est plus élevée dans le scénario élevé. Les coûts de production par tonnes diminuent dans les scénarios médian et élevé, et augmentent dans le scénario bas. Le scénario élevé est celui où les coûts de production par tonne enregistrent la plus forte baisse.

À l'hectare, les postes de coûts variables qui vont être affectés sont les suivants :

Fertilisants nets

Herbicides

Entretien de la machinerie

Temps de travail

Frais de séchage et d'entreposage

Coûts liés au plan conjoint

Irrigation

Les fertilisants constituent le poste de dépense le plus impacté par les changements climatiques, en raison d'abord de l'importance des coûts liés à la fertilisation dans le budget total de l'exploitation, et ensuite de la variation attendue, qui va du statu quo pour le scénario bas à une augmentation de 60% pour le scénario élevé.

Le coût de l'amortissement s'accroît dans les trois scénarios, étant donné que par hypothèse un système d'irrigation est mis en place. Il est rendu nécessaire pour faire face au déficit hydrique. Le coût de l'amortissement s'accroît de 52,9% dans les trois scénarios et l'installation du système engendre également des coûts variables liés à l'entretien, qui seront plus importants dans le cas du scénario élevé en raison d'une plus grande fréquence d'utilisation du matériel.

Outre les fertilisants, l'augmentation des coûts variables est due également en grande partie aux coûts d'entretien du système d'irrigation. Les coûts d'entretien du système sont élevés

même dans le cas où l'augmentation des rendements est la plus faible. Au vu des résultats des trois scénarios, l'installation d'un système d'irrigation semble être surtout pertinente dans le cas du scénario élevé, voir médian. Dans le cas du scénario bas, les coûts d'installation et d'entretien du système font augmenter les coûts de production totaux par hectare plus fortement que la progression attendue des rendements. Il est à noter que cette comparaison des coûts et des rendements tient compte uniquement de l'impact des changements climatiques sur les quantités produites, et ne tient pas compte de l'impact qu'aurait la mise en place du système d'irrigation lui-même sur les prévisions de rendements.

Les frais de séchage et d'entreposage augmentent dans les trois scénarios en raison de l'accroissement des volumes produits, car ces coûts sont proportionnels à la quantité récoltée. Il en est de même pour les frais liés au plan conjoint.

En raison de l'augmentation des rendements, les coûts de production par tonne diminuent dans les scénarios médian et élevé, même si les coûts de production à l'hectare augmentent.

Les changements climatiques devraient faire augmenter les coûts de production totaux par hectare de 27,2% dans le scénario bas et de 30,6% dans le scénario élevé. Le montant total des coûts de production par hectare est plus élevé dans le scénario élevé, en raison de l'utilisation plus importante de fertilisants. On considère en effet que l'accroissement des rendements rend nécessaire une quantité plus grande de fertilisants.

Les coûts de production par tonne diminuent sous l'effet des changements climatiques de 7,3% dans le scénario médian et de 18,4% dans le scénario élevé. Ils augmentent de 6% dans le scénario bas.

Les revenus issus de la culture du maïs augmentent sous l'effet de l'accroissement des rendements, de 20% dans le scénario bas jusqu'à 60% dans le scénario élevé.

Tableau 17: Paramètres de changement des scénarios du secteur du maïs-grain au Québec²³

	Unité	1. Scénario bas		2. Scénario médian		3. Scénario élevé	
		Variation en %	Valeur	Variation en %	Valeur	Variation en %	Valeur

²³ Les hypothèses d'augmentation de rendements sont basées sur les avis des experts qui mentionnent des augmentations de 2 à 3 hectares dans les régions de plus de 3500 unités thermiques et de 4 t/ha dans les autres régions productrices.

La ligne « entretien et réparation de machinerie » inclut le temps pour la main d'œuvre lorsqu'il s'agit de réparations ou d'entretien effectuées en dehors de la ferme. Lorsque l'entretien ou la réparation est effectuée sur l'exploitation, les coûts de main d'œuvre sont inclus dans les lignes salaires ou rémunération de l'exploitant.

Il a été fait l'hypothèse qu'aucun système d'irrigation n'était installé dans la situation actuelle et que les trois scénarios intégreraient l'ajout d'un tel système. Les coûts liés au système d'irrigation dans le maïs ont été estimés à partir des coûts d'installation et des coûts variables engendrés par un système d'aspersion à pivot central. Une moyenne a été réalisée à partir des coûts de deux types de systèmes à pivot central. Les données proviennent de : Hogan et coll. (2007).

Les hypothèses retenues concernant l'évolution du coût de la main d'œuvre estiment uniquement la variation du temps de travail et considèrent le taux horaire de rémunération du travail comme constant.

Rendements	tm/ha	+ 20%	-	+ 40%	-	+ 60%	-
Fertilisants - quantité	tm/ha	0%	-	+ 20%	-	+ 40%	-
Herbicides - nombre de traitements	traitement/ha	-	2		2	-	-1
Entretien et réparation machinerie	heure/ha	+ 10%	-	+ 5%	-	0%	-
Temps de travail	heure/ha	+ 100%	-	+ 50%	-	+ 25%	-
Irrigation - fréquence d'utilisation du matériel	heures	+ 10%	-	+ 5%	-	0%	-
Système d'irrigation		-	oui	-	oui	-	oui

5.1.2.2. Secteur de la pomme

Analyse des résultats

Pour chacun des scénarios envisagés (élevé, médian et bas), les tendances constatées sont les mêmes dans les trois types de vergers (très haute densité, haute densité et moyenne densité) étudiés. Dans les scénarios médian et élevé, les revenus tirés de la production des pommiers augmenteraient plus rapidement que les coûts de production, tandis que dans le scénario bas, les coûts de production par hectare augmenteraient plus fortement que les revenus (voir section 5.1.3.2). Dans les trois scénarios, les coûts progressant le plus sont ceux liés à la récolte des pommes en raison de l'augmentation des rendements. Par hypothèse, cette augmentation est proportionnelle à celle des rendements et va donc de 20% dans le scénario bas à 70% dans le scénario élevé. De plus, les coûts liés à la récolte constituent une part importante des coûts de production pouvant atteindre 50% des coûts totaux annuels lorsque les pommiers sont à maturité.

Par conséquent, les coûts totaux des vergers en production progressent fortement sous l'effet des coûts liés à la récolte. Pour les premières années de production, les coûts totaux augmenteraient entre 3,5% et 40,8% pour le scénario bas, 1,4% à 36% pour le médian et 0,5% et 34% dans le cas du scénario élevé. L'an deux verrait pour sa part ces coûts se situer entre 1,6% et 32,1% pour le scénario bas, -12,3% et 9,5% pour le médian et -17,3% et 3,4% pour le scénario le plus élevé. Si l'on considère la moyenne des coûts sur la période où les arbres sont productifs²⁴, les projections indiquent que les coûts totaux augmenteraient entre 18,7% et 27,6% dans le scénario bas, entre 17,6% et 21,6% dans le scénario médian et entre 29,0% et 35,0% dans le scénario élevé, selon les différentes densités de vergers. Dans le scénario médian, la progression la moins élevée des dépenses en main d'œuvre hors récolte compense en partie l'accroissement des dépenses pour la récolte par rapport au scénario bas.

²⁴ La moyenne calculée correspond à la moyenne des coûts de production de la 3^{ième} année à la 15^{ième} année d'implantation des pommiers

Pour ce qui est de la progression des coûts d'entretien totaux des pommiers productifs²⁵ (hors récolte), elle varie selon la densité des vergers. Ces coûts progressent de 17,8% à 31,6% dans le scénario bas, de 5,6% à 8,7% dans le scénario médian et de 0,9% à 2% dans le scénario élevé. Les pesticides est le principal poste de dépense qui contribue à cette progression. Les dépenses en pesticides restent stables dans le scénario bas mais progressent de plus de 24% dans le scénario élevé. Il est également important de souligner que les coûts d'implantation par hectare augmentent légèrement dans l'ensemble des trois scénarios, mais cette augmentation demeure limitée, entre +0,5% et +3,6%.

De plus, les coûts de la récolte à l'hectare devraient progresser sous l'effet de l'augmentation attendue des rendements. En revanche, les coûts de récolte par tonne devraient diminuer notamment en raison des rendements par arbres plus élevés.

²⁵ Les coûts d'entretien pour les années un et deux ne sont pas présentés dans le présent document, étant donné l'absence de production pour ces années.

Tableau 18: Paramètres de changement des scénarios du secteur de la pomiculture au Québec²⁶

	Actuel	Scénario bas	Valeur	Scénario médian	Valeur	Scénario élevé	Valeur
		Variation en %		Variation en %		Variation en %	
Variation des rendements	-	+20%	-	+35%	-	+70%	-
Fertilisation	Implantation (année de plantation)						
10-50-10 (g/arbre)	20	0%	20	+15%	23	+35%	27
27-0-0 (g/arbre)	50	0%	50	+15%	57,5	+35%	67,5
	Entretien (années suivantes)						
Fertilisants - quantité (27-0-0)	-	0%	-	+15%	-	+35%	-
Tuteurage							
Quantité de matériel utilisé pour installation	-	+10%	-	+5%	-	+2%	-
Temps de travail d'installation - main d'œuvre	-	+10%	-	+5%	-	+2%	-
Pesticides							
Pesticides - implantation - dosages	-	+20%		+10%		0%	
Pesticides - arbres en production - dosages	-	+20%		+10%		0%	
Nombre de pulvérisations	Pommiers non productifs						
Nombre d'applications - pulvérisateur basse pression	-	+50%	6	+10%	4	-	4
Nombre d'applications - pulvérisateur haute pression	-	+50%	8	+10%	6	-	5
	Pommiers en production						
Nombre d'applications - basse pression	-	+50%	5	+10%	3	-	3
Nombre d'applications - haute pression	-	+50%	22	+10%	16	-	14,5
Main d'œuvre							

²⁶ Il a été fait l'hypothèse que les coûts liés à l'installation du système de tuteurage allaient augmenter, du fait que l'augmentation de la fréquence d'événements climatiques extrêmes rendront nécessaire l'usage de système de tuteurage plus résistant. Des hypothèses ont été retenues concernant le pourcentage d'augmentation du coût de la main d'œuvre et du matériel associé au tuteurage. Le budget actuel se base sur les coûts d'un système de tuteurage avec Deltex trois lignes. Bien que possible, la possibilité de modifier le type de système de tuteurage utilisée n'a pas été prise en compte dans les scénarios.

Le poste fourniture des vergers a été modifié dans les scénarios pour tenir compte des dépenses supplémentaires éventuelles en équipement de protection contre le gel (exemple : filets de protection).

Un système d'irrigation est déjà installé dans la situation actuelle.

Les engrais foliaires ne sont pas inclus parmi les fertilisants à faire varier.

Un prélèvement de 35 sous / minot de pomme a été rajouté dans le calcul des coûts de production pour tenir compte d'un prélèvement qui vient d'être adopté à la suite d'une nouvelle mesure de péréquation. Il a été inclus à la fois dans le budget actuel et dans les scénarios pour faciliter les comparaisons.

Nombre d'heures de travail - entretien - autres	-	+50%	-	+10%	-	0%	-
nombre d'heures de travail - entretien - pulvérisation	-	+50%	-	+10%	-	0%	-
Coupes							
Nombre de coupes - arbres non productifs	-	-	3	-	3	-	3
Nombre de coupes - arbres en production	-	-	5	-	5	-	5
Fournitures de vergers							
Fournitures pour couverture des arbres	-	+10%	-	+5%	-	+2%	-
Entretien et réparation de la machinerie							
Coût d'entretien et de réparation de la machinerie	-	+10%	-	+5%	-	0%	-
Proportion frais -entreposée							
% de pommes en vente directe	-	-	10%	-	15%	-	20%
Irrigation	-	-	oui	-	oui	-	oui

5.1.2.3. Secteur des cultures pérennes fourragères

Les rendements progresseraient de 30% dans le scénario bas jusqu'à 55% dans le scénario élevé tirés vers le haut par le passage à trois voire quatre coupes par an pour les régions les plus au sud.

Les résultats obtenus par la méthode Delphi indiquent que les quantités de fertilisants utilisées, qui sont actuellement de 0,33 tonne par hectare, devraient augmenter pour atteindre entre 0,4 et 0,8 tonne par hectare au Québec. Ces prévisions ont été prises en compte dans les scénarios, en considérant que l'augmentation de la quantité de fertilisants serait de 20 % dans le scénario bas et atteindrait 140% dans le scénario élevé. On a supposé que le nombre annuel d'épandages de fertilisants demeurerait inchangé.

Certains experts indiquent que l'irrigation pourrait faire son apparition dans la culture des fourrages, et que le pourcentage de terres irriguées dans cette production pourrait atteindre 30% en 2050. L'absence de convergence en ce sens fait en sorte que l'installation d'un système d'irrigation est envisagée dans le cas du scénario bas uniquement, la majorité des experts se prononçant plutôt pour un pourcentage des terres irriguées variant entre 0 et 10%.

Les détails des hypothèses retenues pour les trois scénarios sont présentés à l'annexe I.

Analyse des résultats

Les coûts de production (par ha et par tonne) augmentent dans les trois scénarios considérés. L'augmentation est moins importante dans le scénario médian (+45,8% par hectare et +2% par tonne). Elle est la plus grande dans le scénario bas, où les coûts totaux augmentent de 81,6%

par hectare et de 40% par tonne. Les dépenses en fertilisants nets, ficelle, utilisation de machinerie, séchage du foin, et location du fond de terre augmentent dans les trois scénarios.

L'augmentation des revenus tirés de la culture des fourrages suit les prévisions d'augmentation des rendements et va de 30% par hectare pour le scénario bas à 55% par hectare le scénario élevé.

Dans le scénario médian, l'augmentation des revenus par hectare est du même ordre de grandeur que l'augmentation des coûts. Les coûts à la production par tonne demeurent relativement similaires à la situation actuelle, alors que les revenus par tonne sont inchangés par définition. Le scénario médian apparaît comme le scénario dans lequel l'impact des changements climatiques aura le moins d'effet négatif sur les coûts de production.

Scénario bas

Dans le scénario bas (Tableau 19), les dépenses à l'hectare en fertilisants nets, herbicides, ficelle, utilisation de la machinerie, séchage, location du fond de terre et main d'œuvre augmentent, en raison de l'influence des quantités produites sur ces postes de dépenses. Les montants par tonne des postes des dépenses qui ne dépendent pas des quantités produites, tels que la chaux ou les semences diminuent, en raison de l'augmentation des rendements.

Le scénario bas est le seul scénario où le coût des fertilisants par tonne produite diminue. Toutefois, il demeure le scénario le plus défavorable, puisque les coûts totaux augmentent de 81,6% par hectare et de 40% par tonne, alors que les revenus tirés de la culture des fourrages ne progressent que de 30%. Il s'agit du seul scénario où un système d'irrigation a été envisagé, ce qui augmente sensiblement les coûts de production à l'hectare.

Scénario médian

Les coûts par hectare augmentent dans le scénario médian (voir Tableau 19) pour les mêmes postes que dans le scénario bas, à l'exception du coût de la main d'œuvre qui reste stable. Les augmentations pour ces postes sont plus importantes que dans le scénario bas. Toutefois, l'augmentation des coûts de production totaux par hectare demeure moindre que dans le scénario bas, en raison de l'absence de système d'irrigation.

Les coûts par tonne diminuent pour les dépenses en main d'œuvre, utilisation de la machinerie, herbicides, chaux, semences et intérêts à court terme.

Les revenus et coûts par hectare augmentent sensiblement dans le même ordre de grandeur dans le scénario médian, de respectivement 42,5% et 45,8%.

Scénario élevé

Les coûts de production s'accroissent de 75,6% par hectare et de 13% par tonne dans le scénario élevé (voir Tableau 19). Ainsi, les coûts progressent plus rapidement que les revenus, malgré le fait que l'accroissement des revenus soit le plus fort des trois scénarios.

Dans le scénario élevé, lorsque l'on considère les coûts de production par hectare, seules les dépenses en main d'œuvre diminuent. Comme dans les deux autres scénarios, les coûts de production liés aux quantités produites augmentent, et l'augmentation est d'autant plus grande que les rendements s'accroissent de 55%.

Les dépenses de fertilisants s'accroissent de 140% par rapport à la situation actuelle, soit une augmentation de plus de 1 600\$ par hectare. Les deux-tiers de l'augmentation des coûts de production sont dus à la hausse des dépenses en fertilisants nets. Les fertilisants sont également le seul poste de dépense qui s'accroît par tonne de fourrages produite.

Tableau 19: Paramètres de changement des scénarios du secteur des fourrages au Québec²⁷

	1. Scénario bas		2. Scénario médian		3. Scénario élevé	
	Variation en %	Valeur	Variation en %	Valeur	Variation en %	Valeur
Rendements						
Rendements	+30%	-	+42,50%	-	+55%	-
Fertilisation						
Fertilisants - quantité	+20%	-	+70%	-	+140%	-
Fertilisants - épandage - année 1	-	1	-	1	-	1
Fertilisants - épandage - année 2	-	0	-	0	-	0
Fertilisants - épandage - année 3	-	0	-	0	-	0
Fertilisants - épandage - année 4	-	0	-	0	-	0
Fertilisants - épandage - année 5	-	0	-	0	-	0
Traitement						
Herbicides : nombre de traitement à l'hectare		1	-	1	-	0,8
Pulvérisation - passage année 1	-	1	-	1	-	1
Pulvérisation - passage année 2	-	0	-	0	-	0
Pulvérisation - passage année 3	-	0	-	0	-	0
Pulvérisation - passage année 4	-	0	-	0	-	0
Pulvérisation - passage année 5	-	0	-	0	-	0
Coupes						
Nombre de coupes - année 1	-	0	-	0	-	0
Nombre de coupes - année 2	-	2	-	3	-	4
Nombre de coupes - année 3	-	2	-	3	-	4
Nombre de coupes - année 4	-	2	-	3	-	3
Nombre de coupes - année 5	-	1	-	2	-	2
Augmentation du temps de travail (main d'œuvre)						
Récolte	+31%	-	0%	-	-21%	-
Placage paille et foin	+31%	-	0%	-	-21%	-
Irrigation						
Présence d'un système d'irrigation	-	oui	-	non	-	non

5.1.3 Conséquences sur les coûts de production au Québec

5.1.3.1. Secteur du maïs-grain

²⁷ La ligne « entretien et réparation de machinerie » inclut le temps pour la main d'œuvre lorsqu'il s'agit de réparations ou d'entretien effectués en dehors de la ferme. Lorsque l'entretien ou la réparation est effectuée sur l'exploitation, les coûts de main d'œuvre sont inclus dans les lignes salaires ou rémunération de l'exploitant.

Il a été fait l'hypothèse qu'aucun système d'irrigation n'était installé dans la situation actuelle et que seul le scénario bas intégrerait l'ajout d'un tel système. Les coûts liés au système d'irrigation ont été estimés à partir des coûts d'installation et des coûts variables engendrés par un système d'aspersion à pivot central. Une moyenne a été réalisée à partir des coûts de deux types de systèmes à pivot central. Les données proviennent de Hogan et coll. (2007).

Pour assurer une meilleure vision d'ensemble des scénarios présentés précédemment dans cette étude, les prévisions de modification des coûts de production pour chacun d'entre eux sont présentées ci-dessous.

Tableau 20: Synthèse des prévisions de modification des coûts de production dans le secteur du maïs-grain au Québec (2050) pour le scénario bas

	Coûts actuels en \$/ha	\$/ha	Variation en %	Coûts actuels en \$/t	\$/t	Variation en %
Coûts variables influencés par les changements climatiques						
Fertilisants nets	359,33	359,33	0,0%	45,48	37,90	-16,7%
Herbicides	108,80	108,80	0,0%	13,77	11,48	-16,7%
Entretien machinerie	79,89	87,88	+10,0%	10,11	9,27	-8,3%
Salaires employés et retenues	74,90	149,80	+100,0%	9,48	15,80	+66,7%
Frais de séchage	158,00	189,60	+20,0%	20,00	20,00	0,0%
Frais d'entreposage	9,72	11,66	+20,0%	1,23	1,23	0,0%
Plan conjoint	9,88	11,85	+20,0%	1,25	1,25	0,0%
Irrigation	-	329,44	n.a.	-	34,75	n.a.
Total des coûts variables	1382,93	1 830,78	+32,4%	175,05	193,12	+10,3%
Autres coûts influencés par les changements climatiques						
Amortissements	166,31	254,21	+52,9%	21,05	26,81	+27,4%
Total autres coûts	472,81	560,71	+18,6%	59,85	59,15	-1,2%
Coûts de production totaux	1 968,28 \$	2 504,03 \$	+27,2%	249,15 \$	264,14 \$	+6,0%
Revenus de la culture du maïs	1 382,50 \$	1 659,00 \$	+20,0%	175,00 \$	175,00 \$	n.a.

Tableau 21: Synthèse des prévisions de modification des coûts de production dans le secteur du maïs-grain au Québec (2050) pour le scénario médian

	Coûts actuels en \$/ha	\$/ha	Variation en %	Coûts actuels en \$/t	\$/t	Variation en %
Coûts variables influencés par les changements climatiques						
Fertilisants nets	359,33	431,19	+20,0%	45,48	38,99	-14,3%
Herbicides	108,80	108,80	0,0%	13,77	9,84	-28,6%
Entretien machinerie	79,89	83,89	+5,0%	10,11	7,58	-25,0%
Salaires employés et retenues	74,90	112,35	+50,0%	9,48	10,16	+7,1%
Frais de séchage	158,00	221,20	+40,0%	20,00	20,00	0,0%
Frais d'entreposage	9,72	13,60	+40,0%	1,23	1,23	0,0%
Plan conjoint	9,88	13,83	+40,0%	1,25	1,25	0,0%
Irrigation	-	314,47	n.a.	-	28,43	n.a.
Total des coûts variables	1 382,93	1 881,74	+36,1%	175,05	170,14	-2,8%
Autres coûts influencés par les changements climatiques						
Amortissements	166,31	254,21	+52,9%	21,05	22,98	+9,2%
Total autres coûts	472,81	560,71	+18,6%	59,85	50,70	-15,3%
Coûts de production totaux	1 968,28 \$	2 554,99 \$	+29,8%	249,15 \$	231,01 \$	-7,3%
Revenus de la culture du maïs	1 382,50 \$	1 935,50 \$	+40,0%	175,00 \$	175,00 \$	n.a.

Tableau 22: Synthèse des prévisions de modification des coûts de production dans le secteur du maïs-grain au Québec (2050) pour le scénario élevé

	Coûts actuels en \$/ha	\$/ha	Variation en %	Coûts actuels en \$/t	\$/t	Variation en %
Coûts variables influencés par les changements climatiques						
Fertilisants nets	359,33	503,06	+40,0%	45,48	39,80	-12,5%
Herbicides	108,80	54,40	-50,0%	13,77	4,30	-68,8%
Entretien machinerie	79,89	79,89	0,0%	10,11	6,32	-37,5%
Salaires employés et retenues	74,90	93,63	+25,0%	9,48	7,41	-21,9%
Frais de séchage	158,00	252,80	+60,0%	20,00	20,00	0,0%
Frais d'entreposage	9,72	15,55	+60,0%	1,23	1,23	0,0%
Plan conjoint	9,88	15,80	+60,0%	1,25	1,25	0,0%
Irrigation	-	299,49	n.a.	-	23,69	n.a.
Total des coûts variables	1 382,93	1 897,03	+37,2%	175,05	150,08	-14,3%
Autres coûts influencés par les changements climatiques						
Amortissements	166,31	254,21	+52,9%	21,05	20,11	-4,5%
Total autres coûts	472,81	560,71	+18,6%	59,85	44,36	-25,9%
Coûts de production totaux	1 968,28 \$	2 570,28 \$	+30,6%	249,15 \$	203,34 \$	-18,4%
Revenus de la culture du maïs	1 382,50 \$	2 212,00 \$	+60,0%	175,00 \$	175,00 \$	0,0%

5.1.3.2. Secteur de la pomme

En ce qui a trait les modifications des coûts de production en pomiculture, les trois scénarios présentés sont exposés dans les tableaux suivants. L'année 1 correspond à l'année d'implantation du verger. L'année 2 est une année non productive. Les années 3 à 15 sont des années où le verger est en production.

Tableau 23: Synthèse des prévisions de modification des coûts de production dans le secteur des pommes au Québec (2050) pour le scénario bas

Années	Rendements		Revenu	Coûts			
	Kg/ha	Minots		Matériel	Main-d'œuvre	Totaux	Totaux avec péréquation
Très haute densité (2246 pommiers/ha)							
1	n.a.	n.a.	n.a.	+1,8%	+11,5%	+3,5%	+3,5%
2	+20,0%	+20,0%	+16,0%	+13,8%	+50,0%	+32,1%	+32,0%
Moyenne années 3-15	+20,0%	+20,0%	+15,6%	+14,0%	+50,0%	+27,6%	+27,0%
Haute densité (1667 pommiers/ha)							
1	n.a.	n.a.	n.a.	+2,1%	+11,5%	+4,0%	+4,0%
2	n.a.	n.a.	n.a.	+14,2%	+50,0%	+30,1%	+30,1%
Moyenne années 3-15	+20,0%	+20,0%	+14,5%	+14,8%	+50,0%	+26,7%	+26,2%

Moyenne densité (685 pommiers/ha)							
1	n.a.	n.a.	n.a.	+3,6%	+518,6%	+40,8%	+40,8%
2	n.a.	n.a.	n.a.	-17,7%	+37,0%	+1,6%	+1,6%
Moyenne années 3-15	+20,0%	+20,0%	+14,1%	+15,5%	+19,8%	+18,6%	+18,7%

Tableau 24: Synthèse des prévisions de modification des coûts de production dans le secteur des pommes au Québec (2050) pour le scénario médian

Années	Rendements		Revenu	Coûts			
	Année	Kg/ha		Minots	Revenu	Matériel	Main-d'œuvre
Très haute densité (2246 pommiers/ha)							
1	n.a.	n.a.	n.a.	+1,0%	+3,2%	n.a.	+1,4%
2	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,8%	+10,0%	+35,0%	+9,5%
Moyenne années 3-15	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,5%	+10,0%	+35,0%	+17,7%
Haute densité (1667 pommiers/ha)							
1	n.a.	n.a.	n.a.	+1,1%	+3,2%	n.a.	+1,5%
2	n.a.	n.a.	n.a.	+8,0%	+10,0%	n.a.	+8,9%
Moyenne années 3-15	+35,0%	0,0%	+35,0%	+7,4%	+10,0%	+35,0%	+20,5%
Moyenne densité (685 pommiers/ha)							
1	n.a.	n.a.	n.a.	+1,8%	+477,7%	n.a.	+36,2%
2	n.a.	n.a.	n.a.	-23,0%	+7,4%	n.a.	-12,3%
Moyenne années 3-15	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,3%	+4,0%	+35,0%	+16,6%

Tableau 25: Synthèse des prévisions de modification des coûts de production dans le secteur des pommes au Québec (2050) pour le scénario élevé

Années	Rendements		Revenu	Coûts			
	Année	Kg/ha		Minots	Revenu	Matériel	Main-d'œuvre
Très haute densité (2246 pommiers/ha)							
1	n.a.	n.a.	n.a.	+0,4%	+0,6%	n.a.	+0,5%
2	+70,0%	+70,0%	+75,7%	+4,1%	0,0%	+70,0%	+3,4%
Moyenne années 3-15	n.a.	n.a.	n.a.	+0,4%	+0,6%	n.a.	+0,5%
Haute densité (1667 pommiers/ha)							
1	n.a.	n.a.	n.a.	+0,5%	+0,6%	n.a.	+0,5%
2	n.a.	n.a.	n.a.	+4,1%	0,0%	n.a.	+2,3%
Moyenne années 3-15	70,0%	+70,0%	+77,8%	+2,7%	0,0%	+70,0%	+32,2%
Moyenne densité (685 pommiers/ha)							
1	n.a.	n.a.	n.a.	+0,6%	+464,6%	n.a.	+34,1%
2	n.a.	n.a.	n.a.	-26,7%	0,0%	n.a.	-17,3%
Moyenne années 3-15	+70,0%	+70,0%	+111,3%	+1,9%	0,0%	+70,0%	+26,7%

5.1.3.3. Secteur des cultures pérennes fourragères

Pour la production de plantes fourragères, les scénarios présentés ci-dessous correspondent au calcul des coûts de production pour 2050.

Tableau 26: Synthèse des prévisions de modification des coûts de production dans le secteur des fourrages au Québec (2050) pour le scénario bas

	Coûts de production actuels	Coûts de production en 2050	Variation des coûts de production par hectare	Coûts de production actuels	Coûts de production en 2050	Variation des coûts de production par tonne
	\$/ha	\$/ha	%	\$/t	\$/t	%
Coûts variables						
Semences nettes	87,87	87,87	0,0%	4,54	3,49	-23%
Fertilisants nets	1 166,37	1 399,64	+20,0%	60,28	55,64	-8%
Chaux	94,30	94,30	0,0%	4,87	3,75	-23%
Herbicides	40,07	50,09	+25,0%	2,07	1,99	-4%
Ficelle	52,89	68,76	+30,0%	2,73	2,73	0%
Utilisation de la machinerie	508,47	585,87	+15,2%	26,28	23,29	-11%
Séchage du foin	98,49	128,04	+30,0%	5,09	5,09	0%
Location fonds de terre	1 006,20	1 308,06	+30,0%	52,00	52,00	0%
Main d'œuvre	252,00	330,12	+31,0%	13,02	13,12	+1%
Intérêts à court terme	26,66	26,66	0,0%	1,38	1,06	-23%
Irrigation	-	1 497,47	-	-	59,53	-
Total des coûts variables	3 333,32	5 576,87	+67,3%	172,26	221,70	+29%
Autres coûts						
Amortissement de l'irrigation	0	439,48	-	-	17,47	-
Total des coûts variables et des autres coûts	3 333,32 \$	6 016,35 \$	+80,5%	172,26 \$	239,17 \$	+39%
Revenus en moins						
Assurance récolte nette	72,74	94,57	30,0%	3,76	3,76	n.a.
Total des revenus en moins	72,74	94,57	30,0%	3,76	3,76	n.a.
Coûts de production totaux	3 260,58 \$	5 921,79 \$	+81,6%	168,51 \$	235,41 \$	+40%
Revenus	2 902,50 \$	3 773,25 \$	30,0%	-	-	-

Tableau 27: Synthèse des prévisions de modification des coûts de production dans le secteur des fourrages au Québec (2050) pour le scénario médian

	Coûts de production actuels	Coûts de production en 2050	Variation des coûts de production par hectare	Coûts de production actuels	Coûts de production en 2050	Variation des coûts de production par tonne
	\$/ha	\$/ha	%	\$/t	\$/t	%

Coûts variables						
Semences nettes	87,87	87,87	0,0%	4,54	3,19	-30%
Fertilisants nets	1 166,37	1 982,83	+70,0%	60,28	71,91	+19%
Chaux	94,30	94,30	0,0%	4,87	3,42	-30%
Herbicides	40,07	50,09	+25,0%	2,07	1,82	-12%
Ficelle	52,89	75,37	+42,5%	2,73	2,73	0%
Utilisation de la machinerie	508,47	715,56	+40,7%	26,28	25,95	-1%
Séchage du foin	98,49	140,35	+42,5%	5,09	5,09	0%
Location fonds de terre	1 006,20	1 433,84	+42,5%	52,00	52,00	0%
Main d'œuvre	252,00	252,00	0,0%	13,02	9,14	-30%
Intérêts à court terme	26,66	26,66	0,0%	1,38	0,97	-30%
Irrigation	-	-	-	-	-	-
Total des coûts variables	3 333,32	4 858,86	+45,8%	172,26	176,21	+2%
Autres coûts						
Amortissement de l'irrigation	0	-	-	-	-	-
Total des coûts variables et des autres coûts	3 333,32 \$	4 858,86 \$	+45,8%	172,26 \$	176,21 \$	+2%
Revenus en moins						
Assurance récolte nette	72,74	103,66	+42,5%	3,76	3,76	n.a.
Total des revenus en moins	72,74	103,66	+42,5%	3,76	3,76	n.a.
Coûts de production totaux	3 260,58 \$	4 755,20 \$	+45,8%	168,51 \$	172,45 \$	+2%
Revenus	2 902,50 \$	4 136,06 \$	+42,5%	-	-	-

Tableau 28: Synthèse des prévisions de modification des coûts de production dans le secteur des fourrages au Québec (2050) pour le scénario élevé

	Coûts de production actuels	Coûts de production en 2050	Variation des coûts de production par hectare	Coûts de production actuels	Coûts de production en 2050	Variation des coûts de production par tonne
	\$/ha	\$/ha	%	\$/t	\$/t	%
Coûts variables						
Semences nettes	87,87	87,87	0,0%	4,54	2,93	-35,5%
Fertilisants nets	1 166,37	2 799,28	+140,0%	60,28	93,33	+54,8%
Chaux	94,30	94,30	0,0%	4,87	3,14	-35,5%
Herbicides	40,07	40,07	0,0%	2,07	1,34	-35,5%
Ficelle	52,89	81,98	+55,0%	2,73	2,73	0,0%
Utilisation de la machinerie	508,47	796,53	+56,7%	26,28	26,56	+1,1%
Séchage du foin	98,49	152,66	+55,0%	5,09	5,09	0,0%
Location fonds de terre	1 006,20	1 559,61	+55,0%	52,00	52,00	0,0%
Main d'œuvre	252,00	199,08	-21,0%	13,02	6,64	-49,0%
Intérêts à court terme	26,66	26,66	0,0%	1,38	0,89	-35,5%
Irrigation	-	-	-	-	-	-

Total des coûts variables	3 333,32	5 838,05	+75,1%	172,26	194,65	+13,0%
Autres coûts						
Amortissement de l'irrigation	0	-	-	-	-	-
Total des coûts variables et des autres coûts	3 333,32 \$	5 838,05 \$	+75,1%	172,26 \$	194,65 \$	+13%
Revenus en moins						
Assurance récolte nette	72,74	112,75	55,0%	3,76	3,76	n.a.
Total des revenus en moins	72,74	112,75	55,0%	3,76	3,76	n.a.
Coûts de production totaux	3 260,58 \$	5 725,30 \$	+75,6%	168,51 \$	190,89 \$	+13%
Revenus	2 902,50 \$	4 498,88 \$	+55,0%	-	-	-

5.2. Impacts des changements climatiques dans les régions concurrentes du Québec

Toujours à partir des informations récoltées à l'aide de la méthode Delphi, des prévisions au niveau de la position concurrentielle de chacune des régions à l'étude ont été réalisées. Les questions portant sur les positions concurrentielles des régions ont été ventilées en plusieurs sous-questions qui permettent de faire ressortir en raison de quel indicateur la compétitivité d'une région sera améliorée ou non. Les indicateurs retenus sont essentiellement reliés au rendement, aux superficies ainsi qu'aux coûts de production. Ainsi, les subtilités incluses dans la variation de la position concurrentielle des régions devraient ressortir auparavant permettant une vision plus détaillée des prédictions des experts. Toutefois, comme les experts ne s'entendent pas toujours, plusieurs scénarios sont parfois représentés. À ce moment, le scénario élevé consistera aux prévisions des experts les plus optimistes alors que le scénario bas consistera aux prévisions des experts les plus pessimistes. Ainsi, lorsqu'un seul scénario est présenté, les experts ont convergé.

5.2.1 Secteur du maïs-grain

L'Ontario et les États américains de l'Iowa et de l'Illinois verront leur production de maïs-grain se modifier d'ici 2050. L'augmentation des rendements au sud de l'Ontario, et le développement substantiel de certaines régions plus au nord de la province viendront améliorer la position de cette province, alors que le stress hydrique et les températures élevées affecteront négativement les rendements de l'Iowa et l'Illinois.

Rendement

Les augmentations des rendements d'ici 2050 pour chaque région considérée dans l'étude dépendront essentiellement de la position actuelle de la région de référence. Les experts ne s'entendent pas sur les variations de rendements affectant l'Iowa et l'Illinois, en situant toutefois

leurs rendements respectifs de 2050 plus bas qu’actuellement, les divergences étant de l’ordre de grandeur de cette baisse. Ces régions devraient faire face à des problèmes de stress hydrique entraînant une plus grande difficulté à obtenir des rendements optimaux. De plus, ces régions subiront de manière plus importante qu’au Canada les périodes de chaleur extrême estivales et ce, nonobstant l’arrivée de nouveaux cultivars plus résistants à la sécheresse. Selon les experts consultés, l’Ontario connaîtra une hausse des rendements d’environ une demi-tonne à l’hectare d’ici 2050. Cette province devrait par ailleurs subir davantage de contraintes liées à l’eau que le Québec, en raison d’un gradient plus élevé d’augmentation des températures et du déficit hydrique.

Alors que les États américains retenus auront à faire face à de nouveaux obstacles à l’obtention de leurs rendements en maïs-grain en raison des changements climatiques, l’Ontario et le Québec devraient mieux s’en sortir. L’écart entre les rendements pourrait diminuer entre le Québec et les deux états américains en 2050, en faveur des producteurs québécois. L’Ontario pourrait également se rapprocher de l’Iowa. L’amélioration des rendements ontariens restera toutefois faible par rapport à celle du Québec, qui sera, encore une fois, la principale région avantagée par les changements climatiques pour le rendement à l’hectare (voir Figure 6).

