

Incidences des changements climatiques sur la compétitivité de quelques cultures du Québec

Lota D. Tamini
Frédéric Clerson
Maurice Doyon
Guy Debailleul

Université Laval
Département d'économie agroalimentaire
et des sciences de la consommation
Centre de recherche en économie
de l'environnement, de l'agroalimentaire,
des transports et de l'énergie (CREATE)
Pavillon Paul-Comtois
2425, rue de l'Agriculture
Local 4412
Québec (Qc), G1V 0A6
Canada
<lota.tamini@eac.ulaval.ca>
<frederick.clerson.guicherd.1@ulaval.ca>
<maurice.doyon@eac.ulaval.ca>
<guy.debailleul@eac.ulaval.ca>

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 des 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 pour trois cultures : maïs-grain, pommes, sirop d'érable. 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 concurrentes (sirop d'érable).

Mots clés : changement climatique ; coût de production ; agriculture ; Québec ; maïs-grain ; pomme ; sirop d'érable ; concurrence.

Thèmes : climat ; productions végétales.

Abstract

The impact of climate change on the competitiveness of some crops in Quebec

Climate change will affect agricultural production conditions, which will have effects on yields and production costs for Quebec farmers. This would likely affect the relative competitive position of Quebec in North America. The Delphi technique and partial budgets were used to develop climate change scenarios for the 2050 period and to assess the impact of these scenarios on the relative competitiveness of Quebec and its competitors in North America. Results indicate that Quebec's competitive position would improve, with more favourable conditions for its corn and apple production and with less favourable conditions for its competitors' maple syrup production.

Key words: climate change; cost of production; agriculture; Quebec; corn; apple; maple syrup; competitiveness.

Subjects: climate; vegetal productions.

Les changements climatiques auront très probablement des impacts tant négatifs que positifs sur les filières agricoles québécoises (Ouranos, 2010 ; Debailleul *et al.*, 2013). Au titre des effets négatifs sont citées l'augmentation des coûts de

production en raison notamment d'une demande accrue de traitements phytosanitaires ou la diminution des rendements causée par des conditions de production plus défavorables (gels tardifs, sécheresses, pluviométrie excessive, diminution de la couverture

Tirés à part : L.D. Tamini

doi: 10.1684/agr.2015.0766

Pour citer cet article : Tamini LD, Clerson F, Doyon M, Debailleul G, 2015. Incidences des changements climatiques sur la compétitivité de quelques cultures du Québec. *Cah Agric* 24 : 261-268. doi : 10.1684/agr.2015.0766

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 la hausse 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'étudier leurs effets sur la position concurrentielle de certaines productions agricoles au Québec. La présente étude vise à analyser les impacts relatifs des changements climatiques sur la production du maïs-grain, de la pomme et du sirop d'érable, à l'horizon 2050. À partir de la littérature, trois scénarios d'impact sur les coûts et revenus ont été produits et validés à dire d'experts. L'évolution de la situation économique de ces filières de production au Québec a alors été analysée et les résultats obtenus ont été comparés aux prévisions d'impacts dans les régions concurrentes.

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 le premier gel 15 à 18 jours plus tard (Bélanger et Bootsma, 2002). Ainsi, les unités thermiques maïs (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 aux cultures par ces événements extrêmes (Rondeau, 2007 ; Ouranos, 2010). De plus, l'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère facilitera la croissance des plantes en C3, dont les mauvaises herbes, et affectera l'efficacité de certains insecticides. Les pressions des ravageurs sur les cultures devraient donc être plus fortes en raison de maladies existantes et de l'arrivée de nouvelles espèces d'insectes comme le longicorne asiatique (Ouranos, 2010).

Combiné à la hausse 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 % pour le sud du Québec. Une partie plus importante des précipitations hivernales actuelles et nouvelles devrait se faire sous forme de pluie. Ainsi, le nombre de jours où l'épaisseur neigeuse sera au moins égale à 10 cm devrait diminuer de 48 %, entraînant de plus grands risques face aux températures froides hivernales, le couvert de neige permettant d'atténuer les impacts négatifs de ces températures (Rondeau, 2007 ; Ouranos, 2010).

Dans le contexte québécois, certaines productions sont particulièrement indiquées lorsqu'il s'agit d'évaluer les impacts économiques sur le secteur agricole des changements climatiques. Ainsi, pour 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 devraient augmenter la production en raison d'une augmentation des rendements et d'une expansion de la zone de production (Bélanger et Bootsma, 2002 ; Ouranos, 2010).

