

**HEC MONTRÉAL**

**Les impacts économiques des changements climatiques sur l'agriculture québécoise à**

**l'horizon 2050**

**par**

**Alizée Vautrin**

**Justin Leroux**

**HEC Montréal**

**Directeur de recherche**

**Sciences de la gestion**

**(Spécialisation Économie Appliquée)**

*Mémoire présenté en vue de l'obtention  
du grade de maîtrise ès sciences en gestion  
(M. Sc.)*

Décembre 2020

© Alizée Vautrin, 2020



## Résumé

Les enjeux entourant les changements climatiques occupent une place de plus en plus importante puisqu'ils affectent toutes les régions du monde. Au Québec, le secteur agricole devrait être profondément touché par les conséquences des changements climatiques. L'agriculture québécoise se démarque par le fait qu'elle est actuellement limitée par un climat trop froid et qu'elle pourrait bénéficier d'un réchauffement des températures.

L'objectif de cette recherche est de documenter l'évolution des impacts des changements climatiques sur le secteur agricole québécois et plus particulièrement la situation économique des producteurs spécialisés dans la production végétale à l'horizon 2050. Afin d'atteindre cet objectif, une analyse qualitative des prix mondiaux et des quantités produites au Québec a été menée sur cinq cultures : l'avoine, le blé, le maïs-grain, l'orge et le soya. Cette analyse évalue d'abord les répercussions des changements climatiques sur l'offre et la demande mondiale. Puis, les impacts des changements climatiques sur la production locale sont ensuite examinés.

Les résultats obtenus indiquent d'une part que le niveau des prix des cultures aura tendance à augmenter sur les marchés mondiaux et d'autre part que la production locale s'accroîtra. Les impacts des changements climatiques pourraient donc être bénéfiques à la situation économique des producteurs.

**Mots clés :** Changements climatiques, Agriculture, Impact économique, Production végétale



## Table des matières

Résumé .....	iii
Table des matières .....	v
Liste des tableaux et des figures .....	vi
Liste des abréviations .....	vii
Remerciements .....	ix
Introduction .....	1
Chapitre 1 : Revue de la littérature .....	5
1.1 Impacts des changements climatiques sur l'agriculture mondiale .....	5
1.2 État de la recherche sur les impacts des changements climatiques en agriculture au Québec .....	15
Chapitre 2 : Méthodologie .....	29
2.1 Approche méthodologique .....	29
2.2 Provenance des données .....	30
2.3 Méthode d'analyse .....	31
Chapitre 3 : Analyse .....	39
3.1 Prix internationaux des grandes cultures .....	39
3.2 Production québécoise .....	49
3.3 Analyse récapitulative .....	58
Chapitre 4 : Discussion des résultats .....	62
4.1 Discussion des résultats .....	62
4.2 Tendances socioéconomiques .....	63
4.3 Limites .....	67
Conclusion .....	71
Bibliographie .....	71
Annexes .....	i

# Liste des tableaux et des figures

## Tableaux

Tableau 1.1 : Projections changement température moyenne de la surface de la terre.....	6
Tableau 1.2 Nombre potentiel de jours en stress hydrique par région.....	17
Tableau 1.3 Projections des rendements 2040-2069 (Bélanger et Bootsma, 2002) .....	22
Tableau 1.4 Projections des rendements du maïs-grain par région en 2050 (Debailleul <i>et al.</i> , 2013) .....	23
Tableau 1.5 Projections des rendements par région et par scénario (Charbonneau <i>et al.</i> , 2013) .....	24
Tableau 1.6 Projection des rendements par région et par scénario (Charbonneau <i>et al.</i> , 2020)	25
Tableau 3.1 projections des rendements par région pour la période de référence et la période 2050-2079 .....	51

## Figures

Figure 2.1 Matrice des scénarios économiques de la production agricole à l'horizon 2050 .....	35
Figure 2.2 Schémas évolution possible de l'offre et de la demande sur les marchés mondial et québécois.....	36
Figure 3.1 Évolution des prix des grandes cultures .....	40
Figure 3.2 Les effets des changements climatiques sur le système alimentaire en 2050.....	48
Figure 3.3 Évolution de la production annuelle et des recettes monétaires.....	50
Figure 3.4 Rendements réels par zone .....	52
Figure 3.5 Schémas évolution de l'offre et de la demande sur les marchés mondial et québécois .....	59
Figure 3. 6 Matrice finale des scénarios économiques de la production agricole à l'horizon 2050 .....	60
Figure 4.1 Évolution du nombre d'entreprises détenant une certification biologique au québec .....	64

## Liste des abréviations

DJC : Degré jour de croissance

DJCE : Degré jour de croissance effectif

EEE : Espèces exotiques envahissantes

ENSO : *El Niño-Southern Oscillation*

FADQ: Financière agricole du Québec

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

GES : Gaz à effet de serre

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

OCDE : Organisation de coopération et de développement économiques

UTM : Unité thermique maïs



## Remerciements

J'aimerais sincèrement remercier mon directeur de recherche, Justin Leroux, pour son support et son encadrement dans toutes les phases de ce mémoire. Je te remercie pour ton ouverture d'esprit face au choix du sujet, pour tes bons conseils et ta disponibilité, ainsi que pour la rigueur de tes commentaires. Ils m'ont permis d'apprendre énormément de choses sur la recherche et de prendre goût à la rédaction.

Je souhaite aussi remercier chaleureusement Luc Belzile, un expert en économie de l'agroenvironnement. Je te remercie de m'avoir guidée dans les rouages du monde agricole et pour les nombreux contacts auxquels tu m'as référée. Ton opinion de chercheur était très appréciée!

Je remercie également Sarah Delisle et Anne Blondlot pour leur permission d'utiliser le scénario climatique qu'Ouranos a conçu pour le projet Agriclimat. Votre écoute et vos suggestions m'ont été très utiles.

Merci aussi à Nicolas Neault qui s'est avéré de bon conseil et à l'écoute dans tout le processus de rédaction. Ton soutien et tes encouragements m'ont grandement aidée à atteindre mes objectifs.



## Introduction

De nombreux experts du climat prévoient que les changements climatiques progresseront à un rythme accéléré au cours des prochaines décennies<sup>1</sup>. Les enjeux entourant les changements climatiques occupent une place de plus en plus importante sur la scène internationale puisque toutes les régions du monde sont affectées par cette nouvelle problématique. En 2015, lors de la conférence de Paris, les 195 pays présents ont choisi d'approuver le premier accord international sur le climat et le réchauffement climatique. L'accord de Paris prévoit de maintenir l'augmentation de la température mondiale à un niveau bien inférieur à 2°C d'ici 2100 par rapport aux niveaux préindustriels<sup>2</sup>.