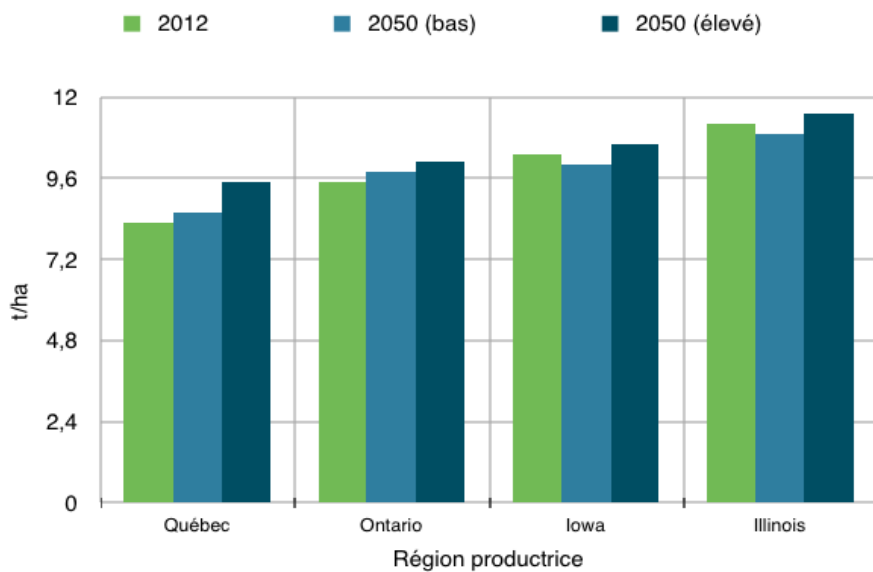


Figure 6: Prévion de l’évolution des rendements de maïs-grain au Québec, en Ontario, en Iowa et en Illinois (2012 à 2050)

Superficies

La position absolue des superficies d’ici 2050 ne connaîtra pas de réels changements pour l’Iowa et l’Illinois qui ont déjà atteint leur capacité maximale de mise en culture des terres agricoles. Certains experts mentionnent par contre que ces États pourraient être affectés par l’instauration de quotas de prélèvement en eau, qui aurait pour conséquence une diminution des superficies cultivées. Ces contraintes liées aux ressources hydriques seraient l’une des

causes de restrictions des cultures et de conflits liés à l'utilisation de l'eau. L'Ontario connaîtra une situation similaire en 2050, alors que la culture du maïs-grain pourrait s'étendre vers le nord. Toutefois, l'augmentation des superficies sera moins importante qu'au Québec en raison de la migration des terres allouées à la production de maïs vers la production de cultures maraîchères.

Production totale

La combinaison de l'augmentation des rendements et des superficies agira principalement sur la position concurrentielle relative du Québec et de l'Ontario comme producteurs de maïs-grain. Ainsi, dans le scénario élevé, sans atteindre le niveau de production de l'Ontario, le Québec pourrait s'en rapprocher grandement. Les états américains à l'étude ne verraient pas leur production totale changer de manière significative, restant aux alentours de 55 à 60 Mt (Iowa) et 44,5 à 49,5 Mt (Illinois).

L'écart entre l'Iowa, l'Illinois et les provinces canadiennes pourrait se rétrécir, principalement en fonction de la vitesse et de l'intensité des changements climatiques à venir et de la disponibilité de l'eau lors de la saison des cultures. Malgré une détérioration des conditions de production liée aux facteurs climatiques, l'Iowa et l'Illinois devraient conserver leur avance particulièrement importante sur les régions canadiennes à l'étude (voir Figure 7).

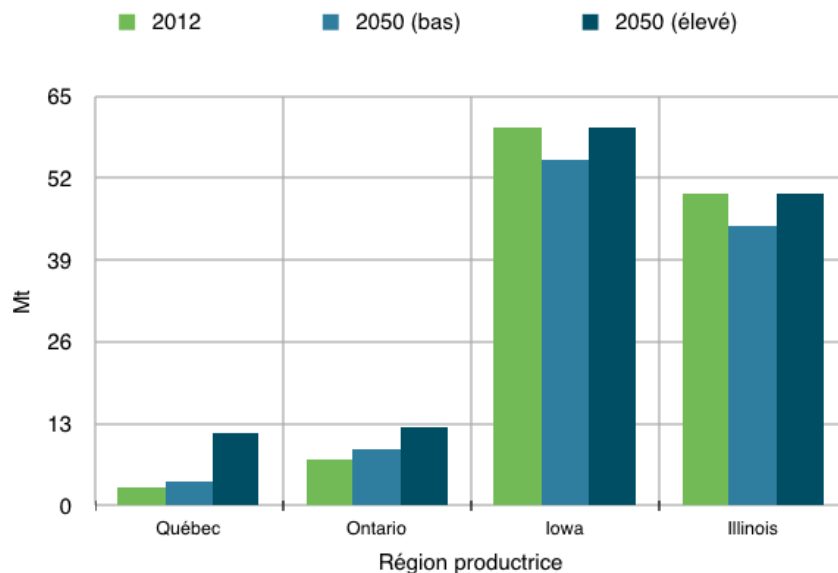


Figure 7: Prévion de l'évolution de la production totale de maïs-grain au Québec, en Ontario, en Iowa et en Illinois (2012 à 2050)

Coûts de production²⁸

²⁸ Afin de permettre la comparaison entre le Québec et ses concurrents, les données liées aux coûts de production sont celles présentées dans la revue de littérature. Les montants ne sont donc pas similaires à ceux utilisés afin de produire les budgets partiels, ces derniers étant basés sur des modèles d'ingénierie incluant un rendement à 100%. Cette note est également valide pour les autres productions à l'étude.

Le seul constat sur les coûts de production sur lequel s’entendent les experts pour 2050 est une très faible augmentation en Iowa (coût de production d’environ 1888 \$/ha par rapport à 1828 \$/ha en 2012) et en Illinois (environ 1497 \$/ha par rapport à 1467 \$/ha). Pour le Québec et l’Ontario, bien qu’une tendance se dessine dans les prédictions des experts, ceux-ci ne s’entendent pas le sens et l’importance des variations pour 2050. Les deux provinces canadiennes pourraient connaître, selon les scénarios mis de l’avant par les personnes consultées, soit une diminution des coûts de production liée à la diminution des coûts de séchage des grains et un allongement de la saison de culture, soit une augmentation reliée aux besoins accrus en irrigation et aux problématiques rattachées aux déficits hydriques et événements climatiques de plus forte intensité.

Toutefois, le déficit hydrique anticipé par le réchauffement des températures serait plus intense en Ontario qu’au Québec. De même, il serait plus élevé aux États-Unis que dans ces deux provinces canadiennes entraînant de nouveaux coûts d’irrigation et autres mesures palliatives. Notamment en raison des problématiques d’accès à l’eau les coûts de production estimés devraient varier entre 1 141 \$/ha et 1 441 \$/ha en 2050 en Ontario alors que leur niveau actuel n’est que de 1 201 \$/ha. Pour le Québec de 2050, la tendance s’orienterait, selon les experts, vers des coûts de production variant entre 1 536 \$/ha et 1 776\$/ha en considérant leur coût actuel à 1 656\$/ha. Si le scénario partagé par la moitié des experts consultés de diminution des coûts de production d’environ 120 \$/ha s’avérait exact, le Québec pourrait se rapprocher de l’Illinois pour ce qui est des coûts de production et ainsi améliorer sa compétitivité sur le marché du maïs-grain (voir Figure 8).

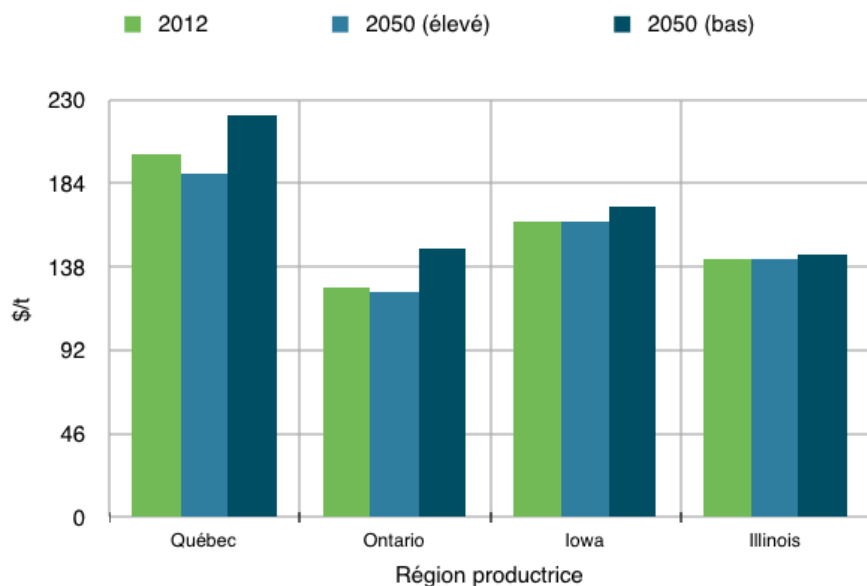


Figure 8: Prévion de l’évolution des coûts de production de maïs-grain au Québec, en Ontario, en Iowa et en Illinois (2012 à 2050)

La réduction des coûts de production par tonne dans les scénarios médian et élevé pourrait ainsi avoir un impact favorable sur la compétitivité des exploitations québécoises, en particulier face aux compétiteurs qui avaient jusqu’à présent des coûts de productions inférieurs. Il serait ainsi possible que les coûts de production des exploitations québécoises deviennent inférieurs à

ceux des exploitations de l'Illinois et se rapprochent des coûts de production ontariens. Toutefois, ce scénario est incertain car il faudrait pour cela que l'évolution des coûts de production soit défavorable dans ces deux régions.

5.2.2 Secteur de la pomme

En Ontario, les hausses de température feront en sorte que la saison de croissance sera plus longue de 30 à 45 jours, permettant une diversification de l'offre de variétés de pommes. La diminution des précipitations aura par contre un impact sur le stress hydrique entraînant une augmentation des besoins en irrigation. La Colombie-Britannique connaîtra elle aussi des hausses de température entraînant une saison de croissance plus longue de 10 à 30 jours. Ces changements climatiques influenceront également la superficie disponible pour la production de pommes, l'agrandissant de 160 à 250 km vers le Nord et de 200 à 250 m en altitude. Des problèmes d'accès à l'eau pourront toutefois survenir, alors que les besoins plus importants en irrigation et la diminution du flux des cours d'eau causés par la diminution de la taille des glaciers affecteront la pomiculture dans cette province. Pour l'État de Washington, les écarts de température causés par les changements climatiques seront de moindre envergure. Toutefois, ils augmenteront la saison de croissance de 10 à 30 jours et les rendements d'environ 16%. Plus de précipitations estivales seront à prévoir, ne freinant pas la croissance du rationnement de l'eau, qui devrait se faire sentir deux années sur cinq plutôt qu'une sur sept actuellement.

Densité

Les experts consultés s'entendent sur le fait que le rendement québécois à l'hectare en lien avec la densité des vergers rejoindra la moyenne actuelle des producteurs ontariens. L'Ontario devrait obtenir un rendement légèrement plus élevé à la même époque. Les autres concurrents du Québec, soit la Colombie-Britannique et l'État de Washington, seraient actuellement dans une situation de densité optimale selon les experts consultés. Cette situation expliquerait, selon eux, l'absence de progression pour ces deux régions d'ici 2050. L'avantage du Québec est donc particulièrement marqué lorsque la densité est prise en compte, notamment avec la régénérescence des vergers liée aux changements de cultivars.

Changements climatiques et densité

Lorsque seul l'impact des changements climatiques est considéré, les prévisions des experts sont toutefois différentes. En effet, l'Ontario en 2050 (scénario bas à près de 22 t/ha et élevé à environ 24 t/ha) se rapprochera grandement de la Colombie-Britannique si celle-ci connaît une baisse des rendements comme établi dans le scénario bas. L'État de Washington profitera des changements climatiques pour augmenter légèrement le sien, passant de 40,69 t/ha à environ 45 t/ha. Cette région est la seule où les experts convergent. Pour le Québec et la Colombie-Britannique, les points de vue divergent quant à l'influence des seuls changements climatiques. Pour la Colombie-Britannique certains les experts consultés prévoient une stabilité ou une diminution des rendements. Cela serait principalement causé par une diversification vers d'autres espèces et une diminution des rendements en raison de la chaleur estivale plus

importante. D'autres évoquent une augmentation assez marquée des rendements, faisant passer la production d'environ 26 t/ha à plus de 32 t/ha. La Figure 9 fait état de cette situation.

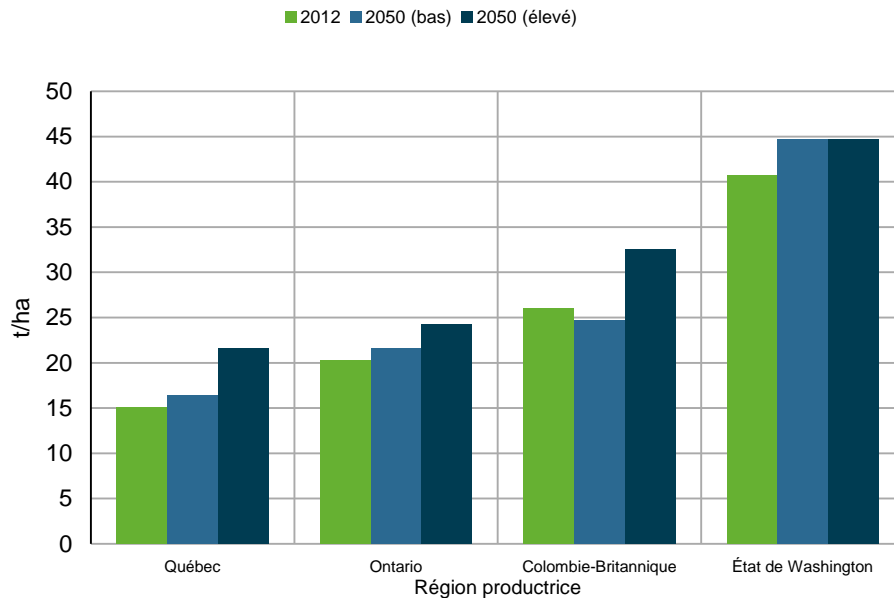


Figure 9: Prévion de l'évolution des rendements de production de pommes au Québec, en Ontario, en Colombie-Britannique et dans l'État de Washington en ne considérant que l'impact des changements climatiques (2012 à 2050)

La modification de la densité des vergers et l'impact des changements climatiques, donnent lieu à des prévisions différentes lorsqu'ils sont considérés de manière combinée (voir Figure 10). Le Québec de 2050 aurait ainsi des rendements équivalents aux rendements actuels de l'Ontario alors que les rendements ontariens ne connaîtront pas une croissance importante. Le rendement à l'hectare du Québec rattrapera, à environ une tonne métrique à l'hectare près, celui de l'Ontario. La Colombie-Britannique connaîtra une légère diminution entre 2012 et 2050 et l'État de Washington connaîtra une augmentation peu significative.

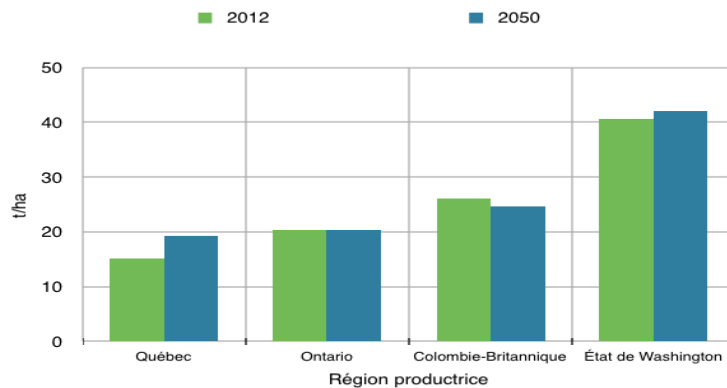


Figure 10: Prévion de l'évolution des rendements de production de pommes au Québec, en Ontario, en Colombie-Britannique et dans l'État de Washington en considérant l'impact des changements climatiques et l'augmentation des densités (2012 à 2050)

Superficies

Pour ce qui est de l'augmentation des superficies, les experts consultés sont unanimes : Les superficies de l'Ontario augmenteront très légèrement grâce à l'implantation de cultivars plus adaptés au climat. Le Québec, pour sa part, bénéficiera d'une augmentation lui permettant de se rapprocher de l'Ontario.

La Colombie-Britannique n'augmentera pas ses superficies selon les experts, étant donné le prix élevé des terres, la difficulté importante que constitue le fait d'être en concurrence avec l'État de Washington, l'éloignement des marchés et l'attrait pour d'autres cultures (notamment les cerises). L'État de Washington, dont les superficies en culture sont actuellement beaucoup plus élevées que celles de ses concurrents, cultiverait des pommes sur un espace légèrement plus grand, notamment car des terres propices à la pomiculture sont disponibles et que la production reste compétitive sous réserve de la disponibilité en eau.

Coûts de production

Selon les experts consultés, l'impact des changements climatiques sur les coûts de production en pomiculture sera similaire dans trois des quatre régions de production, soit une augmentation d'environ 20 \$/t. Tandis que la Colombie-Britannique, l'État de Washington et le Québec connaîtront cette augmentation, l'Ontario conservera un coût de production stable. Ainsi, en 2050, aucune des régions de production ne verra sa position concurrentielle relative changer.

La modification de la densité des vergers a également un impact sur la position relative. Les coûts de production seront légèrement affectés pour l'Ontario et l'État de Washington (moins de 20\$/t). L'augmentation des coûts de production de la Colombie-Britannique sera très faible. Ainsi, la Colombie-Britannique connaîtra une hausse de ses coûts de production de moins de 30\$/t et l'État de Washington, moins de 10\$/t. Ceux de l'Ontario chuteront d'une dizaine de dollars. L'avantage du Québec par rapport à l'État de Washington sera affecté par son importante hausse des coûts de production comparativement aux autres régions étudiées (voir Figure 11).

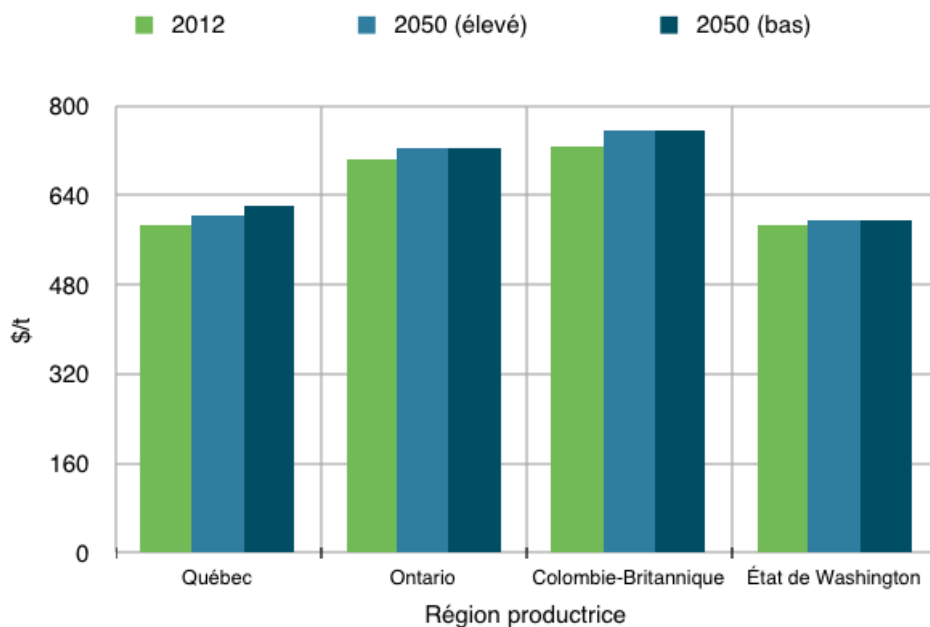


Figure 11: Prédiction de l'évolution des coûts de production en production de pommes au Québec, en Ontario, en Colombie-Britannique et dans l'État de Washington (2012 à 2050)

5.2.3 Secteur des cultures pérennes fourragères

Le scénario de 2050 présenté en lien avec la position concurrentielle relative du Québec par rapport à son principal concurrent, l'Ontario, fait l'objet de quelques consensus entre les experts consultés. Ainsi, ils s'entendent sur l'augmentation des rendements provoquée par les changements climatiques, à laquelle contribue la généralisation d'une coupe supplémentaire au Québec. En Ontario, les cultures pourraient profiter d'une diminution des journées de froid extrême, diminuant ainsi les risques pour les cultures. La pratique d'une troisième coupe est déjà généralisée dans cette province.

Ils s'entendent également sur l'impact positif, dans les deux provinces, de l'augmentation de la concentration en CO₂ sur la croissance des plantes fourragères. L'augmentation possible des pertes en raison de difficultés d'endurcissement liées à la diminution du couvert de neige fait également l'unanimité.

Rendements

Les experts consultés estiment que les changements climatiques causeront une augmentation des rendements à l'hectare de 2 à 5 tonnes/ha en Ontario. Il semble probable que l'écart entre les rendements au Québec et en Ontario se maintiendra en faveur de l'Ontario.²⁹ Ainsi, malgré

²⁹ Si la perspective d'une augmentation des rendements des fourrages sur un horizon 2050 fait consensus, les experts ne s'entendent pas sur les niveaux de celle-ci. Bien que les experts s'accordent sur le fait que le scénario présenté ci-haut est réaliste, leurs réponses qualitatives positionnées sur une échelle de valeurs dans les questionnaires employés présentent des résultats différents. Leurs réponses à cette question indiquent plutôt que les

la généralisation d'une troisième coupe au Québec, les changements climatiques auraient un effet sur les rendements dû aux conditions hivernales. Toutefois, cette troisième coupe pourrait compenser pour les pertes encourues. Cette compensation aurait essentiellement lieu au Québec puisque l'Ontario réalise déjà une troisième coupe. Ainsi, l'écart entre les deux provinces devrait se résorber quelque peu.

Coûts de production

Pour l'Ontario, les experts s'entendent sur une augmentation d'environ 10 \$/t, portant les coûts à environ 135 \$/t en 2050. Peu de précisions sont apportées par les experts sur les raisons de ces différences d'estimation des coûts. Il appert toutefois qu'ils pourraient être reliés aux intempéries climatiques hivernales, dont les conséquences se feraient particulièrement sentir au sud.

À l'exception du scénario médian des coûts de production où les coûts et les revenus évoluent de façon similaire, la compétitivité des exploitations québécoises productrices de fourrages devrait se détériorer sous l'effet de l'impact des changements climatiques. Quoi qu'il en soit, le Québec ne serait toujours pas avantagé comparativement à son voisin étant donné les grandes différences de coûts de production qui subsisteraient. De plus, l'accroissement des coûts de production pourrait diminuer la rentabilité des fourrages relativement à celle des autres cultures destinées à l'alimentation animale et inciter certains producteurs québécois de fourrages à se tourner vers d'autres productions plus rentables.

5.3. Positions concurrentielles relatives

5.3.1 Secteur du maïs-grain

Les experts consultés sont unanimes pour les prévisions sur un horizon 2050 pour les positions concurrentielles relatives sur le marché du maïs-grain des quatre régions. L'Iowa et l'Illinois verront leur avance diminuer légèrement, alors que l'Ontario améliorera significativement sa position. Le Québec, pour sa part, connaîtra une amélioration de sa position concurrentielle relative par rapport à 2012 lui permettant de se rapprocher de l'Ontario, sans toutefois réussir à la rejoindre. Le Canada réussira à profiter des changements climatiques, alors que les États américains retenus devraient principalement en subir les effets néfastes, particulièrement ceux reliés aux besoins en eau. Cet écart entre les productions de maïs-grain de l'Iowa et de l'Illinois et celles des provinces canadiennes étudiées tendrait, avec l'intensification des changements climatiques, à se réduire sensiblement (voir Figure 12 et Figure 13).

rendements de l'Ontario augmenteront selon eux entre 0,44 et 0,55 t/ha par rapport à 2012, portant le rendement en fourrages à 6,55 t/ha pour 2050. Alors que la majorité des experts s'entendent sur une hausse possible d'une tonne à l'hectare pour le rendement québécois, le faisant passer de 5,2 t/ha à 6,3 t/ha, certains modèrent la progression en prédisant plutôt une augmentation de 0,7 t/ha seulement, excluant dès lors la généralisation d'une troisième coupe au Québec d'ici 2050. Cette progression resterait dans tous les cas plus importante que celle de son voisin et réduirait considérablement l'écart entre les deux provinces voisines.

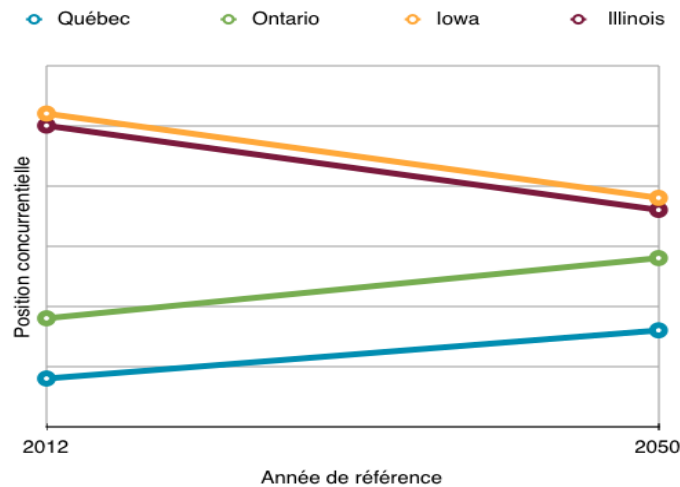


Figure 13: Prédiction de l'évolution de la position concurrentielle du Québec, de l'Ontario, de l'Iowa et de l'Illinois en production de maïs-grain pour le scénario bas (2012 à 2050)

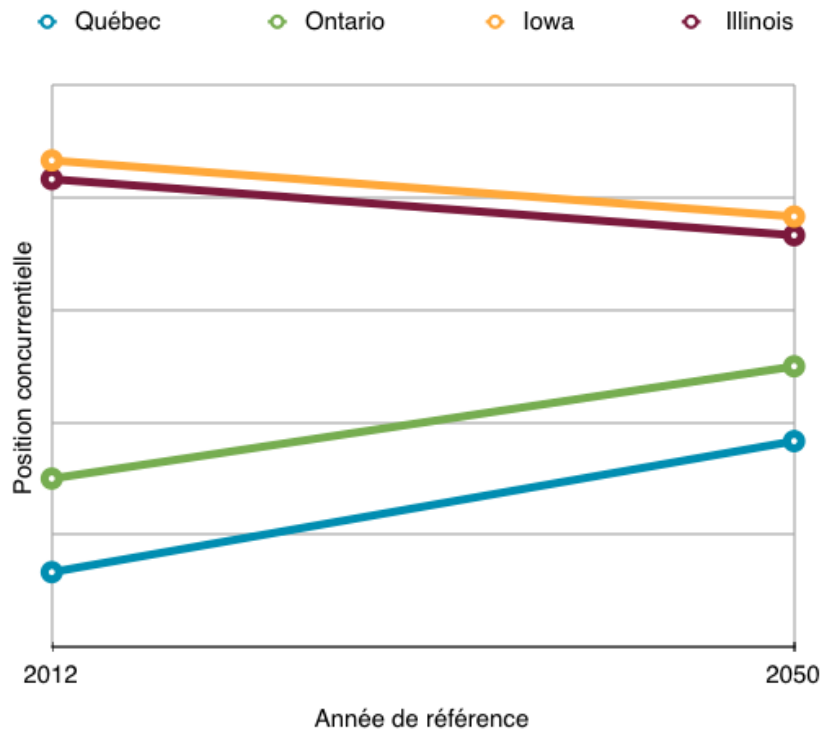


Figure 12: Prédiction de l'évolution de la position concurrentielle du Québec, de l'Ontario, de l'Iowa et de l'Illinois en production de maïs-grain pour le scénario élevé (2012 à 2050)

En tenant compte à la fois des rendements, des coûts de production et des superficies, la position concurrentielle du Québec vis-à-vis l'Ontario ne devrait toutefois pas s'améliorer, les gains de rendements touchant également l'Ontario. Les estimations des experts vont de 40% à 70% d'augmentation, soit davantage que les augmentations anticipées pour le Québec.

Ainsi, la position concurrentielle des uns et des autres sera en partie tributaire des mesures d'adaptations aux changements climatiques qui seront mises en place comme, par exemple,

l'augmentation des superficies de production au nord et l'installation de systèmes d'irrigation pour pallier les périodes de déficit hydrique. Le prolongement de la saison de culture au Québec et en Ontario et l'instauration de mesures d'appui pourraient favoriser l'adoption de pratiques comme la culture dérobée d'engrais verts et autres mesures visant à améliorer la structure des sols pour faciliter la rétention de l'eau. Selon les experts, ces pratiques de conservation des sols deviendront stratégiques pour l'adaptation aux changements climatiques et permettront, entre autres, au Québec de profiter des avantages que représentent pour lui l'allongement de la saison de production et l'augmentation des superficies en culture.

5.3.2 Secteur de la pomiculture

Les avis des experts laissent envisager des augmentations de rendements plus importantes au Québec que dans les régions concurrentes de l'État de Washington et de la Colombie-Britannique, et de l'Ontario. La position concurrentielle du Québec devrait ainsi s'améliorer en termes de rendements sous l'effet de l'impact des changements climatiques. Cette amélioration devrait être renforcée par l'augmentation attendue de la densité des vergers.

Lorsque l'augmentation des superficies et l'impact des changements climatiques sont pris en considération dans le positionnement des quatre régions productrices, le point de vue des experts sur position relative du Québec quant à la production totale de pommes est divergent. Certains parlent d'une faible augmentation, alors que pour d'autres, le Québec dépasserait l'Ontario et pourrait même rejoindre le niveau de la Colombie-Britannique. Ces prévisions seraient avantageuses pour le Québec, dont le nombre d'hectares en pomiculture se rapprocherait de l'Ontario qui, pour sa part, resterait sensiblement à la même position entre 2012 et 2050. Comme mentionné précédemment, la Colombie-Britannique ne serait plus dans une position concurrentielle relative aussi appréciable, voyant sa position se dégrader quelque peu. Aucun expert n'a répondu en ce qui concerne l'État de Washington pour cette question (voir Figure 14).

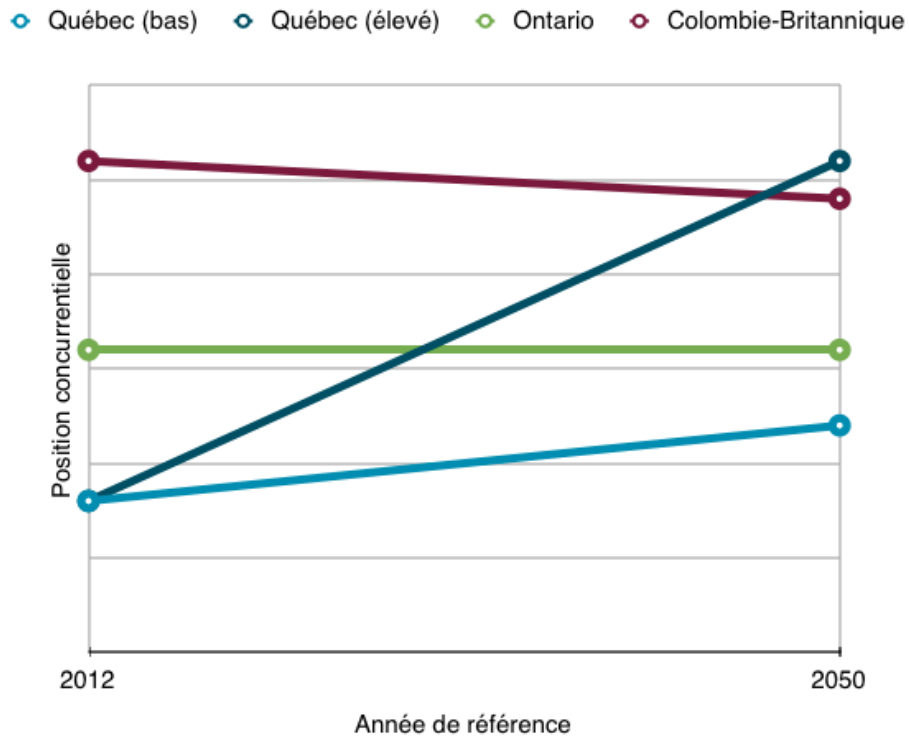


Figure 14: Prédiction de l'évolution de la position concurrentielle du Québec, de l'Ontario et de la Colombie-Britannique en production de pommes en ne considérant que l'augmentation des superficies et l'impact des changements climatiques (2012 à 2050)

Au niveau de l'impact des changements climatiques sur les coûts de production, combiné à l'augmentation des rendements et des superficies, l'État de Washington connaîtrait une avancée peu significative de sa position concurrentielle, déjà bien en avance sur les autres. La position de la Colombie-Britannique resterait, quant à elle, relativement stable alors que l'Ontario se rapprocherait légèrement de l'État de Washington. Tous les experts s'entendent sur le fait que le Québec connaîtra la plus importante progression en termes de position concurrentielle. Cependant, pour certains, le Québec se rapprochera légèrement de l'Ontario, alors que pour d'autres il pourrait avoir une position supérieure à celle de la Colombie-Britannique (voir Figure 15³⁰). Toutefois, la hausse des coûts de production du Québec pourraient les rapprocher de ceux des exploitations de la Colombie-Britannique, réduisant ainsi la progression de la position concurrentielle québécoise vis-à-vis l'Ontario et l'État de Washington.

³⁰ Pour le Québec, les positions minimales et maximales soulevées sont présentées. La position concurrentielle de la province en 2050 se situerait, selon les experts, à l'intérieur de ces points.

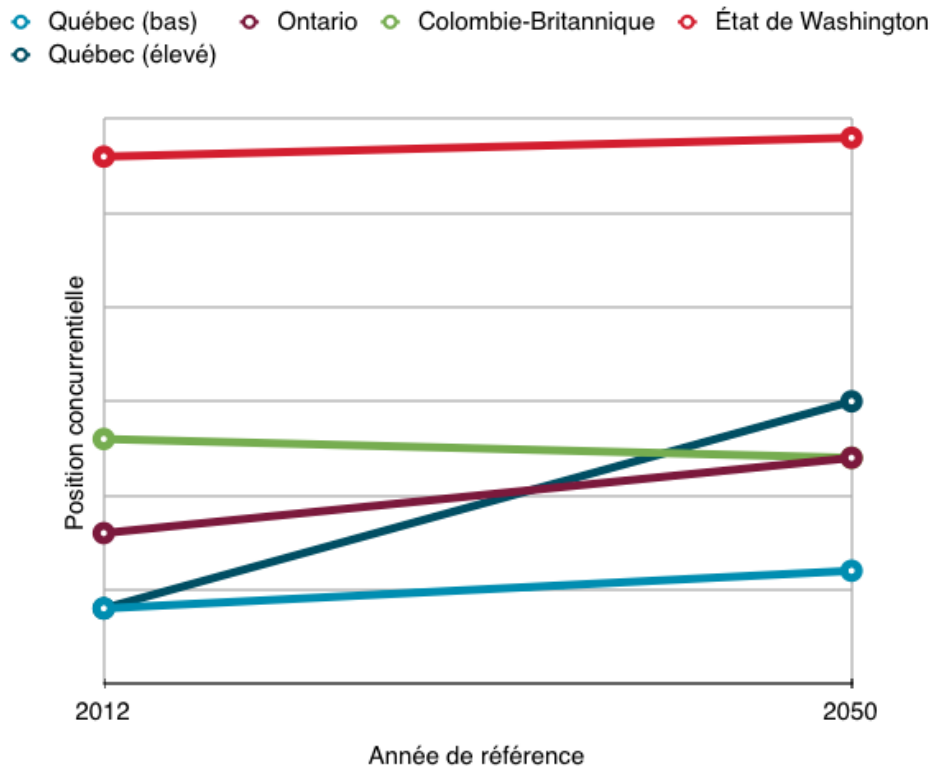


Figure 15: Prédiction de l'évolution de la position concurrentielle du Québec, de l'Ontario de la Colombie-Britannique et de l'État de Washington en production de pommes en ne considérant que l'impact des changements climatiques sur les coûts de production les rendements et les superficies (2012 à 2050)

Lorsque l'ensemble des facteurs, soit l'impact des changements climatiques, la modification de la densité des vergers sur les coûts de production, l'augmentation des superficies et des rendements, sont combinés pour déterminer les positions concurrentielles de 2050, les prévisions offrent un point de vue différent de ce qui a été présenté plus haut. L'État de Washington et la Colombie-Britannique resteraient stables une fois l'ensemble des facteurs combinés, tandis que la position concurrentielle du Québec s'améliorerait considérablement, principalement grâce à la combinaison de l'augmentation de la densité des vergers et de la hausse des rendements. La province rattraperait dès lors la position de la Colombie-Britannique. L'Ontario garderait quand même une position concurrentielle intéressante, à égalité avec la Colombie-Britannique et du Québec en 2050 (voir Figure 16).

