



Centre de Recherche en économie de
l'Environnement, de l'Agroalimentaire, des
Transports et de l'Énergie

Center for Research on the economics of the
Environment, Agri-food, Transport and
Energy

Changements climatiques et position concurrentielle: le cas de l'agriculture du Québec

Lota D. Tamini
Frédéric Clerson
Maurice Doyon
Guy Debailleul

Cahier de recherche/Working Paper **2014-5**

Juin/June 2014

Tamini: Correspondance : Département d'économie agroalimentaire et des sciences de la consommation, Université Laval et CREATE

lota.tamini@eac.ulaval.ca

Clerson: Département d'économie agroalimentaire et des sciences de la consommation, Université Laval et CREATE

frederick.clerson.guicherd.1@ulaval.ca

Doyon: Département d'économie agroalimentaire et des sciences de la consommation, Université Laval et CREATE

maurice.doyon@eac.ulaval.ca

Debailleul: Département d'économie agroalimentaire et des sciences de la consommation, Université Laval

guy.debailleul@eac.ulaval.ca

Les cahiers de recherche du CREATE ne font pas l'objet d'un processus d'évaluation par les pairs/CREATE working papers do not undergo a peer review process.

ISSN 1927-5544

Résumé:

Les changements climatiques provoqueront des modifications des conditions de la production agricole qui devraient se traduire par des impacts sur les rendements et les coûts de production des agriculteurs québécois. Ainsi, la position concurrentielle du Québec pourrait se trouver modifiée par rapport à d'autres régions productrices. À l'aide de la méthode Delphi et de budgets partiels, des scénarios d'impacts de changements climatiques à l'horizon 2050 ont été élaborés et leur impact sur la position concurrentielle du Québec et de ses principales régions concurrentes a été établi. Les résultats de l'étude montrent que la position concurrentielle du Québec devrait s'améliorer ou se maintenir pour les productions sous étude grâce à des conditions de production plus favorables au Québec (maïs-grain et pommes) ou à des conditions de production plus défavorables dans les régions compétitrices (sirop d'érable).

Mots clés: Changement climatique, coût de production, agriculture, Québec, concurrence

Codes JEL: Q12, Q15, Q54

Abstract:

Climate change will affect agricultural production conditions, which will translate in impacts on yield and cost of production for Quebec farmers. This would likely affect the relative competitive position of Quebec in North America. Using the Delphi technique and partial budgets, climate change scenarios for the 2050 period were elaborated and their impact on relative competitiveness assessed for Quebec and its competitors in North America. Results indicate that Quebec competitive position would improve due to more favorable conditions for corn and apple production and due to worsen conditions for the competitors in maple syrup production.

Keywords: Climate change, cost of production, agriculture, Quebec, competition

1. Introduction

Les changements climatiques provoqueront très probablement des impacts tant négatifs que positifs dans les filières agricoles québécoises (Ouranos, 2010). Au titre des effets négatifs sont citées l'augmentation des coûts de production en raison notamment d'une demande accrue de traitements phytosanitaires ou encore de la diminution des rendements causée par des conditions de production plus défavorables (gelées tardives, sécheresses, pluviométrie excessive ou diminution de la couverture neigeuse du sol en hiver). À l'inverse, les impacts positifs possibles consistent en l'amélioration des conditions de croissance pour certaines cultures, l'introduction de nouveaux cultivars/variétés ou l'extension de certaines cultures à d'autres régions grâce à l'augmentation des températures moyennes.

Une caractéristique importante des changements climatiques est que ces impacts ne seront pas les mêmes pour toutes les régions et pour toutes les productions. Il est donc pertinent d'analyser leurs effets sur la position concurrentielle de certaines productions agricoles au Québec.

La présente étude vise à analyser l'impact relatif des changements climatiques sur les coûts de production du maïs-grain, de la pomme et du sirop d'érable, dans un horizon 2050. À partir de la littérature, trois scénarios d'impacts sur les éléments de coûts et/ou de revenus ont été produits et validés auprès d'experts. L'évolution de la situation économique d'entreprises agricoles types au Québec a alors été analysée et les résultats obtenus ont été comparés aux prévisions d'impacts dans les régions compétitrices.