Alors qu'il est communément accepté que les effets nets des changements climatiques sur la performance économique soient négatifs, l'OCDE a publié un rapport qui prévoit que deux pays, dont le Canada, pourraient en bénéficier d'ici 2060 (OCDE, 2016)<sup>3</sup>. Ce rapport étudie les conséquences économiques du changement climatique et projette que le PIB mondial devrait essuyer des pertes de 2 à 10 % dues aux changements climatiques futurs si la hausse de la température mondiale atteint 4°C en 2100 (par rapport aux niveaux préindustriels). Dans l'éventualité où les émissions poursuivraient leur trajectoire actuelle d'ici 2060, le PIB mondial de 2100 connaîtrait des pertes s'élevant entre 1 et 6 % et cela même si les émissions étaient réduites à zéro à partir de 2060. La Russie et le Canada sont les deux pays qui pourraient retirer des bénéfices économiques attribuables aux changements climatiques grâce à la performance de certaines de leurs industries, notamment le tourisme et l'agriculture. Ce mémoire se concentrera sur l'agriculture.

Au Québec, l'industrie bioalimentaire est un secteur dynamique avec un PIB qui s'élevait à 29,2 milliards de dollars en 2019 et une demande alimentaire en forte hausse depuis plusieurs années (+5,9% par rapport à l'année précédente)<sup>4</sup>. Les principales catégories de cette industrie sont l'agriculture et la pêche (4,5G\$), la transformation alimentaire (8,9G\$) et le secteur tertiaire

---

<sup>1</sup> IPCC (2014). "Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]." IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

<sup>2</sup> United Nations, Climate Change (2017). « Qu'est-ce que l'accord de Paris », *Processus et Réunions* : <https://unfccc.int/fr/process-and-meetings/l-accord-de-paris/qu-est-ce-que-l-accord-de-paris>

<sup>3</sup> OECD (2016). « Les conséquences économiques du changement climatique », Éditions OECD, Paris, 162 p.

<sup>4</sup>Boudreau, Yvon (2019). « Les perspectives agricoles 2019-2028 de l'ocde et de la fao » BioClips : Actualité bioalimentaire, Vol. 27, no 25, 2p.

(commerces de gros et de détail et restauration, 15,8G\$)<sup>5</sup>. À lui seul, le PIB du secteur des cultures agricoles (excluant le cannabis) était de 2,3G\$ en 2018 et son taux de croissance annuel moyen entre 2009 et 2018 était de 3,44%<sup>6</sup>. Le secteur agricole québécois sera profondément touché par les conséquences des changements climatiques, car ils entraîneront des augmentations des températures moyennes pouvant aller de 2 à 4 °C d'ici 2050 et de 4 à 7 °C d'ici 2100, ainsi qu'une augmentation des précipitations hivernales et aucun changement significatif des précipitations estivales par rapport à la période 1971-2000<sup>7,8</sup>.

Les changements climatiques provoqueront des variations positives et négatives sur la production agricole et les producteurs seront forcés d'adapter leurs pratiques culturales. Du côté positif, un allongement de la saison de croissance permettrait, entre autres, une coupe supplémentaire pour les cultures fourragères, alors qu'une plus grande accumulation de chaleur favoriserait de meilleurs rendements pour les cultures du maïs-grain et du soya<sup>9</sup> (Ouranos, 2015 et Charbonneau *et al.*, 2020). En revanche, un risque de stress hydrique accru et une plus forte pression d'insectes ravageurs pourraient nuire aux rendements globaux des cultures<sup>10</sup> (Ouranos, 2015). Plusieurs enjeux influenceront donc la production agricole et renforcent ainsi la pertinence d'étudier les effets des changements climatiques sur le secteur agricole québécois.

Ce projet de recherche se concentre sur la production végétale du Québec à l'horizon 2050. Cinq cultures ont été étudiées en profondeur: l'avoine, le blé, le maïs-grain, l'orge et le soya. Jusqu'à présent, de nombreuses recherches ont estimé les impacts futurs des changements climatiques sur l'agriculture mondiale, mais il existe très peu de publications sur le futur de l'agriculture au Québec. De telles publications favoriseraient, d'une part, une anticipation plus juste de l'évolution de ce secteur (production, PIB, position concurrentielle, etc.) et, d'autre part, une meilleure adaptation des pratiques culturales face aux changements attendus.

---

<sup>5</sup> Boudreau, Yvon (2019). « Les perspectives agricoles 2019-2028 de l'ocde et de la fao » BioClips : Actualité bioalimentaire, Vol. 27, no 25, 2p.

<sup>6</sup> Statistique Canada, tableau 36-10-0402-01 (anciennement CANSIM 379-0030) - Produit intérieur brut (PIB) aux prix de base et estimations du MAPAQ.

<sup>7</sup> Ouranos (2015). « Vers l'adaptation. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec. Partie 2 : Vulnérabilités, impacts et adaptation aux changements climatiques » Édition 2015. Montréal, Québec : Ouranos, 234 p.

<sup>8</sup> Charbonneau, Édith, Véronique Ouellet, Sébastien Fournel, Camille Payant, Guillaume Jégo, Gilles Bélanger, *et al.* (2020) « Choix des graminées fourragères et des mesures d'atténuation du stress thermique des vaches sur les fermes laitières québécoises dans un contexte de changements climatiques. »

<sup>9</sup> Bélanger, Gilles et Andy Bootsma (2002). « Impacts des changements climatiques sur l'agriculture au Québec »

<sup>10</sup> Saguez, Julien (2017). « Impact des changements climatiques et mesures d'adaptations pour les ravageurs présents et potentiels en grandes cultures au Québec. » Saint-Mathieu-de-Beloeil, Québec : CÉROM, 71p.

La production des cinq cultures à l'étude est essentielle puisqu'elle soutient directement le marché de l'alimentation animale (plus de 80% de la production annuelle y est destinée<sup>11</sup>), ainsi que celui de l'alimentation humaine. En outre, les exportations québécoises des produits céréaliers et céréales non transformées étaient de 7,99M\$ en 2019, alors que les exportations des produits oléagineux et les oléagineux rapportaient près de 6,44M\$ pour la même année<sup>12</sup>.

Durant les cinq dernières années, près de 1 million d'hectares ont été cultivés en grains chaque année au Québec. La production moyenne est d'environ 5,5 millions de tonnes par an (+15% par rapport au quinquennat précédent). Le maïs et le soya sont les cultures les plus importantes. Près de 75% des superficies leur y sont consacrées et ils représentent environ 87% de la production. Les petites céréales (blé, orge et avoine) sont cultivées sur 22% des superficies et représentent 12% de la production.