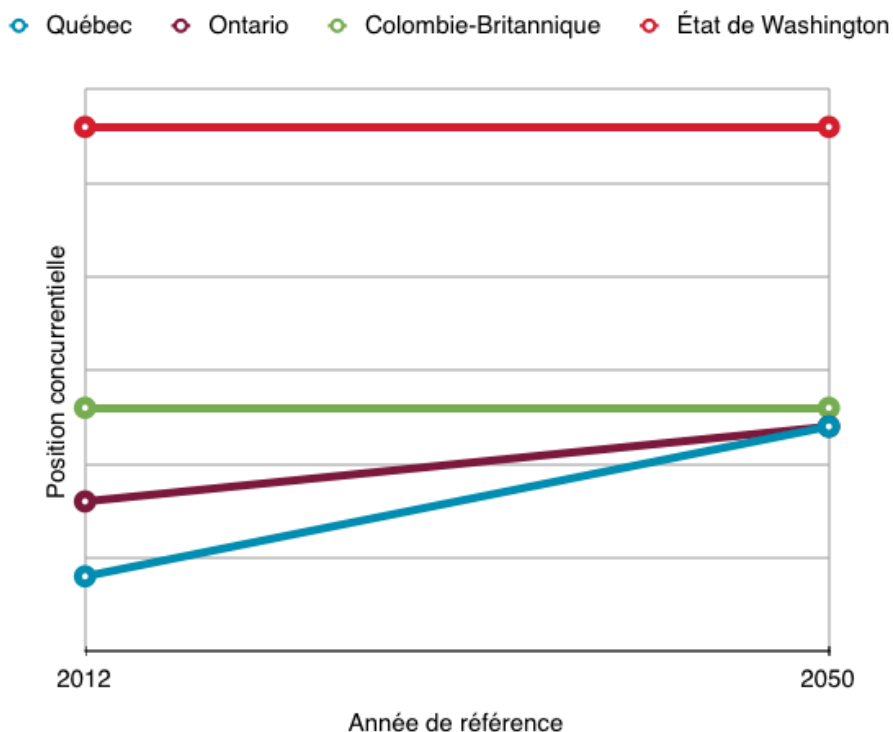


Figure 16: Prédiction de l'évolution de la position concurrentielle du Québec, de l'Ontario de la Colombie-Britannique et de l'État de Washington en production de pommes en considérant les impacts des changements climatiques et des densités des vergers sur les coûts de production, les superficies et les rendements (2012 à 2050)

En 2050, il devrait donc exister une nouvelle dynamique en ce qui a trait au positionnement concurrentiel relatif sur le marché de la pomme. Le Québec pourrait se retrouver dans une situation intéressante, soit à une position concurrentielle similaire à celle de l'Ontario. Les deux provinces voisines se retrouveraient alors en compétition directe sur les marchés, une situation nouvelle en pomiculture dans l'Est du Canada. La différence sera également faible entre la position du Québec et de l'Ontario et celle de la Colombie-Britannique, qui les devancerait de peu. Aucune des trois provinces canadiennes ne pourrait toutefois réellement concurrencer l'État de Washington, dont l'avance considérable ne serait pas menacée malgré peu d'amélioration.

Il est important de souligner que les changements climatiques ne seraient pas le facteur d'influence principal sur cette situation, alors qu'ils auraient des conséquences presque similaires sur l'augmentation des coûts de production, des rendements et de la position concurrentielle des quatre régions à l'étude. Les changements climatiques pourraient toutefois avantager le positionnement concurrentiel du Québec vis-à-vis des autres régions productrices de pommes, à savoir l'Ontario, la Colombie-Britannique et l'État de Washington, en termes de production. Il resterait cependant moins compétitif que les régions de l'Ouest. Il ressort principalement des positions des experts consultés que l'augmentation de la densité des vergers sera au cœur de l'avancée du Québec vis-à-vis ses principaux concurrents.

5.3.3 Secteur des fourrages

Lorsqu'un plus grand nombre de facteurs sont combinés, soient les rendements, les superficies, les coûts de production, ainsi que la modification de la qualité des fourrages et des habitudes commerciales, les experts ne s'entendent plus sur les positions concurrentielles relatives des deux provinces. Toutefois, tous s'entendent sur une vision de 2050 où le Québec se rapprocherait grandement de l'Ontario. Pour ce dernier, les experts ne s'entendent pas, alors qu'ils prévoient que l'Ontario verrait sa position devenir soit légèrement moins concurrentielle, soit légèrement plus. Cette vision placerait les deux concurrents presque côte à côte, réduisant considérablement l'écart actuel entre ceux-ci sur le marché des fourrages (voir Figure 17).

○ Québec (bas) ○ Québec (médian) ○ Québec (élevé) ○ Ontario (bas)
○ Ontario (médian) ○ Ontario (élevé)

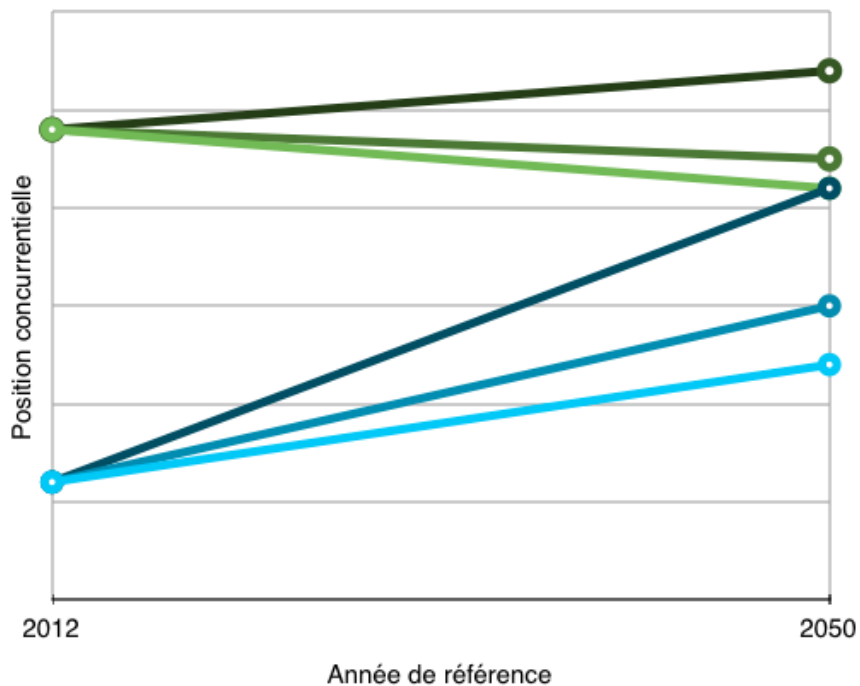


Figure 17: Prédiction de l'évolution de la position concurrentielle relative du Québec et de l'Ontario en production de cultures pérennes fourragères (2012 à 2050)

Compte tenu de la hausse du prix des grains, les producteurs québécois pourraient également accorder plus d'attention à la valeur des fourrages en raison de son importance dans les rations des animaux et à l'optimisation de la production par des améliorations techniques. En fonction des résultats obtenus dans le cadre de la méthode Delphi, le Québec devrait toujours être dans une position concurrentielle défavorable en 2050 lorsque comparé à l'Ontario. Par contre, les changements climatiques offriront au Québec l'opportunité d'améliorer son positionnement pour

ce qui est de la production de fourrages, alors que la majorité des effets des changements climatiques joueront en sa faveur.

6. Conclusion et recommandations

6.1. Constats et recommandations généraux

À la suite de la réalisation de cette étude, il a été déterminé qu'il serait pertinent de répéter l'exercice aux cinq ans en actualisant les scénarios en fonction des prévisions plus récentes en matière d'impact des changements climatiques. Cette actualisation permettrait de faire évoluer la compréhension de l'effet des changements climatiques sur la compétitivité des secteurs agricoles québécois, en tenant compte des autres facteurs, tels que l'évolution de la compétitivité des mêmes industries dans les autres régions. Il serait également pertinent de considérer l'impact des changements climatiques en centrant l'analyse sur les autres facteurs qui influencent fortement les coûts et les revenus des exploitations. Cette modification de perspective permettrait d'envisager des solutions d'adaptation aux changements climatiques tout en considérant les contraintes liées à l'influence des autres facteurs.

De plus, les résultats obtenus par le biais des budgets partiels et de la méthode Delphi sont parfois divergents. La première approche est quantitative tandis que la seconde repose sur une collecte d'information beaucoup plus qualitative. Le lien entre les deux méthodes se fait par les hypothèses retenues dans les scénarios développés pour les budgets partiels, qui découlent des réponses faites par les experts dans la méthode Delphi. Les réponses parfois divergentes des experts ont abouti à des hypothèses assez larges, ce qui explique qu'il y ait de grandes différences entre les scénarios obtenus. Le risque associé à cela est de se retrouver devant des situations où « tout est possible », rendant difficile de déterminer quelle sera, parmi ces scénarios, l'évolution réelle de la position concurrentielle du Québec. Plus particulièrement, l'utilisation de la méthode de budgets partiels à la suite d'une méthode Delphi soulève le fait que les experts ont peut-être de la difficulté à quantifier les impacts qu'ils décrivent dans une perspective globale de la production. Ainsi, ils pourront soulever que les changements climatiques entraîneront plus de dégâts aux cultures sans nécessairement prendre la juste mesure de leur réponse au moment d'évaluer la différence des coûts de production, entraînant dès lors un décalage dans leurs réponses qui peut se traduire par des estimations divergentes entre les deux méthodes utilisées. Ceci fait écho aux limites soulevées précédemment par rapport à l'état de l'intégration des connaissances en changements climatiques dans les considérations agronomiques et donc sur la présence d'experts actuellement aptes à répondre à ces questions.

6.2. Constats et recommandations pour le maïs-grain

Dans le cas de la production de maïs-grain, l'hypothèse faite est que l'augmentation des fertilisants accompagnait celle des rendements. Or les dépenses en fertilisants constituent le poste le plus important des coûts de production. Il y a lieu par conséquent de s'intéresser à

l'amélioration des performances de la fertilisation La question des fertilisants pourrait par ailleurs être abordée plus largement, par exemple en réfléchissant aux possibilités qu'offrent les changements climatiques de développer de nouveaux cultivars ou de nouvelles rotations moins exigeantes en fertilisants.

6.3. Constats et recommandations pour la pomiculture

En ce qui a trait au secteur de la pomiculture, il serait nécessaire d'envisager d'optimiser l'usage des pesticides, qui constituent un des postes de dépense les plus importants en ce qui concerne l'entretien des vergers pour réduire les coûts de production. Toutefois, les changements climatiques apporteront également de nouvelles espèces de ravageurs, pathogènes et maladies fongiques, qui devront être prises en considération lors de cette optimisation. De plus, favoriser l'augmentation de la densité des vergers au Québec pourrait contribuer à l'adaptation du secteur aux changements climatiques, alors que la qualité et la quantité des fruits produits augmenterait. Cette modification de la densité des vergers aurait un impact sur les coûts, principalement avec la réduction du pourcentage de pommes destinées à la transformation (environ 10% en 2050).

6.4. Constats et recommandations pour les fourrages

La nécessité de faire appel à un système d'irrigation pour combler le déficit hydrique va également peser sur les coûts de production et ultimement sur la compétitivité du secteur des fourrages. L'installation de systèmes d'irrigation se justifierait donc si cela permettait une augmentation significative des rendements. Par conséquent, l'usage de l'irrigation devrait faire l'objet d'une analyse coûts-bénéfices avant d'être envisagée, en tenant compte de l'impact des changements climatiques mais également des autres facteurs pouvant influencer la production de fourrages au Québec.

6.5. Conclusion

En définitive, si l'influence des changements climatiques sur les différentes productions constituaient l'objet de cette étude, il faut prendre en compte le fait que, plusieurs facteurs prévisibles sont aussi au cœur des modifications aux positions concurrentielles du Québec pour ce qui est des productions de pommes, de maïs-grain et de cultures pérennes fourragères. Les experts associent toutefois certaines modifications de ces positions concurrentielles directement aux changements climatiques, notamment l'extension géographique des cultures et une possibilité d'effectuer une troisième coupe de fourrages au Québec. Certes, l'apport majeur d'une troisième coupe dans les cultures de fourrages au Québec provoquée par un allongement de la saison de production et la hausse des températures sera une occasion pour la province de rattraper un retard en ce sens, tout comme la densification des vergers québécois. Il reste néanmoins qu'établir des prévisions sur une période étendue jusqu'en 2050 comporte son lot d'incertitudes et de limites. Il est aussi important de souligner que dans aucun des scénarios, les impacts des changements climatiques ne bouleversent fondamentalement la position concurrentielle du Québec vis-à-vis des autres régions observées. Le nombre important de

divergences subsistant à la suite de l'utilisation de la méthode Delphi affecte également, par la bande, l'établissement d'un scénario type pour ce qui est du positionnement concurrentiel relatif du Québec et de ses plus proches concurrents.

Cette recherche a porté sur quelques-uns des facteurs liés directement à la production, alors que mis à part le programme de modernisation des vergers d'arbres fruitiers au Québec du MAPAQ, aucun facteur de nature politique n'a été intégré dans les évaluations des scénarios. La prise en compte des autres programmes existants et l'instauration de nouveaux programmes de soutien aurait également une grande influence sur les résultats présentés. Les politiques agricoles, par exemple, ont le pouvoir de modifier sensiblement les positions concurrentielles des régions à l'étude et ce, particulièrement sur une période de temps aussi étendue. Les coûts de production, les revenus et la compétitivité des entreprises agricoles et des secteurs étudiés dépendent donc également de nombreux facteurs externes aux changements climatiques. Par exemple, l'évolution de l'ASRA, les décisions politiques, l'évolution des marchés, l'évolution des technologies et des pratiques agricoles, pourraient avoir une influence plus grande sur la compétitivité des secteurs agricoles québécois que l'effet des changements climatiques. En outre, ces facteurs interagissent entre eux et modifient même la manière avec laquelle l'impact des changements climatiques sur les coûts de production doit être appréhendé. Les moyens actuellement mis en œuvre dans les trois secteurs pour améliorer le positionnement concurrentiel resteront aussi pertinents au cours des prochaines décennies. Il est donc important de continuer à s'en préoccuper.

Références

AAC. 2011. Canada : Perspectives du marché des céréales et oléagineux pour 2011-2012. Ottawa, Canada.

Adams, Richard M., Bruce A. Mc Carl, et Linda O. Mearns. 2003. The Effects of Spatial Scale of Climate Scenarios on Economic Assessments: An Example from U.S. Agriculture. *Climatic Change* 60 (1-2): 131-148.

Adelsman, Hedia et Joanna Ekrem. 2012. Preparing for a Changing Climate: Washington State's Integrated Climate Response Strategy. Department of Ecology, Olympia, WA.

Almaraz, Juan Jose, Fazli Mabood, Xiamin Zhou, Edward G. Gregorich et Donald L. Smith. 2008. Climate change, weather variability and corn yield at a higher latitude locale: Southwestern Quebec. *Climatic Change* 88 (2008): 187-197.

Backlund, Peter, Anthony Janetos et David Schimel. 2008. The Effects of Climate Change on Agriculture, Land Resources, Water Resources and Biodiversity in the United States. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

Banque du Canada. 2012. Taux de change. [En ligne]. <http://www.banqueducanada.ca/taux/taux-de-change/recherche-dix-dernieres-annees/> (page consultée le 23 mars 2012).

BC fruit grower' association. 2011. BC Fruit growers' association. [En ligne]. <http://www.bcfqa.com/files/McCrae%20-%20March%2030,%202011.pdf> (page consultée le 23 mars 2012).

Beaugard, Guy. 2010. Budget de culture 2009 - Grandes cultures. [En ligne]. <http://www.agrireseau.qc.ca/bovinsboucherie/documents/Budgets%20culture%202009%20-%20grandes%20cultures%5B1%5D.pdf> (page consultée le 23 mars 2012).

Bélanger, Gilles et Andrew Bootsma. 2002. Impacts des changements climatiques sur l'agriculture au Québec. Présentation au 65e congrès de l'Ordre des Agronomes du Québec.

Bélanger, Gilles, Philippe Rochette, Yves Castonguay, Andrew Bootsma, Danielle Mongrain et Daniel A.J. Ryan. 2002. Climate Change and Winter Survival of Perennial Forage Crops in Eastern Canada. *Agronomic Journal* 94 (2002): 1120-1130.

Bélanger, G., Y. Castonguay, A. Bertrand, C. Dhont, P. Rochette, L. Couture, R. Drapeau, D. Mongrain, F.-P. Chalifour et R. Michaud. 2006. Winter damage to perennial forage crops in eastern Canada: Causes, mitigation, and prediction. *Canadian Journal of Plant Science* 86 (2006): 33-47.

Bellerose, S., S. Lamothe, G. Chouinard, M. Roy et G. Bourgeois. 2012. Changements climatiques. Impact des changements climatiques sur la phénologie de cinq ravageurs du pommier et de leur plante-hôte au cours des dernières décennies. [En ligne]. <http://www.agrireseau.gc.ca/reseaupommier/documents/Bellerose%20Changements%20climatiques.pdf> (page consultée le 27 avril 2012).

Boland, G.J., M.S. Melzer, A. Hopkin, V. Higgins et A. Nassuth. 2004. Climate change and plant diseases in Ontario. *Canadian Journal of Plant Pathology* 26 (2004): 335-350.

Bootsma, A. 2007. Farming in a Changing Climate. *Agricultural Adaptation in Canada*. Edited by Ellen Wall, Barry Smith and Johanna Wandel.

Bootsma, A., D. Anderson et S. Gameda. 2004. Impacts potentiels du changement climatique sur les indices agroclimatiques dans les régions du sud de l'Ontario et du Québec. *Agriculture et Agroalimentaire Canada Direction de la recherche Ottawa (Ontario)*.

Bootsma, A., S. Gameda et D. W. McKenney. 2005. Potential impacts of climate change on corn, soybeans and barley yields in Atlantic Canada. *Canadian Journal of Soil Science* 85 (2): 345-357.

Bourdages, L. A. et Blondlot. 2011. Les scénarios des changements climatiques attendus et leurs principaux impacts pour le secteur agricole. *Colloque en Agroclimatologie. CRAAQ, 2011*.

Bourgeois, G. 2009. Les dynamiques des cultures et leurs bioagresseurs dans un contexte de climat variable et en évolution. Résumé d'une conférence présentée lors du Colloque en phytoprotection du 22 octobre 2009.

British Columbia Ministry of Agriculture. 2010. Tree fruit industry profile. [En ligne]. <http://www.agf.gov.bc.ca/aboutind/products/plant/apples.htm> (page consultée le 23 mars 2012).

British Columbia Ministry of Agriculture. 2011. BC Farm Products A-Z - Apples. [En ligne]. <http://www.agf.gov.bc.ca/aboutind/products/plant/apples.htm> (page consultée le 23 mars 2012).

British Columbia Ministry of Water, Land and Air Protection. 2002. Indicators of Climate Change for British Columbia 2002. Ministry of Water, Land and Air Protection, Victoria, Canada.

Brklacich, M. et B. Smith. 1995. Implications of changes in climatic averages and variability on food production opportunities in Ontario. [En ligne]. <http://www.ciesin.columbia.edu/docs/004-019/004-019.html> (page consultée le 27 avril 2012).

Brown, Robert A. et Norman J. Rosenberg. 1999. Climate Change Impacts on the Potential Productivity of Corn and Winter Wheat in their Primary United States Growing Regions. *Climatic Change* 41 (1999):73-107.

Bruce, J.P. 2011. Climate change information for adaptation: Climate trends and projected values for Canada 2010 to 2050. Institute for Catastrophic Loss Reduction. ICLR Research Paper Series - No. 50.

Bryant, C., B. Singh, P. Thomassin et L. Baker. 2007. Vulnérabilités et adaptation aux changements climatiques au Québec au niveau de la ferme: leçons tirées de la gestion du risque et de l'adaptation à la variabilité climatique par les agriculteurs. Ouranos, Montréal, Canada.

Caprio, J.M. et H.A. Quamme. 1998. Weather conditions associated with apple production in the Okanagan Valley of British Columbia. *Canadian Journal of Plant Science* 79 (1):129-137.

C-CIARN-Agriculture Workshop. 2001. Risks and Opportunities from Climate Change for the Agricultural Sector. [En ligne]. http://www.c-ciarn.uoguelph.ca/documents/2001_Workshop_Report.pdf (page consultée le 27 avril 2012).

Changnon, Stanley A. et Steven E. Hollinger. 2003. Problems in Estimating Impacts of Future Climate Change on Midwestern Corn Yields. *Climatic Change* 58 (1-2):109-118.

Chouinard, Gérald, Sylvie Bellerose, Steve Lamothe et Gaétan Bourgeois. 2012. Impacts des CC sur la culture de la pomme au Québec. [En ligne]. http://www.agrireseau.qc.ca/argeneral/documents/Chouinard_PPT.pdf (page consultée le 27 avril 2012).

Christensen, Jens Hesselbjerg et *coll.* Regional Climate Projections. Dans Solomon S. et *coll.* 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Clément, M.F. 2005. Adoption de méthodes alternatives de culture des plantes fourragères pour réduire l'effet des variations climatiques. [En ligne]. <http://www.agrireseau.qc.ca/bovinsboucherie/documents/Marc.pdf> (page consultée le 27 avril 2012).

CQPF. 2011. Les plantes fourragères au Québec: un constat... et après? [En ligne]. http://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Regions/CentreduQuebec/ConferencesINPACQ2011/INPACQ_Plantes_Fourrageres_Guy_Allard.pdf (page consultée le 23 mars 2012).

CRAAQ. 1994. Pommés – Budget. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Octobre 1994.

CRAAQ. 1996. Pâturage en rotation – Budget. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Février 1996.

CRAAQ. 2003a. Maïs-grain – Budget. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Novembre 2003.

CRAAQ. 2003b. Pommes – Budget. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Décembre 2003.

CRAAQ. 2006a. Foin – Analyse comparative provinciale 2003-2004 – Analyse de données AGRITEL. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Juillet 2006.

CRAAQ. 2006b. Maïs-grain humide – Analyse comparative provinciale 2003-2004 – Analyse de données AGRITEL. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Septembre 2006.

CRAAQ. 2006c. Maïs-grain sec – Analyse comparative provinciale 2003-2004 – Analyse de données AGRITEL. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Septembre 2006.

CRAAQ. 2006d. Pâturage en rotation – Budget. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Novembre 2006.

CRAAQ. 2008. Maïs-grain – Budget. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Novembre 2008.

CRAAQ. 2009. Pâturage en rotation – Budget. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Janvier 2009.

CRAAQ. 2010a. Foin – Analyse comparative provinciale 2008 – Analyse de données AGRITEL. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Mai 2010.

CRAAQ. 2010b. Maïs-grain – Budget à l’hectare. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Novembre 2010.

CRAAQ. 2010c. Maïs-grain humide – Analyse comparative provinciale 2008 – Analyse de données AGRITEL. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Avril 2010.

CRAAQ. 2010d. Maïs-grain sec – Analyse comparative provinciale 2008 – Analyse de données AGRITEL. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Mars 2010.

CRAAQ. 2010e. Pâturage – Analyse comparative provinciale 2008 – Analyse de données AGRITEL. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Juin 2010.

CRAAQ. 2011a. Foin – Analyse comparative provinciale 2009 – Analyse de données AGRITEL. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Juin 2011.

CRAAQ. 2011b. Maïs-grain humide – Analyse comparative provinciale 2009 – Analyse de données AGRITEL. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Mai 2011.

CRAAQ. 2011c. Maïs-grain sec – Analyse comparative provinciale 2009 – Analyse de données AGRITEL. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Juin 2011.

CRAAQ. 2011d. Pâturage – Analyse comparative provinciale 2009 – Analyse de données AGRITEL. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Juin 2011.

CRAAQ. 2012a. Foin – Analyse comparative provinciale 2010 – Analyse de données AGRITEL. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Mai 2012.

CRAAQ. 2012b. Maïs-grain humide – Analyse comparative provinciale 2010 – Analyse de données AGRITEL. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Mai 2012.

CRAAQ. 2012c. Maïs-grain sec – Analyse comparative provinciale 2010 – Analyse de données AGRITEL. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Mai 2012.

CRAAQ. 2012d. Pâturage – Analyse comparative provinciale 2010 – Analyse de données AGRITEL. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Mai 2012.

CRAAQ. 2012e. Pommes – Rendements. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Janvier 2012.

CRÉAQ. 1976. Pâturage – Budget d'établissement et d'entretien. Comité de références économiques en agriculture du Québec. Août 1976.

CRÉAQ. 1977a. Pommes – Budget (pommiers standards). Comité de références économiques en agriculture du Québec. Juin 1977.

CRÉAQ. 1977b. Maïs-grain – Budget. Comité de références économiques en agriculture du Québec. Novembre 1977.

CRÉAQ. 1978a. Maïs-grain – Budget. Comité de références économiques en agriculture du Québec. Novembre 1978.

CRÉAQ. 1978b. Pâturage – Budget d'établissement et d'entretien. Comité de références économiques en agriculture du Québec. Octobre 1978.

CRÉAQ. 1979a. Maïs-grain – Budget. Comité de références économiques en agriculture du Québec. Mai 1979.

CRÉAQ. 1979b. Pommes – Budget (pommiers standards). Comité de références économiques en agriculture du Québec. Juin 1979.

CRÉAQ. 1980a. Maïs-grain – Budget. Comité de références économiques en agriculture du Québec. Août 1980.

CRÉAQ. 1980b. Pommes – Budget (pommiers standards). Comité de références économiques en agriculture du Québec. Août 1980.

CRÉAQ. 1981a. Maïs-grain – Budget. Comité de références économiques en agriculture du Québec. Juin 1981.

CRÉAQ. 1981b. Pommes – Budget (pommiers standards). Comité de références économiques en agriculture du Québec. Mai 1981.

CRÉAQ. 1983a. Maïs-grain – Budget. Comité de références économiques en agriculture du Québec. Mai 1983.

CRÉAQ. 1983b. Pommes – Budget – Pommiers standards. Comité de références économiques en agriculture du Québec. Juin 1983.

CRÉAQ. 1985a. Maïs-grain – Budget. Comité de références économiques en agriculture du Québec. Août 1985.

CRÉAQ. 1985b. Pommes – Budget – Pommiers standard. Comité de références économiques en agriculture du Québec. Mai 1985.

CRÉAQ. 1987. Pâturage – Budget. Comité de références économiques en agriculture du Québec. Août 1987.

CRÉAQ. 1988. Maïs-grain – Budget. Comité de références économiques en agriculture du Québec. Avril 1988.

CRÉAQ. 1989. Pommes – Frais d'entreposage, de classification et d'emballage. Comité de références économiques en agriculture du Québec. Octobre 1989.

CRÉAQ. 1990. Pâturage – Budget. Comité de références économiques en agriculture du Québec. Octobre 1990.

CRÉAQ. 1991a. Maïs-grain – Budget. Comité de références économiques en agriculture du Québec. Avril 1991.

CRÉAQ. 1991b. Pommes – Budget. Comité de références économiques en agriculture du Québec. Juin 1991.

CRÉAQ. 1993. Maïs-grain – Budget. Comité de références économiques en agriculture du Québec. Juin 1993.

Debailleul, Guy. 2011. EICSTAD et changements climatiques. Ouranos, comité agriculture. Québec 7 février 2011.

Denis, Sylvie. 2005. Foin de commerce : portrait du secteur, connaître les acheteurs et leurs exigences pour mieux saisir ce marché. Présentation dans le cadre du Colloque régional sur la production de foin de commerce. Rock Forest, Canada.

Department of Ecology. 2012. State Water Use Laws: Compliance and Enforcement. [En ligne]. http://www.ecy.wa.gov/programs/wr/comp_enforce/comp_enfor.html (page consultée le 30 avril 2012).

Diffenbaugh, Noah S., Christian H. Krupke, Michael A. White et Corinne E. Alexander. 2008. Global warming presents new challenges for maize pest management. *Environmental Research Letters* 3 (2008):1-9.

Diffenbaugh, Noah S., Thomas W. Hertel, Martin Scherer et Monika Verma. 2012. Response of corn markets to climate volatility under alternative energy futures. *Nature Climate Change* 2 (5).

Dixon, Bruce L., Steven E. Hollinger, Philip Garcia et Viswanath Tirupattur. 1994. Estimating Corn Yield Response Models to Predict Impacts of Climate Change. *Journal of Agricultural and Resource Economics* 19 (1):58-68.

Dubé, P.A. 2002. Évaluation Du Zonage Agroclimatique Québécois Au Cours Du Prochain Siècle. Présenté au 65^e Congrès de l'ordre des agronomes du Québec. [En ligne]. <http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Dube.pdf> (page consultée le 27 avril 2012).

FADQ. 2003a. Maïs-grain coût de production indexé janvier à décembre 2001. Financière agricole du Québec, Lévis, Canada.

FADQ. 2003b. Pommes coût de production indexé janvier à décembre 2001. Financière agricole du Québec, Lévis, Canada.

FADQ. 2004a. Maïs-grain coût de production janvier à décembre 2002. Financière agricole du Québec, Lévis, Canada.

FADQ. 2004b. Pommes coût de production indexé janvier à décembre 2002. Financière agricole du Québec, Lévis, Canada.

FADQ. 2005a. Maïs-grain coût de production janvier à décembre 2003. Financière agricole du Québec, Lévis, Canada.

FADQ. 2005b. Pommes coût de production indexé janvier à décembre 2003. Financière agricole du Québec, Lévis, Canada.

FADQ. 2006a. Maïs-grain coût de production janvier à décembre 2004. Financière agricole du Québec, Lévis, Canada.

FADQ. 2006b. Pommes tardives coût de production janvier à décembre 2004. Financière agricole du Québec, Lévis, Canada.

FADQ. 2007a. Maïs-grain coût de production janvier à décembre 2005. Financière agricole du Québec, Lévis, Canada.

FADQ. 2007b. Pommes tardives coût de production janvier à décembre 2005. Financière agricole du Québec, Lévis, Canada.

FADQ. 2008a. Maïs-grain coût de production janvier à décembre 2006. Financière agricole du Québec, Lévis, Canada.

FADQ. 2008b. Pommes tardives coût de production janvier à décembre 2006. Financière agricole du Québec, Lévis, Canada.

FADQ. 2009a. Maïs-grain coût de production janvier à décembre 2007. Financière agricole du Québec, Lévis, Canada.

FADQ. 2009b. Pommes tardives coût de production janvier à décembre 2007. Financière agricole du Québec, Lévis, Canada.

FADQ. 2010a. Maïs-grain coût de production janvier à décembre 2008. Financière agricole du Québec, Lévis, Canada.

FADQ. 2010b. Pommes tardives (modèle 2006) coût de production janvier à décembre 2008. Financière agricole du Québec, Lévis, Canada.

FADQ. 2011a. Assurance stabilisation des revenus agricoles Pommes – 2011. Financière agricole du Québec, Lévis, Canada.

FADQ. 2011b. Maïs-grain coût de production janvier à décembre 2009. Financière agricole du Québec, Lévis, Canada.

FADQ. 2011c. Pommes tardives (modèle 2006) coût de production janvier à décembre 2009. Financière agricole du Québec, Lévis, Canada.

FADQ. 2011d. Rendements réels de l'année 2009 en assurance récolte. Direction de la recherche et du développement, Lévis, Québec.

FADQ. 2012a. Maïs-grain coût de production janvier à décembre 2010. Financière agricole du Québec, Lévis, Canada.

FADQ. 2012b. Pommes tardives (modèle 2006) coût de production janvier à décembre 2010. Financière agricole du Québec, Lévis, Canada.

FAO. 2010. FAOSTAT. [En ligne]. <http://faostat.fao.org/> (page consultée le 8 juin 2012).

Fischer, Günther, Mahendra Shah et Harrij van Velthuizen. 2002. Climate Change and Agricultural Vulnerability. International Institute for Applied Systems Analysis, Johannesburg.

FPCCQ. 2011. Offre et demande du maïs au Québec. [En ligne]. <http://www.fpccq.qc.ca/Files/Offredemande.pdf> (page consultée le 23 mars 2012).

FPCCQ. 2012. Indications des prix aux producteurs du Québec pour la récolte 2011-2012. [En ligne]. http://www.fpccq.qc.ca/Files/prix_prod.pdf (page consultée le 3 mai 2012).

Gagnon, Annie-Ève et Michèle Roy. 2011. Études de cas pour évaluer l'impact des changements climatiques en phytoprotection. [En ligne]. http://www.agrireseau.qc.ca/argeneral/documents/Gagnon_Roy.pdf (page consultée le 27 avril 2012).

Gagnon, Annie-Ève, Michèle Roy et Audrey Roy. 2002. Impacts directs et indirects des changements climatiques sur les ennemis des cultures. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.

Gallardo, Karina, Mykel Taylor et Herb Hinman. 2012. 2009 cost estimates of establishing and producing gala apples in Washington. [En ligne]. <http://cru.cahe.wsu.edu/CEPublications/FS005E/FS005E.pdf> (page consultée le 23 mars 2012).

Gayton, Donald V.. 2008. Impacts of Climate Change on British Columbia's Biodiversity. Forrex. Kamloops, Canada.

GIEC. 2007. Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'évolution du climat. GIEC, Genève, Suisse.

Gilroy, Brian. 2011. 2010 Ontario apple report. [En ligne]. http://www.hortcouncil.ca/uploads/file/English/Committee%20Reports/2011/2010_ON_Apple_report_ENGLISH.pdf (page consultée le 23 mars 2012).

Gilroy, Brian. 2012. Ontario apple growers eight annual report. [En ligne]. <http://onapples.com/grower/2010-annual-report/> (page consultée le 23 mars 2012).

Goldblum, David. 2009. Sensitivity of Corn and Soybean Yield in Illinois to Air Temperature and Precipitation: The Potential Impact of Future Climate Change. *Physical Geography* 30 (1):27-42.

Gouin, Daniel-M. 2012. Notes du cours Mise en marché des produits agricoles. Département d'économie agroalimentaire et des sciences de la consommation, Université Laval, Canada.

Gouvernement de l'Ontario. 2011a. Climate Action. Adapting to Climate Change, Protecting Our Future.

Gouvernement de l'Ontario. 2011b. Climate Ready. Ontario's Adaptation Strategy and Action Plan.

Gouvernement du Canada. 2011. Status of Climate Change Adaptation in Canada's Agricultural Sector. Policy Research Initiative.

Greifenhagen, Sylvia et Thomas L. Noland. 2003. A Synopsis of Known and Potential Diseases and Parasites Associated With Climate Change. Ontario Forest Research Institute.

Hogan, Robert, Scott Stiles, Phil Tacker, Earl Vories et Kelly Bryant. 2007. Estimating irrigation costs. [En ligne]. http://www.ars.usda.gov/research/publications/publications.htm?seq_no_115=210763 (page consultée le 20 novembre 2012).

IAASTD. 2009. Agriculture at a Crossroads. Vol. IV. The International Assessment of Agricultural Knowledge, Science, and Technology for Development (IAASTD).

IFPRI. 2009. Climate change. Impact on Agriculture and Costs of Adaptation. International Food Policy Research Institute, Washington, D.C.

Industrie Canada. 2012. Commerce par produit. [En ligne]. http://www.ic.gc.ca/sc_mrkti/tdst/tdo/tdo.php#tag (page consultée le 23 mars 2012).

Iowa corn. 2011. 2011-2012 Iowa Corn Projected Usage. [En ligne]. http://www.iowacorn.org/documents/filelibrary/education/Usuage_Slides_Iowa_C2CBC0008CEC6.pdf (page consultée le 23 mars 2012).

Illinois corn marketing board. 2011. Illinois Ag Mag Corn. [En ligne]. http://www.agintheclassroom.org/TeacherResources/AgMags/Corn_AgMagforSmartBoard_3.pdf (page consultée le 23 mars 2012).

ISQ. 2011. Indicateurs sur l'état des cultures au Québec au cours de la saison 2011. [En ligne]. http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econm_finnc/filr_bioal/culture/etat/novembre2011/pommes_novembre11.htm (page consultée le 23 mars 2012).

ISQ. 2012a. Grandes cultures. [En ligne]. http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econm_finnc/filr_bioal/culture/culture/index.htm (page consultée le 23 mars 2012).

ISQ. 2012b. Production et mise en marché de la pomme, par région pomicole, Québec, récolte 2010. [En ligne]. http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econm_finnc/filr_bioal/culture/pomme/ak11_2010_web.htm (page consultée le 23 mars 2012).

ISQ. 2012c. Quantité et valeur mensuelles des exportations internationales de pommes fraîches selon la destination, Québec. [En ligne]. http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econm_finnc/filr_bioal/culture/pomme/index.htm (page consultée le 23 mars 2012).

ISQ. 2012d. Quantité et valeur mensuelles des importations internationales de pommes fraîches selon la destination, Québec. [En ligne]. http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econm_finnc/filr_bioal/culture/pomme/index.htm (page consultée le 23 mars 2012).

ISQ et MAPAQ. 2012. Profil sectoriel de l'industrie bioalimentaire au Québec. Édition 2011. Bibliothèque et Archives nationales du Québec, Québec, Canada.

Jeffrey A. A. et G. Alagarswamy. 2002. Climate Change and Agriculture in the Great Lakes Region: The Potential Impacts and What Can We Do? Chapter 7. Agriculture. [En ligne]. http://www.geo.msu.edu/gira/PDF_files/Regional%20Summary/07_AGRICULTURE1.pdf (page consultée le 27 avril 2012).

Kharin, Viatcheslav V. et Francis W. Zwiers. 2000. Changes in the Extremes in an Ensemble of Transient Climate Simulations with a Coupled Atmosphere-Ocean GCM. *Journal of Climate* 13 (2000): 3760-3788.

Kruger, Chad. 2007. Future of Farming in Washington: Climate Change. [En ligne]. <http://agr.wa.gov/fof/docs/ClimateChange.pdf> (page consultée le 30 avril 2012).

Kulasekera, Kumuduni. 2012. Maïs-grain : superficie et production, par comté, 2011. [En ligne]. <http://www.OMAFRA.gov.on.ca/french/stats/crops/ctygrcorn11.htm> (page consultée le 14 février 2013).

Lease, N. 2003. La vulnérabilité de votre entreprise agricole face aux changements climatiques. Présenté à Laval Technopole – Journées agricoles: Les Changements climatiques. 4 février 2003.

Lease, N., A. Pichette et D. Chaumont. 2009. Projet d'étude sur l'adaptation aux changements climatiques du secteur de la pomme au Québec. Ouranos et MAPAQ.

Lee, Jeffrey J., Donald L. Phillips et Rusty F. Dodson. 1996. Sensitivity of the US Corn Belt to Climate Change and Elevated CO₂: II. Soil Erosion and Organic Carbon. *Agricultural Systems* 52 (1996):503-521.

Lepage, M.P., L. Bourdages et G. Bourgeois. 2011. Interprétation des scénarios de changements climatiques afin d'améliorer la gestion des risques pour l'agriculture. Ouranos et Ressources naturelles Canada.

Lettenmaier, Dennis P., Andrew W. Wood, Richard N. Palmer, Eric F. Wood et Eugene Z. Stakhiv. 1999. Water Resources Implications of Global Warming: A U.S. Regional Perspective. *Climatic Change* 43 (1999): 537-579.