2. L'impact des changements climatiques sur l'œcoumène agricole du Québec

Les scénarios climatiques pour le sud du Québec prévoient un réchauffement des températures à l'horizon 2050, qui sera plus important en hiver (+2,5 à +3,8°C) qu'en été (+1,9 à +3,0°C). Les températures printanières et automnales devraient quant à elles augmenter respectivement de 1,9 à 3,0°C et de 2,0 à 3,1°C (Ouranos, 2010). Ces augmentations de températures printanières et automnales devraient faire en sorte que le

dernier gel surviendrait 12 à 20 jours plus tôt et que le premier gel surviendrait 15 à 18 jours plus tard (Bélangier et Bootsma, 2002). Ainsi, les unités thermiques maïs¹ (UTM) devraient augmenter de 29 % (3 088 UTM prévues pour 2040-2069 contre 2 390 UTM en 2002).

Un autre impact des changements climatiques sera l'augmentation de l'intensité et de la fréquence de certains événements climatiques extrêmes (vents, orages, températures extrêmes, verglas, etc.) et une plus grande vulnérabilité aux ravageurs en raison des dommages causés par ces événements extrêmes (Rondeau, 2007; Ouranos, 2010). De plus, l'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère facilitera la croissance des mauvaises herbes et affectera l'efficacité de certains insecticides. Les pressions sur les cultures devraient donc être plus fortes en raison de maladies existantes et de l'arrivée de nouvelles espèces comme le longicorne asiatique (Ouranos, 2010).

Combinées à l'augmentation des températures, le maintien des précipitations estivales à leur niveau actuel devrait entraîner une augmentation de 34 % du déficit hydrique estival (Bootsma *et al.*, 2004). La situation inverse devrait se présenter en hiver avec une augmentation des précipitations de 8,6 à 18,1 % au sud du Québec. Une portion plus importante des précipitations hivernales actuelles et nouvelles devrait se faire sous forme de pluie. Ainsi, le nombre de jours où la couverture de neige sera au moins égale à 10 cm devrait diminuer de 48 % entraînant de plus grands risques face aux températures froides hivernales (Rondeau, 2007; Ouranos, 2010).

Dans le contexte agricole québécois certaines productions sont particulièrement indiquées lorsqu'il s'agit d'évaluer les impacts économiques des changements climatiques. Ainsi, dans la production de maïs, les changements climatiques pourraient nécessiter un recours plus important à l'irrigation et aux produits phytosanitaires. À l'inverse, l'augmentation des UTM sur la totalité du territoire québécois et l'introduction de nouveaux cultivars

¹ Les unités thermiques maïs (UTM) représentent la durée des saisons de croissance et l'accumulation de chaleurs en fonction des degrés-jours de croissance.

devraient avantager la production de maïs-grain en raison d'une augmentation des rendements et d'une expansion de la zone de production (Bélangier et Bootsma, 2002).

Dans les productions fruitières des effets de seuil peuvent se manifester permettant l'introduction de variétés plus productives ou l'expansion des aires de production du fait de conditions de production plus propices. La pomiculture devrait voir sa saison de croissance augmenter de 14 à 45 jours selon les régions tout en profitant d'une diminution de l'exposition aux risques de froids intenses en hiver (Lease *et al.*, 2009). Cependant, la sensibilité de telles productions aux gelées tardives ou aux automnes trop chauds peut à la fois freiner cette diversification et pénaliser certaines productions fruitières déjà installées. De même, des températures hivernales trop élevées pourraient entraîner un désendurcissement précoce et donc provoquer des dommages aux arbres (Lease *et al.*, 2009).