L'agriculture québécoise se démarque par le fait qu'elle est actuellement limitée par un climat trop froid et qu'elle pourrait bénéficier d'un réchauffement des températures. En effet, alors que la majorité des pays devraient être confrontés à des pertes de rendements pour chaque degré Celsius additionnel<sup>13</sup>, le réchauffement climatique pourrait éventuellement entraîner des répercussions économiques positives pour les producteurs agricoles du Québec. Cette perspective semble néanmoins ambiguë par rapport aux nombreuses recherches examinant les conséquences néfastes des changements climatiques sur la productivité agricole mondiale. En particulier, les prévisions des rendements des cultures pour le nord des États-Unis, dont les conditions climatiques s'apparentent au sud du Québec, s'annoncent défavorables.

Afin de contribuer à l'amélioration des connaissances sur l'évolution future de l'agroéconomie au Québec, ce mémoire vise à analyser les impacts économiques des changements climatiques sur le secteur agricole québécois en 2050. Cette analyse est réalisée sous une approche qualitative et s'appuie exclusivement sur la littérature existante. À cet effet, deux variables d'intérêt ont été retenues : le niveau futur des prix mondiaux et la production agricole québécoise en 2050. L'analyse conjointe de ces deux variables permet de déterminer le scénario économique futur le plus probable auquel seront exposés les agriculteurs. Cette démarche se distingue des autres recherches sur le sujet, car elle emploie un angle à la fois économique et

---

<sup>11</sup> MAPAQ, 2020. « Portrait-diagnostic sectoriel de l'industrie des grains au Québec », 51 p.

<sup>12</sup> MAPAQ, 2020. « Le Bioalimentaire économique — Bilan de l'année 2019 », 60 p.

<sup>13</sup> Michelle Tigchelaar, David S. Battisti, Rosamond L. Naylor, Deepak K. Ray (2018). "Future warming increases probability of globally synchronized maize production shocks." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol.115 (26) 6644-6649

agronomique. En outre, aucune étude québécoise ne se base sur la variable des prix internationaux pour évaluer la situation économique future des producteurs du Québec.

Cette analyse se divise en quatre chapitres. Le premier présente une revue de la littérature sur l'évolution des impacts que les changements climatiques ont sur la production agricole végétale non seulement au niveau mondial, mais aussi au niveau québécois. La plupart des études consultées reposent sur des modèles de prévisions climatiques et économétriques qui ont servi de base pour cette analyse. Le deuxième chapitre porte sur l'approche méthodologique utilisée dans ce mémoire. Les choix des données, du scénario climatique et des techniques d'analyse sélectionnés y sont expliqués. Le troisième chapitre expose ensuite l'analyse des variables d'intérêt et présente le scénario économique futur le plus probable. Finalement, le quatrième chapitre consiste en une discussion des résultats obtenus. Les résultats y sont nuancés en fonction de tendances socio-économiques et sont accompagnés de recommandations pour l'adaptation des agriculteurs aux changements climatiques.

## Chapitre 1 : Revue de la littérature

Ce chapitre passe en revue les principales recherches concernant l'impact des changements climatiques sur la production agricole végétale. Il est composé de deux sections principales qui présentent les répercussions des changements climatiques sur l'agriculture d'un point de vue mondial et sous un angle spécifique au Québec. Ainsi, la première section couvre les notions suivantes : les scénarios climatiques, la productivité économique globale, les impacts positifs sur l'agriculture, ainsi que l'évolution des rendements mondiaux et les phénomènes météorologiques extrêmes. Pour sa part, la seconde section fait état de la recherche à propos des conséquences des changements climatiques sur l'agriculture au Québec. Les articles qui y sont abordés concernent l'évolution de l'environnement de la production des grandes cultures, les opportunités et la rentabilité futures, ainsi que les facteurs décisionnels dans les pratiques agricoles.

### 1.1 Impacts des changements climatiques sur l'agriculture mondiale

#### 1.1.1 Scénarios climatiques et RCP

En 2014, les scénarios RCP (*Representative Concentration Pathway*) sont présentés pour la première fois dans le cinquième rapport d'évaluation du GIEC. Il s'agit essentiellement de scénarios climatiques et, depuis, leur usage est largement répandu dans la communauté scientifique, surtout dans le domaine de la climatologie. Ces scénarios ont été élaborés à partir de modèles d'évaluation intégrée (*Integrated Assessment Models*) qui ont pour objectif de simuler les interactions entre les systèmes économiques et biophysiques. Les RCP prennent en compte des données longitudinales sur les niveaux d'émissions et de concentration de tous les GES, des aérosols et des gaz chimiquement actifs, ainsi que sur l'utilisation des terres<sup>14</sup>. Habituellement, les RCP sont nommés en fonction de leur niveau de forçage radiatif pour l'horizon 2100, mais ils ont parfois un autre horizon temporel. Le forçage radiatif est le phénomène responsable de l'effet de serre et s'explique par l'équilibre entre le rayonnement solaire entrant dans l'atmosphère (énergie radiative reçue) et les émissions de rayonnements infrarouges sortant (énergie radiative émise)<sup>15</sup>.

---

<sup>14</sup> Representative Concentration Pathways. (2020). Glossaire GIEC, Récupéré de [https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary\\_r.html](https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary_r.html)

<sup>15</sup> Radiative Forcing. (2020). Glossaire GIEC, Récupéré de [https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary\\_r.html](https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary_r.html)

À l'origine, quatre scénarios RCP indépendants les uns des autres ont été publiés : RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5. Ces scénarios sont utilisés pour évaluer les coûts associés aux niveaux d'émissions correspondant à chaque projection des niveaux futurs de concentration des GES. Les projections du changement de la température moyenne de la surface de la terre pour les périodes 2046-2065 et 2081-2100 sont présentées dans le tableau 1.1. Le RCP2.6 correspond à des efforts rigoureux d'atténuation des GES, les RCP4.5 et RCP6.0 sont des scénarios intermédiaires, alors que le RCP8.5 est associé à des émissions très élevées. Les scénarios sans effort supplémentaire pour limiter les émissions sont considérés comme les scénarios de référence et mènent à des projections situées entre le RCP6.0 et le RCP8.5. Le RCP2.6 représente un scénario où on souhaite contenir le réchauffement climatique en-dessous de 2°C par rapport aux températures préindustrielles (GIEC, 2014).