Leung, Ruby L. et *coll.* 2004. Mid-Century Ensemble Regional Climate Change Scenarios for the Western United States. *Climatic Change* 62 (2004): 75-113.

Littell, J.S., M. McGuire Elsner, L.C. Whitely Binder et A.K. Snover. 2009. The Washington Climate Change Impacts Assessment: Evaluating Washington's Future in a Changing Climate. Climate Impacts Group, University of Washington, Seattle, WA.

MAPAQ. 2001.a Maïs-grain coût de production indexé janvier 1999 à décembre 1999. Bibliothèque et Archives nationales du Québec, Québec, Canada.

MAPAQ. 2001b. Pommes coût de production indexé janvier 1999 à décembre 1999. Bibliothèque et Archives nationales du Québec, Québec, Canada.

MAPAQ. 2002a. Maïs-grain coût de production indexé janvier 2000 à décembre 2000. Bibliothèque et Archives nationales du Québec, Québec, Canada.

MAPAQ. 2002b. Pommes coût de production indexé janvier 2000 à décembre 2000. Bibliothèque et Archives nationales du Québec, Québec, Canada.

MAPAQ. 2009. Monographie de l'industrie des grains au Québec. Bibliothèque et Archives nationales du Québec, Québec, Canada.

MAPAQ. 2011. Monographie de l'industrie de la pomme au Québec. Bibliothèque et Archives nationales du Québec, Québec, Canada.

MAPAQ et Ouranos. 2013. Enjeux et activités de recherche pour l'adaptation du secteur bioalimentaire québécois aux changements climatiques. Document de préparation pour la journée de consultation MAPAQ-Ouranos du 23 janvier 2013, Québec, Canada.

Martin, Ralph C. 2010. Cent années d'engrais azotés provenant des carburants fossiles. [En ligne]. http://www.organiccentre.ca/NewspaperArticles/na_n_fertilizer_rm_f.asp (page consultée le 20 juin 2012).

McGee, Bill. 2008. Maïs-grain : superficie et production, par comté, 2007. [En ligne]. <http://www.OMAFRA.gov.on.ca/french/stats/crops/ctygrcorn07.htm> (page consultée le 14 février 2013).

McGee, Bill. 2009. Maïs-grain : superficie et production, par comté, 2008. [En ligne]. <http://www.OMAFRA.gov.on.ca/french/stats/crops/ctygrcorn08.htm> (page consultée le 14 février 2013).

McGee, Bill. 2010. Maïs-grain : superficie et production, par comté, 2009. [En ligne]. <http://www.OMAFRA.gov.on.ca/french/stats/crops/ctygrcorn09.htm> (page consultée le 14 février 2013).

McGee, Bill. 2011. Maïs-grain : superficie et production, par comté, 2010. [En ligne]. <http://www.OMAFRA.gov.on.ca/french/stats/crops/ctygrcorn10.htm> (page consultée le 14 février 2013).

Mearns, L.O., G. Carbone, R.M. Doherty, E. Tsvetsinskaya, B.A. McCarl, R.M. Adams et L. McDaniel. 2003. The Uncertainty due to Spatial Scale of Climate Scenarios in Integrated Assessments: An Example from U.S. Agriculture. *Integrated Assessment 4* (4): 225-235.

Molenhuis, John. 2008. Coût du foin. [En ligne]. http://www.OMAFRA.gov.on.ca/french/busdev/download/wksht_hay.htm (page consultée le 23 mars 2012).

NASS. 2012. Quick Stats. [En ligne]. <http://quickstats.nass.usda.gov/results/CA98283C-D203-3A64-BDCF-2C996A9E0C90> (page consultée le 9 mai 2012).

Nature Québec. 2011. Les changements climatiques : quelles sont les causes et les impacts. [En ligne]. http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Fi11-03_AgricultureChangementsClimatiques.pdf (page consultée le 27 avril 2012).

Nelson, Gerard C. et coll. 2009. Climate Change: Impacts on Agriculture and Costs of Adaptation. International Food Policy Research Institute, Washington, D.C.

Niemi, Ernie. 2009. An Overview of Potential Economic Costs to Washington of a Business-As-Usual Approach to Climate Change. Climate Leadership Agency, University of Oregon.

OMAFRA. 1994. 1995 Crop budgets – Publication 60. Queen’s Printer, Toronto, Ontario.

OMAFRA. 1995. 1996 Crop budgets – Publication 60. Queen’s Printer, Toronto, Ontario.

OMAFRA. 1996. 1997 Crop budgets – Publication 60. Queen’s Printer, Toronto, Ontario.

OMAFRA. 1997. 1998 Crop budgets – Publication 60. Queen’s Printer, Toronto, Ontario.

OMAFRA. 1998. 1999 Crop budgets – Publication 60. Queen’s Printer, Toronto, Ontario.

OMAFRA. 1999. 2000 Crop budgets – Publication 60. Queen’s Printer, Toronto, Ontario.

OMAFRA. 2000. 2001 Crop budgets – Publication 60. Queen’s Printer, Toronto, Ontario.

OMAFRA. 2001. 2002 Crop budgets – Publication 60. Queen’s Printer, Toronto, Ontario.

OMAFRA. 2002. 2003 Crop budgets – Publication 60. Queen’s Printer, Toronto, Ontario.

OMAFRA. 2003. 2004 Field crop budgets – Publication 60. Queen’s Printer, Toronto, Ontario.

OMAFRA. 2004. 2005 Field crop budgets – Publication 60. Queen’s Printer, Toronto, Ontario.

OMAFRA. 2005. 2006 Field crop budgets – Publication 60. Queen’s Printer, Toronto, Ontario.

OMAFRA. 2006. 2007 Field crop budgets – Publication 60. Queen’s Printer, Toronto, Ontario.

OMAFRA. 2007. 2008 Field crop budgets – Publication 60. Queen’s Printer, Toronto, Ontario.

OMAFRA. 2008. 2009 Field crop budgets – Publication 60. Queen’s Printer, Toronto, Ontario.

OMAFRA. 2009. 2010 Field crop budgets – Publication 60. Queen’s Printer, Toronto, Ontario.

OMAFRA. 2010. 2011 Field crop budgets – Publication 60. Queen’s Printer, Toronto, Ontario.

OMAFRA. 2011a. Area, production, value and sales of specified commercial fruit crops, Ontario, 2010. [En ligne]. http://www.OMAFRA.gov.on.ca/english/stats/hort/fruit_all09-10.pdf (page consultée le 23 mars 2012).

OMAFRA. 2011b. Comparaison (en pourcentage) des pommes destinées au marché des produits frais et des pommes destinées aux transformateurs, en Ontario (par district), de 1995-2002. [En ligne]. <http://www.OMAFRA.gov.on.ca/french/stats/hort/glance/table9.htm> (page consultée le 23 mars 2012).

OMAFRA. 2011c. Corn Production in Ontario. [En ligne]. <http://www.OMAFRA.gov.on.ca/english/crops/field/corn.html> (page consultée le 23 mars 2012).

OMAFRA. 2011d. Les coûts de production des pommes. [En ligne]. <http://www.OMAFRA.gov.on.ca/french/crops/hort/news/orchnews/2011/on-0211a4.htm> (page consultée le 23 mars 2012).

OMAFRA. 2011e. Ontario apple production, price and farm value by variety, 1998-2005. [En ligne]. http://www.OMAFRA.gov.on.ca/english/stats/hort/apple_v05.htm (page consultée le 23 mars 2012).

OMAFRA. 2011f. Per capita disappearance of selected fruits and vegetables, Canada, 2005 to 2010 (kg/yr). [En ligne]. http://www.OMAFRA.gov.on.ca/english/stats/food/pcc_frveg.htm (page consultée le 23 mars 2012).

OMAFRA. 2011g. Prix des foin, 1981-2010. [En ligne]. http://www.OMAFRA.gov.on.ca/french/stats/crops/price_hay.htm (page consultée le 23 mars 2012).

OMAFRA. 2011h. Ventes du marché en frais et ventes aux transformateurs de fruit, Ontario, 2004. [En ligne]. http://www.OMAFRA.gov.on.ca/french/stats/hort/fruit_sale04.htm (page consultée le 23 mars 2012).

OMAFRA. 2011i. Ventes du marché en frais et ventes aux transformateurs de fruit, Ontario, 2005. [En ligne]. http://www.OMAFRA.gov.on.ca/french/stats/hort/fruit_sale05.htm (page consultée le 23 mars 2012).

OMAFRA. 2011j. Ventes du marché en frais et ventes aux transformateurs de fruit, Ontario, 2006. [En ligne]. http://www.OMAFRA.gov.on.ca/french/stats/hort/fruit_sale06.htm (page consultée le 23 mars 2012).

OMAFRA. 2011k. Ventes du marché en frais et ventes aux transformateurs de fruit, Ontario, 2007. [En ligne]. http://www.OMAFRA.gov.on.ca/french/stats/hort/fruit_sale07.htm (page consultée le 23 mars 2012).

OMAFRA. 2011l. Ventes du marché en frais et ventes aux transformateurs de fruit, Ontario, 2008. [En ligne]. http://www.OMAFRA.gov.on.ca/french/stats/hort/fruit_sale08.htm (page consultée le 23 mars 2012).

OMAFRA. 2011m. What you should know about fruit production in Ontario. [En ligne]. <http://www.OMAFRA.gov.on.ca/english/crops/facts/04-045.htm> (page consultée le 23 mars 2012).

OMAFRA. 2011n. 2012 Field crop budgets – Publication 60. Queen’s Printer, Toronto, Ontario.

OMAFRA. 2012a. Climate Change and Agriculture. [En ligne]. <http://www.OMAFRA.gov.on.ca/english/engineer/facts/climatechange.htm> (page consultée le 27 avril 2012).

OMAFRA. 2012b. Field Crops. [En ligne]. <http://www.OMAFRA.gov.on.ca/english/stats/crops/index.html> (page consultée le 23 mars 2012).

Ontario Ministry of Agriculture and Food. 1976. 1976 Crop budgeting aid. Queen’s Printer, Toronto, Ontario.

Ontario Ministry of Agriculture and Food. 1977. 1977 Crop budgeting aid. Queen’s Printer, Toronto, Ontario.

Ontario Ministry of Agriculture and Food. 1978. 1978 Crop budgeting aid. Queen’s Printer, Toronto, Ontario.

Ontario Ministry of Agriculture and Food. 1979. 1979 Crop budgeting aid. Queen’s Printer, Toronto, Ontario.

Ontario Ministry of Agriculture and Food. 1980. 1980 Crop budgeting aid. Queen’s Printer, Toronto, Ontario.

Ontario Ministry of Agriculture and Food. 1981. 1981 Crop budgeting aid. Queen's Printer, Toronto, Ontario.

Ontario Ministry of Agriculture and Food. 1982. 1982 Crop budgeting aid. Queen's Printer, Toronto, Ontario.

Ontario Ministry of Agriculture and Food. 1983. 1983 Crop budgeting aid. Queen's Printer, Toronto, Ontario.

Ontario Ministry of Agriculture and Food. 1984a. 1984 Crop budgeting aid. Queen's Printer, Toronto, Ontario.

Ontario Ministry of Agriculture and Food. 1984b. 1985 Crop budgeting aid. Queen's Printer, Toronto, Ontario.

Ontario Ministry of Agriculture and Food. 1985. 1986 Crop budgeting aid. Queen's Printer, Toronto, Ontario.

Ontario Ministry of Agriculture and Food. 1986. 1987 Crop budgeting aid – Publication 60. Queen's Printer, Toronto, Ontario.

Ontario Ministry of Agriculture and Food. 1987. 1988 Crop budgets – Publication 60. Queen's Printer, Toronto, Ontario.

Ontario Ministry of Agriculture and Food. 1988. 1989 Crop budgets – Publication 60. Queen's Printer, Toronto, Ontario.

Ontario Ministry of Agriculture and Food. 1989. 1990 Crop budgets – Publication 60. Queen's Printer, Toronto, Ontario.

Ontario Ministry of Agriculture and Food. 1990. 1991 Crop budgets – Publication 60. Queen's Printer, Toronto, Ontario.

Ontario Ministry of Agriculture and Food. 1991. 1992 Crop budgets – Publication 60. Queen's Printer, Toronto, Ontario.

Ontario Ministry of Agriculture and Food. 1992. 1993 Crop budgets – Publication 60. Queen's Printer, Toronto, Ontario.

Ontario Ministry of Agriculture and Food. 1993. 1994 Crop budgets – Publication 60. Queen's Printer, Toronto, Ontario.

Ontario Ministry of the Environment. 2011. Climate ready. Ontario's Adaptation Strategy and Action Plan 2011 - 2014. [En ligne]. http://www.ene.gov.on.ca/stdprodconsume/groups/lr/@ene/@resources/documents/resource/stdprod_085423.pdf (page consultée le 27 avril 2012).

Ontario Experts Panel on Climate Change. 2009. Adapting to Climate Change in Ontario. Queen's Printer for Ontario.

Ouranos. 2010. Savoir s'adapter aux changements climatiques. Rédaction : C. Desjarlais, M. Allard, D. Bélanger, A. Blondlot, A. Boufard, A. Bourque, D. Chaumont, P. Gosselin, D. Houle, C. Larrivée, N. Lease, A.T. Pham, R. Roy, J.-P. Savard, R. Turcotte et C. Villeneuve, Montréal , 128 p.

Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden et C.E. Hanson. 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

PCIC. 2011. Hydrologic Impacts of Climate Change on BC Water Resources. Université de Victoria, Victoria, Canada.

Peel Region. 2011. Peel Climate Change Strategy Background Report. A strategic Plan for Climate Change for the Geographic Region of Peel.

Phillips, Donald L., Jeffrey J. Lee. et Rusty F. Dodson. 1996. Sensitivity of the US Corn Belt to Climate Change and Elevated CO₂: I. Corn and Soybean Yields. *Agricultural Systems* 52 (1996):481-502.

Plouffe, D. et coll. 2002. Indices agroclimatiques pour faciliter la prise de décision en agriculture. Présenté au 65^e Congrès de l'ordre des agronomes du Québec. [En ligne]. http://www.agrireseau.qc.ca/argeneral/documents/Plouffe_D.pdf (page consultée le 27 avril 2012).

Preparation and Adaptation Working Groups. 2008. Leading the Way: Preparing for the Impacts of Climate Change in Washington. Department of Ecology, Olympia, WA.

Bryant, Christopher, Bhawan Singh, Paul Thomassin et Laurie Baker. 2007. Vulnérabilités et adaptation aux changements climatiques au Québec au niveau de la ferme: leçons tirées de la gestion du risque et de l'adaptation à la variabilité climatique par les agriculteurs. Ressources Naturelles du Canada

RNCan. 2007. Impacts et adaptation liés aux changements climatiques : perspective canadienne. [En ligne]. http://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca.earth-sciences/files/pdf/perspective/pdf/report_f.pdf (page consultée le 27 avril 2012).

Rochette, P., G. Bélanger, Y. Castonguay, A. Bootsma et D. Mongrain. 2004. Climate change and winter damage to fruit trees in eastern Canada. *Canadian Journal of Plant Science* 84 (2004): 1113-1125.

Rosenberg, Norman J., Robert A. Brown, R. Cesar Izaurralde et Allison M. Thomson. 2003. Integrated assessment of Hadley Centre (HadCM2) climate change projections on agricultural productivity and irrigation water supply in the conterminous United States: I. Climate change scenarios and impacts on irrigation water supply simulated with the HUMUS model. *Agricultural and Forest Meteorology* 117 (2003): 73-96.

Rosenzweig, Cynthia et Ana Iglesias. 1994. Implications Of Climate Change For International Agriculture: Crop Modeling Study. United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

Rosenzweig, Cynthia, Ana Iglesias, X.B. Yang, Paul R. Epstein et Eric Chivian. 1999. Climate change and extreme weather events – Implications for food production, plant diseases, and pests. *Global Change & Human Health* 2 (2):90-104.

Rosenzweig, Cynthia, Ana Iglesias, X.B. Yang, Paul R. Epstein et Eric Chivian. 2000. Climate Change and U.S. Agriculture: The Impacts of Warming and Extreme Weather Events on Productivity, Plant Diseases, and Pests. Center for Health and the Global Environment, Boston, MA.

Rosenzweig, Cynthia, Francesco N. Tubiello, Richard Goldberg, Evan Mills et Janine Bloomfield. 2002. Increased crop damage in the US from excess precipitation under climate change. *Global Environmental Change* 12 (2002):197-202.

Roy, M. 2002. Impact potentiel des changements climatiques sur l'entomofaune agricole au Québec. Présenté au 65e Congrès de l'ordre des agronomes du Québec.

Serecon management consulting Inc. 2005. Tendances alimentaires au Canada d'ici à 2020 Perspectives de la consommation à long terme. Préparé pour Agriculture et agroalimentaire Canada, Ottawa, Canada.

Singh, Bhawan et Robert B, Stewart. 1991. Potential impacts of a CO₂-induced climate change using the GISS scenario on agriculture in Quebec, Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 35 (1991): 327-347.

Singh, Bhawan, Mustapha El Maayar, Pierre André, Jean-Pierre Thouez, Christopher Bryant et Denis Provençal. 1996. Influence d'un changement climatique dû à une hausse de gaz à effet de serre sur l'agriculture au quebec. *Atmosphere-Ocean* 34 (2): 379-399.

Smit, Barry, Michael Brklacich, Robert B. Stewart, Ray McBride, Murray Brown et Deborah Bond. 1989. Sensitivity of crop yields and land resource potential to climatic change in Ontario. Canada. *Climatic Change* 14 (1989): 153-174.

Smit, Barry et Mark W. Skinner. 2002. Adaptation options in agriculture to climate change: a typology. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 7 (2002): 85-114.

Southworth, Jane, J.C. Randolph, M. Habeck, O.C. Doering, R.A. Pfeifer, D.G. Rao et J.J. Johnston. 2000. Consequences of future climate change and changing climate variability on maize yields in the midwestern United States. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 82 (2000):139-158.

Stanley A. Changnon et Steven E. Hollinger. 2003. Problems in Estimating Impacts of Future Climate Change on Midwestern Corn Yields. *Climatic Change* 58 (2003):109-118.

Statistique Canada. 2011a. Tableau 001-0009 : Superficie, production et valeur à la ferme des fruits frais et pour la conserve, selon la province, annuel. [En ligne]. http://estat.statcan.gc.ca/cgi-win/cnsmcqi.exe?Lang=F&EST-Fi=EStat/Francais/CII_1-fra.htm (page consultée le 23 mars 2012).

Statistique Canada. 2011b. Tableau 002-0011 : Aliments disponibles au Canada, annuel (kilogrammes par personne, par année sauf indication contraire). [En ligne]. http://estat.statcan.gc.ca/cgi-win/cnsmcqi.exe?Lang=F&EST-Fi=EStat/Francais/CII_1-fra.htm (page consultée le 7 mars 2012).

Statistique Canada. 2011c. Tableau 051-0001 : Estimations de la population, selon le groupe d'âge et le sexe au 1er juillet, Canada, provinces et territoires, annuel (personnes sauf indication contraire). [En ligne]. http://estat.statcan.gc.ca/cgi-win/cnsmcqi.exe?Lang=F&EST-Fi=EStat/Francais/CII_1-fra.htm (page consultée le 7 mars 2012).

Statistique Canada. 2012a. Recensement de l'agriculture de 2011. [En ligne]. <http://www.statcan.gc.ca/ca-ra2011/index-fra.htm> (page consultée le 25 septembre 2012).

Statistique Canada. 2012b. Tableau 001-0010 Estimation de la superficie, du rendement, de la production et du prix moyen à la ferme des principales grandes cultures, en unités métriques, annuel. [En ligne]. http://estat2.statcan.gc.ca/cgi-win/cnsmcqi.pgm?Lang=F&RootDir=ESTAT/Array_Pick=1&ArrayId=001-0010&C2DB=EST&C2User=CANSIM2GUEST&C2PASS=CANSIM2GUESTPRD&ResultTemplate=ESTAT%2FCII (page consultée le 23 mars 2012).

Statistique Canada. 2012c. Tableau 980-0008 Exportations domestiques - Fruits comestibles; écorces d'agrumes ou de melons. [En ligne]. <http://www5.statcan.gc.ca/cimt-cicm/topNCountryCommodities-marchandises?countryId=999&tradeType=1&usaState=0&topNDefault>

[=10&freq=6&commodityName=Apples%2C+fresh&lang=fra&refYr=2012§ionId=2&chapterId=8&monthStr=January&arrayId=9800000§ionLabel=II+-+Vegetable+products&provId=1&refMonth=1&commodityId=80810](http://www5.statcan.gc.ca/cimt-cicm/topNCountryCommodities-marchandises?countryId=999&tradeType=1&usaState=0&topNDefault=10&freq=6&commodityName=Apples%2C+fresh&lang=fra&refYr=2012§ionId=2&chapterId=8&monthStr=January&arrayId=9800000§ionLabel=II+-+Vegetable+products&provId=1&refMonth=1&commodityId=80810) (page consultée le 23 mars 2012).

Statistique Canada. 2012d. Tableau 980-0012 Exportations domestiques – Graines et fruits oléagineux; graines, semences et fruits divers; plantes industrielles ou médicinales; pailles et fourrages. [En ligne]. <http://www5.statcan.gc.ca/cimt-cicm/topNCountryCommodities-marchandises?countryId=999&tradeType=1&usaState=0&topNDefault=10&freq=6&commodityName=Pailles+et+balles+de+c%26eacute%3Br%26eacute%3Bales+brutes%2Cm%26ecirc%3Bme+hach%26eacute%3Bes%2C+moulues%2Cpress%26eacute%3Bes+ou+en+pellet&lang=fra&refYr=2012§ionId=2&monthStr=F%C3%A9vrier&chapterId=12&arrayId=9800000&provId=1&refMonth=2&commodityId=121300> (page consultée le 23 mars 2012).

Statistique Canada. 2012e. Tableau 990-0011 Importations – Produits de la minoterie; malt; amidons et féculés; inuline; gluten de froment. [En ligne]. <http://www5.statcan.gc.ca/cimt-cicm/topNCountryCommodities-marchandises?countryId=999&tradeType=3&usaState=0&topNDefault=10&freq=12&commodityName=Grains+de+ma%26iuml%3Bs+travail%26eacute%3Bs%2C+par+exemple%2C+mond%26eacute%3Bs%2C+perl%26eacute%3Bs%2C+tranch%26eacute%3Bs+ou+concass%26eacute%3Bs&lang=fra&refYr=2012§ionId=2&monthStr=Mars&chapterId=11&arrayId=9900000&provId=1&refMonth=3&commodityId=110423> (page consultée le 23 mars 2012).

Statistique Canada. 2012f. Tableau 990-0012 Importations – Graines et fruits oléagineux; graines, semences et fruits divers; plantes industrielles ou médicinales; pailles et fourrages. [En ligne]. <http://www5.statcan.gc.ca/cimt-cicm/topNCountryCommodities-marchandises?countryId=999&tradeType=3&usaState=0&topNDefault=10&freq=6&commodityName=Pailles+et+balles+de+c%26eacute%3Br%26eacute%3Bales+brutes%2Cm%26ecirc%3Bme+hach%26eacute%3Bes%2C+moulues%2Cpress%26eacute%3Bes+ou+en+pellet&lang=fra&refYr=2012§ionId=2&monthStr=F%C3%A9vrier&chapterId=12&arrayId=9900000&provId=1&refMonth=2&commodityId=121300> (page consultée le 23 mars 2012).

Statistique Canada. 2013. Tableau 980-0010 Exportations domestiques - Céréales. [En ligne]. <http://www5.statcan.gc.ca/cimt-cicm/topNCountries-pays?lang=fra§ionId=2&dataTransformation=0&refYr=2010&refMonth=12&freq=12&countryId=0&usaState=0&provId=24&retrieve=Extraire&save=null&country=null&tradeType=1&topNDefault=10&monthStr=null&chapterId=10&arrayId=0§ionLabel=II%20-%20Vegetable%20products&scaleValue=0&scaleQuantity=0&commodityId=100590> (page consultée le 14 février 2013).

Stockle, Claudio O., Paul T. Dyke, Jimmy R. Williams, C. Allan Jones et Norman J. Rosenberg. 1992. A Method for Estimating the Direct and Climatic Effects of Rising Atmospheric Carbon Dioxide on Growth and Yield of Crops: Part II – Sensitivity Analysis at Three Sites in the Midwestern USA. *Agricultural Systems* 38 (1992):239-256.

Stöckle, Claudio O. et coll. Assessment of Climate Change Impacts on Eastern Washington Agriculture. Dans Littell, J.S., M. McGuire Elsner, L.C. Whitely Binder et A.K. Snover. 2009. The Washington Climate Change Impacts Assessment: Evaluating Washington's Future in a Changing Climate. Climate Impacts Group, University of Washington, Seattle, WA.

Table filière des plantes fourragères. 2008. Statistiques principales du secteur des plantes fourragères, Québec, 2005-2008. [En ligne]. <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Tables%20filieres/fourageres/secteurplantesfourageres.pdf> (page consultée le 23 mars 2012).

Thomson, Allison M., Robert A. Brown, Norman J. Rosenberg, Raghavan Srinivasan et R. Cesar Izaurralde. 2005. Climate Change Impacts for the Conterminous USA: An Integrated Assessment. Part 4: Water Resources. *Climatic Change* 69 (2005): 67-88.

Tyrhchiewicz consulting. 2010. Long Term International Forage Marketing Strategy for the Canadian Forage and Grassland Association. Manitoba Forage Council.

USDA. 2011. Noncitrus fruits and nuts 2010 summary 07/07/2011. [En ligne]. <http://usda01.library.cornell.edu/usda/current/NoncFruNu/NoncFruNu-07-07-2011.pdf> (page consultée le 7 mars 2012).

USDA. 2012a. Crop Production 2011 Summary. United States Department of Agriculture, Washington, D.C..

USDA. 2012b. Illinois Statistics. [En ligne]. http://www.nass.usda.gov/Statistics_by_State/Illinois/index.asp (page consultée le 7 mars 2012).

USDA. 2012c. Iowa Statistics. [En ligne]. http://www.nass.usda.gov/Statistics_by_State/Iowa/index.asp (page consultée le 7 mars 2012).

USDA. 2012d. Statistics by subject. [En ligne]. http://www.nass.usda.gov/Statistics_by_Subject/index.php?sector=CROPS (page consultée le 7 mars 2012).

Viau, Alain A. et Constance M. Mitic. 1992. Potential Impacts of CO₂-induced Climate Change using the GISS, GFDL and CCC Scenarios on Corn Yields in the Essex County Region of Ontario, Canada. *Climatological Bulletin* 26 (2): 79-105.

Washington apple commission. 2007. International. [En ligne]. <http://www.bestapples.com/international/index.shtml> (page consultée le 23 mars 2012).

Weber, Marian et Grant Hauer. 2003. A Regional Analysis of Climate Change Impacts on Canadian Agriculture. *Canadian Public Policy* 29 (2): 163-180.

Wreford, Anita, Dominic Moran et Neil Adger. 2010. Climate Change and Agriculture: Impacts, Adaptation and Mitigation. OCDE.

Yungblut, Douglas. 2012. The Values of Forages in a High Commodity Price Environment. Ontario Forage Council.

Zebarth, Bernie, Joe Caprio, Klaas Broersma, Peter Mills et Scott Smith. Effect of Climate Change on Agriculture in British Columbia and Yukon. Dans Taylor, Eric et Bill Taylor. 1996. Responding to Global Climate Change in British Columbia and Yukon. Volume I of the Canada Country Study: Climate Impacts and Adaptation. Aquatic and Atmospheric Sciences Division, Environment Canada, Pacific and Yukon Region and the Air Resources Branch, British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks. Vancouver, B.C.

Annexes

Annexe A : Grilles d'impacts des changements climatiques sur les productions de maïs (horizon 2050)

Déterminant	Moment de l'année	Québec		Ontario		Iowa et Illinois	
		Impacts	Conséquences	Impacts	Conséquences	Impacts	Conséquences
Variation de la température	Hiver	+2,5 à +3,8°C	Diminution des rendements de maïs sur les terres non-irriguées	+2 à +3,5°C	Expansion de l'aire de culture du maïs-grain	+0,3 à +2,3°C	Diminution de la saison de croissance de 30 jours
	Été	+1,9 à +3,0°C	Augmentation des rendements de 54 à 70%	+2 à +3°C	Augmentation des rendements de maïs entre 40 et 115% selon les conditions d'humidité	+0,8 à +1,7°C	Modification des rendements de -27 à +0% (-13% à +0% avec adaptation) pour les terres irriguées et de -28 à +0% (-13 à +5% avec adaptation) pour les terres non-irriguées +3 à +4 jours de stress thermique
Unités thermiques maïs	Saison de croissance	+25 à +38%	Expansion de l'aire de culture du maïs-grain avec rendements entre 6,4 et 8,0 t/ha (Saguenay/Lac-Saint-Jean Abitibi-Témiscamingue				

			Bas-Saint-Laurent/Gaspésie Est de l'Estrie)				
Précipitations	Été	Incertain	+34% de déficit hydrique	Diminution des précipitations	Augmentation du stress hydrique	-4 à +12%	Augmentation de la présence du charbon et du mildiou du maïs Plus grande présence d'aflatoxine Augmentation du stress hydrique
Événements climatiques extrêmes	Toute l'année	Augmentation de la fréquence, de l'intensité et de l'ampleur	Augmentation des pertes liées aux événements climatiques extrêmes	Augmentation de la fréquence, de l'intensité et de l'ampleur	Augmentation des pertes liées aux événements climatiques extrêmes	+30% d'occurrence +90% de pluies fortes	Augmentation des risques que le maïs soit rabattu au sol
Insectes et maladies fongiques	Hiver	Diminution de la mortalité des insectes et des maladies fongiques	Augmentation des coûts associés à la lutte aux insectes et aux maladies fongiques (fongicides, insecticides, etc.)	Diminution de la mortalité des insectes et des maladies fongiques	Augmentation des coûts associés à la lutte aux insectes et aux maladies fongiques (fongicides, insecticides, etc.)	Diminution de la mortalité des insectes et des maladies fongiques	Augmentation des coûts associés à la lutte aux insectes et aux maladies fongiques (fongicides, insecticides, etc.)
	Été	Augmentation de la prolifération des ravageurs		Augmentation de la prolifération des ravageurs		Augmentation de la prolifération des ravageurs	
		Expansion de l'aire de dispersion de la pyrale du maïs et du feu bactérien		Apparition de nouvelles espèces		Apparition de nouvelles espèces	
		Troisième génération de la pyrale du maïs					
		Augmentation de la fréquence et de l'ampleur du charbon du maïs				Propagation du ver de l'épi et des chrysomèles des racines du maïs	
						Troisième génération de la pyrale du maïs	
						Apparition de nouvelles espèces	

		Apparition de nouvelles espèces					
Augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère	Été	Impact : Augmentation à 700 ppm Conséquences : Augmentation de la prolifération des mauvaises herbes, Augmentation de l'efficacité des insecticides					

Annexe B : Grilles d'impacts des changements climatiques sur les productions de pommes (horizon 2050)

Déterminant	Moment de l'année	Sud du Québec		Nord du Québec		Ontario		Colombie-Britannique		Washington	
		Impacts	Conséquences	Impacts	Conséquences	Impacts	Conséquences	Impacts	Conséquences	Impacts	Conséquences
Variation de la température	Hiver	+2,5 à +3,8°C	Diminution de l'endurcissement des arbres	+4,5 à +6,5°C	Allongement de la saison de production	+2 à +3,5°C	Diminution des dommages pour les pommiers	+0,6 à +3,6°C	Amélioration des conditions de dormance	+0,6°C	Augmentation de la durée de dormance
	Été	+1,9 à +3,0°C	Possibilité de cultiver de nouvelles variétés	+1,6 à +2,8°C	Expansion de l'aire de culture de la pomme	+2 à +3°C	Possibilité de cultiver de nouvelles variétés Expansion de l'aire de culture de la pomme	+1,4 à +4,4°C	Augmentation de l'aire de culture de 160 à 250 km au Nord, de 200 à 250m en altitude	-0,7°C	Diminution de la durée de dormance
Gel	Dernier gel	12 à 20 jours plus tôt	Augmentation de la saison de croissance des pommes de 23 à 32 jours	Diminution des risques de gels printaniers	Diminution des dommages causés aux arbres	Plus tôt	Augmentation de la saison de croissance de 40 à 45 jours	Allongement de la saison de croissance de 10 à 30 jours	Augmentation des rendements de 9% (16% avec mesures d'adaptation)	Allongement de la saison de croissance de 10 à 30 jours	Augmentation de la durée de dormance de 9%
	Premier gel	15 à 18 jours plus tard				Plus tard					
Précipitations	Hiver	+10 à +20% (surtout sous forme de pluie)	Diminution du stress hydrique printannier	+10 à +20% (surtout sous forme de neige)	Diminution du stress hydrique printannier			+12% (surtout sous forme de pluie)	Diminution du stress hydrique printannier	+25% (surtout sous forme de pluie)	Diminution du stress hydrique printannier
	Été	Incertain	+34% de déficit hydrique	Augmentation des précipitations	Augmentation de l'humidité des sols au printemps	Diminution des précipitations	Augmentation du stress hydrique	-21% à +5%	Augmentation du stress hydrique	+16%	Augmentation de la durée de dormance

Couvert de neige	Hiver	Diminution du couvert de neige	Augmentation des risques de gel tardif ou hâtif	Augmentation du couvert de neige	Augmentation de la protection des pommiers	Diminution du couvert de neige	Augmentation des risques de gel tardif ou hâtif	Diminution du couvert de neige	Augmentation des risques de gel tardif ou hâtif	-40%	R	a A de
Événements climatiques extrêmes	Toute l'année	Impact : Augmentation de la fréquence, de l'intensité et de l'ampleur Conséquence : Augmentation du risque d'exposition des bourgeons, fleurs et fruits aux conditions extrêmes										
Insectes et maladies fongiques	Hiver	Impacts : Diminution de la mortalité, Augmentation de la prolifération, Apparition de nouvelles espèces										
	Été	Conséquence : Augmentation des coûts associés à la lutte aux insectes et aux maladies fongiques (fongicides, insecticides, etc.)										
									Troisième génération de la carpocapse des pommes et des poires Apparition de nouvelles souches	Augmentation des coûts de vaporisation de pesticides entre 132,28 et 265,64\$/ha Rend désuet l'utilisation de phéromones	Troisième génération de la carpocapse des pommes et des poires Apparition de nouvelles souches	A d va pe : R l'u p
Augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère	Toute l'année	Impact : Augmentation de la concentration à 700 ppm Conséquences : Diminution de la perte en eau, Augmentation de la biomasse des arbres, Augmentation de l'efficacité des insecticides										

Annexe C : Grilles d'impacts des changements climatiques sur les productions de cultures pérennes fourragères (horizon 2050)

Déterminant	Moment de l'année	Québec		Ontario	
		Impacts	Conséquences	Impacts	Conséquences
Variation de la température	Hiver	+2,5 à +3,8°C	Diminution de l'endurcissement des plantes Diminution de la mortalité des insectes	+2 à +3,5°C	Diminution de l'endurcissement des plantes Diminution de la mortalité des insectes
	Été	+1,9 à +3,0°C	Augmentation de 2 à 5 t des rendements fourragers	+2 à +3°C	Augmentation de 2 à 5 t des rendements fourragers
Gel	Premier gel	15 à 18 jours plus tard	Coupe supplémentaire	Plus tard	Allongement de la saison de croissance de 30 à 45 jours Coupe supplémentaire
	Dernier gel	12 à 20 jours plus tôt	Diminution des risques de gels printaniers	Plus tôt	
Précipitations	Hiver	+10 à +20%	Diminution des rendements fourragers		
		Diminution du couvert de neige au Sud	Augmentation des risques de gel tardif ou hâtif		
		Augmentation du couvert de neige au Nord	Augmentation de la protection des cultures fourragères		
	Été	+0 à +5%	+34% de déficit hydrique	Diminution des précipitations	Augmentation du stress hydrique
Événements climatiques extrêmes	Toute l'année	Augmentation de la fréquence, de l'intensité et de l'ampleur	Augmentation du risque d'exposition des cultures aux conditions extrêmes	Augmentation de la fréquence, de l'intensité et de l'ampleur	Augmentation du risque d'exposition des cultures aux conditions extrêmes
	Hiver			Diminution du nombre de jours de grands froids	Diminution des dommages causés par les froids
Insectes et maladies fongiques	Été	Augmentation de la prolifération	Augmentation des coûts de lutttes aux insectes et aux maladies	Augmentation de la prolifération	Augmentation des coûts de lutttes aux insectes et aux maladies

		Arrivée de nouvelles espèces	fongiques (fongicides, insecticides, etc.)	Arrivée de nouvelles espèces	fongiques (fongicides, insecticides, etc.)
Concentration de CO₂	Toute l'année	700 ppm	Augmentation de la prolifération des mauvaises herbes Augmentation de l'efficacité des insecticides	700 ppm	Augmentation de la prolifération des mauvaises herbes Augmentation de l'efficacité des insecticides

Annexe D : Questionnaire transmis aux experts spécialisés dans la production de maïs

Objectif de l'étude et de la démarche :

Notre étude vise à définir la position concurrentielle de la production québécoise de maïs-grain dans un contexte de changements climatiques pour un horizon 2050. Afin de valider nos scénarios d'impacts des changements climatiques sur la position concurrentielle de la production de maïs-grain, nous mettons en branle un processus de consultation d'experts. Il s'agit donc d'une démarche par laquelle un premier questionnaire vous est transmis. Nous vous demandons de bien vouloir le compléter au meilleur de vos connaissances. Par la suite, nous compilerons les résultats provenant de tous les experts contactés et nous vous recontacterons avec cette nouvelle information afin de vous demander une fois de plus votre avis. Notez que votre nom et votre participation ne seront connus que des chercheurs qui réalisent cette étude. Votre nom ne sera pas mentionné aux autres experts et ne sera pas communiqué sans votre permission, dans nos publications.