La production de sirop d'érable est également intéressante du fait de sa situation unique au Québec et de sa grande sensibilité aux fluctuations des conditions climatiques. Une succession de jours pendant lesquels les températures descendent sous zéro la nuit et passent au-dessus de zéro le jour, représente une condition de succès de cette production. (Rondeau, 2007). En hiver, l'augmentation plus rapide des températures maximales que celles minimales devrait diminuer les alternances gel-dégel nécessaires à la coulée de la sève d'érable (Rondeau, 2007).

3. Approche méthodologique

3.1. La méthode Delphi

En s'appuyant sur une revue de la littérature pertinente et sur la consultation de données statistiques, pour chaque production d'intérêt, un scénario d'impact des changements climatiques a été construit pour le Québec et pour ses principaux concurrents. Ce scénario a par la suite été soumis pour consultation, suivant la méthode Delphi, auprès d'experts

nord-américains². Les experts devaient se prononcer sur le réalisme du scénario proposé et, le cas échéant, suggérer des modifications. Ils devaient également se prononcer sur des éléments de rendements, de coûts et de revenus.

La méthode Delphi est un processus structuré et interactif visant à recueillir les avis ou les connaissances d'un groupe d'experts (Adler et Ziglio, 1996). Plus précisément, elle consiste à soumettre des questionnaires successifs à un groupe d'experts en visant à structurer un processus de communication de groupe, sans l'interférence du comportement social interactif qui peut se produire dans une discussion face à face (Wissema, 1982). Après chaque ronde de questions, un résumé anonyme de l'opinion ou de la prédiction des experts ainsi que de leurs justifications est préparé par le facilitateur et retourné à ces derniers. Les experts sont encouragés à réviser ou justifier leurs réponses initiales à la lumière de l'information provenant des autres experts. Le processus se termine lorsque les experts ont atteint un consensus ou qu'il y a saturation des réponses (Mayer et Ouellet, 1991).

Les tableaux A1-A3 des annexes présentent les scénarios des impacts des changements climatiques pour les trois productions retenues.

3.2. L'analyse économique

Pour chaque production, des modèles de ferme type et la méthode de la budgétisation partielle ont servi à estimer les bénéfices nets résultant de l'impact des changements climatiques, tant au Québec que dans les régions compétitrices. Les variations de coûts et de revenus induites par les changements climatiques et validées par les groupes d'experts ont été prises en considération. Les prix ont été considérés constants sur la base de l'année de référence 2010.

² Nombre d'experts ayant répondu : 4 pour le maïs-grain, 3 pour les pommes et 4 pour l'acériculture. Ces chiffres représentent un fort pourcentage des experts disponibles sur la question.

La ferme type dans la production de maïs-grain

En 2010, au Québec, la ferme type possédait 181,54 ha en culture de maïs-grain et obtenait des rendements de 7,9 t/ha. Son coût de production était de 215,18 \$/t après soustraction des rémunérations de l'exploitant et de l'avoir net, de même que des revenus d'assurance récolte et des autres revenus. À l'hectare, le coût de production se chiffrait à 1 606,94 \$ (CRAAQ, 2010; 2011; FADQ, 2012a).

La ferme type dans la production de pommes

Le budget de référence a été bâti pour 3 densités différentes de pommiers soit 2 246 pommiers/ha pour les vergers à très haute densité, 1 111 pommiers/ha pour les vergers à haute densité et 500 pommiers/ha pour les vergers à densité moyenne. Les rendements à l'hectare au sommet du cycle de production pour notre ferme type en 2010 sont respectivement de 36,38 t/ha, 25,0 t/ha et 22,7 t/ha pour la densité très haute, haute et moyenne. Les coûts de production moyens par hectare ont été estimés à respectivement 7 483,22 \$/ha, 7 414,93 \$/ha et de 7 329,66 \$/ha, ce qui correspond à des coûts de production à la tonne de 205,70 \$/t, de 296,60 \$/t et de 322,89 \$/t.³