**TABLEAU 1.1 : PROJECTIONS CHANGEMENT TEMPÉRATURE MOYENNE DE LA SURFACE DE LA TERRE**

Projections changement température moyenne de la surface de la Terre*				
Scénario	2046-2065		2081-2100	
	Moyenne	I.C.	Moyenne	I.C.
RCP2.6	1,61°C	0,95°C à 2,27°C	1,61°C	0,85°C à 2,37°C
RCP4.5	2,01°C	1,45°C à 2,67°C	2,41°C	1,65°C à 3,27°C
RCP6.0	1,91°C	1,35°C à 2,47°C	2,81°C	1,95°C à 3,77°C
RCP8.5	2,61°C	1,95°C à 3,27°C	4,31°C	3,15°C à 5,47°C

\*la période de référence est 1850-1900

Données : Hadley Centre Climatic Research Unit Gridded Surface Temperature Data Set 4 (HadCRUT4) et GIEC Modèle (CMIP5)

La période de référence utilisée à titre de comparaison pour représenter le réchauffement climatique est habituellement l'ère préindustrielle et correspond aux années 1850-1900. Bien que la révolution industrielle ait commencé plus tôt, c'est à partir de ces années que la concentration de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) a commencé à augmenter rapidement, illustrant ainsi le réchauffement climatique induit par l'activité humaine. Ce scénario de référence correspond aussi aux années à partir desquelles des données sur la température ont commencé à être enregistrées par le Met Office (Royaume-Unis), la NASA et le NOAA (États-Unis)<sup>16</sup>.

Le dernier rapport de synthèse du GIEC (2014) soulignait que les différentes variables climatiques et biophysiques étudiées par les scientifiques ont continué de se dégrader et qu'elles devraient le faire à un rythme de plus en plus rapide. Par exemple, la température de la surface de la Terre s'est réchauffée de 0,85°C [0,65°C à 1,06°C] pour la période 1880-2012 et devrait grimper

<sup>16</sup> MetOffice (2020). "Historic Station Data", Section Climate and climate change, Récupéré de <https://www.metoffice.gov.uk/research/climate/maps-and-data/historic-station-data>

d'environ 2°C additionnels d'ici 2100 si nous continuons de suivre les RCP6.0 et RCP8.5. De plus, il est pratiquement certain que la fréquence et la durée d'épisodes de températures extrêmes (dont les vagues de chaleur) augmentera, à mesure que la température moyenne s'accroîtra. Alors que pour la période 1971-2010, le niveau de la mer augmentait de 2 millimètres par année, les prévisions des 4 RCP prévoient des hausses annuelles supérieures allant jusqu'à 8mm-16mm/an pour le RCP8.5.

Le rapport du GIEC prévenait aussi des risques présents et futurs engendrés par les changements climatiques. Les auteurs insistaient sur le fait que ces risques sont inégalement répartis et sont généralement plus importants pour les personnes et les communautés défavorisées. En outre, selon le scénario de référence des perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050, le changement climatique sera responsable d'un recul supplémentaire d'environ 40 % de l'abondance moyenne des espèces terrestres entre 2010 et 2050 et près de 10% de la biodiversité terrestre aura disparue<sup>17</sup>. Si le niveau d'émissions de GES ne diminue pas suffisamment rapidement, plusieurs économies pourraient rencontrer des conditions difficiles, comme un ralentissement du développement économique, ainsi que des risques amplifiés pour la sécurité alimentaire et humaine.

### 1.1.2 Productivité économique

L'idée que de nombreuses composantes de la productivité économique (rendement des cultures, offre de main d'œuvre, etc.) affichent une relation non-linéaire avec la température fait consensus chez les experts. Cependant, la relation entre la productivité économique globale et la température demeure floue. À cet effet, Burke, Hsiang et Miguel (Burke, Hsiang et Miguel, 2015)<sup>18</sup> ont comparé les indicateurs économiques d'un même pays lorsque la température annuelle était plus élevée que la moyenne, à ceux d'une année plus fraîche que la moyenne, utilisée comme contrôle. Leurs résultats indiquent que la relation entre la productivité économique et la température est lisse, non-linéaire et concave au maximum de 13°C pour les 166 pays étudiés. C'est donc à une température annuelle moyenne de 13°C qu'un pays connaît une productivité optimale. Puis, à mesure que l'on s'éloigne de ce seuil de 13°C, la productivité décline sensiblement pour tous les pays. Cette relation signifie que les pays froids, généralement

---

<sup>17</sup> OCDE (2012). « Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050 : Les conséquences de l'inaction », Éditions OCDE, 10p.

<sup>18</sup> Burke, M., Hsiang, S. & Miguel, E. (2015). "Global non-linear effect of temperature on economic production." *Nature* no.527, p.235–239.

dotés d'une économie développée, assisteront à une augmentation de leur productivité jusqu'à ce qu'ils atteignent ce seuil. Passé ce seuil, la productivité décline graduellement et ce déclin s'accélère à de plus chaudes températures. Les pays tropicaux devront ainsi s'attendre à une baisse de leur productivité.

En outre, les auteurs rejettent l'hypothèse que les pays les plus riches ont une réponse à la température statistiquement différente de celle des pays pauvres. Ils justifient plutôt qu'ils sont moins affectés par la température grâce à leur situation géographique. D'ailleurs, ils n'ont pas trouvé de signe que le progrès technologique, l'accumulation de richesses ou l'expérience aient fondamentalement modifié la relation entre la productivité et la température, puisque les résultats pour la période 1960-1989 sont presque identiques à ceux de la période 1990-2010. En prenant pour hypothèse que l'adaptation future aux changements climatiques demeurera similaire à l'adaptation passée et en présence d'émissions de GES non-atténuées, les chercheurs projettent une réduction des revenus mondiaux moyens de près de 23% d'ici 2100 par rapport à un scénario sans dommage. Ces pertes projetées varient linéairement en fonction de la température moyenne, avec des pertes médianes beaucoup plus importantes que celles suggérées par les principaux modèles. Ils quantifient aussi l'impact potentiel du réchauffement sur les revenus nationaux et mondiaux en combinant leur fonction de réponse estimée avec le scénario RCP8.5 et obtiennent que 77% des pays s'appauvriront en termes de PIB par habitant d'ici 2100.

### 1.1.3 Impacts positifs des changements climatiques sur l'agriculture

Bien que la majorité des études concernant les impacts des changements climatiques sur l'agriculture arrivent à des conclusions négatives, certains auteurs ont étudié des cas où la production agricole bénéficie des nouvelles conditions climatiques. Entre autres, Tchebakova *et al.*, (2011)<sup>19</sup> Gregory et Marshall (2012)<sup>20</sup> affirment que le réchauffement climatique permet déjà à certaines régions nordiques (Sibérie, Royaume-Unis, Allemagne, Finlande, Groenland et Norvège) de tirer profit d'une agriculture plus rentable et que la tendance devrait se maintenir dans les prochaines décennies. Ces études seront utiles pour discuter des impacts potentiels des

---

<sup>19</sup> Tchebakova, N. M., E. I. Parfenova, G. I. Lysanova, and A. J. Soja (2011). "Agroclimatic potential across central Siberia in an altered twenty-first century." *Environmental Research Letters* no.6(4), 045207–12.