Ce questionnaire est en deux phases. Dans un premier temps nous vous présenterons un scénario de changements climatiques sur le Québec avec des questions s'y rapportant. Dans un deuxième temps nous vous présenterons des scénarios succincts concernant les régions concurrentes au Québec ainsi que des questions sur la position concurrentielle du Québec.

Maïs-grain

La zone maïs-grain au Québec se concentre présentement en Montérégie, au Centre-du-Québec et dans la région de Montréal, Laval et Lanaudière. Le Sud de l'Outaouais, des Laurentides et de la Mauricie de même que l'Ouest de Chaudière-Appalaches produisent également du maïs-grain, mais dans une moindre mesure et profitent de moins bonnes conditions.

Les prévisions climatiques à l'horizon 2050 pour le Québec indiquent que les températures estivales au Sud du Québec (sous le 48^e parallèle³¹) devraient augmenter de 1,9 à 3°C. Selon la littérature consultée, cette hausse des températures se traduira par une hausse des unités thermiques maïs de 25% dans le Sud de la province, une diminution de la disponibilité des ressources hydriques, une augmentation de l'occurrence et de la force des événements climatiques extrêmes ainsi qu'une modification de la présence d'insectes nuisibles, de pathogènes et de maladies fongiques.

Plus précisément, cette augmentation des températures devrait affecter l'évaporation estivale alors que les précipitations estivales du Sud de la province ne devraient pas subir de modifications importantes. Ainsi, le déficit hydrique devrait croître de 34% pour se fixer à 106 mm par an.

Toutefois, des régions productrices de maïs ayant présentement des conditions similaires à celles qui prévaudront au Québec en 2050 démontrent que des mesures d'adaptation pourront être mises en place, comme l'irrigation pour contrer le déficit hydrique ou un accroissement des applications d'insecticides pour lutter contre la prolifération des ravageurs.

En prenant en considération tous ces facteurs et la capacité d'adaptation des producteurs agricoles, la littérature indique que les rendements de maïs-grain augmenteront dans les régions du Québec où cette culture est présente. De même, l'augmentation prévue des températures étendra la présence de cette culture au Nord et à l'Est du Québec.

³¹ Soit sous une ligne reliant Trois-Pistoles à Val-d'Or.

Tableau 1 : Rendement (t/ha) des régions productrices de maïs du Québec de 2007 à 2011 (Adapté de Institut de la Statistique du Québec, 2012)

Régions administratives	2007	2008	2009	2010	2011	Moyenne 5 ans
Capitale-Nationale/Mauricie	8,22	6,57	6,48	8,72	6,83	7,51
Etrie	-	5,27	5,67	7,85	-	5,45
Montréal/Laval/Lanaudière	8,92	8,03	7,12	9,7	8,03	8,36
Outaouais/Laurentides	8,01	8,65	7,69	10,09	7,96	8,51
Chaudières-Appalaches	6,79	3,77	6,98	7,58	6,55	6,53
Montréal Nord-est	9,91	8,78	8,01	9,35	8,48	8,92
Montréal Sud-ouest	9,61	9,33	8,57	9,97	8,8	9,25
Centre du Québec	8,69	6,84	5,35	8,19	8,04	7,43
Tout le Québec	9,13	8,25	7,53	9,29	8,29	8,52

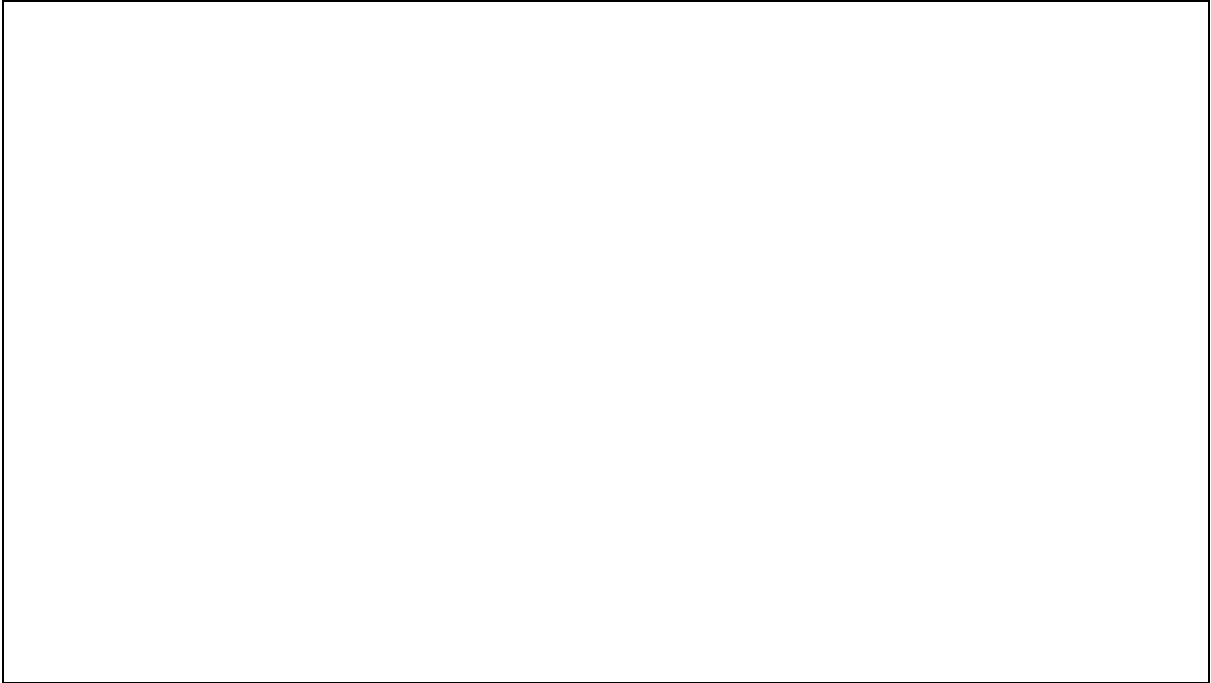
Sur la base des variations de température, la Montérégie Sud-ouest devrait voir son rendement augmenter d'un peu moins de 2 t/ha alors que le Sud de l'Outaouais et de Lanaudière de même que la Montérégie Nord-est devraient voir leur rendement augmenter d'un peu plus de 3 t/ha. Ceci s'explique du fait que passé le seuil de 3500 unités thermiques mais les gains de rendement se font plus modestes.

Pour les autres régions productrices, le rendement devrait augmenter d'environ 4 t/ha alors que de nouvelles régions devraient pouvoir mettre en culture du maïs-grain avec des rendements situés entre 6,4 et 8 t/ha. Ce devrait notamment être le cas du Saguenay – Lac-Saint-Jean, de l'Abitibi – Témiscamingue, du Bas-Saint-Laurent – Gaspésie, et de l'Est de l'Etrie

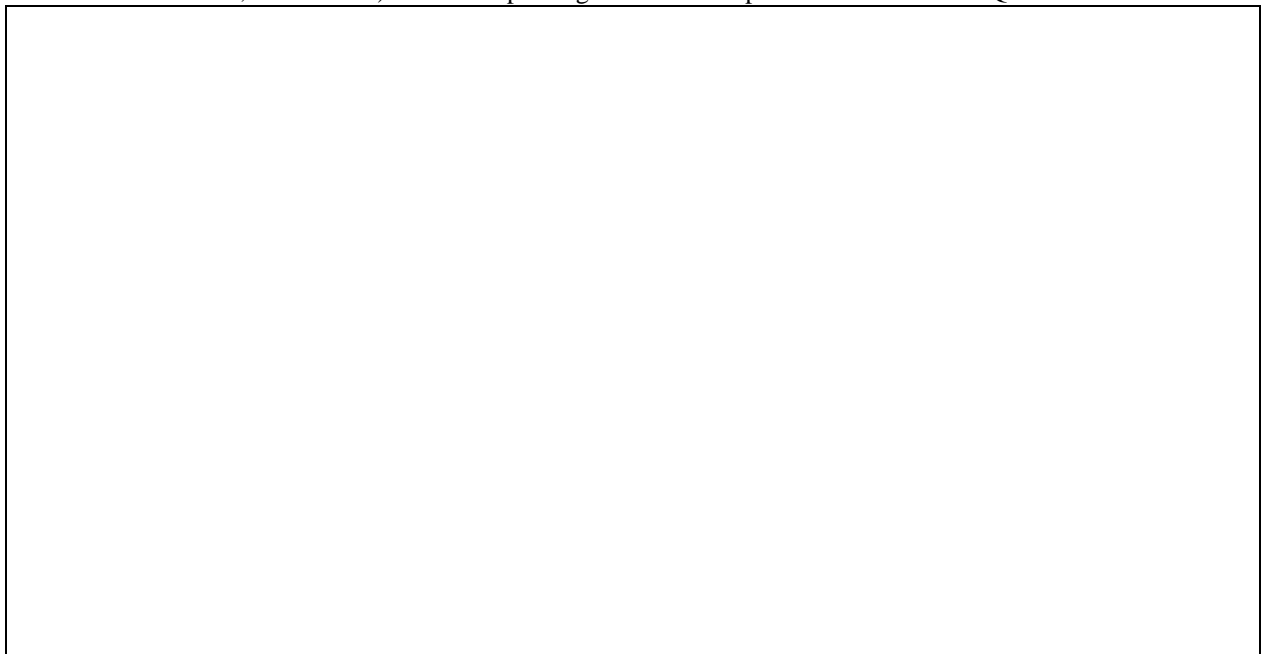
À la lumière de ces informations et au meilleur de vos connaissances, nous aimerions que vous répondiez, dans un premier temps, aux questions suivantes. Des réponses détaillées et justifiées seraient grandement appréciées.

1. Croyez-vous que notre scénario soit réaliste?

2. Selon-vous, avons nous omis de considérer des éléments importants?



3. Croyez-vous que l'augmentation des événements climatiques extrêmes (vents violents, orages, sécheresses, inondations) aura un impact significatif sur la production de maïs au Québec?



4. Selon vos connaissances actuelles, veuillez remplir le tableau suivant en estimant les rendements futurs que chacune des régions du Québec devrait obtenir ainsi que votre estimation de la variation annuelle des rendements pour chacune des régions.

Régions administratives	Rendements actuels (t/ha)	Rendements en 2050 (t/ha)	Variance annuelle des rendements (t/ha)
Bas-St-Laurent/Gaspésie/Îles-de-la-Madeleine	-		
Saguenay-Lac-St-Jean/Côte-Nord	-		
Capitale-Nationale/Mauricie	7,51		
Estrie	5,45		
Montréal/Laval/Lanaudière	8,36		
Outaouais/Laurentides	8,51		
Abitibi-Témiscamingue/Nord-du-Québec	-		
Chaudières-Appalaches	6,53		
Monterégie Nord-est	8,92		
Monterégie Sud-ouest	9,25		
Centre du Québec	7,43		

5. Selon vos connaissances actuelles, veuillez remplir le tableau suivant en identifiant les différences (en dollars 2012, c'est-à-dire si le niveau des prix en 2050 était le même que présentement) des pratiques culturales qu'engendreront les changements climatiques à l'horizon 2050.

Postes de dépenses	Utilisation actuelle	Utilisation en 2050	Variation annuelle des coûts
Fertilisants	0,59 t/ha		
Herbicides	2 traitements/ha		
Entretien et réparation de machinerie	80 \$/ha		
Rémunération des employés	75 \$/ha		
Irrigation	0,4% des terres en culture		

6. Croyez-vous que les changements climatiques seront un facteur déterminant dans la modification de la structure de production du maïs-grain au Québec d'ici 2050 ou croyez-vous qu'un autre facteur aura un impact plus important que les changements climatiques?

Passons maintenant aux scénarios des régions concurrentes du Québec en production de maïs-grain, soient l'Ontario et les États américains de l'Iowa et de l'Illinois.

Ontario


La température de l'Ontario devrait augmenter entre 2 et 3,5°C d'ici 2050 faisant augmenter les unités thermiques maïs de toutes les régions en Ontario. Alors que le Sud-Ouest de l'Ontario ne devrait pas voir de modifications importantes à ses rendements, les régions de Huron – Perth – Waterloo – Wellington, Hamilton – Halton – Brant et Niagara Falls – Wine Country devraient voir leurs rendements augmenter d'environ 40% pour rejoindre les rendements de l'extrême-sud. D'autres régions un peu plus au Nord (Kawartha – Northumberland, Ottawa et Muskoka – Parry Sound – Algonquin Park) devraient voir leurs rendements augmenter de façon substantielle (jusqu'à 115%) et de nouvelles superficies devraient se trouver propices à la production de maïs-grain au Nord.

Iowa et Illinois

La température dans ces États devrait augmenter en été de 0,8 à 1,7°C créant une augmentation des facteurs de stress des plants de maïs. C'est ainsi que le nombre de journées dépassant 32°C devrait doubler alors que l'irrigation déjà très présente devrait permettre de diminuer les impacts des stress hydriques. Ainsi, en considérant les mesures d'adaptation, les rendements de ces États devraient varier entre 0 et -28% d'ici 2050.

À la lumière de ces informations et au meilleur de vos connaissances, nous aimerions que vous répondiez aux questions suivantes. Des réponses détaillées et justifiées seraient grandement appréciées.

7. Croyez-vous que nos scénarios soient réalistes?

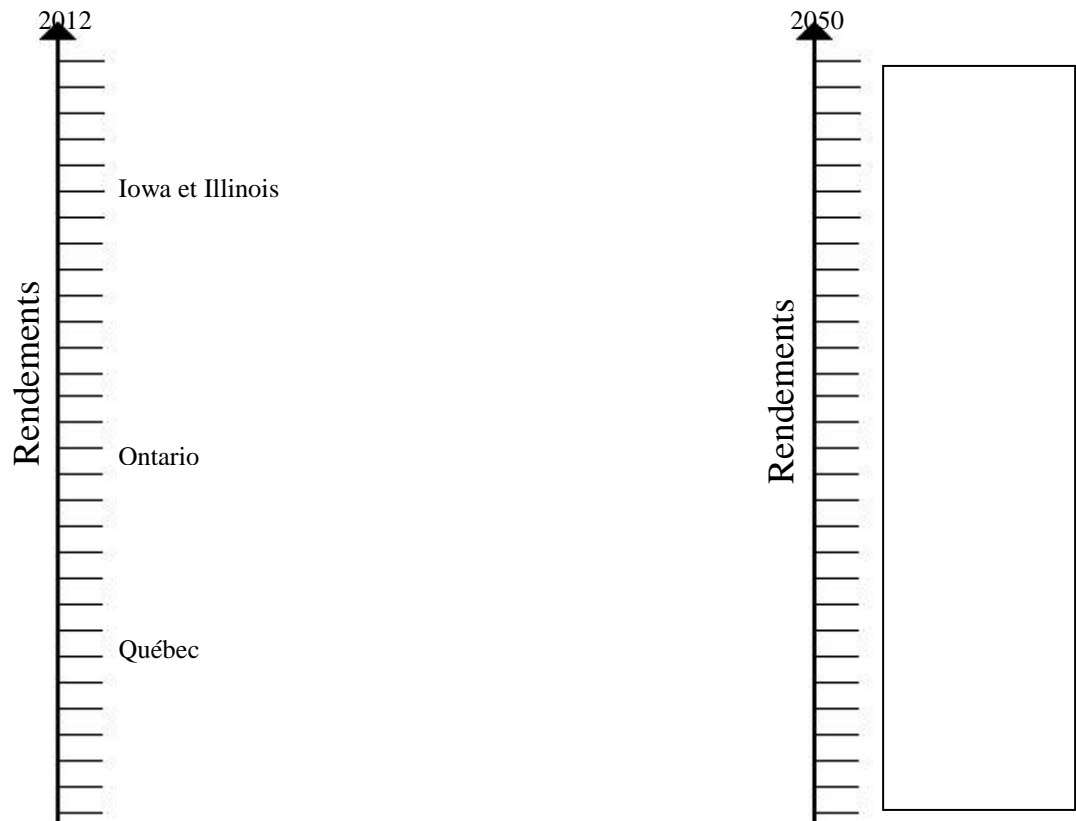


8. Selon-vous, avons nous omis de considérer des éléments importants?



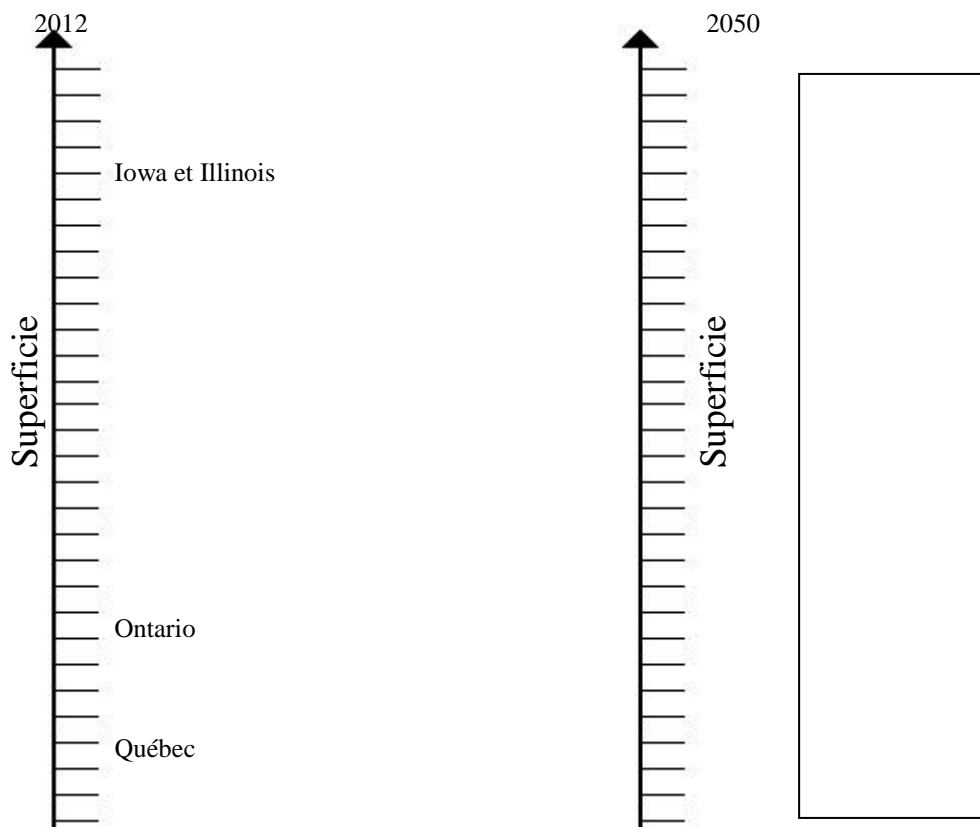
9. À l'aide de l'échelle 1, indiquez vos prévisions d'augmentation des rendements d'un point de vue relatif (sur l'échelle 2012, la position de l'Iowa-Illinois indique que les rendements y sont plus élevés qu'au Québec et qu'en Ontario).

Échelle 1 : Position relative du Québec, de l'Ontario et de l'Iowa-Illinois quant au rendement maïs en 2012 et en 2050



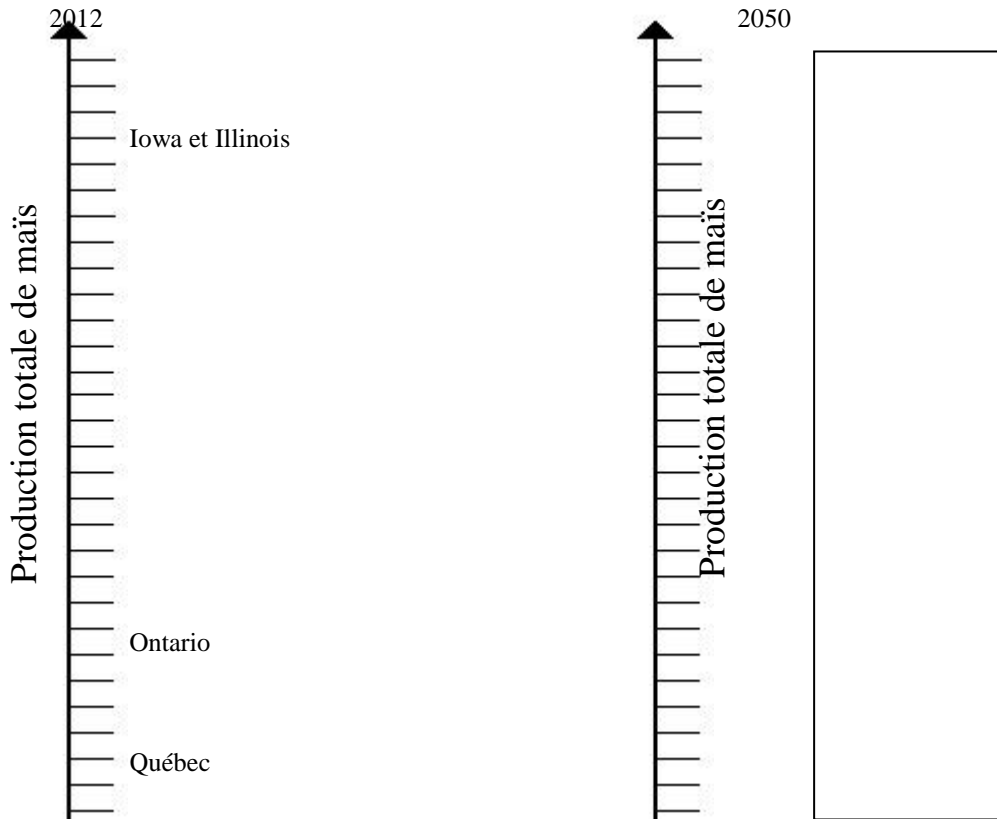
10. À l'aide de l'échelle 2, indiquez vos prévisions d'augmentation des superficies d'un point de vue absolu (sur l'échelle 2012, la position de l'Iowa-Illinois indique que les superficies y sont plus élevées qu'au Québec et qu'en Ontario).

Échelle 2 : Position absolue du Québec, de l'Ontario et de l'Iowa-Illinois quant aux superficies de maïs-grain en 2012 et en 2050



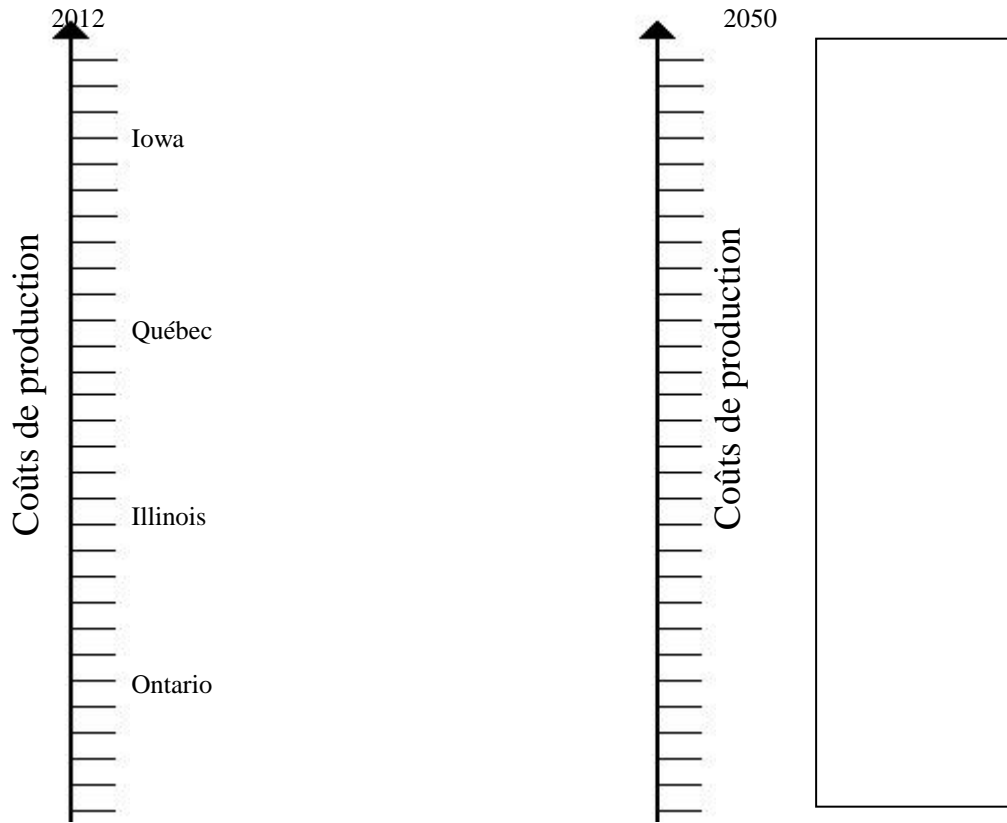
11. À l'aide de l'échelle 3, et en prenant en considération vos réponses aux échelles 1 et 2, indiquez vos prévisions quant à la position relative du Québec comme producteur de maïs (sur l'échelle 2012, la position de l'Iowa-Illinois indique que la production en Iowa-Illinois y est plus élevée qu'au Québec et qu'en Ontario)

Échelle 3 : Position relative du Québec, de l'Ontario et de l'Iowa-Illinois quant à la production totale de maïs en 2012 et en 2050



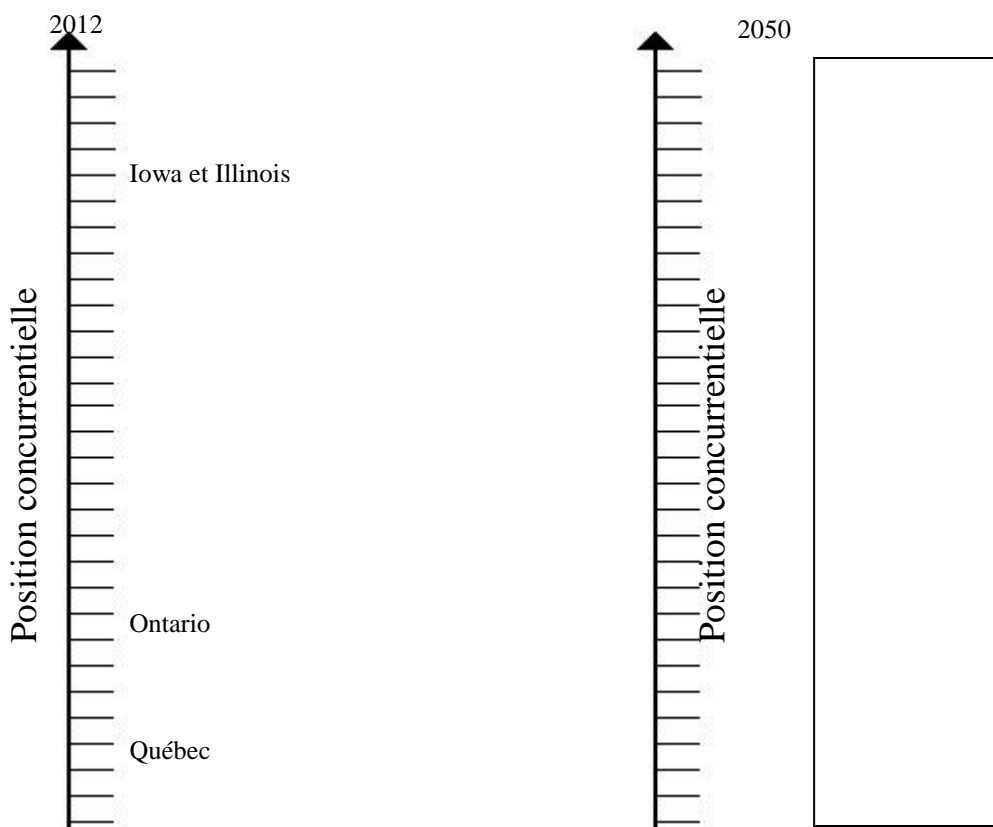
12. À l'aide de l'échelle 4, indiquez vos prévisions quant à la position relative du Québec au chapitre des coûts de production (sur l'échelle 2012, la position de l'Iowa indique que les coûts de production y sont **plus** élevés qu'au Québec et qu'en Ontario)

Échelle 4 : Position relative du Québec, de l'Ontario et de l'Iowa-Illinois quant au coût de production par hectare de maïs en 2012 et en 2050



13. À l'aide de l'échelle 5, indiquez vos prévisions quant à la position concurrentielle relative du Québec en prenant en considération les rendements, les superficies et les coûts de production (sur l'échelle 2012, la position de l'Iowa-Illinois indique que la position concurrentielle y est plus favorable qu'au Québec et qu'en Ontario)

Échelle 5 : Position concurrentielle relative du Québec, de l'Ontario et de l'Iowa-Illinois sur le marché du maïs en 2012 et en 2050



Annexe E : Questionnaire transmis aux experts spécialisés dans la production de pommes

Objectif de l'étude et de la démarche :

Notre étude vise à définir la position concurrentielle de la production québécoise de pommes dans un contexte de changements climatiques pour un horizon 2050. Afin de valider nos scénarios d'impacts des changements climatiques sur la position concurrentielle de la production de pommes, nous mettons en branle un processus de consultation d'experts. Il s'agit donc d'une démarche par laquelle un premier questionnaire vous est transmis. Nous vous demandons de bien vouloir le compléter au meilleur de vos connaissances. Par la suite, nous compilerons les résultats provenant de tous les experts contactés et nous vous recontacterons avec cette nouvelle information afin de vous demander une fois de plus votre avis. Notez que votre nom et votre participation ne seront connus que des chercheurs qui réalisent cette étude. Votre nom ne sera pas mentionné aux autres experts et ne sera pas communiqué sans votre permission, dans nos publications.

Ce questionnaire est en deux phases. Dans un premier temps nous vous présenterons un scénario de changements climatiques sur le Québec avec des questions s'y rapportant. Dans un deuxième temps nous vous présenterons des scénarios succincts concernant les régions concurrentes au Québec ainsi que des questions sur la position concurrentielle du Québec.

Pommes

La zone de production de pommes au Québec se concentre présentement en Montérégie, en Estrie et dans la région de Montréal, Laval, Laurentides et l'Outaouais.

Les prévisions climatiques à l'horizon 2050 pour le Québec indiquent que les températures estivales au Sud du Québec (sous le 48° parallèle³²) devraient augmenter de 1,9 à 3°C alors que les températures hivernales pour la même région devraient augmenter de 2,5 à 3,8°C. Selon la littérature consultée, cette hausse des températures se traduira par une période hivernale plus courte. Ainsi, le premier gel devrait survenir de 15 à 18 jours plus tard alors que le dernier gel devrait survenir 12 à 20 jours plus tôt.

L'augmentation des températures devrait aussi accroître la force et l'occurrence des événements climatiques extrêmes (verglas, vents violents, orages, sécheresses) et entraîner une modification de la présence d'insectes nuisibles, de pathogènes et de maladies fongiques.

De plus, cette augmentation des températures devrait affecter l'évaporation estivale alors que les précipitations estivales du Sud de la province ne devraient pas subir de modifications importantes. Par ailleurs, les précipitations hivernales devraient augmenter mais essentiellement sous forme de pluie, entraînant une diminution importante du couvert de neige. Ainsi, le déficit hydrique devrait croître de 34% pour se fixer à 106 mm par an.

Toutefois, des régions productrices de pommes ayant présentement des conditions similaires à celles qui prévaudront au Québec en 2050 démontrent que des mesures d'adaptation pourront être mises en place, comme l'irrigation pour contrer le déficit hydrique ou un accroissement des applications d'insecticides pour lutter contre la prolifération des ravageurs.

En prenant en considération tous ces facteurs, la littérature indique qu'il devrait y avoir un allongement de la saison de croissance des pommes de 23 à 32 jours. Cumulé, avec l'impact positif de l'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère qui devrait permettre une plus grande production de biomasse, de nouveaux cultivars devraient pouvoir être utilisés au Québec de façon à produire des variétés qui ne sont pas

³² Soit sous une ligne reliant Trois-Pistoles à Val-d'Or.

présentes dans la province en 2012. L'augmentation des températures devrait aussi permettre une expansion de l'aire de culture vers le Nord des variétés présentement utilisées.

Par ailleurs, les vergers québécois sont composés à 33% de pommiers de hauteur standard qui ont une densité de 143 arbres/ha. Cette catégorie d'arbres tend à diminuer pour laisser la place aux pommiers nains (23% des superficies et une densité de 800 arbres/ha) et de pommiers semi-nains (44% des superficies et une densité de 366 arbres/ha), notamment en raison du programme de Modernisation des vergers d'arbres fruitiers au Québec mis en place par le MAPAQ. Il est donc prévu que d'ici 2050, ce soient 100% des superficies qui soient consacrées aux pommiers nains, augmentant dès lors la densité moyenne et donc le rendement à l'hectare des vergers.

À la lumière de ces informations et au meilleur de vos connaissances, nous aimerions que vous répondiez, dans un premier temps, aux questions suivantes. Des réponses détaillées et justifiées seraient grandement appréciées.

1. Croyez-vous que notre scénario soit réaliste?

2. Selon-vous, avons nous omis de considérer des éléments importants?

3. Croyez-vous que l'augmentation des événements climatiques extrêmes (vents violents, orages, sécheresses, inondations, verglas) aura un impact significatif sur la production de pommes au Québec?

4. Selon vos connaissances actuelles, veuillez remplir le tableau suivant en identifiant les rendements futurs que chacune des régions du Québec devrait obtenir ainsi qu'en estimant la variation annuelle des rendements pour chacune des régions en ne considérant que l'impact des changements climatiques.

Régions administratives	Rendements actuels (kg/unité arbre)	Rendements en 2050 (kg/unité arbre)	Variance annuelle des rendements (kg/unité arbre)
Québec	148,4		
Centre-du-Québec	176,6		
Estrie	210,0		
Saint-Hyacinthe	204,0		
Sud-ouest de Montréal	180,3		
Abitibi-Témiscamingue	80,3		
Laurentides-Lanaudière	227,2		
Haut-Richelieu	197,3		
Bas-Saint-Laurent/Gaspésie	-		
Saguenay-Lac-Saint-Jean	-		

5. Selon vos connaissances actuelles, veuillez remplir le tableau suivant en identifiant les rendements futurs que chacune des régions du Québec devrait obtenir ainsi qu'en estimant la variation annuelle des rendements pour chacune des régions en ne considérant que la modification de la densité des vergers

Régions administratives	Rendements actuels (kg/unité arbre)	Rendements en 2050 (kg/unité arbre)	Variance annuelle des rendements (kg/unité arbre)
Québec	148,4		
Centre-du-Québec	176,6		
Estrie	210,0		
Saint-Hyacinthe	204,0		
Sud-ouest de Montréal	180,3		
Abitibi-Témiscamingue	80,3		
Laurentides-Lanaudière	227,2		
Haut-Richelieu	197,3		
Bas-Saint-Laurent/Gaspésie	-		
Saguenay-Lac-Saint-Jean	-		

6. Selon vos connaissances actuelles, veuillez remplir le tableau suivant en identifiant les rendements futurs que chacune des régions du Québec devrait obtenir ainsi qu'en estimant la variation annuelle des rendements pour chacune des régions en considérant l'impact des changements climatiques et la modification de la densité des vergers.

Régions administratives	Rendements actuels (kg/unité arbre)	Rendements en 2050 (kg/unité arbre)	Variance annuelle des rendements (kg/unité arbre)
Québec	148,4		
Centre-du-Québec	176,6		
Estrie	210,0		
Saint-Hyacinthe	204,0		
Sud-ouest de Montréal	180,3		
Abitibi-Témiscamingue	80,3		
Laurentides-Lanaudière	227,2		
Haut-Richelieu	197,3		
Bas-Saint-Laurent/Gaspésie	-		
Saguenay-Lac-Saint-Jean	-		

7. Selon vos connaissances, veuillez remplir le tableau suivant en identifiant les différences (en dollars 2012) des pratiques culturales qu'engendreront les changements climatiques sur la production de pommiers à haute densité à l'horizon 2050.

Postes de dépenses	Utilisation actuelle	Utilisation en 2050	Variation annuelle des coûts
Temps pour la récolte d'un coffre de pommes	1,75 heure		
Herbicides	640 \$/ha		
Fertilisants	300 kg/ha (15,5-0-0) 100 kg/ha (0-0-22-11)		
Irrigation	7,8% des terres en culture		

8. Croyez-vous que les changements climatiques seront un facteur déterminant dans la modification de la structure de production des pommes au Québec d'ici 2050 ou croyez-vous qu'un autre facteur aura un impact plus important que les changements climatiques?

9. Quel impact croyez-vous que le passage des pommiers à basse densité aux pommiers à haute densité aura sur la production québécoise?

10. Dans un contexte de changements climatiques, croyez-vous que les pommiers à haute densité réagiront de façons différentes des pommiers à haute densité?

11. Considérant que 43% des pommes québécoises sont destinées à la transformation, croyez-vous que le passage aux pommiers à haute densité modifiera la quantité de pommes qui y sera dirigé?

12. Croyez-vous qu'il y aura une modification des variétés qui seront produites à la suite du passage aux pommiers à haute densité?

Passons maintenant aux scénarios des régions concurrentes du Québec en production de pommes, soient l'Ontario, la Colombie-Britannique et l'État de Washington.

Ontario

La température hivernale en Ontario devrait augmenter de 2 à 3,5°C d'ici 2050 alors que la température estivale devrait augmenter de 2 à 3°C. De cette façon, la saison de croissance devrait augmenter de 30 à 45 jours permettant une diversification de l'offre de variétés de pommes. Toutefois, il devrait y avoir une diminution des précipitations causant une augmentation du stress hydrique et donc de l'irrigation des vergers.