La ferme type dans la production de sirop d'érable

Trois groupes d'entreprises ont été identifiés en fonction du nombre d'entailles : 2 000 à 5 000 entailles (petites érablières), 5 000 à 19 000 entailles (érablières moyennes) et plus de 19 000 entailles (grandes érablières). Les coûts de production en 2010 pour notre ferme type selon la taille sont alors respectivement de 2,60 \$, de 2,40 \$ et de 2,42 \$ par entaille. Pour les entreprises de plus de 19 000 entailles, des employés permanents sont affectés à l'acériculture entraînant ainsi des salaires plutôt qu'une rémunération de

³ Étant donné les objectifs de la présente étude, il n'est pas tenu en compte de la rémunération de l'avoir du propriétaire, des amortissements et de la rémunération suggérée pour l'exploitation et sa famille (Voir FADQ, 2012b).

l'exploitant par le bénéfice. Les rendements sont respectivement de 1,02 kg/entaille, 1,10 kg/entaille et 1,18 kg/entaille pour les petites, moyennes et grandes érablières.⁴

4. Résultats⁵

La production de maïs-grain

Les changements climatiques devraient entraîner une augmentation des coûts de production à l'hectare de 7,1 % à 9,9 % pour la ferme type québécoise (Tableau 1). Cette augmentation des coûts à l'hectare devrait être compensée par une augmentation plus importante des rendements (20 % à 60 %) de sorte que, selon les scénarios, les coûts de production d'une tonne de maïs devraient diminuer de 10,8 % à 31,3 %.

Tableau 1 : Coûts de production et revenu de la production de maïs-grain au Québec en 2010 et prévisions de changements pour 2050

	Scénario		
	Bas	Médian	Élevé
Coût de production à la superficie	1 968,28 \$/ha	1 968,28 \$/ha	1 968,28 \$/ha
Variation par rapport à la situation de base	+7,1 %	+9,3 %	+9,9 %
Coût de production à la quantité	249,15 \$/t	249,15 \$/t	249,15 \$/t
Variation par rapport à la situation de base	-10,8 %	-21,9 %	-31,3 %
Revenu à la superficie	1 382,50 \$/ha	1 382,50 \$/ha	1 382,50 \$/ha
Variation par rapport à la situation de base	+20,0 %	+40,0 %	+60,0 %

Source : CRAAQ (200, 2010, 2011), FADQ (2012a) et calculs des auteurs.

⁴ Les calculs s'appuient sur l'étude de Boulet et Deschênes (2003) et la consultation d'experts de la Fédération des producteurs acéricoles du Québec.

⁵ L'annexe présente une synthèse des scénarios des changements appliqués à chacune des productions.

Les changements climatiques auront également des impacts en Ontario, Iowa et Illinois, principales régions concurrentes du Québec. En Ontario, les températures estivales et hivernales devraient augmenter de façon semblable à celles du Québec (Bruce, 2011) et la période de croissance devrait y être prolongée de 30 à 45 jours. En conséquence, les rendements de maïs-grain devraient croître de 40 à 115 % (Bootsma *et al.*, 2005) et les superficies propices à la culture du maïs-grain devraient s'étendre plus au Nord (Bootsma *et al.*, 2004). Par contre, les besoins additionnels en irrigation entraîneront des coûts supplémentaires. Ce besoin est déjà présent en Iowa et en Illinois et l'augmentation prévue des températures estivales, combinée à une réorganisation des précipitations sous forme d'averses importantes (Rosenberg *et al.*, 2003), devrait entraîner une diminution des rendements (Mearns *et al.*, 2003). Rosenzweig *et al.* (2002) prévoient une augmentation considérable des jours de stress hydrique et donc des dégâts aux cultures. La position concurrentielle de l'Ontario devrait se maintenir alors que celle de l'Iowa et de l'Illinois devrait se détériorer. Toutefois, l'amélioration de la position concurrentielle relative du Québec ne devrait pas lui permettre de faire des gains significatifs sur les marchés à l'exportation étant donné les importants volumes de production de ces deux États américains.