<sup>20</sup> Gregory, P. J. and B. Marshall (2012). "Attribution of climate change: a methodology to estimate the potential contribution to increases in potato yield in Scotland since 1960." *Global Change Biology* no.18(4), p.1372–1388

changements climatiques sur la production agricole québécoise et pour appuyer le choix du scénario retenu dans la section analyse.

En effet, Tchebakova *et al.* (2011) ont analysé les impacts potentiels du changement climatique sur l'agriculture dans le centre-sud de la Sibérie et soutiennent que cette zone pourrait assister à une augmentation de 20 à 30% de la superficie de terres cultivables d'ici 2100. Selon leur étude, durant les cinquante dernières années, le réchauffement des températures a déjà permis d'augmenter de 8% la superficie des terres arables sibériennes grâce au recul des biomes terrestres nordiques. Ils avancent aussi que d'ici 2100, la production agricole pourrait doubler, par le moyen de l'augmentation de terres agricoles et d'un meilleur rendement des cultures. Les températures plus chaudes attendues permettraient que les cultures traditionnelles se déplacent progressivement jusqu'à 1000 km vers le nord, mais la qualité des sols limiterait probablement cette expansion à 500 km (environ 50–70 km/décennie). En conséquence, les futures conditions climatiques pourront offrir le potentiel d'une plus grande variété de cultures (baies, melons et oléagineux), sous condition d'installer des systèmes d'irrigation pour palier au climat plus sec.

La recherche de Gregory et Marshall (2012) visait à déterminer si les changements climatiques sont responsables de l'augmentation du rendement de la pomme de terre en Écosse. Pour ce faire, ils ont analysé les tendances de la température, de la pluie et de la radiation solaire. Ils ont relevé que la température de l'air et des 30 premiers centimètres du sol avait significativement augmenté, mais que les précipitations et la radiation étaient demeurées stables. Leurs résultats indiquent que la hausse des températures explique entre 23% et 26% de l'augmentation des rendements et qu'en moyenne 1,3°C permet d'accélérer la germination des graines de 71 jours. Un nombre considérable d'études tirent des conclusions similaires, dont Estrella *et al.* (2007)<sup>21</sup> qui ont trouvé qu'entre 1951 et 2004 le développement complet d'un grand nombre de cultures horticoles s'est accéléré de 1,1 à 1,3 jours par décennie en Allemagne. Pour leur part, Siebert et Ewert (2012)<sup>22</sup> ont observé que la récolte de l'avoine était devancée de 17 jours en Allemagne, par rapport à 1959.

---

<sup>21</sup> Estrella N, Sparks TH, Menzel A (2007). "Trends and temperature response in the phenology of crops in Germany." *Global Change Biology*, no.13, p.1737–1747.

<sup>22</sup> Siebert S, Ewert F (2012). "Spatio-temporal patterns of phenological development in Germany in relation to temperature and day length." *Agriculture and Forest Meteorology*, no.152, p.44–57.

#### 1.1.4 Rendements agricoles futurs et événements météorologiques extrêmes

Un très grand nombre d'études se sont penchées sur l'analyse des impacts que les changements climatiques pourraient avoir sur les rendements agricoles futurs. Ce type de projection est utile dans la mesure où il permet de situer la production mondiale future et d'avoir ainsi plus d'information quant à l'offre et à la demande mondiale. Ces prévisions peuvent aussi servir à anticiper les impacts éventuels des changements climatiques sur l'agriculture québécoise si les régions étudiées ont des conditions similaires à celles du Québec. Six articles sont présentés dans cette sous-section. Ils couvrent différents aspects décisifs pour les rendements futurs, soit l'évolution des taux de rendements, les chocs de production simultanés et les phénomènes météorologiques extrêmes.

Une des études les plus intéressantes sur le sujet est celle de Ray *et al.*, (2019)<sup>23</sup>. L'objectif des auteurs était d'évaluer l'impact potentiel des changements climatiques observés sur les rendements des 10 cultures les plus importantes du monde, soit le blé, la canne à sucre, le colza, l'huile de palme, l'orge, le maïs, le manioc, le riz, le sorgho et le soya. Les données étudiées indiquaient que, durant les 50 dernières années, la température moyenne a augmenté de 0,5 à 1,2 °C lors de la saison de culture, en fonction des différentes localisations. De plus, les précipitations moyennes de la saison de culture ont connu des changements variables, passant de -3,4mm sur les terres où la canne à sucre est récoltée à +19mm sur les terres où l'huile de palme est cultivée. Dans cette analyse, l'impact potentiel des changements climatiques sur chaque zone étudiée est la différence entre le rendement de la culture actuel (1974-2008) et le rendement de la culture sous les conditions du climat historique (moyenne des 30 années avant 1974). Les auteurs ont trouvé que les impacts des changements climatiques récents sur les rendements des cultures étudiées varient de -13,4% (huile de palme) à +3,5% (soya) et que la relation statistique entre les conditions météorologiques et les rendements des cultures était significative pour la majorité des superficies récoltées à travers le monde (54% à 88%). Pour le blé et le maïs spécifiquement, les rendements mondiaux ont légèrement décliné ou sont restés similaires : -0,9% pour le blé (-5 millions de tonnes par an) et 0% pour le maïs (+0,2 millions de tonnes par an). Les impacts étaient surtout négatifs en Europe, en Afrique australe et en Australie, alors qu'ils étaient généralement positifs en Amérique du sud et mixtes en Asie, en

---

<sup>23</sup> Ray DK, West PC, Clark M, Gerber JS, Prishchepov AV, Chatterjee S (2019). "Climate change has likely already affected global food production." *PLoS ONE*, no. 14(5): e0217148.

Amérique du Nord et en Amérique centrale. En ce qui concerne les données disponibles pour les cultures canadiennes, le rendement de l'orge a diminué de 5,1%, celui du maïs a augmenté de 6%, celui du colza a diminué de 0,68% et celui du blé a diminué de 1,48%.