Colombie-Britannique

La température hivernale de la Colombie-Britannique devrait augmenter de 0,6 à 3,6°C d'ici 2050 alors que la température estivale devrait augmenter de 1,4 à 4,4°C. La saison de croissance devrait ainsi être augmentée de 10 à 30 jours faisant croître les rendements de 16%. Cette augmentation de la température devrait augmenter la superficie disponible pour la production de pommes d'entre 160 et 250 km vers le Nord et de 200 à 250 m en altitude. Par contre, la diminution anticipée des précipitations estivales devrait entraîner une augmentation des besoins en irrigation pouvant se traduire par de nouvelles problématiques d'accès à l'eau. De plus, l'augmentation des températures entraînera une diminution de la taille des glaciers ce qui causera une diminution du flux des cours d'eau du bassin de la rivière Columbia de 20 à 90%.

État de Washington

La température hivernale de l'État de Washington devrait augmenter de 0,6°C d'ici 2050 alors qu'elle devrait diminuer de 0,7°C en été. Comme pour la Colombie-Britannique, la saison de croissance devrait ainsi être augmentée de 10 à 30 jours faisant croître les rendements de 16%. Toutefois, l'utilisation de l'eau est actuellement rationnée environ 1 année sur 7 et malgré une augmentation des précipitations estivales de 16%, le rationnement devrait survenir 2 années sur 5.

À la lumière de ces informations et au meilleur de vos connaissances, nous aimerions que vous répondiez, dans un premier temps, aux questions suivantes. Des réponses détaillées et justifiées seraient grandement appréciées.

13. Croyez-vous que nos scénarios soient réalistes?

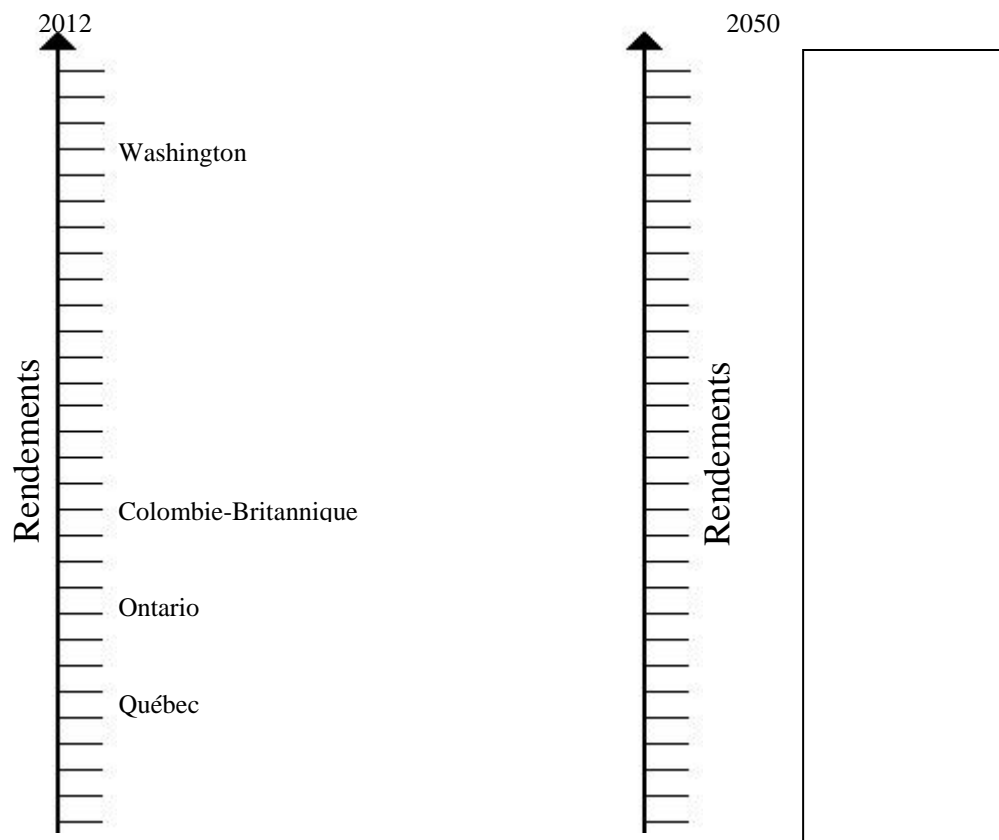
A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for the respondent to provide an answer to question 13.

14. Selon-vous, avons nous omis de considérer des éléments importants?

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for the respondent to provide an answer to question 14.

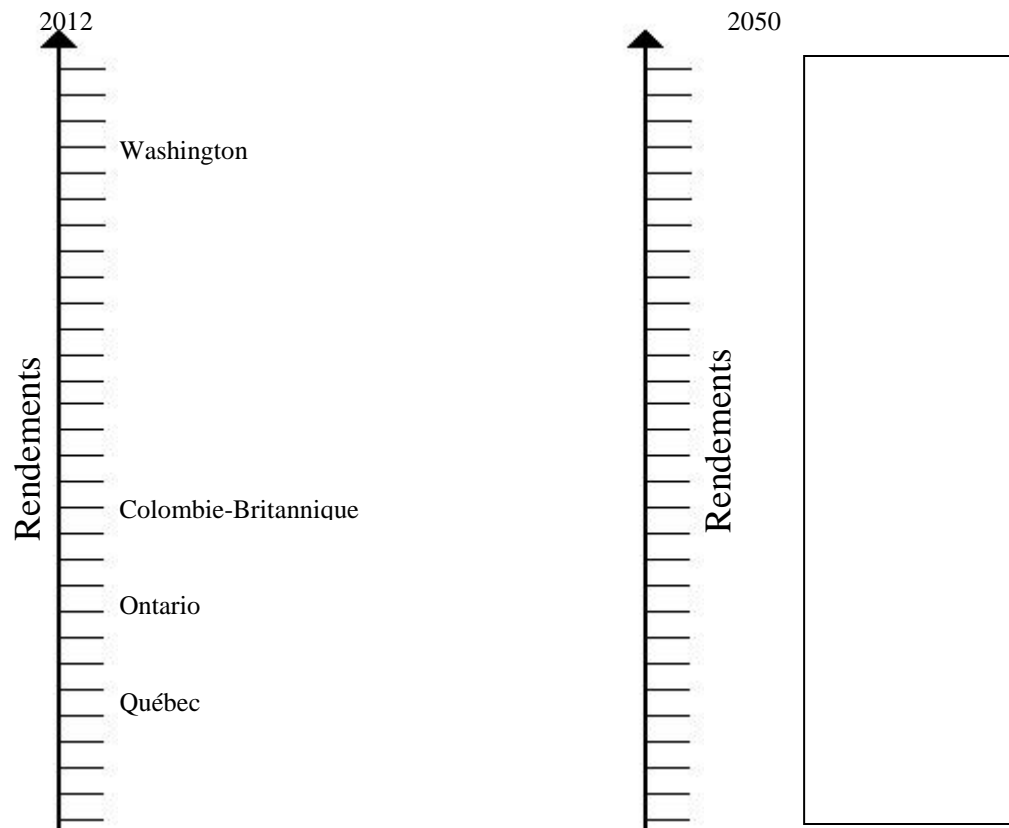
15. À l'aide de l'échelle 1, indiquez vos prévisions d'augmentation des rendements d'un point de vue relatif **en ne considérant que l'impact des changements climatiques** (sur l'échelle 2012, la position de l'État de Washington indique que les rendements y sont plus élevés qu'au Québec et qu'en Ontario).

Échelle 1 : Position relative du Québec, de l'Ontario, de la Colombie-Britannique et de l'État de Washington quant au rendement de la pomiculture en 2012 et en 2050



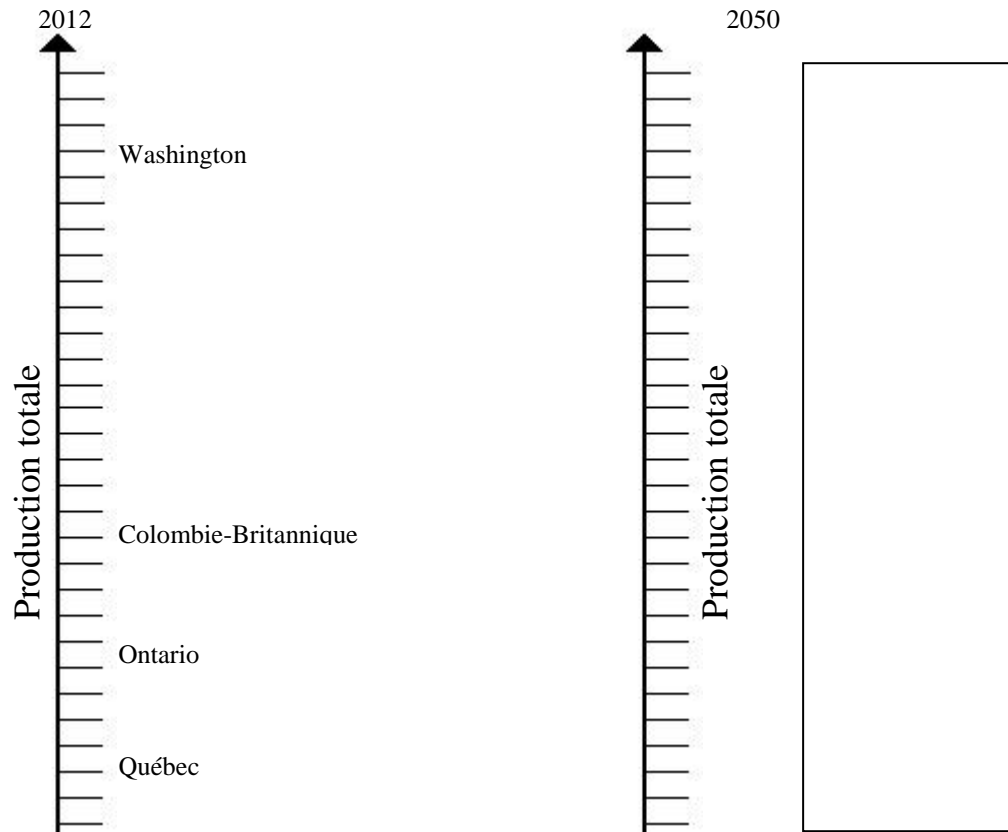
17. À l'aide de l'échelle 3, et en prenant en considération vos réponses aux échelles 1 et 2, indiquez vos prévisions quant à la position relative du Québec au niveau de l'augmentation des rendements (sur l'échelle 2012, la position de l'État de Washington indique que les rendements y sont plus élevés qu'au Québec et qu'en Ontario).

Échelle 3 : Position relative du Québec, de l'Ontario, de la Colombie-Britannique et de l'État de Washington quant au rendement de la pomiculture en 2012 et en 2050



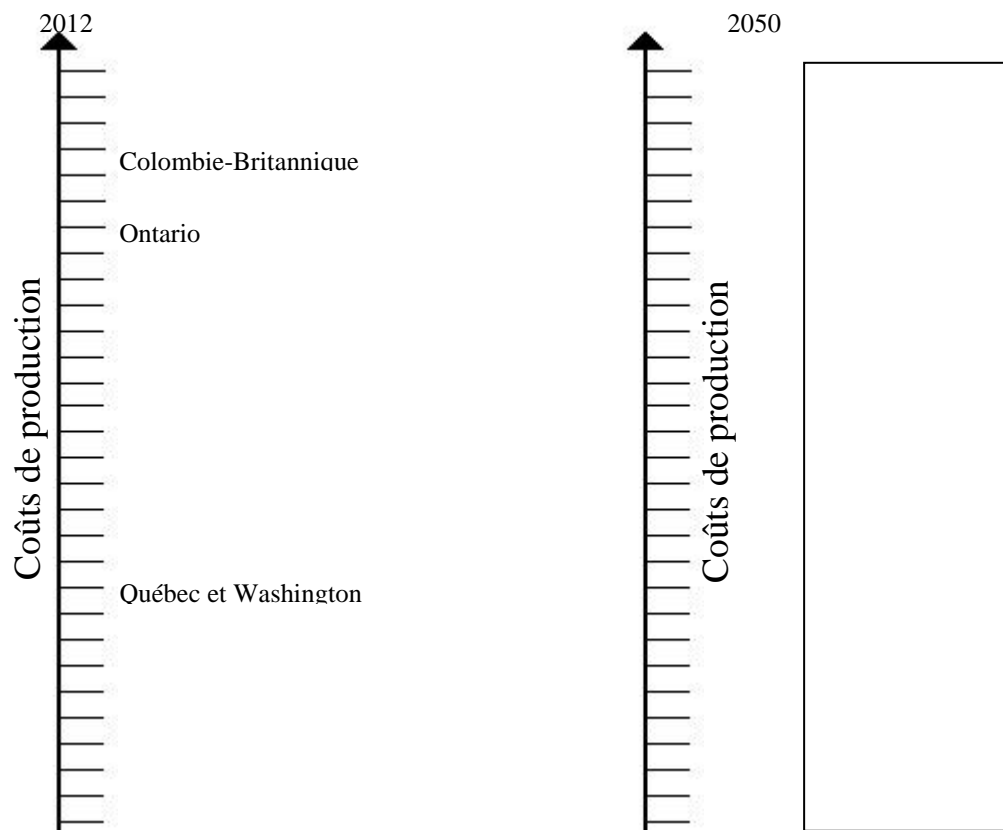
19. À l'aide de l'échelle 5, et en prenant en considération vos réponses aux échelles 1 et 4, soit en ne considérant que l'impact des changements climatiques, indiquez vos prévisions quant à la position relative du Québec comme producteur de pommes (sur l'échelle 2012, la position de l'État de Washington indique que la production totale y est plus élevée qu'au Québec et qu'en Ontario).

Échelle 5 : Position relative du Québec, de l'Ontario, de la Colombie-Britannique et de l'État de Washington quant à la production totale de pommes en 2012 et en 2050



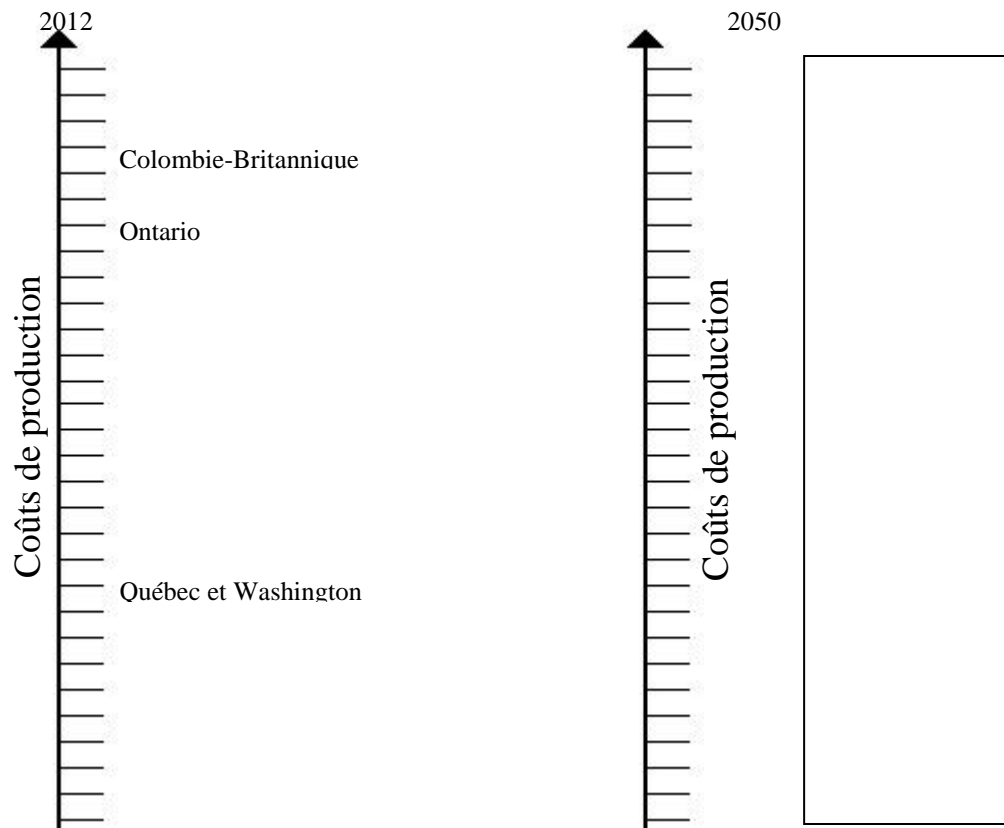
20. À l'aide de l'échelle 6, indiquez vos prévisions quant à la position relative du Québec au chapitre des coûts de production **en ne considérant que l'impact des changements climatiques** (sur l'échelle 2012, la position de la Colombie-Britannique indique que les coûts de production y sont **plus** élevés qu'au Québec et que dans l'État de Washington).

Échelle 6 : Position relative du Québec, de l'Ontario, de la Colombie-Britannique et de l'État de Washington quant au coût de production de la pomme en 2012 et en 2050 (impact des changements climatiques)



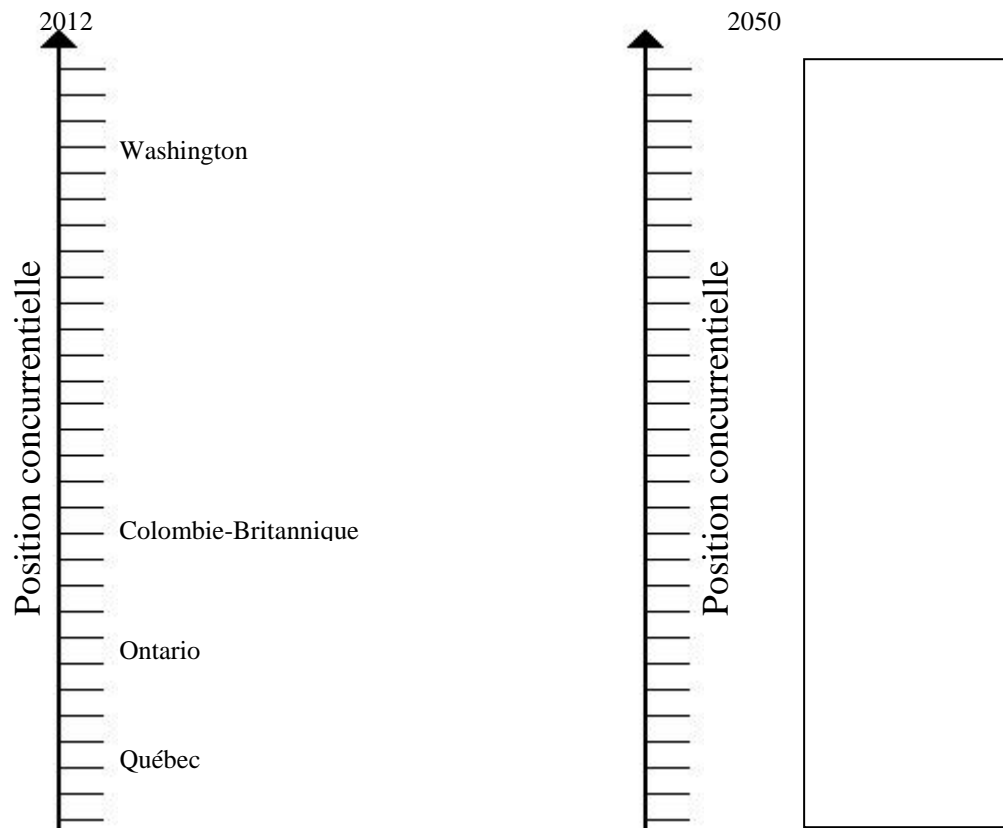
22. À l'aide de l'échelle 8, et en prenant en considération vos réponses aux échelles 6 et 7, indiquez vos prévisions quant à la position relative du Québec comme producteur de pommes au niveau des coûts de production (changements climatiques et modification des densités) (sur l'échelle 2012, la position de la Colombie-Britannique indique que les coûts de production y sont **plus** élevés qu'au Québec et que dans l'État de Washington).

Échelle 8 : Position relative du Québec, de l'Ontario, de la Colombie-Britannique et de l'État de Washington quant au coût de production de la pomme en 2012 et en 2050 (effets cumulés)



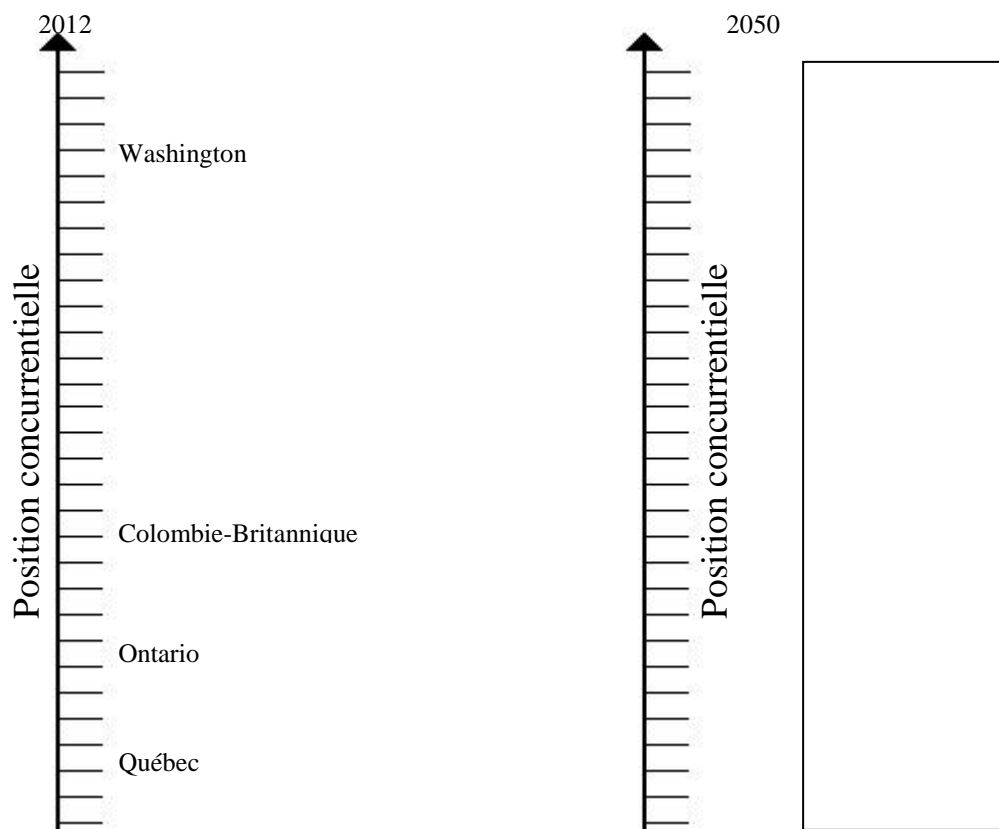
23. À l'aide de l'échelle 9, et en prenant en considération vos réponses aux échelles 5 et 6, **soit en ne considérant que l'impact des changements climatiques sur les coûts de production, l'augmentation des rendements et des superficies**, indiquez vos prévisions quant à la position concurrentielle relative du Québec comme producteur de pommes (sur l'échelle 2012, la position de l'État de Washington indique que la position concurrentielle y est plus favorable qu'au Québec et qu'en Ontario).

Échelle 9 : Position concurrentielle relative du Québec, de l'Ontario, de la Colombie-Britannique et de l'État de Washington sur le marché de la pomme en 2012 et en 2050



24. À l'aide de l'échelle 10, et en prenant en considération vos réponses aux échelles 3, 4 et 8, **soit en considérant autant l'impact des changements climatiques que la modification de la densité des vergers sur les coûts de production, l'augmentation des superficies et des rendements**, indiquez vos prévisions quant à la position relative du Québec comme producteur de pommes (sur l'échelle 2012, la position de l'État de Washington indique que la position concurrentielle y est plus favorable qu'au Québec et qu'en Ontario).

Échelle 10 : Position concurrentielle relative du Québec, de l'Ontario, de la Colombie-Britannique et de l'État de Washington sur le marché de la pomme en 2012 et en 2050



Annexe F : Questionnaire transmis aux experts spécialisés dans la production de cultures pérennes fourragères

Objectif de l'étude et de la démarche :

Notre étude vise à définir la position concurrentielle de la production québécoise des cultures pérennes fourragères dans un contexte de changements climatiques pour un horizon 2050. Afin de valider nos scénarios d'impacts des changements climatiques sur la position concurrentielle de la production de cultures pérennes fourragères, nous mettons en branle un processus de consultation d'experts. Il s'agit donc d'une démarche par laquelle un premier questionnaire vous est transmis. Nous vous demandons de bien vouloir le compléter au meilleur de vos connaissances. Par la suite, nous compilerons les résultats provenant de tous les experts contactés et nous vous recontacterons avec cette nouvelle information afin de vous demander une fois de plus votre avis. Notez que votre nom et votre participation ne seront connus que des chercheurs qui réalisent cette étude. Votre nom ne sera pas mentionné aux autres experts et ne sera pas communiqué, sans votre permission, dans nos publications.

Ce questionnaire est en deux phases. Dans un premier temps nous vous présenterons un scénario de changements climatiques sur le Québec avec des questions s'y rapportant. Dans un deuxième temps nous vous présenterons des scénarios succincts concernant les régions concurrentes au Québec ainsi que des questions sur la position concurrentielle du Québec.

Cultures pérennes fourragères

La zone de production de foin au Québec s'étend présentement sur l'ensemble des régions habitées du Québec.

Les prévisions climatiques à l'horizon 2050 pour le Québec indiquent que les températures estivales au Sud du Québec (sous le 48^e parallèle³³) devraient augmenter de 1,9 à 3°C alors que les températures hivernales pour la même région devraient augmenter de 2,5 à 3,8°C. Selon la littérature consultée, cette hausse des températures se traduira par une période hivernale plus courte. Ainsi, le premier gel devrait survenir de 15 à 18 jours plus tard alors que le dernier gel devrait survenir 12 à 20 jours plus tôt.

L'augmentation des températures devrait aussi accroître la force et l'occurrence des événements climatiques extrêmes (verglas, vents violents, orages, sécheresses) et entraîner une modification de la présence d'insectes nuisibles, de pathogènes et de maladies fongiques. Notamment, l'augmentation de la concentration en CO₂ devrait favoriser le développement de mauvaises herbes.

De plus, cette augmentation des températures devrait affecter l'évaporation estivale alors que les précipitations estivales du Sud de la province ne devraient pas subir de modifications importantes. Par ailleurs, les précipitations hivernales devraient augmenter mais essentiellement sous forme de pluie, entraînant une diminution importante du couvert de neige. Ainsi, le déficit hydrique devrait croître de 34% pour se fixer à 106 mm par an. Par contre, dans les régions au Nord du 48^e parallèle, le couvert de neige devrait augmenter, diminuant du même coup les risques de dommages des cultures.

Toutefois, l'observation des caractéristiques des régions productrices de foin ayant présentement des conditions similaires à celles qui prévaudront au Québec en 2050 indique que des mesures d'adaptation pourront être mises en place, comme l'irrigation pour contrer le déficit hydrique ou comme une meilleure application des insecticides pour lutter contre la prolifération des ravageurs.

En prenant en considération tous ces facteurs et la capacité d'adaptation des producteurs agricoles, la littérature indique que les rendements de foin augmenteront dans les régions du Québec où cette culture est présente. Plus

³³ Soit sous une ligne reliant Trois-Pistoles à Val-d'Or.

particulièrement, la généralisation à travers le Québec d'une troisième coupe devrait permettre une augmentation des rendements de 2 à 5 t/ha.

Tableau 1 : Rendement moyen (t/ha) des régions productrices de foin du Québec (Adapté de Institut de la Statistique du Québec, 2012)

Régions administratives	2007-2008
Capitale-Nationale/Mauricie	5,62
Estrie	5,35
Montréal/Laval/Lanaudière	6,33
Outaouais/Laurentides	4,17
Chaudière-Appalaches	5,27
Montérégie	6,83
Centre-du-Québec	5,39
Bas-Saint-Laurent/Gaspésie	4,29
Saguenay-Lac-Saint-Jean/Côte-Nord	3,84
Abitibi-Témiscamingue/Nord-du-Québec	2,84
Tout le Québec	5,05

À la lumière de ces informations et au meilleur de vos connaissances, nous aimerions que vous répondiez, dans un premier temps, aux questions suivantes. Des réponses détaillées et justifiées seraient grandement appréciées.

1. Croyez-vous que notre scénario soit réaliste?

2. Selon vous, avons-nous omis de considérer des éléments importants?

3. Croyez-vous que l'augmentation des événements climatiques extrêmes (vents violents, orages, sécheresses, inondations) aura un impact significatif sur la production de foin au Québec?

4. Selon vos connaissances actuelles, veuillez remplir le tableau suivant en identifiant les rendements futurs que chacune des régions du Québec devrait obtenir ainsi qu'en estimant la variation annuelle des rendements pour chacune des régions.

Régions administratives	2007-2008	Rendements en 2050 (t/ha)	Variance annuelle des rendements (t/ha)	Changement au niveau de la qualité
Capitale-Nationale/Mauricie	5,62			
Etrie	5,35			
Montréal/Laval/Lanaudière	6,33			
Outaouais/Laurentides	4,17			
Chaudière-Appalaches	5,27			
Montérégie	6,83			
Centre-du-Québec	5,39			
Bas-Saint-Laurent/Gaspésie	4,29			
Saguenay-Lac-Saint-Jean/Côte-Nord	3,84			
Abitibi-Témiscamingue/Nord-du-Québec	2,84			
Tout le Québec	5,05			

5. Selon vos connaissances actuelles, veuillez remplir le tableau suivant en identifiant les différences (en dollars 2012, c'est-à-dire si le niveau des prix en 2050 était le même que présentement) sur les pratiques culturales qu'engendreront les changements climatiques à l'horizon 2050.

Postes de dépenses	Utilisation actuelle	Utilisation en 2050 liées au CC	Variation annuelle des coûts
Fertilisants	0,33 t/ha	0.8t/ha	
Herbicides	0,8 traitement/an	1 traite/an	
Nombre de coupes	2/an	4/an	
Main-d'œuvre	3,8 h/ha	5h/ha	
Irrigation	0% des terres en culture	0	

6. Croyez-vous que les changements climatiques seront un facteur déterminant dans la modification de la structure de production de foin au Québec d'ici 2050 ou croyez-vous qu'un autre facteur aura un impact plus important que les changements climatiques?

Passons maintenant au scénario de la principale région concurrente du Québec en production de foin, soit l'Ontario.

Ontario

La température de l'Ontario devrait augmenter entre 2 et 3,5°C d'ici 2050 allongeant la saison de croissance de 30 à 45 jours. De plus, il devrait y avoir une diminution des précipitations estivales qui devrait contribuer à l'augmentation du stress hydrique. Comme au Québec, l'augmentation de la concentration en gaz carbonique dans l'atmosphère devrait entraîner une augmentation de la prolifération des mauvaises herbes qui pourront être contrôlées par des applications plus intensives d'herbicides. De cette façon, il devrait y avoir une généralisation

d'une troisième coupe à travers l'Ontario faisant augmenter les rendements de 2 à 5 t/ha. Les fourrages pourront aussi profiter d'une diminution des journées de froid extrême diminuant les risques pour les cultures.

À la lumière de ces informations et au meilleur de vos connaissances, nous aimerions que vous répondiez aux questions suivantes. Des réponses détaillées et justifiées seraient grandement appréciées.

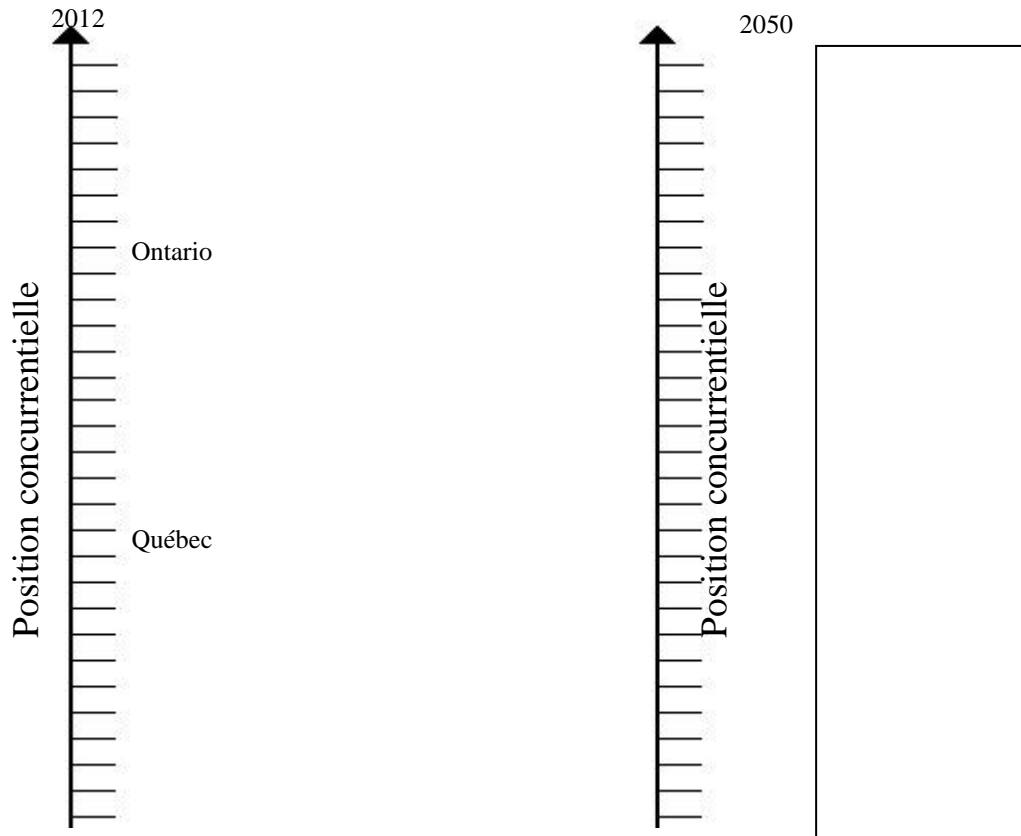
7. Croyez-vous que notre scénario soit réaliste?

8. Selon vous, avons-nous omis de considérer des éléments importants?

9. Quel impact l'augmentation des rendements aura-t-elle sur la quantité de fourrages échangée?

12. À l'aide de l'échelle 3, indiquez vos prévisions quant à la position concurrentielle relative du Québec en prenant en considération les rendements, les superficies, les coûts de production, la modification de la qualité des fourrages et la modification des habitudes commerciales (sur l'échelle 2012, la position de l'Ontario indique que la position concurrentielle lui est plus favorable qu'au Québec).