La production de pommes

L'analyse est effectuée pour des pommiers à maturité. Pour les vergers à très haute densité de pommiers, la variation de coût devrait être comprise entre +18,4 % et +27,3 % alors qu'elle devrait se situer entre +19,1 % et +28,5 % pour la haute densité et entre +16,5 % et +28,7 % pour la densité moyenne (Tableau 2). L'augmentation des rendements devrait compenser l'augmentation des coûts de production par hectare pour les scénarios médians et élevés (pour la densité moyenne, tous les scénarios montrent une diminution des coûts de production par tonne). Cette augmentation des rendements ainsi que l'augmentation de la qualité des pommes auront un impact positif sur les revenus attendus des producteurs (+14 % à +78,5 %) et donc sur les profits anticipés. Les productions de densité moyenne sont celles qui profiteront le plus des nouvelles conditions de production.

Tableau 2: Coûts de production et revenu de la production de pommes au Québec en 2010 et prévisions de changements pour 2050

		Scénario		
		Bas	Médian	Élevé
Très haute densité	Coût de production à la superficie	7 483,22 \$/ha	7 483,22 \$/ha	7 483,22 \$/ha
	Variation par rapport à la situation de base	+27,3 %	+18,4 %	+27,1 %
	Coût de production à la quantité	205,70 \$/t	205,70 \$/t	205,70 \$/t
	Variation par rapport à la situation de base	+6,0 %	-12,2 %	-25,2 %
	Revenu à la superficie	16 141,81 \$/ha	16 141,81 \$/ha	16 141,81 \$/ha
	Variation par rapport à la situation de base	+14,0 %	+35,0 %	+78,3 %
Haute densité	Coût de production à la superficie	7 414,93 \$/ha	7 414,93 \$/ha	7 414,93 \$/ha
	Variation par rapport à la situation de base	+27,6 %	+19,1 %	+28,5 %
	Coût de production à la quantité	296,60 \$/t	296,60 \$/t	296,60 \$/t
	Variation par rapport à la situation de base	+6,4 %	-11,78 %	-24,4 %
	Revenu à la superficie	11 092,50 \$/ha	11 092,50 \$/ha	11 092,50 \$/ha
	Variation par rapport à la situation de base	+13,9 %	+34,8 %	+78,5 %
Densité moyenne	Coût de production à la superficie	7 329,66 \$/ha	7 329,66 \$/ha	7 329,66 \$/ha
	Variation par rapport à la situation de base	+18,8 %	+16,5 %	+28,7 %
	Coût de production à la quantité	322,89 \$/t	322,89 \$/t	322,89 \$/t
	Variation par rapport à la situation de base	-1,2 %	-12,2 %	-24,3 %
	Revenu à la superficie	10 071,99 \$/ha	10 071,99 \$/ha	10 071,99 \$/ha
	Variation par rapport à la situation de base	+14,1 %	+32,6 %	+78,5 %

Source : MAPAQ (2006)⁶ et calculs des auteurs.

L'Ontario, la Colombie-Britannique et l'État de Washington ont été identifiés comme étant les principales régions concurrentes du Québec. En Ontario, l'impact des changements climatiques sur la pomiculture pourrait se refléter sur la diminution du nombre de jours de froid extrême et donc sur les dégâts causés aux arbres (Rochette *et al.*,

⁶ Voir à l'adresse

<http://www.agrireseau.qc.ca/reseaupommier/documents/Profitabilit%C3%A9%20selon%20la%20densit%C3%A9%20de%20plantation.pdf>

2004). En Colombie-Britannique et dans l'État de Washington, une augmentation des températures de 0,6 à 4,4°C est anticipée (PCIC, 2011). Les températures plus élevées en été devraient entraîner une augmentation du stress hydrique des pommiers tandis que celles prévues en hiver devraient réduire les dégâts liés au froid. Les précipitations quant à elles devraient augmenter en hiver et au printemps mais diminuer en été et en automne, augmentant les besoins en eau (Stöckle *et al.*, 2009). Cela devrait nuire aux opportunités d'augmentation du nombre de pommiers (Gayton, 2008) malgré une augmentation des superficies propices au nord et en altitude (Zebarth *et al.*, 1996). Les volumes de production des régions concurrentes ne seront négativement affectés que de façon peu significative entraînant une faible amélioration de la position concurrentielle relative du Québec.