Dans les productions fruitières, des effets de seuil pourront permettre l'introduction de variétés plus

productives ou l'expansion des aires de production du fait de conditions plus propices. La pomiculture devrait voir sa saison de croissance augmenter de 14 à 45 jours selon les régions et profiterait d'une diminution de l'exposition aux risques de froids intenses en hiver (Lease *et al.*, 2009). Cependant, la sensibilité de telles productions aux gels tardifs ou aux automnes trop chauds peut 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 intéressante en raison de sa situation unique au Québec et de sa 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 des minimales devrait diminuer les alternances gel-dégel nécessaires à la coulée de la sève d'érable (Rondeau, 2007 ; Duchesne *et al.*, 2009).

Approche méthodologique

La méthode Delphi

En nous appuyant sur la littérature évoquée dans la section « L'impact des changements climatiques sur l'œcoumène agricole du Québec », un scénario climatique a été construit (Québec et régions concurrentes) pour chaque production. Ce scénario a par la suite été soumis pour consultation, suivant la méthode Delphi, auprès d'experts nord-américains. Pour le maïs-grain, quatre experts sur dix contactés ont répondu, trois sur 13 pour les pommes et, pour l'acériculture, quatre sur 15. Ces chiffres représentent un fort pourcentage des experts disponibles sur la question. Les experts devaient se prononcer sur le réalisme du scénario et, le cas échéant, suggérer des modifications.

Ils devaient également se prononcer sur des éléments de rendements, de coûts de production 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 de vive voix en face-à-face. Après chaque tour 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 révisent ou justifient leurs réponses initiales à la lumière des informations 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). Nous estimons que les scénarios construits sont valides car ceux proposés aux experts

provenaient de la littérature pertinente, et le consensus que nécessite la méthode Delphi a été atteint.

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 concurrentes. Les variations de coût de production et de revenu induites par les changements climatiques et validées par les groupes d'experts ont été prises en considération. Afin d'avoir une meilleure uniformité et représentativité des productions étudiées, seuls les coûts monétaires ont été considérés. Ainsi, l'amortissement et la rémunération des capitaux ne sont pris en compte que pour les investissements nouveaux en système d'irrigation. Par ailleurs, étant donné la disparité dans le mode de calcul de la rémunération de l'exploitant (FADQ, 2011), celle-ci n'est également pas prise en compte.

Enfin, les prix ont été considérés constants sur la base de l'année de référence 2010.

Le budget utilisé pour le maïs-grain est basé sur le calcul des coûts de production par la Financière agricole du Québec (FADQ, 2012). Pour s'assurer d'avoir les détails nécessaires à la représentation adéquate de l'impact des changements climatiques, ces données ont été ajustées et complétées par celles du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ, 2008, 2010, 2011).

Pour la production de pommes, le budget utilisé a été réalisé par Charest (2004). Trois densités différentes de pommiers ont été étudiées : très haute densité (2 246 pommiers/ha), haute densité (1 111 pommiers/ha) et densité moyenne (500 pommiers/ha).

Dans le cas du sirop d'érable, le budget provient de l'étude de Boulet et Deschênes (2003). Des ajustements ont été faits afin de tenir compte des avancées technologiques survenues depuis 2003 (Fédération des producteurs acéricoles du Québec). Les entreprises de moins de 5 000 entailles sont

Tableau 1. Scénarios d'impact des changements climatiques sur la production de maïs-grain au Québec à l'horizon 2050.

Table 1. Scenarios of the impacts of climate change on the production of grain corn in Quebec in the 2050 horizon.

Facteur modifié	Référence (2010)	Scénarios d'impact		
		Élevé	Médian	Bas
Rendements	7,9 t/ha	+ 20 %	+ 40 %	+ 60 %
Quantité de fertilisants	0,59 t/ha	+ 0 %	+ 20 %	+ 40 %
Nombre de traitements d'herbicide	2	2	2	1
Entretien et réparation de la machinerie	79,89 \$/ha	+ 10 %	+ 5 %	+ 0 %
Temps de travail	74,90 \$/ha	+ 100 %	+ 50 %	+ 25 %
Installation d'un système d'irrigation	Non	Oui	Oui	Oui
Fréquence d'utilisation du matériel d'irrigation	0 \$/ha	+ 10 %	+ 5 %	+ 0 %
Coûts de production totaux (\$/ha)	1 495,47	2 031,21 (+ 35,8 %)	2 082,18 (+ 39,2 %)	2 097,47 (+ 40,3 %)
Coûts de production totaux (\$/t)	189,30	214,26 (+ 13,2 %)	188,36 (-0,5 %)	165,94 (-12,3 %)
Revenus totaux (\$/ha)	1 382,50	1 659,00 (+ 20 %)	1 935,50 (+ 40 %)	2 212,00 (+ 60 %)

Source : CRAAQ, 2008, 2010, 2011, FADQ (2012) et calculs des auteurs.