Échelle 3 : Position concurrentielle relative du Québec et de l'Ontario sur le marché des fourrages en 2012 et en 2050



Annexe G : Coûts de production actuels dans le secteur du maïs-grain au Québec

	Total	\$/ha	\$/t
Coûts variables			
Semences nettes	41 982,94	231,26	29,27
Fertilisants nets	65 232,41	359,33	45,48
Chaux	2 142,17	11,80	1,49
Herbicides	19 751,55	108,80	13,77
Location machinerie et bâtiments	2 219,43	12,23	1,55
Location fonds de terre	16 878,04	92,97	11,77
Entretien machinerie	14 503,48	79,89	10,11
Salaires employés et retenues	13 597,35	74,90	9,48
Carburants et propane	32 448,46	178,74	22,63
Frais de séchage	28 683,32	158,00	20,00
Frais d'entreposage	1 764,02	9,72	1,23
Travaux à forfait	3 823,23	21,06	2,67
Plan conjoint	1 792,71	9,88	1,25
Autres frais de mise en marché	-	-	-
Électricité	1 882,57	10,37	1,31
Intérêts à court terme	1 906,17	10,50	1,33
Cotisation ASRA	2 448,97	13,49	1,71
Irrigation	-	-	-
Total des coûts variables	251 056,82	1 382,93	175,05
Coûts fixes			
Entretien des bâtiments et fonds de terre	4 340,62	23,91	3,03
Assurances	4 033,82	22,22	2,81
Taxes foncières nettes	922,22	5,08	0,64
Intérêts sur emprunts à MT et LT	12 647,89	69,67	8,82
Autres coûts	5 408,08	29,79	3,77
Total des coûts fixes	27 352,63	150,67	19,07
Autres coûts			
Amortissements	30 191,92	166,31	21,05
Rémunération de l'exploitant	37 176,45	204,78	25,92
Rémunération de la famille	-	-	-
Rémunération avoir net	18 465,80	101,72	12,88
Total autres coûts	85 834,17	472,81	59,85
Total des coûts	364 243,63 \$	2 006,41 \$	253,98 \$
Revenus en moins			
Assurance récolte nette	3 746,99	20,64	2,61
Revenus divers	3 175,13	17,49	2,21
Total des revenus en moins (E)	6 922,12	38,13	4,83
Coûts de production totaux	357 321,51 \$	1 968,28 \$	249,15 \$
Revenus de la culture du maïs	250 979,05 \$	1 382,50 \$	175,00 \$

Annexe H: Coûts de production actuels dans le secteur des pommes au Québec

	Très haute densité	Haute densité	Moyenne densité
Pommier par hectare	2246	1667	685
Coûts totaux d'implantation par hectare			
Coûts totaux	37 752,72 \$	30 201,28 \$	18 278,20 \$
Coût pour le matériel	32 282,54 \$	25 086,92 \$	13 446,50 \$
Coût pour la main-d'œuvre	5 470,19 \$	5 114,36 \$	4 831,70 \$
Détail des coûts d'implantation par densité			
Intrant préparation du terrain	2 084,75 \$	2 026,77 \$	1 928,46 \$
Main d'œuvre préparation du terrain	2 662,18 \$	2 662,18 \$	2 662,18 \$
Matériel pour le tuteurage	3 192,29 \$	2 834,76 \$	2 634,05 \$
Main d'œuvre pour le tuteurage	2 062,76 \$	1 847,42 \$	1 757,98 \$
Matériel pour la plantation	22 298,98 \$	16 549,56 \$	6 801,19 \$
Main d'œuvre pour la plantation	745,25 \$	604,76 \$	411,55 \$
Enherbement	322,17 \$	173,83 \$	173,83 \$
Irrigation	3 170,82 \$	2 353,28 \$	967,10 \$
Pesticide, herbicide et fongicide	1 213,53 \$	1 148,73 \$	941,87 \$
Coûts totaux d'entretien annuel par hectare			
Pommier non productif			
Coûts totaux	3 614,52 \$	3 103,42 \$	2 656,63 \$
Coût pour le matériel	1 762,26 \$	1 729,08 \$	1 506,68 \$
Coût pour la main-d'œuvre	1 852,26 \$	1 374,34 \$	1 149,95 \$
Détail des coûts d'entretien annuel des pommiers non productif par densité			
Pesticides	740,34 \$	797,55 \$	797,55 \$
Fertilisants	191,08 \$	189,09 \$	116,56 \$
Fauchage	97,65 \$	97,65 \$	97,65 \$
Pliage des branches	44,72 \$	33,19 \$	13,64 \$
Fourniture de verger	298,11 \$	221,25 \$	90,92 \$
Machinerie	390,36 \$	390,36 \$	390,36 \$
Autres frais	-	-	-
Pommier productif			
Coûts totaux	4 712,52 \$	4 554,20 \$	4 404,12 \$
Coût pour le matériel	2 409,02 \$	2 298,21 \$	2 113,87 \$
Coût pour la main-d'œuvre	2 303,50 \$	2 255,99 \$	2 290,25 \$
Détail des coûts d'entretien annuel des pommiers productif par densité			
Pesticides	1 084,46 \$	1 141,67 \$	1 141,67 \$
Chaux	51,82 \$	51,82 \$	51,82 \$
Fertilisant	256,00 \$	164,85 \$	110,84 \$
Analyse (sol et feuille)	21,06 \$	21,06 \$	21,06 \$
Engrais foliaires	237,85 \$	237,85 \$	237,85 \$
Fauchage	69,36 \$	69,36 \$	69,36 \$
Fourniture de verger	298,11 \$	221,25 \$	90,92 \$
Machinerie	390,36 \$	390,36 \$	390,36 \$

Autres frais	-	-	-
--------------	---	---	---

Annexe I: Coûts de production actuels dans le secteur des cultures pérennes fourragères au Québec

	1ère année	2ième année	3ième année	4ième année	5ième année	Total
	Total/ha	Total/ha	Total/ha	Total/ha	Total/ha	Total/ha
	\$	\$	\$	\$	\$	\$
Coûts variables						
Semences nettes	87,87	-	-	-	-	87,87
Fertilisants nets	173,46	268,23	268,23	268,49	187,97	1 166,37
Chaux	94,30	-	-	-	-	94,30
Herbicides	40,07	-	-	-	-	40,07
Ficelle	-	15,29	14,10	14,10	9,39	52,89
Utilisation de la machinerie	79,95	123,32	117,52	117,52	70,16	508,47
Séchage du foin	-	28,45	26,26	26,26	17,51	98,49
Location fonds de terre	-	290,68	268,32	268,32	178,88	1 006,20
Main d'œuvre	15,00	63,00	61,50	61,50	51,00	252,00
Autres frais de mise en marché	-	-	-	-	-	-
Électricité	-	-	-	-	-	-
intérêts à court terme	5,98	5,74	5,59	5,59	3,76	26,66
Irrigation	-	-	-	-	-	-
Total des coûts variables	496,62	794,71	761,53	761,79	518,67	3 333,32
Coûts fixes						
Entretien des bâtiments et fonds de terre	-	-	-	-	-	-
Assurances	-	-	-	-	-	-
Taxes foncières nettes	-	-	-	-	-	-
Intérêts sur emprunts à MT et LT	-	-	-	-	-	-
Autres coûts	-	-	-	-	-	-
Total des coûts fixes	-	-	-	-	-	-
Autres coûts						
Amortissements	-	-	-	-	-	-
Amortissement de l'irrigation	-	-	-	-	-	-
Rémunération de l'exploitant	-	-	-	-	-	-
Rémunération de la famille	-	-	-	-	-	-
Rémunération avoir net	-	-	-	-	-	-
Total autres coûts	-	-	-	-	-	-
Total des coûts	496,62 \$	794,71 \$	761,53 \$	761,79 \$	518,67 \$	3 333,32 \$
Revenus en moins						
Assurance récolte nette	-	21,01	19,40	19,40	12,93	72,74
Revenus divers	-	-	-	-	-	-
Total des revenus en moins	-	21,01	19,40	19,40	12,93	72,74
Coûts de production	496,62 \$	773,69 \$	742,13 \$	742,39 \$	505,74 \$	3 260,58 \$
Revenus	- \$	838,50 \$	774,00 \$	774,00 \$	516,00 \$	2 902,50 \$

Annexe J: Coûts de production 2050 dans le secteur du maïs-grain au Québec

Tableau 29: Coûts de production du maïs-grain au Québec en 2050 pour le scénario bas

	Total (\$)	Variation en %	\$/ha	Variation en %	\$/t	Variation en %
Coûts variables						
Semences nettes	41 982,94	0,0%	231,26	0,0%	24,39	-16,7%
Fertilisants nets	65 232,41	0,0%	359,33	0,0%	37,90	-16,7%
Chaux	2 142,17	0,0%	11,80	0,0%	1,24	-16,7%
Herbicides	19 751,55	0,0%	108,80	0,0%	11,48	-16,7%
Location machinerie et bâtiments	2 219,43	0,0%	12,23	0,0%	1,29	-16,7%
Location fonds de terre	16 878,04	0,0%	92,97	0,0%	9,81	-16,7%
Entretien machinerie	15 953,83	+10,0%	87,88	+10,0%	9,27	-8,3%
Salaires employés et retenues	27 194,69	+100,0%	149,80	+100,0%	15,80	+66,7%
Carburants et propane	32 448,46	0,0%	178,74	0,0%	18,85	-16,7%
Frais de séchage	34 419,98	+20,0%	189,60	+20,0%	20,00	0,0%
Frais d'entreposage	2 116,83	+20,0%	11,66	+20,0%	1,23	0,0%
Travaux à forfait	3 823,23	0,0%	21,06	0,0%	2,22	-16,7%
Plan conjoint	2 151,25	+20,0%	11,85	+20,0%	1,25	0,0%
Autres frais de mise en marché	-	-	-	-	-	-
Électricité	1 882,57	0,0%	10,37	0,0%	1,09	-16,7%
intérêts à court terme	1 906,17	0,0%	10,50	0,0%	1,11	-16,7%
Cotisation ASRA	2 448,97	0,0%	13,49	0,0%	1,42	-16,7%
Irrigation	59 806,99	+10,0%	329,44	+10,0%	34,75	-8,3%
Total des coûts variables	332 359,52	+8,8%	1 830,78	+8,8%	193,12	-9,3%
Coûts fixes						
Entretien des bâtiments et fonds de terre	4 340,62	0,0%	23,91	0,0%	2,52	-16,7%
Assurances	4 033,82	0,0%	22,22	0,0%	2,34	-16,7%
Taxes foncières nettes	922,22	0,0%	5,08	0,0%	0,54	-16,7%
Intérêts sur emprunts à MT et LT	12 647,89	0,0%	69,67	0,0%	7,35	-16,7%
Autres coûts	5 408,08	0,0%	29,79	0,0%	3,14	-16,7%
Total des coûts fixes	27 352,63	0,0%	150,67	0,0%	15,89	-16,7%
Autres coûts						
Amortissements	49 692,92	+7,7%	273,73	+7,7%	28,87	-10,3%
Rémunération de l'exploitant	37 176,45	0,0%	204,78	0,0%	21,60	-16,7%
Rémunération de la famille	-	-	-	-	-	-
Rémunération avoir net	18 465,80	0,0%	101,72	0,0%	10,73	-16,7%
Total autres coûts	105 335,17	+3,5%	580,23	+3,5%	61,21	-13,8%
Total des coûts	465 047,31	+7,0%	2 561,68	+7,0%	270,22	-10,8%

Revenus en moins						
Assurance récolte nette	3 746,99	0,0%	20,64	0,0%	2,18	-16,7%
Revenus divers	3 175,13	0,0%	17,49	0,0%	1,84	-16,7%
Total des revenus en moins	6 922,12	0,0%	38,13	0,0%	4,02	-16,7%
Coûts de production totaux	458 125,19	+7,1%	2 523,55	+7,1%	266,20	-10,7%
Revenus de la culture du maïs	301 174,86	+20,0%	1 659,00	+20,0%	175,00	0,0%

Tableau 30: Coûts de production du maïs-grain au Québec en 2050 pour le scénario médian

	Total (\$)	Variation en %	\$/ha	Variation en %	\$/t	Variation en %
Coûts variables						
Semences nettes	41 982,94	0,0%	231,26	0,0%	20,91	-28,6%
Fertilisants nets	78 278,89	+20,0%	431,19	+20,0%	38,99	-14,3%
Chaux	2 142,17	0,0%	11,80	0,0%	1,07	-28,6%
Herbicides	19 751,55	0,0%	108,80	0,0%	9,84	-28,6%
Location machinerie et bâtiments	2 219,43	0,0%	12,23	0,0%	1,11	-28,6%
Location fonds de terre	16 878,04	0,0%	92,97	0,0%	8,41	-28,6%
Entretien machinerie	15 228,65	+5,0%	83,89	+5,0%	7,58	-25,0%
Salaires employés et retenues	20 396,02	+50,0%	112,35	+50,0%	10,16	+7,1%
Carburants et propane	32 448,46	0,0%	178,74	0,0%	16,16	-28,6%
Frais de séchage	40 156,65	+40,0%	221,20	+40,0%	20,00	0,0%
Frais d'entreposage	2 469,63	+40,0%	13,60	+40,0%	1,23	0,0%
Travaux à forfait	3 823,23	0,0%	21,06	0,0%	1,90	-28,6%
Plan conjoint	2 509,79	+40,0%	13,83	+40,0%	1,25	0,0%
Autres frais de mise en marché	-	-	-	-	-	-
Électricité	1 882,57	0,0%	10,37	0,0%	0,94	-28,6%
Intérêts à court terme	1 906,17	0,0%	10,50	0,0%	0,95	-28,6%
Cotisation ASRA	2 448,97	0,0%	13,49	0,0%	1,22	-28,6%
Irrigation	57 088,49	+5,0%	314,47	+5,0%	28,43	-25,0%
Total des coûts variables	341 611,66	+11,8%	1 881,74	+11,8%	170,14	-20,1%
Coûts fixes						
Entretien des bâtiments et fonds de terre	4 340,62	0,0%	23,91	0,0%	2,16	-28,6%
Assurances	4 033,82	0,0%	22,22	0,0%	2,01	-28,6%
Taxes foncières nettes	922,22	0,0%	5,08	0,0%	0,46	-28,6%
Intérêts sur emprunts à MT et LT	12 647,89	0,0%	69,67	0,0%	6,30	-28,6%
Autres coûts	5 408,08	0,0%	29,79	0,0%	2,69	-28,6%
Total des coûts fixes	27 352,63	0,0%	150,67	0,0%	13,62	-28,6%
Autres coûts						
Amortissements	49 692,92	+7,7%	273,73	+7,7%	24,75	-23,1%

Rémunération de l'exploitant	37 176,45	0,0%	204,78	0,0%	18,52	-28,6%
Rémunération de la famille	-	-	-	-	-	-
Rémunération avoir net	18 465,80	0,0%	101,72	0,0%	9,20	-28,6%
Total autres coûts	105 335,17	+3,5%	580,23	+3,5%	52,46	-26,1%
Total des coûts	474 299,46	+9,1%	2 612,64	+9,1%	236,22	-22,0%
Revenus en moins						
Assurance récolte nette	3 746,99	0,0%	20,64	0,0%	1,87	-28,6%
Revenus divers	3 175,13	0,0%	17,49	0,0%	1,58	-28,6%
Total des revenus en moins	6 922,12	0,0%	38,13	0,0%	3,45	-28,6%
Coûts de production totaux	467 377,34	+9,3%	2 574,51	+9,3%	232,78	-21,9%
Revenus de la culture du maïs	351 370,67	+40,0%	1 935,50	+40,0%	175,00	0,0%

Tableau 31: Coûts de production du maïs-grain au Québec en 2050 pour le scénario élevé

	Total (\$)	Variation en %	\$/ha	Variation en %	\$/t	Variation en %
Coûts variables						
Semences nettes	41 982,94	0,0%	231,26	0,0%	18,30	-37,5%
Fertilisants nets	91 325,37	+40,0%	503,06	+40,0%	39,80	-12,5%
Chaux	2 142,17	0,0%	11,80	0,0%	0,93	-37,5%
Herbicides	9 875,78	-50,0%	54,40	-50,0%	4,30	-68,8%
Location machinerie et bâtiments	2 219,43	0,0%	12,23	0,0%	0,97	-37,5%
Location fonds de terre	16 878,04	0,0%	92,97	0,0%	7,36	-37,5%
Entretien machinerie	14 503,48	0,0%	79,89	0,0%	6,32	-37,5%
Salaires employés et retenues	16 996,68	+25,0%	93,63	+25,0%	7,41	-21,9%
Carburants et propane	32 448,46	0,0%	178,74	0,0%	14,14	-37,5%
Frais de séchage	45 893,31	+60,0%	252,80	+60,0%	20,00	0,0%
Frais d'entreposage	2 822,44	+60,0%	15,55	+60,0%	1,23	0,0%
Travaux à forfait	3 823,23	0,0%	21,06	0,0%	1,67	-37,5%
Plan conjoint	2 868,33	+60,0%	15,80	+60,0%	1,25	0,0%
Autres frais de mise en marché	-	-	-	-	-	-
Électricité	1 882,57	0,0%	10,37	0,0%	0,82	-37,5%
intérêts à court terme	1 906,17	0,0%	10,50	0,0%	0,83	-37,5%
Cotisation ASRA	2 448,97	0,0%	13,49	0,0%	1,07	-37,5%
Irrigation	54 369,99	0,0%	299,49	0,0%	23,69	-37,5%
Total des coûts variables	344 387,37	+12,8%	1 897,03	+12,8%	150,08	-29,5%
Coûts fixes						
Entretien des bâtiments et fonds de terre	4 340,62	0,0%	23,91	0,0%	1,89	-37,5%
Assurances	4 033,82	0,0%	22,22	0,0%	1,76	-37,5%

Taxes foncières nettes	922,22	0,0%	5,08	0,0%	0,40	-37,5%
Intérêts sur emprunts à MT et LT	12 647,89	0,0%	69,67	0,0%	5,51	-37,5%
Autres coûts	5 408,08	0,0%	29,79	0,0%	2,36	-37,5%
Total des coûts fixes	27 352,63	0,0%	150,67	0,0%	11,92	-37,5%
Autres coûts						
Amortissements	49 692,92	+7,7%	273,73	+7,7%	21,66	-32,7%
Rémunération de l'exploitant	37 176,45	0,0%	204,78	0,0%	16,20	-37,5%
Rémunération de la famille	-	-	-	-	-	-
Rémunération avoir net	18 465,80	0,0%	101,72	0,0%	8,05	-37,5%
Total autres coûts	105 335,17	+3,5%	580,23	+3,5%	45,90	-35,3%
Total des coûts	477 075,16	+9,8%	2 627,93	+9,8%	207,91	-31,4%
Revenus en moins						
Assurance récolte nette	3 746,99	0,0%	20,64	0,0%	1,63	-37,5%
Revenus divers	3 175,13	0,0%	17,49	0,0%	1,38	-37,5%
Total des revenus en moins	6 922,12	0,0%	38,13	0,0%	3,02	-37,5%
Coûts de production totaux	470 153,04	+9,9%	2 589,80	+9,9%	204,89	-31,3%
Revenus de la culture du maïs	401 566,48	+60,0%	2 212,00	+60,0%	175,00	0,0%

Annexe K: Coûts de production 2050 dans le secteur des pommes au Québec

Tableau 32: Coûts de production de la pomme au Québec en 2050 pour le scénario bas

	Coûts totaux par hectare			Variation en %		
	Très haute densité	Haute densité	Moyenne densité	Très haute densité	Haute densité	Moyenne densité
Pommier par hectare	2246	1667	685	2246	1667	685
Coûts totaux d'implantation par hectare						
Coûts totaux	38 547 \$	30 925 \$	18 931 \$	+2,1%	+2,4%	+3,6%
Coût pour le matériel	32 870 \$	25 626 \$	13 924 \$	+1,8%	+2,1%	+3,6%
Coût pour la main-d'œuvre	5 676 \$	5 299 \$	5 008 \$	+3,8%	+3,6%	+3,6%
Détail des coûts d'implantation par densité						
Intrant préparation du terrain	2 085 \$	2 027 \$	1 928 \$	0,0%	0,0%	0,0%
Matériel pour le tuteurage	3 512 \$	3 118 \$	2 897 \$	+10,0%	+10,0%	+10,0%
Main d'œuvre pour le tuteurage	2 269 \$	2 032 \$	1 934 \$	+10,0%	+10,0%	+10,0%
Pesticide, herbicide et fongicide	1 482 \$	1 404 \$	1 156 \$	+22,1%	+22,2%	+22,7%
Coûts totaux d'entretien annuel par hectare						
Pommier non productif						
Coûts totaux	4 783,18 \$	4 036,88 \$	3 315,30 \$	+32,3%	+30,1%	+24,8%
Coût pour le matériel	2 004,80 \$	1 975,37 \$	1 739,94 \$	+13,8%	+14,2%	+15,5%
Coût pour la main-d'œuvre	2 778 \$	2 062 \$	1 575 \$	+50,0%	+50,0%	+37,0%
Détail des coûts d'entretien annuel des pommiers non productif par densité						
Pesticides	914 \$	983 \$	983 \$	+23,5%	+23,2%	+23,2%
Fertilisants	191,08 \$	189,09 \$	116,56 \$	0,0%	0,0%	0,0%
Fourniture de verger	327,93 \$	243,38 \$	100,02 \$	+10,0%	+10,0%	+10,0%
Machinerie	429,40 \$	429,40 \$	429,40 \$	+10,0%	+10,0%	+10,0%
Pommier productif						
Coûts totaux	6 201,61 \$	6 023,28 \$	5 186,07 \$	+31,6%	+32,3%	+17,8%
Coût pour le matériel	2 746,35 \$	2 639,30 \$	2 441,93 \$	+14,0%	+14,8%	+15,5%
Coût pour la main-d'œuvre	3 455 \$	3 384 \$	2 744 \$	+50,0%	+50,0%	+19,8%
Détail des coûts d'entretien annuel des pommiers productif par densité						
Pesticides	1 353 \$	1 422 \$	1 422 \$	+24,8%	+24,5%	+24,5%
Fertilisant	256,00 \$	164,85 \$	110,84 \$	0,0%	0,0%	0,0%
Fourniture de verger	327,93 \$	243,38 \$	100,02 \$	+10,0%	+10,0%	+10,0%
Machinerie	429,40 \$	429,40 \$	429,40 \$	+10,0%	+10,0%	+10,0%

Tableau 33: Coûts de production de la pomme au Québec en 2050 pour le scénario médian

	Coûts totaux par hectare			Variation en %		
	Très haute densité	Haute densité	Moyenne densité	Très haute densité	Haute densité	Moyenne densité
Pommier par hectare	2246	1667	685	2246	1667	685
Coûts totaux d'implantation par hectare						
Coûts totaux	38 171 \$	30 575 \$	18 602 \$	+1,1%	+1,2%	+1,8%
Coût pour le matériel	32 597 \$	25 369 \$	13 683 \$	+1,0%	+1,1%	+1,8%
Coût pour la main-d'œuvre	5 573 \$	5 207 \$	4 920 \$	+1,9%	+1,8%	+1,8%
Détail des coûts d'implantation par densité						
Intrant préparation du terrain	2 118,48 \$	2 051,80 \$	1 938,75 \$	+1,6%	+1,2%	+0,5%
Matériel pour le tuteurage	3 352 \$	2 977 \$	2 766 \$	+5,0%	+5,0%	+5,0%
Main d'œuvre pour le tuteurage	2 166 \$	1 940 \$	1 846 \$	+5,0%	+5,0%	+5,0%
Pesticide, herbicide et fongicide	1 335 \$	1 264 \$	1 036 \$	+10,0%	+10,0%	+10,0%
Coûts totaux d'entretien annuel par hectare						
Pommier non productif						
Coûts totaux	3 936,86 \$	3 379,55 \$	2 863,02 \$	+8,9%	+8,9%	+7,8%
Coût pour le matériel	1 899,38 \$	1 867,78 \$	1 627,98 \$	+7,8%	+8,0%	+8,1%
Coût pour la main-d'œuvre	2 037 \$	1 512 \$	1 235 \$	+10,0%	+10,0%	+7,4%
Détail des coûts d'entretien annuel des pommiers non productif par densité						
Pesticides	814 \$	877 \$	877 \$	+10,0%	+10,0%	+10,0%
Fertilisants	219,74 \$	217,45 \$	134,04 \$	+15,0%	+15,0%	+15,0%
Fourniture de verger	313,02 \$	232,31 \$	95,47 \$	+5,0%	+5,0%	+5,0%
Machinerie	409,88 \$	409,88 \$	409,88 \$	+5,0%	+5,0%	+5,0%
Pommier productif						
Coûts totaux	5 124,14 \$	4 949,27 \$	4 649,76 \$	+8,7%	+8,7%	+5,6%
Coût pour le matériel	2 590,29 \$	2 467,68 \$	2 268,73 \$	+7,5%	+7,4%	+7,3%
Coût pour la main-d'œuvre	2 534 \$	2 482 \$	2 381 \$	+10,0%	+10,0%	+4,0%
Détail des coûts d'entretien annuel des pommiers productif par densité						
Pesticides	1 193 \$	1 256 \$	1 256 \$	+10,0%	+10,0%	+10,0%
Fertilisant	294,40 \$	189,57 \$	127,46 \$	+15,0%	+15,0%	+15,0%
Fourniture de verger	313,02 \$	232,31 \$	95,47 \$	+5,0%	+5,0%	+5,0%
Machinerie	409,88 \$	409,88 \$	409,88 \$	+5,0%	+5,0%	+5,0%

Tableau 34: Coûts de production de la pomme au Québec en 2050 pour le scénario élevé

	Coûts totaux par hectare			Variation en %		
	Très haute densité	Haute densité	Moyenne densité	Très haute densité	Haute densité	Moyenne densité
Pommier par hectare	2246	1667	685	2246	1667	685
Coûts totaux d'implantation par hectare						
Coûts totaux	37 937 \$	30 353 \$	18 390 \$	+0,5%	+0,5%	+0,6%
Coût pour le matériel	32 425 \$	25 202 \$	13 523 \$	+0,4%	+0,5%	+0,6%
Coût pour la main-d'œuvre	5 511 \$	5 151 \$	4 867 \$	+0,8%	+0,7%	+0,7%
Détail des coûts d'implantation par densité						
Intrant préparation du terrain	2 163,45 \$	2 085,18 \$	1 952,47 \$	+3,8%	+2,9%	+1,2%
Matériel pour le tuteurage	3 256 \$	2 891 \$	2 687 \$	+2,0%	+2,0%	+2,0%
Main d'œuvre pour le tuteurage	2 104 \$	1 884 \$	1 793 \$	+2,0%	+2,0%	+2,0%
Pesticide, herbicide et fongicide	1 214 \$	1 149 \$	942 \$	0,0%	0,0%	0,0%
Coûts totaux d'entretien annuel par hectare						
Pommier non productif						
Coûts totaux	3 687,36 \$	3 174,03 \$	2 699,25 \$	+2,0%	+2,3%	+1,6%
Coût pour le matériel	1 835,10 \$	1 799,69 \$	1 549,29 \$	+4,1%	+4,1%	+2,8%
Coût pour la main-d'œuvre	1 852 \$	1 374 \$	1 150 \$	0,0%	0,0%	0,0%
Détail des coûts d'entretien annuel des pommiers non productif par densité						
Pesticides	740 \$	798 \$	798 \$	0,0%	0,0%	0,0%
Fertilisants	257,96 \$	255,27 \$	157,36 \$	+35,0%	+35,0%	+35,0%
Fourniture de verger	304,08 \$	225,68 \$	92,74 \$	+2,0%	+2,0%	+2,0%
Machinerie	390,36 \$	390,36 \$	390,36 \$	0,0%	0,0%	0,0%
Pommier productif						
Coûts totaux	5 124,14 \$	4 949,27 \$	4 649,76 \$	+8,7%	+8,7%	+5,6%
Coût pour le matériel	2 590,29 \$	2 467,68 \$	2 268,73 \$	+7,5%	+7,4%	+7,3%
Coût pour la main-d'œuvre	2 534 \$	2 482 \$	2 381 \$	+10,0%	+10,0%	+4,0%
Détail des coûts d'entretien annuel des pommiers productif par densité						
Pesticides	1 084 \$	1 142 \$	1 142 \$	0,0%	0,0%	0,0%
Fertilisant	345,60 \$	222,54 \$	149,63 \$	+35,0%	+35,0%	+35,0%
Fourniture de verger	304,08 \$	225,68 \$	92,74 \$	+2,0%	+2,0%	+2,0%
Machinerie	390,36 \$	390,36 \$	390,36 \$	0,0%	0,0%	0,0%

Tableau 35: Impacts des changements climatiques sur les coûts de production totaux et les revenus en 2050 au Québec pour le scénario bas et des pommiers à très haute densité

Années	Rendements		Revenu	Coûts					VAN	
	Kg/ha	Minots	Revenu	Matériel	Main-d'œuvre	Récolte	Totaux	Coûts totaux avec péréquation	VAN	VAN cumulée
1	n.a.	n.a.	n.a.	+1,8%	+11,5%	n.a.	+3,5%	+3,5%	-1 341,59 \$	-1 341,59 \$
2	+20,0%	+20,0%	+16,0%	+13,8%	+50,0%	+20,0%	+32,1%	+32,0%	-1 093,95 \$	-2 435,54 \$
3	+20,0%	+20,0%	+16,0%	+14,0%	+50,0%	+20,0%	+30,7%	+30,5%	-1 173,58 \$	-3 609,12 \$
4	+20,0%	+20,0%	+16,0%	+14,0%	+50,0%	+20,0%	+29,0%	+28,3%	368,51 \$	-3 240,61 \$
5	+20,0%	+20,0%	+16,0%	+14,0%	+50,0%	+20,0%	+27,9%	+27,2%	741,90 \$	-2 498,70 \$
6	+20,0%	+20,0%	+16,0%	+14,0%	+50,0%	+20,0%	+27,2%	+26,6%	1 093,43 \$	-1 405,27 \$
7	+20,0%	+20,0%	+16,0%	+14,0%	+50,0%	+20,0%	+27,1%	+26,5%	1 236,95 \$	-168,32 \$
8	+20,0%	+20,0%	+15,5%	+14,0%	+50,0%	+20,0%	+27,5%	+26,8%	930,36 \$	762,05 \$
9	+20,0%	+20,0%	+15,5%	+14,0%	+50,0%	+20,0%	+27,5%	+26,8%	930,36 \$	1 692,41 \$
10	+20,0%	+20,0%	+15,5%	+14,0%	+50,0%	+20,0%	+27,5%	+26,8%	930,36 \$	2 622,77 \$
11	+20,0%	+20,0%	+15,5%	+14,0%	+50,0%	+20,0%	+27,5%	+26,8%	930,36 \$	3 553,14 \$
12	+20,0%	+20,0%	+15,5%	+14,0%	+50,0%	+20,0%	+27,5%	+26,8%	930,36 \$	4 483,50 \$
13	+20,0%	+20,0%	+15,5%	+14,0%	+50,0%	+20,0%	+27,5%	+26,8%	930,36 \$	5 413,87 \$
14	+20,0%	+20,0%	+15,0%	+14,0%	+50,0%	+20,0%	+27,5%	+26,8%	685,30 \$	6 099,17 \$
15	+20,0%	+20,0%	+15,0%	+14,0%	+50,0%	+20,0%	+25,9%	+25,3%	933,77 \$	7 032,94 \$
Moyenne années 3-15	+20,0%	+20,0%	+15,6%	+14,0%	+50,0%	+20,0%	+27,6%	+27,0%	728,34 \$	-

Tableau 36: Impacts des changements climatiques sur les coûts de production totaux et les revenus en 2050 au Québec pour le scénario bas et des pommiers à haute densité

Années	Rendements		Revenu	Coûts					VAN	
	Kg/ha	Minots	Revenu	Matériel	Main-d'œuvre	Récolte	Totaux	Coûts totaux avec péréquation	VAN	VAN cumulée
1	n.a.	n.a.	n.a.	+2,1%	+11,5%	n.a.	+4,0%	+4,0%	-1 249,20 \$	-1 249,20 \$
2	n.a.	n.a.	n.a.	+14,2%	+50,0%	n.a.	+30,1%	+30,1%	-933,46 \$	-2 182,67 \$
3	+20,0%	+20,0%	+16,0%	+14,8%	+50,0%	+20,0%	+27,5%	+27,4%	-787,54 \$	-2 970,21 \$
4	+20,0%	+20,0%	+16,0%	+14,8%	+50,0%	+20,0%	+28,1%	+27,8%	-644,09 \$	-3 614,30 \$
5	+20,0%	+20,0%	+16,0%	+14,8%	+50,0%	+20,0%	+28,5%	+28,1%	-445,35 \$	-4 059,65 \$
6	+20,0%	+20,0%	+15,5%	+14,8%	+50,0%	+20,0%	+27,1%	+26,6%	166,18 \$	-3 893,47 \$
7	+20,0%	+20,0%	+15,5%	+14,8%	+50,0%	+20,0%	+26,5%	+26,1%	503,88 \$	-3 389,59 \$
8	+20,0%	+20,0%	+15,0%	+14,8%	+50,0%	+20,0%	+26,8%	+26,3%	281,27 \$	-3 108,32 \$
9	+20,0%	+20,0%	+15,0%	+14,8%	+50,0%	+20,0%	+26,9%	+26,4%	389,41 \$	-2 718,91 \$
10	+20,0%	+20,0%	+14,4%	+14,8%	+50,0%	+20,0%	+27,0%	+26,4%	211,72 \$	-2 507,19 \$
11	+20,0%	+20,0%	+14,4%	+14,8%	+50,0%	+20,0%	+26,8%	+26,2%	333,36 \$	-2 173,83 \$
12	+20,0%	+20,0%	+13,7%	+14,8%	+50,0%	+20,0%	+26,7%	+26,1%	99,04 \$	-2 074,79 \$
13	+20,0%	+20,0%	+13,7%	+14,8%	+50,0%	+20,0%	+26,7%	+26,1%	99,04 \$	-1 975,74 \$
14	+20,0%	+20,0%	+13,7%	+14,8%	+50,0%	+20,0%	+26,7%	+26,1%	99,04 \$	-1 876,70 \$
15	+20,0%	+20,0%	+13,7%	+14,8%	+50,0%	+20,0%	+24,1%	+23,8%	595,98 \$	-1 280,72 \$
Moyenne années 3-15	+20,0%	+20,0%	+14,5%	+14,8%	+50,0%	+20,0%	+26,7%	+26,2%	69,38 \$	-

Tableau 37: Impacts des changements climatiques sur les coûts de production totaux et les revenus en 2050 au Québec pour le scénario bas et des pommiers à moyenne densité

Années	Rendements		Revenu	Coûts					VAN	
	Kg/ha	Minots	Revenu	Matériel	Main-d'œuvre	Récolte	Totaux	Coûts totaux avec péréquation	VAN	VAN cumulée
1	n.a.	n.a.	n.a.	+3,6%	+518,6%	n.a.	+40,8%	+40,8%	-5 910,31 \$	-5 910,31 \$
2	n.a.	n.a.	n.a.	-17,7%	+37,0%	n.a.	+1,6%	+1,6%	-51,48 \$	-5 961,79 \$
3	+20,0%	+20,0%	+16,0%	+15,5%	+34,2%	+20,0%	+22,4%	+22,4%	-748,77 \$	-6 710,56 \$
4	+20,0%	+20,0%	+16,0%	+15,5%	+28,2%	+20,0%	+20,8%	+20,8%	-528,97 \$	-7 239,53 \$
5	+20,0%	+20,0%	+16,0%	+15,5%	+25,0%	+20,0%	+19,9%	+19,9%	-391,29 \$	-7 630,82 \$
6	+20,0%	+20,0%	+15,5%	+15,5%	+23,3%	+20,0%	+19,5%	+19,5%	-79,49 \$	-7 710,31 \$
7	+20,0%	+20,0%	+15,5%	+15,5%	+21,2%	+20,0%	+18,9%	+18,9%	-37,12 \$	-7 747,42 \$
8	+20,0%	+20,0%	+15,0%	+15,5%	+19,5%	+20,0%	+18,4%	+18,5%	48,44 \$	-7 698,99 \$
9	+20,0%	+20,0%	+15,0%	+15,5%	+18,3%	+20,0%	+18,1%	+18,2%	294,10 \$	-7 404,88 \$
10	+20,0%	+20,0%	+14,4%	+15,5%	+17,2%	+20,0%	+17,9%	+18,0%	282,32 \$	-7 122,56 \$
11	+20,0%	+20,0%	+14,4%	+15,5%	+16,4%	+20,0%	+17,7%	+17,8%	415,87 \$	-6 706,69 \$
12	+20,0%	+20,0%	+13,7%	+15,5%	+15,4%	+20,0%	+17,4%	+17,6%	341,80 \$	-6 364,89 \$
13	+20,0%	+20,0%	+13,7%	+15,5%	+15,4%	+20,0%	+17,5%	+17,7%	454,59 \$	-5 910,29 \$
14	+20,0%	+20,0%	+13,0%	+15,5%	+15,0%	+20,0%	+17,5%	+17,7%	318,24 \$	-5 592,06 \$
15	+20,0%	+20,0%	+13,0%	+15,5%	+26,5%	+20,0%	+20,2%	+20,2%	410,26 \$	-5 181,79 \$
Moyenne années 3-15	+20,0%	+20,0%	+14,1%	+15,5%	+19,8%	+20,0%	+18,6%	+18,7%	60,00 \$	-

Tableau 38: Impacts des changements climatiques sur les coûts de production totaux et les revenus en 2050 au Québec pour le scénario médian et des pommiers à très haute densité

Années	Rendements		Revenu	Coûts					VAN	
	Kg/ha	Minots	Revenu	Matériel	Main-d'œuvre	Récolte	Totaux	Coûts totaux avec péréquation	VAN	VAN cumulée
1	n.a.	n.a.	n.a.	+1,0%	+3,2%	n.a.	+1,4%	+1,4%	-527,39 \$	-527,39 \$
2	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,8%	+10,0%	+35,0%	+9,5%	+9,6%	-150,28 \$	-677,67 \$
3	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,5%	+10,0%	+35,0%	+10,3%	+10,6%	248,53 \$	-429,14 \$
4	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,5%	+10,0%	+35,0%	+16,4%	+17,7%	4 170,69 \$	3 741,56 \$
5	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,5%	+10,0%	+35,0%	+17,3%	+18,7%	4 748,15 \$	8 489,71 \$
6	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,5%	+10,0%	+35,0%	+18,1%	+19,6%	5 446,93 \$	13 936,64 \$
7	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,5%	+10,0%	+35,0%	+18,5%	+20,0%	5 789,88 \$	19 726,52 \$
8	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,5%	+10,0%	+35,0%	+18,3%	+19,8%	5 460,59 \$	25 187,11 \$
9	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,5%	+10,0%	+35,0%	+18,3%	+19,8%	5 460,59 \$	30 647,69 \$
10	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,5%	+10,0%	+35,0%	+18,3%	+19,8%	5 460,59 \$	36 108,28 \$
11	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,5%	+10,0%	+35,0%	+18,3%	+19,8%	5 460,59 \$	41 568,87 \$
12	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,5%	+10,0%	+35,0%	+18,3%	+19,8%	5 460,59 \$	47 029,46 \$
13	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,5%	+10,0%	+35,0%	+18,3%	+19,8%	5 460,59 \$	52 490,05 \$
14	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,5%	+10,0%	+35,0%	+18,3%	+19,8%	5 143,61 \$	57 633,65 \$
15	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,5%	+10,0%	+35,0%	+18,9%	+20,5%	5 193,30 \$	62 826,95 \$
Moyenne années 3-15	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,5%	+10,0%	+35,0%	+17,7%	+19,2%	4 884,97 \$	-

Tableau 39: Impacts des changements climatiques sur les coûts de production totaux et les revenus en 2050 au Québec pour le scénario médian et des pommiers à haute densité

Années	Rendements		Revenu	Coûts					VAN	
	Kg/ha	Minots	Revenu	Matériel	Main-d'œuvre	Récolte	Totaux	Coûts totaux avec péréquation	VAN	VAN cumulée
1	n.a.	n.a.	n.a.	+1,1%	+3,2%	n.a.	+1,5%	+1,5%	-479,14 \$	-479,14 \$
2	n.a.	n.a.	n.a.	+8,0%	+10,0%	n.a.	+8,9%	+8,9%	-276,13 \$	-755,27 \$
3	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,4%	+10,0%	+35,0%	+11,5%	+12,0%	364,59 \$	-390,68 \$
4	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,4%	+10,0%	+35,0%	+13,7%	+14,5%	1 016,63 \$	625,95 \$
5	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,4%	+10,0%	+35,0%	+15,8%	+16,7%	1 851,69 \$	2 477,64 \$
6	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,4%	+10,0%	+35,0%	+19,4%	+20,4%	3 581,80 \$	6 059,44 \$
7	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,4%	+10,0%	+35,0%	+20,6%	+21,7%	4 444,55 \$	10 504,00 \$
8	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,4%	+10,0%	+35,0%	+20,7%	+21,8%	4 332,73 \$	14 836,73 \$
9	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,4%	+10,0%	+35,0%	+21,2%	+22,2%	4 797,92 \$	19 634,65 \$
10	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,4%	+10,0%	+35,0%	+21,5%	+22,6%	4 849,77 \$	24 484,42 \$
11	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,4%	+10,0%	+35,0%	+21,9%	+23,0%	5 237,70 \$	29 722,12 \$
12	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,4%	+10,0%	+35,0%	+22,2%	+23,2%	5 041,18 \$	34 763,30 \$
13	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,4%	+10,0%	+35,0%	+22,2%	+23,2%	5 041,18 \$	39 804,48 \$
14	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,4%	+10,0%	+35,0%	+22,2%	+23,2%	5 041,18 \$	44 845,66 \$
15	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,4%	+10,0%	+35,0%	+23,5%	+24,5%	5 140,57 \$	49 986,23 \$
Moyenne années 3-15	+35,0%	0,0%	+35,0%	+7,4%	+10,0%	+35,0%	+20,5%	+21,6%	3 903,19 \$	-