Dans un article précédent, Ray, Mueller, West et Foley (2013)<sup>24</sup> ont étudié l'impact des rendements futurs du maïs, du riz, du blé et du soya sur la stabilité alimentaire en 2050. Ils soutiennent qu'afin de garantir une sécurité alimentaire pour tous, il faudrait augmenter la production agricole mondiale entre 60 et 110 % d'ici 2050. Selon eux, la meilleure stratégie pour y parvenir est d'augmenter le rendement des cultures, plutôt que d'avoir recours à la déforestation pour augmenter la superficie de terres agricoles. Cette stratégie est d'autant plus pertinente puisque la croissance du rendement des cultures est un outil important pour réduire la pauvreté et la malnutrition à travers le monde. Toutefois, des études récentes montrent que les rendements agricoles cesseront d'augmenter pour 24% à 39% des terres agricoles dans plusieurs régions du monde. En comparant les rendements historiques (1961-2008) de 13 500 terres agricoles à travers le monde aux taux de rendement modélisés pour la période 1989-2008, les auteurs ont pu projeter les tendances de production futures de chaque pays et ont déterminé quelles régions pourraient réussir à doubler leur production et lesquelles n'y parviendraient pas. Leurs résultats indiquent que les taux de croissance annuels moyens mondiaux sont 1,6% pour le maïs, 1% pour le riz, 0,9% pour le blé et 1,3% pour le soya, alors qu'un taux annuel de 2,4% est requis pour doubler la production agricole d'ici 2050. Avec les taux actuels, on observerait des augmentations de 67% pour le maïs, de 42% pour le riz, de 38% pour le blé et de 55% pour le soya, ce qui est insuffisant pour la croissance de la population mondiale attendue et laisse présager une importante crise agricole. Les taux de variation des rendements pour le Canada sont de 1,45% pour le maïs, de 1,3% pour le blé et de 0,23% pour le soya.

Par ailleurs, une grande part de la littérature sur les rendements agricoles s'intéresse à l'influence du climat sur la variabilité des rendements, notamment pour prévenir les chocs de production éventuels. Ray, Gerber, MacDonald et West (2015)<sup>25</sup> ont déterminé le pourcentage de variation des rendements des cultures du maïs, du riz, du blé et du soya dû aux variations climatiques (températures et précipitations et l'interaction des deux). Ils ont utilisé des données

---

<sup>24</sup> Ray DK, Mueller ND, West PC, Foley JA (2013). "Yield Trends Are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050." *PLoS ONE* no.8(6): e66428.

<sup>25</sup> Ray DK, Gerber JS, MacDonald GK, West PC (2015). "Climate variation explains a third of global crop yield variability." *Nat Commun*, no. 6:5989.

de 13 500 différentes terres agricoles à travers le monde pour la période 1979-2008 et ont trouvé que 32% à 39% des variations annuelles des rendements des 4 cultures est expliqué par la variabilité du climat. Ces variations de rendements équivalent à des variations de la production de 22 millions de tonnes pour le maïs, 3 millions de tonnes pour le riz, 9 millions de tonnes pour le blé et 2 millions de tonnes pour le soya. Tout comme Ray *et al.*, (2019), les auteurs trouvaient que la vaste majorité des régions agricoles montraient une influence significative de la variabilité du climat sur la variabilité des rendements (70% des régions où le maïs est récolté, 53% pour le riz, 79% pour le blé et 67% pour le soya). De plus, dans le cas des régions où la production est plus contrôlée (*top crop production regions*), la variabilité du climat peut être responsable de plus de 60% de la variation des rendements d'une culture puisque les autres intrants sont plus stables.

Chung *et al.* (2014) et Tigchelaar *et al.* (2018) ont fait de la recherche sur les chocs de productions agricoles. Leurs études traitaient respectivement de la modélisation de l'effet d'une vague de chaleur sur la production américaine de maïs et des probabilités que plusieurs gros producteurs-exportateurs de maïs rencontrent des chocs de production négatifs simultanément sous un réchauffement de 2°C et de 4°C en 2050. Chung *et al.* (2014) ont principalement étudié la vague de chaleur qui a frappé les États-Unis en 2012 et ont estimé les effets que des conditions météorologiques extrêmes pourraient avoir en 2050 en utilisant plusieurs scénarios climatiques. La vague de chaleur avait entraîné une réduction de la production américaine de maïs de 13% par rapport à l'année précédente, une diminution des exportations de 54% (surtout à cause d'un dollar fort) et une diminution de 20% du rendement du grain. Au niveau mondial, la quantité de maïs exportée et les stocks avaient diminué de 24% et de 7% en 2012. Ces chiffres s'accordent avec le fait que la production mondiale de maïs est très influencée par la production américaine, alors qu'une meilleure diversification au niveau des pays producteurs serait bénéfique pour une meilleure stabilité alimentaire. Pour l'horizon 2050, les auteurs ont estimé qu'une vague de chaleur estivale provoquerait une baisse minimale de 29% des rendements du maïs américains, par rapport au scénario sans vague de chaleur. Les scénarios climatiques qu'ont utilisé les auteurs estimaient qu'une vague de chaleur pourrait entraîner une diminution de moitié du niveau des précipitations et une augmentation de la température pouvant atteindre jusqu'à 9°C. En outre, entre 1980 et 2013, le National Climate Data Center a recensé une dizaine de vagues de chaleur extrêmes menant à des pertes supérieures à 1 milliard de dollars américains aux

États-Unis et il est fortement probable que ces phénomènes se produiront plus fréquemment avec les changements climatiques.

De leur côté, Tigchelaar *et al.* (2018) ont trouvé que pour chaque augmentation d'un degré de la température, les rendements projetés diminuent en moyenne de 7,4% pour le maïs, 6% pour le blé, 3,2% pour le riz et 3,1% pour le soya. Le scénario de référence sur lequel ils se sont basés est la température moyenne des années 1980-1999 et, dans tous les scénarios, la température mondiale moyenne augmente d'environ 2°C en 2050. Pour un scénario de réchauffement climatique de 2°C, les projections de la production moyenne affichent des diminutions de 18% pour les États-Unis, 10% pour la Chine, 8% pour le Brésil et 12% pour l'Argentine. Si le réchauffement était de 4°C, les diminutions seraient de 46% pour les USA, 27% pour la Chine, 19% pour le Brésil et 29% pour l'Argentine. Sous le scénario de 2°C, la production totale des 4 pays plus grands producteurs de maïs diminuerait de 53 millions de tonnes (ce qui équivaut à 43% des exportations mondiales), tandis qu'un scénario de 4°C entraînerait une diminution de 139 millions de tonnes, soit 14% de la production actuelle, une quantité plus grande que les exportations mondiales. Les chercheurs précisent aussi que les effets négatifs d'une hausse de température seront plus dommageables que les changements de précipitations à cause de l'ampleur du réchauffement estimé.