La production de sirop d'érable

L'augmentation des coûts de production par entaille devrait globalement se situer entre +0,1 % et +4,3 % selon la taille de l'érable et le scénario retenu (

3). Seules les exploitations de 5 000 à 19 000 entailles pourraient voir leurs coûts de production par entaille diminuer de 0,2 % dans le cadre du scénario élevé. La diminution des rendements devrait entraîner un double impact soit une augmentation du coût de production par kilogramme (+5,5 % à +19,4 %) et une diminution attendue des revenus par entaille (entre 5,7 % et 12,7 %). Les entreprises de taille moyenne devraient ainsi être celles qui subiront le moins l'impact des changements climatiques grâce à leurs plus faibles besoins en main-d'œuvre.

Tableau 3: Coûts de production et revenu de la production de sirop d'érable au Québec en 2010 et prévisions de changements pour 2050

		Scénario		
		Bas	Médian	Élevé
2000-5000 entailles	Coût de production à la superficie	3,99 \$/entaille	3,99 \$/entaille	3,99 \$/entaille
	Variation par rapport à la situation de base	+3,1 %	+2,3 %	+1,7 %
	Coût de production à la quantité	4,25 \$/entaille	4,25 \$/entaille	4,25 \$/entaille
	Variation par rapport à la situation de base	+16,0 %	+10,3 %	+6,0 %
	Revenu à la superficie	5,97 \$/entaille	5,97 \$/entaille	5,97 \$/entaille
	Variation par rapport à la situation de base	-12,7 %	-8,8 %	-5,7 %
5000-19000 entailles	Coût de production à la superficie	4,23 \$/entaille	4,23 \$/entaille	4,23 \$/entaille
	Variation par rapport à la situation de base	+1,7 %	+0,7 %	-0,2 %
	Coût de production à la quantité	3,86 \$/kg	3,86 \$/kg	3,86 \$/kg
	Variation par rapport à la situation de base	+16,2 %	+10,1 %	+5,5 %
	Revenu à la superficie	6,96 \$/entaille	6,96 \$/entaille	6,96 \$/entaille
	Variation par rapport à la situation de base	-12,7 %	-8,8 %	-5,7 %
Plus de 19000 entailles	Coût de production à la superficie	4,31 \$/entaille	4,31 \$/entaille	4,31 \$/entaille
	Variation par rapport à la situation de base	+4,3 %	+1,5 %	+0,1 %
	Coût de production à la quantité	3,91 \$/kg	3,91 \$/kg	3,91 \$/kg
	Variation par rapport à la situation de base	+19,4 %	+11,7 %	+6,0 %
	Revenu à la superficie	6,99 \$/entaille	6,99 \$/entaille	6,99 \$/entaille
	Variation par rapport à la situation de base	-12,7 %	-8,8 %	-5,7 %

Source : Producteurs acéricoles du Québec et calculs des auteurs.

Dans le nord-est des États-Unis, région concurrente du Québec, les prévisions d'impact des changements climatiques montrent que la température devrait augmenter (Rosenberg *et al.*, 2003) rendant moins fréquentes les conditions propices à la coulée des érables (Rondeau, 2007). Perkins (2007) mentionne toutefois que malgré des saisons de production plus courtes et débutant plus tôt en Nouvelle-Angleterre et pour l'État de New York, les avancées technologiques pourraient compenser partiellement la diminution des

rendements causée par les changements climatiques. La position concurrentielle relative du Québec devrait donc s'améliorer, et ce, malgré une détérioration des conditions de production au Québec.