Tableau 40: Impacts des changements climatiques sur les coûts de production totaux et les revenus en 2050 au Québec pour le scénario médian et des pommiers à moyenne densité

Années	Rendements		Revenu	Coûts					VAN	
	Kg/ha	Minots	Revenu	Matériel	Main-d'œuvre	Récolte	Totaux	Coûts totaux avec péréquation	VAN	VAN cumulée
1	n.a.	n.a.	n.a.	+1,8%	+477,7%	n.a.	+36,2%	36,2%	-5 240,86 \$	-5 240,86 \$
2	n.a.	n.a.	n.a.	-23,0%	+7,4%	n.a.	-12,3%	-12,3%	400,81 \$	-4 840,06 \$
3	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,3%	+6,8%	+35,0%	+7,2%	+7,2%	-228,69 \$	-5 068,75 \$
4	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,3%	+5,6%	+35,0%	+9,9%	+10,3%	322,12 \$	-4 746,63 \$
5	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,3%	+5,0%	+35,0%	+11,0%	+11,7%	698,43 \$	-4 048,20 \$
6	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,3%	+4,7%	+35,0%	+14,1%	+15,0%	1 536,81 \$	-2 511,38 \$
7	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,3%	+4,2%	+35,0%	+14,0%	+14,9%	1 643,74 \$	-867,64 \$
8	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,3%	+3,9%	+35,0%	+15,0%	+16,0%	1 997,79 \$	1 130,15 \$
9	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,3%	+3,7%	+35,0%	+16,4%	+17,4%	2 658,45 \$	3 788,59 \$
10	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,3%	+3,4%	+35,0%	+17,0%	+18,1%	2 858,59 \$	6 647,19 \$
11	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,3%	+3,3%	+35,0%	+17,6%	+18,7%	3 246,73 \$	9 893,91 \$
12	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,3%	+3,1%	+35,0%	+18,0%	+19,1%	3 366,30 \$	13 260,22 \$
13	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,3%	+3,1%	+35,0%	+18,7%	+19,8%	3 727,58 \$	16 987,80 \$
14	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,3%	+3,0%	+35,0%	+19,2%	+20,3%	3 766,59 \$	20 754,39 \$
15	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,3%	+5,3%	+35,0%	+22,7%	+23,7%	4 101,01 \$	24 855,40 \$
Moyenne années 3-15	+35,0%	+35,0%	+35,0%	+7,3%	+4,0%	+35,0%	+16,6%	+17,6%	2284,27 \$	-

Tableau 41: Impacts des changements climatiques sur les coûts de production totaux et les revenus en 2050 au Québec pour le scénario élevé et des pommiers à très haute densité

Années	Rendements		Revenu	Coûts					VAN	
	Kg/ha	Minots	Revenu	Matériel	Main-d'œuvre	Récolte	Totaux	Coûts totaux avec péréquation	VAN	VAN cumulée
1	n.a.	n.a.	n.a.	+0,4%	0,6%	n.a.	+0,5%	+0,5%	-183,80 \$	-183,80 \$
2	+70,0%	+70,0%	+75,7%	+4,1%	0,0%	+70,0%	+3,4%	+3,8%	304,72 \$	120,92 \$
3	+70,0%	+70,0%	+75,7%	+4,0%	0,0%	+70,0%	+6,0%	+7,0%	1 339,18 \$	1 460,10 \$
4	+70,0%	+70,0%	+75,7%	+4,0%	0,0%	+70,0%	+21,6%	+25,1%	10 023,13 \$	11 483,23 \$
5	+70,0%	+70,0%	+75,7%	+4,0%	0,0%	+70,0%	+24,1%	+27,8%	11 231,33 \$	22 714,56 \$
6	+70,0%	+70,0%	+75,7%	+4,0%	0,0%	+70,0%	+26,4%	+30,3%	12 741,59 \$	35 456,15 \$
7	+70,0%	+70,0%	+75,7%	+4,0%	0,0%	+70,0%	+27,2%	+31,2%	13 496,71 \$	48 952,86 \$
8	+70,0%	+70,0%	+76,4%	+4,0%	0,0%	+70,0%	+26,8%	+30,7%	12 953,31 \$	61 906,17 \$
9	+70,0%	+70,0%	+76,4%	+4,0%	0,0%	+70,0%	+26,8%	+30,7%	12 953,31 \$	74 859,49 \$
10	+70,0%	+70,0%	+76,4%	+4,0%	0,0%	+70,0%	+26,8%	+30,7%	12 953,31 \$	87 812,80 \$
11	+70,0%	+70,0%	+76,4%	+4,0%	0,0%	+70,0%	+26,8%	+30,7%	12 953,31 \$	100 766,11 \$
12	+70,0%	+70,0%	+76,4%	+4,0%	0,0%	+70,0%	+26,8%	+30,7%	12 953,31 \$	113 719,43 \$
13	+70,0%	+70,0%	+76,4%	+4,0%	0,0%	+70,0%	+26,8%	+30,7%	12 953,31 \$	126 672,74 \$
14	+70,0%	+70,0%	+77,2%	+4,0%	0,0%	+70,0%	+26,8%	+30,7%	12 409,92 \$	139 082,66 \$
15	+70,0%	+70,0%	+77,2%	+4,0%	0,0%	+70,0%	+28,7%	+32,7%	12 409,92 \$	151 492,58 \$
Moyenne années 3-15	+70,0%	+70,0%	+76,3%	+4,0%	0,0%	+70,0%	+25,2%	+29,0%	11 643,97 \$	0,00 \$

Tableau 42: Impacts des changements climatiques sur les coûts de production totaux et les revenus en 2050 au Québec pour le scénario élevé et des pommiers à haute densité

Années	Rendements		Revenu	Coûts					VAN	
	Kg/ha	Minots	Revenu	Matériel	Main-d'œuvre	Récolte	Totaux	Coûts totaux avec péréquation	VAN	VAN cumulée
1	n.a.	n.a.	n.a.	+0,5%	0,6%	n.a.	+0,5%	+0,5%	-152,05 \$	-152,05 \$
2	n.a.	n.a.	n.a.	+4,1%	0,0%	n.a.	+2,3%	+2,3%	-70,60 \$	-222,66 \$
3	+70,0%	+70,0%	+75,7%	+2,7%	0,0%	+70,0%	+9,6%	+10,9%	1 443,50 \$	1 220,84 \$
4	+70,0%	+70,0%	+75,7%	+2,7%	0,0%	+70,0%	+15,0%	+16,9%	2 949,12 \$	4 169,96 \$
5	+70,0%	+70,0%	+75,7%	+2,7%	0,0%	+70,0%	+20,0%	+22,3%	4 870,09 \$	9 040,05 \$
6	+70,0%	+70,0%	+76,4%	+2,7%	0,0%	+70,0%	+29,3%	+32,1%	8 830,15 \$	17 870,20 \$
7	+70,0%	+70,0%	+76,4%	+2,7%	0,0%	+70,0%	+32,6%	+35,4%	10 767,57 \$	28 637,77 \$
8	+70,0%	+70,0%	+77,2%	+2,7%	0,0%	+70,0%	+32,7%	+35,5%	10 706,07 \$	39 343,84 \$
9	+70,0%	+70,0%	+77,2%	+2,7%	0,0%	+70,0%	+33,8%	+36,6%	11 797,12 \$	51 140,96 \$
10	+70,0%	+70,0%	+78,0%	+2,7%	0,0%	+70,0%	+34,6%	+37,5%	12 140,92 \$	63 281,88 \$
11	+70,0%	+70,0%	+78,0%	+2,7%	0,0%	+70,0%	+35,8%	+38,6%	13 044,85 \$	76 326,73 \$
12	+70,0%	+70,0%	+78,9%	+2,7%	0,0%	+70,0%	+36,3%	+39,1%	12 824,66 \$	89 151,39 \$
13	+70,0%	+70,0%	+78,9%	+2,7%	0,0%	+70,0%	+36,3%	+39,1%	12 824,66 \$	101 976,06 \$
14	+70,0%	+70,0%	+78,9%	+2,7%	0,0%	+70,0%	+36,3%	+39,1%	12 824,66 \$	114 800,72 \$
15	+70,0%	+70,0%	+78,9%	+2,7%	0,0%	+70,0%	+40,3%	+43,0%	12 824,66 \$	127 625,38 \$
Moyenne années 3-15	+70,0%	+70,0%	+77,8%	+2,7%	0,0%	+70,0%	+32,2%	+35,0%	9 834,46 \$	-

Tableau 43: Impacts des changements climatiques sur les coûts de production totaux et les revenus en 2050 au Québec pour le scénario élevé et des pommiers à moyenne densité

Années	Rendements		Revenu	Coûts					VAN	
	Kg/ha	Minots	Revenu	Matériel	Main-d'œuvre	Récolte	Totaux	Coûts totaux avec péréquation	VAN	VAN cumulée
1	n.a.	n.a.	n.a.	+0,6%	+464,6%	n.a.	+34,1%	+34,1%	-4 943,55 \$	-4 943,55 \$
2	n.a.	n.a.	n.a.	-26,7%	0,0%	n.a.	-17,3%	-17,3%	564,58 \$	-4 378,97 \$
3	+70,0%	+70,0%	+82,1%	+1,9%	0,0%	+70,0%	+1,4%	+1,4%	-12,88 \$	-4 391,86 \$
4	+70,0%	+70,0%	+82,1%	+1,9%	0,0%	+70,0%	+9,0%	+10,1%	1 350,33 \$	-3 041,53 \$
5	+70,0%	+70,0%	+82,1%	+1,9%	0,0%	+70,0%	+12,5%	+14,0%	2 288,40 \$	-753,13 \$
6	+70,0%	+70,0%	+89,9%	+1,9%	0,0%	+70,0%	+20,3%	+22,4%	4 903,93 \$	4 150,81 \$
7	+70,0%	+70,0%	+89,9%	+1,9%	0,0%	+70,0%	+20,4%	+22,6%	5 200,41 \$	9 351,22 \$
8	+70,0%	+70,0%	+98,3%	+1,9%	0,0%	+70,0%	+23,2%	+25,5%	6 962,51 \$	16 313,73 \$
9	+70,0%	+70,0%	+98,3%	+1,9%	0,0%	+70,0%	+26,6%	+29,1%	9 024,08 \$	25 337,81 \$
10	+70,0%	+70,0%	+107,6%	+1,9%	0,0%	+70,0%	+28,3%	+30,8%	10 877,80 \$	36 215,60 \$
11	+70,0%	+70,0%	+107,6%	+1,9%	0,0%	+70,0%	+29,8%	+32,3%	12 242,60 \$	48 458,20 \$
12	+70,0%	+70,0%	+117,9%	+1,9%	0,0%	+70,0%	+30,9%	+33,5%	14 305,86 \$	62 764,06 \$
13	+70,0%	+70,0%	+117,9%	+1,9%	0,0%	+70,0%	+32,5%	+35,1%	15 740,50 \$	78 504,56 \$
14	+70,0%	+70,0%	+129,3%	+1,9%	0,0%	+70,0%	+33,8%	+36,3%	18 013,30 \$	96 517,86 \$
15	+70,0%	+70,0%	+129,3%	+1,9%	0,0%	+70,0%	+40,4%	+42,8%	19 517,79 \$	116 035,65 \$
Moyenne années 3-15	+70,0%	+70,0%	+111,3%	+1,9%	0,0%	+70,0%	+26,7%	+29,1%	9 262,66 \$	-

Annexe L: Coûts de production 2050 dans le secteur des fourrages au Québec

Tableau 44: Coûts de production par hectare dans le secteur des fourrages au Québec en 2050 pour le scénario bas

	1ère année	2ième année	3ième année	4ième année	5ième année	Total années 1 à 5
	\$	\$	\$	\$	\$	\$
Coûts variables						
Semences nettes	87,87	-	-	-	-	87,87
Fertilisants nets	208,15	321,87	321,87	322,19	225,56	1 399,64
Chaux	94,30	-	-	-	-	94,30
Herbicides	50,09	-	-	-	-	50,09
Ficelle	-	19,88	18,34	18,34	12,21	68,76
Utilisation de la machinerie	79,95	145,70	138,16	138,16	83,90	585,87
Séchage du foin	-	36,99	34,14	34,14	22,76	128,04
Location fonds de terre	-	377,88	348,82	348,82	232,54	1 308,06
Main d'œuvre	19,65	82,53	80,57	80,57	66,81	330,12
Autres frais de mise en marché	-	-	-	-	-	-
Électricité	-	-	-	-	-	-
Intérêts à court terme	5,98	5,74	5,59	5,59	3,76	26,66
Irrigation	299,49	299,49	299,49	299,49	299,49	1 497,47
Total des coûts variables	845,48	1 290,09	1 246,98	1 247,29	947,04	5 576,87
Coûts fixes						
Entretien des bâtiments et fonds de terre	-	-	-	-	-	-
Assurances	-	-	-	-	-	-
Taxes foncières nettes	-	-	-	-	-	-
Intérêts sur emprunts à MT et LT	-	-	-	-	-	-
Autres coûts	-	-	-	-	-	-
Total des coûts fixes	-	-	-	-	-	-
Autres coûts						
Amortissements	-	-	-	-	-	-
Amortissement de l'irrigation	87,90	87,90	87,90	87,90	87,90	439,48
Rémunération de l'exploitant	-	-	-	-	-	-
Rémunération de la famille	-	-	-	-	-	-
Rémunération avoir net	-	-	-	-	-	-
Total autres coûts	87,90	87,90	87,90	87,90	87,90	439,48
Total des coûts	933,37	1 377,98	1 334,87	1 335,19	1 034,93	6 016,35
Revenus en moins						
Assurance récolte nette	-	27,32	25,22	25,22	16,81	94,57
Revenus divers	-	-	-	-	-	-
Total des revenus en moins	-	27,32	25,22	25,22	16,81	94,57
Coûts de production	933,37	1 350,66	1 309,65	1 309,97	1 018,12	5 921,79
Revenus	-	1 090,05	1 006,20	1 006,20	670,80	773,25

Tableau 45: Coûts de production par tonne dans le secteur des fourrages au Québec en 2050 pour le scénario bas³⁴

	2ième année	3ième année	4ième année	5ième année	Total années 2 à 5
	\$	\$	\$	\$	\$
Coûts variables					
Semences nettes	-	-	-	-	3,49
Fertilisants nets	44,29	47,98	48,03	50,44	55,64
Chaux	-	-	-	-	3,75
Herbicides	-	-	-	-	1,99
Ficelle	2,74	2,73	2,73	2,73	2,73
Utilisation de la machinerie	20,05	20,60	20,60	18,76	23,29
Séchage du foin	5,09	5,09	5,09	5,09	5,09
Location fonds de terre	52,00	52,00	52,00	52,00	52,00
Main d'œuvre	11,36	12,01	12,01	14,94	13,12
Autres frais de mise en marché	-	-	-	-	-
Électricité	-	-	-	-	-
Intérêts à court terme	0,79	0,83	0,83	0,84	1,06
Irrigation	41,21	44,65	44,65	66,97	59,53
Total des coûts variables	177,53	185,89	185,94	211,77	221,70
Coûts fixes					
Entretien des bâtiments et fonds de terre	-	-	-	-	-
Assurances	-	-	-	-	-
Taxes foncières nettes	-	-	-	-	-
Intérêts sur emprunts à MT et LT	-	-	-	-	-
Autres coûts	-	-	-	-	-
Total des coûts fixes	-	-	-	-	-
Autres coûts					
Amortissements	-	-	-	-	-
Amortissement de l'irrigation	12,10	13,10	13,10	19,65	17,47
Rémunération de l'exploitant	-	-	-	-	-
Rémunération de la famille	-	-	-	-	-
Rémunération avoir net	-	-	-	-	-
Total autres coûts	12,10	13,10	13,10	19,65	17,47
Total des coûts	189,62	199,00	199,04	231,43	239,17
Revenus en moins					
Assurance récolte nette	3,76	3,76	3,76	3,76	3,76
Revenus divers	-	-	-	-	-
Total des revenus en moins	3,76	3,76	3,76	3,76	3,76
Coûts de production	185,86	195,24	195,28	227,67	235,41
Revenus	-	-	-	-	-

³⁴ L'année 1 ne figure pas car il n'y a pas de coupe la première année de production.

Tableau 46: Coûts de production par hectare dans le secteur des fourrages au Québec en 2050 pour le scénario médian

	1 ^{ère} année	2 ^{ième} année	3 ^{ième} année	4 ^{ième} année	5 ^{ième} année	Total années 1 à 5
	\$	\$	\$	\$	\$	\$
Coûts variables						
Semences nettes	87,87	-	-	-	-	87,87
Fertilisants nets	294,89	455,98	455,98	456,43	319,55	1 982,83
Chaux	94,30	-	-	-	-	94,30
Herbicides	50,09	-	-	-	-	50,09
Ficelle	-	21,79	20,10	20,10	13,38	75,37
Utilisation de la machinerie	79,95	179,39	171,12	171,12	113,99	715,56
Séchage du foin	-	40,55	37,43	37,43	24,95	140,35
Location fonds de terre	-	414,22	382,36	382,36	254,90	1 433,84
Main d'œuvre	15,00	63,00	61,50	61,50	51,00	252,00
Autres frais de mise en marché	-	-	-	-	-	-
Électricité	-	-	-	-	-	-
Intérêts à court terme	5,98	5,74	5,59	5,59	3,76	26,66
Irrigation	-	-	-	-	-	-
Total des coûts variables	628,06	1 180,66	1 134,08	1 134,53	781,53	4 858,86
Coûts fixes						
Entretien des bâtiments et fonds de terre	-	-	-	-	-	-
Assurances	-	-	-	-	-	-
Taxes foncières nettes	-	-	-	-	-	-
Intérêts sur emprunts à MT et LT	-	-	-	-	-	-
Autres coûts	-	-	-	-	-	-
Total des coûts fixes	-	-	-	-	-	-
Autres coûts						
Amortissements	-	-	-	-	-	-
Amortissement de l'irrigation	-	-	-	-	-	-
Rémunération de l'exploitant	-	-	-	-	-	-
Rémunération de la famille	-	-	-	-	-	-
Rémunération avoir net	-	-	-	-	-	-
Total autres coûts	-	-	-	-	-	-
Total des coûts	628,06	1 180,66	1 134,08	1 134,53	781,53	4 858,86
Revenus en moins						
Assurance récolte nette	-	29,95	27,64	27,64	18,43	103,66
Revenus divers	-	-	-	-	-	-
Total des revenus en moins	-	29,95	27,64	27,64	18,43	103,66
Coûts de production	628,06	1 150,72	1 106,44	1 106,88	763,10	4 755,20
Revenus	-	1 194,86	1 102,95	1 102,95	735,30	4 136,06

Tableau 47: Coûts de production par tonne dans le secteur des fourrages au Québec en 2050 pour le scénario médian³⁵

	2ième année	3ième année	4ième année	5ième année	Total années 2 à 5
	\$	\$	\$	\$	\$
Coûts variables					
Semences nettes	-	-	-	-	3,19
Fertilisants nets	57,24	62,01	62,07	65,19	71,91
Chaux	-	-	-	-	3,42
Herbicides	-	-	-	-	1,82
Ficelle	2,74	2,73	2,73	2,73	2,73
Utilisation de la machinerie	22,52	23,27	23,27	23,25	25,95
Séchage du foin	5,09	5,09	5,09	5,09	5,09
Location fonds de terre	52,00	52,00	52,00	52,00	52,00
Main d'œuvre	7,91	8,36	8,36	10,40	9,14
Autres frais de mise en marché	-	-	-	-	-
Électricité	-	-	-	-	-
Intérêts à court terme	0,72	0,76	0,76	0,77	0,97
Irrigation	-	-	-	-	-
Total des coûts variables	148,22	154,23	154,29	159,43	176,21
Coûts fixes					
Entretien des bâtiments et fonds de terre	-	-	-	-	-
Assurances	-	-	-	-	-
Taxes foncières nettes	-	-	-	-	-
Intérêts sur emprunts à MT et LT	-	-	-	-	-
Autres coûts	-	-	-	-	-
Total des coûts fixes	-	-	-	-	-
Autres coûts					
Amortissements	-	-	-	-	-
Amortissement de l'irrigation	-	-	-	-	-
Rémunération de l'exploitant	-	-	-	-	-
Rémunération de la famille	-	-	-	-	-
Rémunération avoir net	-	-	-	-	-
Total autres coûts	-	-	-	-	-
Total des coûts	148,22	154,23	154,29	159,43	176,21
Revenus en moins					
Assurance récolte nette	3,76	3,76	3,76	3,76	3,76
Revenus divers	-	-	-	-	-
Total des revenus en moins	3,76	3,76	3,76	3,76	3,76
Coûts de production	144,46	150,47	150,53	155,67	172,45
Revenus	-	-	-	-	-

³⁵ L'année 1 ne figure pas car il n'y a pas de coupe la première année de production.

Tableau 48: Coûts de production par hectare dans le secteur des fourrages au Québec en 2050 pour le scénario élevé

	1ère année	2ième année	3ième année	4ième année	5ième année	Total années 1 à 5
	\$	\$	\$	\$	\$	\$
Coûts variables						
Semences nettes	87,87	-	-	-	-	87,87
Fertilisants nets	416,30	643,74	643,74	644,38	451,12	2 799,28
Chaux	94,30	-	-	-	-	94,30
Herbicides	40,07	-	-	-	-	40,07
Ficelle	-	23,70	21,86	21,86	14,55	81,98
Utilisation de la machinerie	79,95	213,07	204,08	179,72	119,71	796,53
Séchage du foin	-	44,10	40,71	40,71	27,14	152,66
Location fonds de terre	-	450,55	415,90	415,90	277,26	1 559,61
Main d'œuvre	11,85	49,77	48,59	48,59	40,29	199,08
Autres frais de mise en marché	-	-	-	-	-	-
Électricité	-	-	-	-	-	-
Intérêts à court terme	5,98	5,74	5,59	5,59	3,76	26,66
Irrigation	-	-	-	-	-	-
Total des coûts variables	736,32	1 430,68	1 380,47	1 356,74	933,84	5 838,05
Coûts fixes						
Entretien des bâtiments et fonds de terre	-	-	-	-	-	-
Assurances	-	-	-	-	-	-
Taxes foncières nettes	-	-	-	-	-	-
Intérêts sur emprunts à MT et LT	-	-	-	-	-	-
Autres coûts	-	-	-	-	-	-
Total des coûts fixes	-	-	-	-	-	-
Autres coûts						
Amortissements	-	-	-	-	-	-
Amortissement de l'irrigation	-	-	-	-	-	-
Rémunération de l'exploitant	-	-	-	-	-	-
Rémunération de la famille	-	-	-	-	-	-
Rémunération avoir net	-	-	-	-	-	-
Total autres coûts	-	-	-	-	-	-
Total des coûts	736,32	1 430,68	1 380,47	1 356,74	933,84	5 838,05
Revenus en moins						
Assurance récolte nette	-	32,57	30,07	30,07	20,04	112,75
Revenus divers	-	-	-	-	-	-
Total des revenus en moins	-	32,57	30,07	30,07	20,04	112,75
Coûts de production	736,32	1 398,11	1 350,40	1 326,67	913,80	5 725,30
Revenus	-	1 299,68	1 199,70	1 199,70	799,80	4 498,88

Tableau 49: Coûts de production par tonne dans le secteur des fourrages au Québec en 2050 pour le scénario élevé³⁶

	2ième année	3ième année	4ième année	5ième année	Total années 2 à 5
	\$	\$	\$	\$	\$
Coûts variables					
Semences nettes	-	-	-	-	2,93
Fertilisants nets	74,30	80,49	80,57	84,61	93,33
Chaux	-	-	-	-	3,14
Herbicides	-	-	-	-	1,34
Ficelle	2,74	2,73	2,73	2,73	2,73
Utilisation de la machinerie	24,59	25,52	22,47	22,45	26,56
Séchage du foin	5,09	5,09	5,09	5,09	5,09
Location fonds de terre	52,00	52,00	52,00	52,00	52,00
Main d'œuvre	5,74	6,07	6,07	7,56	6,64
Autres frais de mise en marché	-	-	-	-	-
Électricité	-	-	-	-	-
Intérêts à court terme	0,66	0,70	0,70	0,71	0,89
Irrigation	-	-	-	-	-
Total des coûts variables	165,12	172,60	169,63	175,14	194,65
Coûts fixes					
Entretien des bâtiments et fonds de terre	-	-	-	-	-
Assurances	-	-	-	-	-
Taxes foncières nettes	-	-	-	-	-
Intérêts sur emprunts à MT et LT	-	-	-	-	-
Autres coûts	-	-	-	-	-
Total des coûts fixes	-	-	-	-	-
Autres coûts					
Amortissements	-	-	-	-	-
Amortissement de l'irrigation	-	-	-	-	-
Rémunération de l'exploitant	-	-	-	-	-
Rémunération de la famille	-	-	-	-	-
Rémunération avoir net	-	-	-	-	-
Total autres coûts	-	-	-	-	-
Total des coûts	165,12	172,60	169,63	175,14	194,65
Revenus en moins					
Assurance récolte nette	3,76	3,76	3,76	3,76	3,76
Revenus divers	-	-	-	-	-
Total des revenus en moins	3,76	3,76	3,76	3,76	3,76
Coûts de production	161,36	168,84	165,88	171,38	190,89
Revenus	-	-	-	-	-

³⁶ L'année 1 ne figure pas car il n'y a pas de coupe la première année de production.

Annexe M: Résumé de la méthodologie utilisée

Un des buts de cette étude était de réaliser une méthodologie pouvant être reproduite pour d'autres productions. Dans cette optique, il convient de s'assurer de bien définir ce qui a été réalisé et d'y ajouter quelques commentaires afin d'améliorer la technique et de permettre de peaufiner les résultats des futures recherches.

Étape 1 : Réaliser un portrait sommaire de la position concurrentielle du Québec dans les productions retenues.

Avant de commencer à réaliser un portrait de la position concurrentielle du Québec, il convient de bien définir les régions concurrentes du Québec puisqu'elles seront le cœur même du reste du projet de recherche. En définissant mal les régions concurrentes du Québec, une bonne partie de l'étude pourrait être à revoir ou, pire encore, les résultats pourraient être inutiles advenant le cas où les régions concurrentes retenues évolueraient d'une façon opposée aux vraies régions concurrentes du Québec. Pour cette étude par exemple, seule l'Ontario a été retenue comme une région concurrente pour le Québec dans les cultures pérennes fourragères. Toutefois, le comité de suivi a mentionné qu'il aurait été fort intéressant d'ajouter le Wisconsin comme région de référence, ce qui n'a pu être fait en raison d'un problème de disponibilité des ressources aux moments nécessaires. Il faut aussi faire attention pour bien cibler les régions concurrentes du Québec qui ne sont pas nécessairement les principaux producteurs d'Amérique du Nord, particulièrement pour les biens qui sont très différenciés.

Une fois que les régions concurrentes ont été bien ciblées, il convient de définir la position concurrentielle actuelle du Québec. Pour ce faire, certains indicateurs ont été retenus afin de couvrir la plupart des angles pouvant qualifier la production ou la distribution des produits agroalimentaires. Ainsi, les données de productivité doivent être rapportées : la production totale, les superficies mises en production et les rendements. Il est aussi important de noter ici que des données secondaires peuvent être adéquates pour qualifier les indicateurs retenus. Ensuite, il convient de s'attarder aux coûts de production. Toutefois, les différentes méthodes de calcul de coûts de production (par des modèles d'ingénierie ou par des enquêtes) viennent rendre toutes interprétations beaucoup plus sensibles. Il sera alors aussi pertinent de regarder les prix de vente pour toutes les régions de référence. Ces prix devront être exprimés dans une même monnaie pour s'assurer que la comparaison puisse être possible. Il faut encore une fois mettre en garde le chercheur par rapport à la comparaison des prix puisque, selon la structure des marchés, les prix pourraient ne pas se comparer sans insérer des bémols importants. Notamment, le cas de la comparaison des prix dans le secteur du maïs réalisé dans cette étude a nécessité certains bémols.

Par la suite, les débouchés sur les marchés intérieurs soit l'utilisation du produit agricole et son niveau de transformation devront être présentés pour chaque région considérée. Cette

information permettra de mettre en lumière certaines particularités de produits qui ne seraient pas traités de façon identique selon les régions. Les utilisations différentes peuvent alors expliquer certaines disparités dans la position concurrentielle. Notamment, la part de produits transformés et la part de produits en autoconsommation et vente à la ferme devront être considérés.

Les derniers indicateurs qui doivent être soulevés afin de bien déterminer la position concurrentielle du Québec sont la quantité (en valeur et en quantité) de produits importés et exportés ainsi que leurs destinations. Ces informations permettront de voir si les régions concurrentes sont concurrentielles sur le marché du Québec ou sur les marchés internationaux ainsi que de caractériser l'importance de cette concurrence.

Étape 2 : Produire une revue de littérature sur les impacts potentiels des changements climatiques pour chacune des productions et ce, pour chaque région ciblées.

Pour produire une revue de littérature adéquate, il faut d'abord documenter les changements climatiques qui auront lieu pour chacune des régions. De cette façon, il sera possible de mieux comprendre les liens entre les changements climatiques et les différentes hypothèses des différents chercheurs s'étant penchés sur la question. Puis, il s'agira de rapporter la littérature sur l'impact des différents indicateurs de changements climatiques sur les cultures. Notamment, et sans être exhaustif, il s'agira de considérer l'impact du changement des températures, des précipitations, des dates du premier et du dernier gel, des ravageurs, des événements climatiques extrêmes et de la concentration atmosphérique de gaz carbonique et d'ozone. L'apport d'un agronome pourrait s'avérer stratégique puisqu'il pourrait amener certaines subtilités et accélérer le processus de production de la revue de littérature. De façon encore plus pratique, la mise en place d'un autre projet de recherche qui viserait à définir l'impact des changements climatiques sur la production ciblée au niveau agronomique pour le Québec permettrait un énorme avancement pour l'équipe de recherche.

Par ailleurs, bien que l'entente entre Ouranos et l'Université Laval inclus une consultation d'experts à cette étape, cette consultation n'a jamais eu formellement lieu. Plutôt, certains experts membres du comité de suivi ont été amenés à se positionner sur les scénarios tels qu'ils seront dégagés à l'étape 3. À la suite de la réalisation de cette étude, il semble que cette précaution soit adéquate si des questions sur la validité des scénarios sont incluses au sein de la méthode Delphi.

Étape 3 : Construire une grille d'impacts des changements climatiques pour chacune des régions ciblées et pour chaque production.

Cette étape vise à consolider l'ensemble des informations issues de l'étape 2 dans une grille représentant les impacts potentiels des changements climatiques pour chacune des productions pour chaque région considérée. C'est à cette étape qu'il serait le plus pertinent de tenir un comité de suivi puisque des premiers résultats pourront être présentés sans toutefois

statuer formellement sur une hypothèse ou une autre. À ce moment, il n'est toujours pas trop tard pour modifier certains paramètres ou pour ajouter certaines régions de références. Par la suite, il sera considérablement plus ardu de revoir un paramètre puisque des experts commenceront à se positionner sur certains points précis.

Ces grilles d'impacts permettront de dégager les scénarios qui pourront être vérifiés à l'aide de la méthode Delphi. Ces scénarios devront être relativement concis de façon à ne pas trop décourager les experts contactés et ainsi s'assurer un taux de réponses élevé.

Étape 4 : Élaborer des scénarios d'impacts des changements climatiques pour chaque production et pour chaque région retenue.

Comme mentionné plus haut, ces scénarios seront bâtis à partir des premières étapes de l'étude et serviront à donner un point de vue global de l'impact des changements climatiques sur les différentes productions et ce, pour chacune des régions retenues. Ces scénarios devront être relativement succincts pour pouvoir être soumis aux experts dans le cadre de la méthode Delphi.

L'aspect le plus important à considérer dans l'élaboration de ces scénarios est l'intégration d'indications probables sur la production future pour chaque région. De cette façon, les experts auront à se prononcer sur ces données directement plutôt que d'avoir à les inciter à soumettre des idées de modification des changements climatiques.

Étape 5 : Soumettre les scénarios de changements climatiques à des experts à l'aide de la méthode Delphi.

La méthode Delphi consiste à acheminer des questionnaires à un panel d'experts qui, a priori, n'ont aucun contact entre eux. Bien qu'il ne soit pas important de demander une certaine forme de confidentialité aux experts lorsqu'ils participent à la méthode Delphi, il faut éviter de communiquer les noms des experts afin de diminuer de possibles discussions de corridors entre eux et pouvoir ainsi capter l'ensemble des interactions entre ceux-ci. Il faut aussi garder en tête que le milieu duquel il faudra extraire les experts est un petit milieu où tous risquent de se connaître. Ce sera alors le rôle du chercheur que de s'assurer de ne pas divulguer trop d'informations sur les participants.

Par ailleurs, la rédaction des questionnaires demandera un effort particulier pour s'assurer que chaque question soit pertinente et précise. Il est primordial de s'assurer que les réponses des experts permettront de dégager l'information désirée sans inclure de biais importants. L'apport d'un habitué des méthodes Delphi peut alors être fort pertinent pour s'assurer que le questionnaire sera bien compris par les participants et que les questions représenteront réellement ce que les chercheurs tentent d'apprendre. Une forme de pré-test auprès d'un chercheur ou d'un collaborateur plus éloigné du projet peut aussi s'avérer fort utile.

Se pose ensuite la question du choix des experts, possiblement la question la plus épineuse lorsque des chercheurs juniors sont retenus pour prendre en charge une partie de l'étude. En effet, pour bien cibler les chercheurs qui disposeront des connaissances nécessaires à la compréhension et à la bonne tenue de l'étude, il faudra faire appel à l'expérience du milieu. Il peut être fort intéressant de ratisser plus large pour réunir le plus d'experts possibles mais l'important est de cibler les bons experts, tâche qui pourra s'avérer ardue. Ce sera réellement la qualité des experts qui déterminera la qualité de la méthode Delphi. Toutefois, il est conseillé de contacter entre 15 et 20 spécialistes provenant de domaines susceptibles d'amener des informations globales sur les productions retenues. Par exemple, il faudrait éviter de se retrouver avec des experts très spécialisés dans leur domaine d'étude (un entomologiste ayant travaillé sur un type bien particulier de ravageurs qui touche la production retenue) mais qui manquent de connaissance pour établir un aperçu général de la production. L'intérêt est plutôt d'avoir des spécialistes qui pourront commenter les affirmations des autres spécialistes de façon à enrichir les résultats de l'étude.

De plus, il faut s'assurer de tenir la méthode Delphi dans un moment propice à la majorité des experts contactés. Cette anticipation revient autant aux chercheurs qui auront à prendre en considération cette variable au moment de la réalisation de leur étude, qu'à l'organisme subventionnaire qui devra permettre une certaine flexibilité à l'équipe de recherche afin de maximiser le taux de réponse des experts. D'ailleurs, il faudrait que l'équipe de chercheurs s'assure de terminer la méthode Delphi avec au moins quatre ou cinq experts de façon à ce qu'il y ait toujours un intérêt à les faire converger.

Cette convergence pourra prendre plusieurs rondes et l'équipe de chercheurs doit donc prévoir assez de temps (environ 3 semaines par ronde) pour la réalisation de cette étape. Bien qu'il faille parfois presser un peu les experts, le but n'est pas non plus de les harceler et de les décourager de répondre.

Étape 6 : Utiliser la méthode de budgets partiels pour représenter la variation des coûts de production causée par les changements climatiques pour chaque production pour le Québec.

Les chercheurs qui reproduiront la méthodologie devront garder en tête que la méthode de budgets partiels présente des limites importantes, notamment le fait qu'elle ne permet pas de représenter la réalité complète des entreprises agricoles mais uniquement certains postes budgétaires qui varient. De plus, le facteur prix ne devrait pas être pris en compte dans la réalisation de ce type d'étude puisque le prix risque de varier fortement dans un horizon de 40 ans, sans lien avec les changements climatiques.

De même, il sera nécessaire de garder en tête que ce qui ressortira de la méthode de budgets partiels sera essentiellement une donnée moyenne qui pourrait ne pas représenter les variations annuelles qui pourraient survenir dans le futur. Les données pourront aussi être affectées par des changements de politique, l'évolution des marchés ou autre et il convient donc de ne pas prendre les données qui ressortiront de cette analyse comme des absolus

mais plutôt comme des indications de tendance toutes choses étant égales par ailleurs. Advenant le cas où des changements importants dans la structure de production ou dans la structure du marché soient prévus, il peut être intéressant de reproduire ce qui a été réalisé dans cette étude au niveau des pommes soit d'intégrer une variable représentant ce changement. Il conviendra ensuite d'essayer de distinguer les effets de ce changement de celui des changements climatiques.

Étape 7 : Analyser l'évolution de la position concurrentielle du Québec par rapport aux régions de référence.

La dernière étape de la méthodologie consiste à faire ressortir les différences d'évolution des indicateurs précédemment identifiées entre les différentes régions afin de déterminer si le Québec aura une meilleure position concurrentielle ou s'il perdra du terrain dans cette production. Ce seront essentiellement les résultats de la méthode Delphi qui seront ressortis à cette étape. Les chercheurs devront donc s'assurer que les questionnaires représentent réellement l'information qu'ils veulent obtenir.