Actuellement, les pertes de récoltes extrêmes sont rares, car les environnements où le maïs est produit sont très contrôlés. Des pertes de 10% (ou plus) induites par le climat ne se produisent qu'une fois par période de 15 à 100 ans, alors que des pertes de 20% (ou plus) sont pratiquement impossibles. Avec un scénario de réchauffement de 2°C, la probabilité qu'une perte de 10% ait lieu dans les quatre pays plus grand producteurs (États-Unis, Chine, Brésil et Argentine) augmentent à 69%, 46%, 39% et 50% respectivement. La probabilité que la production de maïs diminuera de plus de 10% dans ces 4 pays au cours de la même année est présentement de 0%, mais elle s'élève à 6% avec un réchauffement de 2°C et à 87% pour un réchauffement de 4°C. Les chocs de production synchronisés pourraient entraîner une plus grande instabilité sur les marchés internationaux, notamment à cause des hausses de prix plus fréquentes. Aussi, il est fort probable que des gouvernements interviennent de façon répétée dans le commerce des céréales dans le but de stabiliser leurs marchés domestiques, ce qui ferait davantage augmenter la volatilité.

Finalement, Vogel *et al.*, (2019)<sup>26</sup> ont analysé les impacts des phénomènes météorologiques extrêmes sur les anomalies de rendement du maïs, du soya, du riz et du blé de printemps à l'échelle mondiale. Ils ont estimé que les facteurs climatiques de la saison de croissance (climat moyen et extrêmes climatiques) expliquent de 20% à 49% de la variance des anomalies de rendement, dont 18% à 43% de la variance expliquée par les extrêmes climatiques. Dans le cas du maïs, du riz et du soya, la variance expliquée par les indicateurs extrêmes est plus grande que la variance expliquée par les indicateurs des moyennes du climat. Afin d'évaluer la part de la variance expliquée par les événements climatiques extrêmes, les auteurs ont comparé la variance expliquée du modèle statistique complet à la variance expliquée du modèle réduit (qui prend seulement en compte le climat moyen). Leurs résultats indiquent aussi que les extrêmes climatiques liées à la température montrent une association plus forte aux anomalies de rendement que les facteurs reliés aux précipitations.

En outre, les auteurs ont identifié les variables explicatives les plus pertinentes pour chacune des cultures: fréquence des jours chauds, fréquences des nuits froides, température moyenne de la saison de croissance ou température diurne moyenne. Un plus grand écart de température diurne correspond à une plus grande distribution de température, et affecte négativement le rendement. L'augmentation de la fréquence de chaudes journées ou de froides journées (augmentation du nombre de jours inhabituellement chauds ou froids) a un impact négatif sur le rendement pour toutes les cultures. Quant au niveau de précipitation moyen, il joue un rôle peu significatif pour déterminer les anomalies de rendement, tout comme la variable des précipitations intenses. Toutefois, plusieurs études s'accordent sur le fait que les variations climatiques expliquent seulement une part de la variabilité des rendements et que d'autres facteurs (comme les propriétés de la terre, les décisions de management (taux d'irrigation, utilisation de fertilisants) et les facteurs de marché (prix)) expliquent le reste de cette variation. Les chercheurs ont aussi vérifié si la diminution du rendement à cause de l'augmentation de la fréquence des journées chaudes peut être réduite grâce à l'irrigation. Leurs résultats montrent que l'irrigation peut atténuer l'impact des extrêmes de température chaude pour le maïs, le soya et le blé de printemps. Pour le soya, l'irrigation permet même d'augmenter le seuil de température sans provoquer d'anomalie de rendement.

---

<sup>26</sup> Vogel E, Donat MG, Alexander LV, Meinshausen M, Ray DK, Karoly D, Frieler K (2019). "The effects of climate extremes on global agricultural yields." *Environ. Res. Lett.*, no.14 054010.

## 1.2 État de la recherche sur les impacts des changements climatiques en agriculture au Québec

En ce qui concerne la recherche sur les impacts des changements climatiques en agriculture au Québec, quelques articles économiques ont été publiés, mais ce sont surtout des études agronomiques ou climatologiques qui se penchent sur la question. Les principaux instituts et organismes québécois qui étudient les changements climatiques et les grandes cultures sont Ouranos, l'IRDA, le CÉROM, le MAPAQ, Agriculture et Agroalimentaire Canada, les PGQ, la FADQ et le CRAAQ, ainsi que les départements d'agronomie et d'économie agroalimentaire de l'Université Laval. Près d'une dizaine de publications sont regroupées et présentées dans les trois sous-sections suivantes : Évolution de l'environnement de la production des grandes cultures, Opportunités et rentabilité futures, ainsi que Facteurs décisionnels dans les pratiques agricoles. Ces observations et prévisions sont essentielles pour la suite de ce mémoire puisqu'elles serviront de pilier pour le choix du scénario le plus représentatif de la production agricole végétale québécoise à l'horizon 2050.

### 1.2.1 Évolution de l'environnement de la production agricole

#### Conditions climatiques

D'ici 2050, les conditions climatiques devraient beaucoup évoluer au Québec, ce qui devrait grandement affecter les rendements de la production végétale (Ouranos, 2015). Certains changements significatifs ont déjà été observés au cours des dernières décennies, comme une saison de croissance plus longue (entre 6 et 21 jours supplémentaires pour la période 1971-2000 selon les régions) et des températures de croissances plus chaudes (entre 100 et 200 degrés-jours de croissance additionnels) (Ouranos, 2015). Bien que quelques différences mineures résident dans les travaux des chercheurs québécois, ils s'accordent tous sur la direction que prendra le climat.

Les prévisions climatiques pour 2050 du projet Agriculmat (2020)<sup>27</sup> indiquent que toutes les régions de la province devraient enregistrer une hausse des températures moyennes annuelles située entre 2,7 et 2,9 °C, ainsi qu'une augmentation des précipitations hivernales. Néanmoins, les scénarios climatiques prévoient un réchauffement plus important des températures

---

<sup>27</sup> Delisle, Sarah et Sylvestre Delmotte (2020). « Changements climatiques en grandes cultures », *Projet Agriculmat : Des fermes adaptées pour le futur*

hivernales que des températures estivales. Une analyse prospective de la position concurrentielle du Québec publiée par Debailleul *et al.* (2013)<sup>28</sup> suggérait que la hausse de température prévue pour l'hiver serait de 2,5 à 3,8 °C au sud du Québec et de 4,5 à 6,5 °C au nord, alors que celle pour l'été serait de 1,9 à 3 °C pour le sud et de 1,6 à 2,8 °C pour le nord.

Une étude réalisée par une professeure de l'Université Laval, Édith Charbonneau, soulignait que le climat de plusieurs régions devrait suffisamment se réchauffer pour reproduire les conditions climatiques d'autres régions situées plus au sud (Charbonneau, 2013). Par exemple, les indices agroclimatiques du Bas-Saint-Laurent pour l'horizon 2041-2070 ressembleront aux indices agroclimatiques actuellement observés du Centre-du-Québec, tandis que les indices agroclimatiques du Centre-du-Québec de 2041-2070 seront semblables à ceux présentement recensés au sud de l'Ontario ou au nord des États-Unis.