5. Conclusions

Les changements climatiques entraîneront des modifications des conditions de production agricole différenciées selon les régions de l'Amérique du Nord et les productions considérées. À l'aide de la méthode Delphi, des scénarios d'impacts de changements climatiques à l'horizon 2050 sur les productions de maïs-grain, de pommes et de sirop d'érable ont été élaborés pour le Québec et pour ses principales régions concurrentes. Par la suite, la méthode de budget partiel de fermes-type a été utilisée pour évaluer l'impact sur les coûts et/ou revenus de production et ainsi établir la position concurrentielle relative du Québec sur les marchés en 2050.

Nos résultats indiquent que selon les scénarios de changements climatiques, la situation des producteurs québécois de maïs-grain et de pommes devrait s'améliorer, ainsi que leur position concurrentielle, du moins à la marge. Dans le cas du sirop d'érable, l'effet net anticipé est négatif mais cela ne devrait pas nuire à la position concurrentielle relative du Québec, l'impact négatif des changements climatiques étant plus important dans les régions concurrentes.

6. Références bibliographiques

Adler M, Ziglio E. 1996, *Gazing into the Oracle*. Bristol: Jessica Kingsley Publishers.

Bélangier G, Bootsma A, 2002. *Impacts des changements climatiques sur l'agriculture au Québec*. Présentation au 65e congrès de l'Ordre des Agronomes du Québec.

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

Bootsma A, Gameda S, McKenney DW, 2005. Potential impacts of climate change on corn, soybeans and barley yields in Atlantic Canada. *Canadian Journal of Soil Science* 85 (2): 345-57. doi: 10.4141/S04-025

Boulet S, Deschênes C, 2003. *Étude sur le coût de production du sirop d'érable (vrac) au Québec en 2003*. Québec : Bibliothèque et Archives nationales du Québec.

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

CRAAQ, 2008. *Mais-grain – Budget*. Novembre 2008. Québec : Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec.

CRAAQ, 2010. *Fertilisants et amendements – Prix*. Avril 2010. Québec : Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec.

CRAAQ, 2011. *Grains de semences – Prix*. Mai 2011. Québec : Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec.

Duchesne L, Houle D, Côté MA, Logan T, 2009. Modelling the effect of climate on maple syrup production in Québec, Canada. *Forest Ecology and Management* 12 (258): 2683-89. doi: 10.1016/j.foreco.2009.09.035

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

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

Gayton DV, 2008. *Impacts of Climate Change on British Columbia's Biodiversity*. Kamloops : Forrex.

Lease N, Pichette A, Chaumont D, 2009. *Projet d'étude sur l'adaptation aux changements climatiques du secteur de la pomme au Québec*. Montréal; Québec : Ouranos; Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec.

Mayer R, Ouellette F. (1991). *Méthodologie de recherche pour les intervenants sociaux*. Boucherville : Éditions Gaëtan Morin, 1991.

Mearns LO, Carbone G, Doherty RM, Tsvetsinskaya E, McCarl BA, Adams RM *et al.*, 2003. The Uncertainty due to Spatial Scale of Climate Scenarios in Integrated Assessments: An Example from U.S. Agriculture. *Integrated Assessment* 4 (4): 225-35. doi: 10.1080/1389517049051537\$16.00

Norby RJ, Hart-Rubin JS, Verbrugge MJ, 2003. Phenological responses in maple to experimental atmospheric warming and CO₂ enrichment. *Global Change Biology* 9: 1792-801. doi: 10.1111/j.1365-2486.2003.00714.x

Ouranos, 2010. *Savoir s'adapter aux changements climatiques*. Montréal : Ouranos.

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

Perkins TD, 2007. *Congressional Testimony*. Adressé au House Select Committee on Energy Independence and Global Warming, le 4 juin 2007.

Rochette P, Bélanger G, Castonguay Y, Bootsma A, Mongrain D, 2004. Climate change and winter damage to fruit trees in eastern Canada. *Canadian Journal of Plant Science* 84: 1113-25. doi: 10.4141/P03-177

Rondeau A, 2007. *L'acériculture face aux changements climatiques : Inventaire des impacts potentiels et mesures d'adaptation*. Essai en vue de l'obtention du grade de maître en environnement, Université de Sherbrooke (Canada).