Tableau 2. Scénarios d'impact des changements climatiques sur la production de pommes au Québec à l'horizon 2050.

Table 2. Scenarios of the impacts of climate change on the production of apples in Quebec in the 2050 horizon.

Facteur modifié	Référence (2010)			Scénarios d'impact		
	Très haute densité	Haute densité	Moyenne densité	Élevé	Médian	Bas
Rendements	36,38 t/ha	25,00 t/ha	22,70 t/ha	+ 20 %	+ 35 %	+ 70 %
Fertilisation	256 \$/ha	164,85 \$/ha	110,84 \$/ha	+ 0 %	+ 15 %	+ 35 %
Matériel de tuteurage et de pose des couvertures	298,11 \$/ha	147,49 \$/ha	66,38 \$/ha	+ 10 %	+ 5 %	+ 2 %
Temps de travail pour l'installation des tuteurs	40 h/ha	40 h/ha	40 h/ha	+ 10 %	+ 5 %	+ 2 %
Utilisation de pesticides	925,52 \$/ha	982,73 \$/ha	982,73 \$/ha	+ 20 %	+ 10 %	+ 0 %
Nombre d'application	3 à haute pression et 14,5 à basse pression			+ 50 %	+ 10 %	+ 0 %
Temps de travail	8 h/ha	6,5 h/ha	3 h/ha	+ 50 %	+ 10 %	+ 0 %
Entretien/réparation de la machinerie	390,36 \$/ha	390,36 \$/ha	390,36 \$/ha	+ 10 %	+ 5 %	+ 0 %
Quantité de pommes en vente directe	15 %	15 %	15 %	10 %	15 %	20 %
Installation d'un système d'irrigation	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui

Facteur modifié	Référence (2010)			Scénarios d'impact		
	Très haute densité	Haute densité	Moyenne densité	Élevé	Médian	Bas
Très haute densité	Coûts de production totaux (\$/ha)	7 176,05		9 160,82 (+ 27,7 %)	8 449,02 (+ 17,7 %)	8 992,97 (+ 25,3 %)
	Coûts de production totaux (\$/t)	197,25		209,63 (+ 6,3 %)	172,08 (-12,8 %)	145,52 (-26,2 %)
	Revenus totaux (\$/ha)	16 141,81		18 402,07 (+ 14 %)	21 785,67 (+ 35 %)	28 786,44 (+ 78,3 %)
Haute densité	Coûts de production totaux (\$/ha)		7 052,61	9 028,75 (+ 28,0 %)	8 339,12 (+ 18,2 %)	8 913,78 (+ 26,4 %)
	Coûts de production totaux (\$/t)		282,10	300,96 (+ 6,7 %)	247,45 (-12,3 %)	209,74 (-25,7 %)
	Revenus totaux (\$/ha)		11 092,50	12 633,00 (+ 13,9 %)	14 952,69 (+ 33,8 %)	19 796,50 (+ 78,5 %)
Densité moyenne	Coûts de production totaux (\$/ha)			6 977,26 (+ 18,7 %)	8 068,49 (+ 15,6 %)	8 836,91 (+ 26,7 %)
	Coûts de production totaux (\$/t)			307,37 (-1,3 %)	268,06 (-12,8 %)	228,94 (-25,5 %)
	Revenus totaux (\$/ha)			10 071,99 (+ 14,1 %)	13 355,37 (+ 32,6 %)	17 979,88 (+ 78,5 %)

Source : Charest (2004) et calculs des auteurs.

Tableau 3. Scénarios d'impact des changements climatiques sur la production de sirop d'érable au Québec à l'horizon 2050.

Table 3. Scenarios of the impacts of climate change on the production of maple syrup in Quebec in the 2050 horizon.