Rosenberg NJ, Brown RA, Izaurralde RC, Thomson AM, 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: 73-96. doi: 10.1016/S0168-1923(03)00025-X

Rosenzweig C, Tubiello FN, Goldberg R, Mills E, Bloomfield J, 2002. Increased crop damage in the US from excess precipitation under climate change. *Global Environmental Change* 12: 197-202. doi: 10.1016/S0959-3780(02)00008-0

Statistique Canada, 2012. *Tableau 328-0015 : Indices des prix des entrées dans l'agriculture, trimestriel*. [En ligne]. http://estat.statcan.gc.ca/cgi-win/cnsmcgi.exe?Lang=F&EST-Fi=EStat/Francais/CII_1-fra.htm (page consultée le 20 août 2012).

Stöckle CO, Nelson RL, Higgins S, Brunner J, Grove G, Boydston R *et al.* 2009. Assessment of Climate Change Impacts on Eastern Washington Agriculture. *Climatic Change* 102: 77-102. doi: 10.1007/s10584-010-9851-4

Wissema JG, 1982. Trend in technology forecasting. *Research and Development Management* 12 (1): 27-36. doi: 10.1111/j.1467-9310.1982.tb00480.x

Zebarth B, Caprio J, Broersma K, Mills P, Smith S, 1996. Effect of Climate Change on Agriculture in British Columbia and Yukon. In: Taylor E, Taylor B, eds. *Responding to Global Climate Change in British Columbia and Yukon*. Canada Country Study Vol 1. Vancouver: British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks, p. 216-227.

7. Annexes : scénarios des changements appliqués à chacune des trois productions retenues

TableauA1: Scénarios d'impact des changements climatiques sur la production de maïs-grain au Québec à l'horizon 2050

Facteur modifié	Scénario		
	Bas	Médian	Élevé
Rendements	+20 %	+40 %	+60 %
Quantité de fertilisants	+0 %	+20 %	+40 %
Nombre de traitements d'herbicide	2	2	1
Entretien et réparation de la machinerie	+10 %	+5 %	+0 %
Temps de travail	+100 %	+50 %	+25 %
Mise en place d'un système d'irrigation	Oui	Oui	Oui
Fréquence d'utilisation du matériel d'irrigation	+10 %	+5 %	+0 %

TableauA2 : Scénarios d'impact des changements climatiques sur la production de pommes au Québec à l'horizon 2050

Facteur modifié	Scénario		
	Bas	Médian	Élevé
Rendements	+20 %	+35 %	+70 %
Fertilisation	+0 %	+15 %	+35 %
Quantité de matériel utilisé pour l'installation du tuteurage	+10 %	+5 %	+2 %
Temps de travail de l'installation des tuteurs	+10 %	+5 %	+2 %
Utilisation de pesticides	+20 %	+10 %	+0 %
Nombre d'application	+50 %	+10 %	+0 %
Temps de travail	+50 %	+10 %	+0 %
Fourniture pour la couverture des arbres	+10 %	+5 %	+2 %
Entretien et réparation de la machinerie	+10 %	+5 %	+0 %
Quantité de pommes en vente directe	10 %	15 %	20 %
Mise en place d'un système d'irrigation	Oui	Oui	Oui

TableauA3 : Scénarios d'impact des changements climatiques sur la production de sirop d'érable au Québec à l'horizon 2050

Facteur modifié	Scénario		
	Bas	Médian	Élevé
Rendements	-12,7 %	-8,8 %	-5,7 %
Frais de traitement	+5 %	+0 %	+0 %
Entretien de la machinerie	+10 %	+5 %	+0 %
Fournitures de l'érable	+10 %	+5 %	+0 %
Temps de travail	+20 %	+5 %	-10 %