Facteur modifié	Référence (2010)		Scénarios d'impact		
	5 000-19 000 entaillles	> 19 000 entaillles	Élevé	Médian	Bas
Rendements	1,10 kg/entaille	1,10 kg/entaille	-12,7 %	-8,8 %	-5,7 %
Entretien de la machinerie	0,15 \$/entaille	0,11 \$/entaille	+ 10 %	+ 5 %	+ 0 %
Fournitures de l'érableière	0,18 \$/entaille	0,12 \$/entaille	+ 10 %	+ 5 %	+ 0 %
Temps de travail	0,24 \$/entaille	0,80 \$/entaille	+ 20 %	+ 5 %	-10 %
5 000-19 000 entaillles	Coûts de production totaux (\$/entaille)	3,01	3,09 (+ 2,6 %)	3,05 (+ 1,1 %)	3,01 (-0,1 %)
	Coûts de production totaux (\$/kg)	2,75	3,22 (+ 17,1 %)	3,04 (+ 10,5 %)	2,90 (+ 5,5 %)
	Revenus totaux (\$/entaille)	6,96	6,08 (-12,7 %)	6,35 (-8,8 %)	6,57 (-5,7 %)
> 19 000 entaillles	Coûts de production totaux (\$/entaille)		3,31 (+ 5,6 %)	3,38 (+ 2,0 %)	3,31 (+ 0,0 %)
	Coûts de production totaux (\$/kg)		3,01 (+ 20,9 %)	3,38 (+ 12,4 %)	3,19 (+ 6,0 %)
	Revenus totaux (\$/entaille)		6,99 (-12,7 %)	6,38 (-8,8 %)	6,60 (-5,7 %)

Source : Fédération des producteurs acéricoles du Québec et calculs des auteurs.

non spécialisées et par conséquent deux tailles d'entreprises ont été étudiées : 5 000 à 19 000 entaillles et plus de 19 000 entaillles.

Pour chaque production, trois scénarios (bas, médian et élevé) ont été produits en fonction des informations obtenues par la méthode Delphi (voir *tableaux 1, 2 et 3* et A1 en *annexe 1*). Dans le scénario bas, l'impact des changements climatiques sur le secteur agricole est le plus faible, alors que dans le scénario élevé, il est le plus important.

Résultats

La production de maïs-grain

Les changements climatiques devraient entraîner une augmentation des coûts de production à l'hectare de 35,8 à 40,3 % (*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 varier de +13,2 % à -12,3 % dans les zones actuelles de production.

Les changements climatiques auront également des impacts en Ontario, Iowa et Illinois (Canada et États-Unis), 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). En revanche, les besoins additionnels en irrigation entraîneront des

coûts supplémentaires. Ces besoins sont déjà présents 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. Selon les experts consultés, 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, malgré une extension de la production vers le nord, ne devrait pas lui permettre de faire des gains significatifs sur les marchés à l'exportation étant donné les importants volumes de production des 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 des coûts à la superficie devrait être comprise entre +17,7 % et +27,7 %, alors qu'elle devrait se situer entre +18,2 % et +28,0 % pour la haute densité et entre +15,6 % et +26,7 % pour la densité moyenne (tableau 2). Une augmentation moindre des coûts par hectare pour le scénario médian est probable en raison d'une faible augmentation des coûts de récolte. L'augmentation des rendements devrait ainsi compenser l'augmentation des coûts de production par hectare pour les scénarios médian et bas (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 (+13,9 % 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. L'Ontario, la Colombie-Britannique et l'État de Washington (Canada et États-Unis) 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.*, 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 seront négativement affectés, mais de façon peu significative entraînant une faible

amélioration de la position concurrentielle relative du Québec.

La production de sirop d'érable

La variation des coûts de production par entaille devrait se situer entre -0,1 % et +5,6 % selon la taille de l'érablière et le scénario (tableau 3). Les exploitations de 5 000 à 19 000 entailles pourraient voir leurs coûts de production par entaille diminuer de 0,1 % dans le cadre du scénario bas. La diminution des rendements devrait entraîner une augmentation du coût de production par kilogramme (+5,5 % à +20,9 %) et une diminution des revenus par entaille (entre 5,7 % et 12,7 %). 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 les conditions propices à la coulée des érables moins fréquentes (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.

Conclusion

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'impact des 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 a été utilisée pour évaluer l'impact sur les coûts et les 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. ■

Références

- Adler M, Ziglio E, 1996. *Gazing into the oracle*. Bristol: Jessica Kingsley Publishers.
- Bélanger G, Bootsma A, 2002. *Impacts des changements climatiques sur l'agriculture au Québec*. Présentation au 65^e congrès de l'Ordre des Agronomes du Québec. www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Belanger.pdf
- 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. http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/bootsma_ON_Q-C_ind.pdf
- 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* 85:345-57. 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. www.siropperable.ca/AxisDocument.aspx?id=114&langue=fr...true
- 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.
- Charest, J., 2004. *Profitabilité de la production de pommes*. Québec. <http://www.agrireseau.qc.ca/reseaupommier/Documents/Profitabilite.xls>
- CRAAQ, 2008. *Maïs-grain – budget*. Québec: Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). <https://www.craaq.qc.ca/Publications-du-CRAAQ/references-economiques/t/83?q=%22Ma%C3%AFs-grain%22&t=>
- CRAAQ, 2010. *Fertilisants et amendements – prix*. Québec: CRAAQ. <https://www.craaq.qc.ca/Publications-du-CRAAQ/r?q=Fertilisants+et+amendements&t=3>
- CRAAQ, 2011. *Grains de semences – prix*. Québec: CRAAQ. <https://www.craaq.qc.ca/Publications-du-CRAAQ/r?q=Grains%20de%20semences%20&t=3>
- Debailleul G, Tamini LD, Doyon M, Clerson-Guicherd MF, Jacques LS, Hernandez M, *et al.*, 2013. Analyse prospective de la position concurrentielle du Québec en matière de production agricole dans un contexte de changements climatiques. *Rapport final pour le consortium Ouranos*.

www.ouranos.ca/media/publication/233_Rapport-Debailleul2013.pdf

Duchesne L, Houle D, Côté MA, Logan T, 2009. Modelling the effect of climate on maple syrup production in Quebec, Canada. *Forest Ecology and Management* 12:2683-9. doi: 10.1016/j.foreco.2009.09.035

FADQ, 2011. *Mise à jour du calcul de la rémunération de l'exploitant : une question d'équité !* FADQ, Nouvelles 1(4). http://www.fadq.qc.ca/acces_medias/fadq_nouvelles/volume_1_numero_4.html

FADQ, 2012. *Mais-grain coût de production janvier à décembre 2010*. Lévis: Financière agricole du Québec. www.fadq.qc.ca/fileadmin/fr/cent_docu/.../cout.../mais/mais_2010.pdf

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, Ouellett F, 1991. *Méthodologie de recherche pour les intervenants sociaux*. Boucherville: Éditions Gaëtan Morin.

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* 4:225-35. doi: 10.1080/1389517049051537516.00

Ouranos, 2010. *Savoir s'adapter aux changements climatiques*. Montréal: Ouranos. www.ouranos.ca/fr/pdf/53_sscc_21_06_lr.pdf

PCIC, 2011. *Hydrologic impacts of climate change on BC water resources*. Victoria: Université de Victoria. <https://www.pacificclimate.org/sites/default/files/publications/Zwiers.HydroImpacts-Summary-CampbellPeaceColumbia.Jul2011-SCREEN.pdf>

Perkins TD, 2007. *Congressional Testimony*. Adressé au House Select Committee on Energy Independence and Global Warming. <http://www.markey.senate.gov/GlobalWarming/tools/assets/files/O101.pdf>.

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).

www.agrireseau.qc.ca/erable/documents/AudreyRondeau%20final.pdf.

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

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

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: 216-227.

Annexe 1

Scénarios des changements appliqués aux productions retenues.

Tableau A1. Scénarios climatiques pour le Québec à l'horizon 2050.

Table A1. Climate scenarios in Quebec in the 2050 horizon.

Caractéristiques affectées	Amplitude de l'impact
Températures estivales	+ 1,9 à 3,0 °C au sud du Québec + 1,6 à 2,8 °C au nord du Québec
	+ 25 % d'UTM
Températures hivernales	+ 2,5 à 3,8 °C au sud du Québec + 4,5 à 6,5 °C au nord du Québec
	Premier gel 15-18 jours plus tard
	Dernier gel 12-20 jours plus tôt
Disponibilité en eau	Déficit hydrique à 106 mm par an (+ 34 %)
	Augmentation des besoins en irrigation
	Diminution du couvert de neige au sud du Québec et augmentation au nord du Québec
Événements climatiques extrêmes	Augmentation de l'occurrence
Ravageurs et maladies	Augmentation de l'occurrence et présence de nouvelles espèces
	Applications supplémentaires d'insecticides
Augmentation prévue des rendements de maïs-grain	+ < 2 t/ha pour la Montérégie Sud-Ouest
	+ 3 t/ha pour le sud de l'Outaouais, Lanaudière, Montérégie Nord-Est
	+ 4 t/ha dans les autres régions productrices
	6 à 8 t/ha au Saguenay-Lac-Saint-Jean, en Abitibi-Témiscamingue, au Bas-Saint-Laurent - Gaspésie et dans l'est de l'Estrie
Augmentation prévue des rendements de la pomme	Saison de croissance allongée de 23 à 32 jours
	Augmentation de la concentration en CO ₂
	Possibilité climatique de cultiver la pomme dans des régions plus au nord
Augmentation prévue des rendements de sirop d'érable	Augmentation de la densité des vergers
	Diminution des rendements de 15 %
	Récolte devancée de 12 jours
	Migration des érables de 200 à 600 km sur plusieurs centaines d'années