Un tel réchauffement des températures permettrait donc d'allonger les saisons de croissance d'ici 2050 (Ouranos, 2015). Debailleul *et al.* (2013) estiment que les saisons de croissance devraient s'allonger de 20,5 à 37,8 %, soit de 2 semaines à 1 mois en 2050, en fonction des régions. Une étude plus récente (Charbonneau *et al.*, 2020) prévoit que l'allongement serait de 40 jours pour certaines régions situées plus au nord et de 30 jours pour les régions plus au sud pour la période 2049-2070.

Dans le même ordre d'idées, les unités thermiques maïs (UTM) et les degrés-jours de croissance (DJC) sont d'autres indices agroclimatiques utilisés pour évaluer l'accumulation de chaleur requise pour les cultures. Les UTM servent à déterminer si la culture du soya et du maïs est possible dans une région donnée, tandis que les DJC et les degrés-jours de croissance effectifs (DJCE) sont généralement utilisés pour représenter la période de croissance des plantes fourragères vivaces et des céréales de printemps. Bélanger et Bootsma (2002) en ont fait l'analyse et ont trouvé qu'entre la période 1961-1990 et la période 2040-2069, la moyenne des UTM des régions étudiées devrait augmenter de 29%, passant de 2390 UTM à 3088 UTM. L'augmentation serait néanmoins plus forte pour les régions nordiques que pour les régions du sud (+38% pour le Continental Nord vs. +25% pour le Sud du Québec). Les degrés-jours de croissance (DJC) devraient augmenter d'environ 29% avec les changements climatiques, passant de 397 à 513 DJC, alors que les DJCE devraient augmenter de 31%. Toutefois, le scénario du

---

<sup>28</sup> Debailleul, Guy, Lota Dabio Tamini, Maurice Doyon, Frédérick Clerson-Guicherd, Louis-Samuel Jacques, Maribel Hernandez, *et al.* (2013) « Analyse prospective de la position concurrentielle du Québec en matière de production agricole dans un contexte de changements climatiques. », 195p.

projet Agriclimat prévoit une augmentation des DJC légèrement plus élevée, mais a des résultats similaires pour les UTM.

Un autre facteur déterminant pour la production agricole qui devrait changer est le déficit hydrique (la différence cumulée entre l'évapotranspiration potentielle et les précipitations)<sup>29</sup>. À ce sujet, Bélanger et Bootsma (2002) prévoient qu'en moyenne, le déficit hydrique augmentera légèrement, passant de 79mm à 106mm en 2040-2069. Ils soutiennent aussi que bien que ce facteur puisse altérer les rendements des cultures une année en particulier, il est peu probable que les rendements moyens soient significativement altérés par le stress hydrique. Puisque le niveau des précipitations estivales devrait rester relativement stable (Ouranos, 2015, Charbonneau *et al.*, 2020 et Agriclimat, 2020), l'augmentation du déficit hydrique est attribuable à l'augmentation des températures. En effet, le nombre de jours où la température excède les 30°C augmentera dans toute la province, plus particulièrement au sud, ce qui amplifiera l'évapotranspiration des végétaux (Ouranos, 2015). Charbonneau *et al.* (2020) ont calculé le nombre potentiel de jours en stress hydrique pour le Bas-Saint-Laurent et la Montérégie et pour plusieurs scénarios. Leur calcul met en évidence le risque de stress hydrique que subiront le maïs-grain et le soya dans le futur proche (2020-2049) et le futur lointain (2050-2079). Leurs résultats sont présentés dans le tableau 1.2 ci-bas.

**TABLEAU 1.2 NOMBRE POTENTIEL DE JOURS EN STRESS HYDRIQUE PAR RÉGION**

Nombre potentiel de jours en stress hydrique par région pour la période de référence, le futur proche et le futur lointain										
Période	Bas-Saint-Laurent					Montérégie				
	Référence	Futur proche			Futur lointain		Référence	Futur proche	Futur lointain	
	Actuel	Modéré	Élevé	Modéré	Élevé	Actuel	Moyen	Modéré	Élevé	
Blé/Orge*	33 ± 16	27 ± 15	32 ± 13	32 ± 12	28 ± 11	31 ± 16	32 ± 14	29 ± 15	31 ± 13	
Maïs-grain	50 ± 22	59 ± 23	67 ± 20	66 ± 20	75 ± 16	62 ± 26	77 ± 21	71 ± 22	74 ± 17	
Soya	-	-	47 ± 18	52 ± 17	59 ± 13	42 ± 18	62 ± 17	69 ± 21	73 ± 17	

\*Le blé est cultivé en Montérégie, alors que l'orge est cultivé au Bas-Saint-Laurent

### Ennemis Ravageurs

De nombreuses recherches portent sur la phytoprotection (la protection des cultures contre leurs ennemis) au Québec, car il s'agit d'un enjeu important dans la gestion des cultures (Firlej et Saguez, 2019). La température influence grandement la survie hivernale des insectes ravageurs, leur vitesse de développement et donc le taux d'accroissement des populations. Une

<sup>29</sup> Déficit hydrique. (2020). Dictionnaire Aqua Portail, Récupéré de <https://www.aquaportail.com/definition-13134-deficit-hydrique>.

des conséquences due aux changements climatiques, plus spécifiquement au réchauffement des températures, est l'arrivée plus hâtive des insectes ravageurs (Ouranos, 2015). D'autre part, depuis plusieurs années les agriculteurs assistent à l'agrandissement de l'aire de répartition de plusieurs espèces vers le nord, ce qui force d'importantes modifications au niveau de la protection des cultures contre les maladies et ravageurs. Les changements climatiques prévus devraient accentuer ce phénomène et augmenter les chances de survie des espèces exotiques envahissantes (EEE). Les EEE sont des espèces nuisibles (champignons, bactéries, virus, phytoplasmes, végétaux, animaux) qui peuvent envahir un nouvel écosystème, s'y reproduire, le coloniser et ainsi y modifier la biodiversité et l'équilibre (Saguez, 2017). Elles sont généralement dotées de bonnes capacités d'adaptation et il est prévu que le risque d'invasion biologique augmente durant les prochaines décennies. De plus, il est communément accepté que des températures plus chaudes accélèrent le métabolisme des insectes et qu'ils consomment alors plus de végétaux, augmentant ainsi les pertes de rendement (Firlej et Saguez, 2019). Deutsch *et al.* (2018) ont d'ailleurs estimé des pertes attribuables aux insectes de 10 à 25% par hausse de 1°C. Firlej et Saguez (2019) rajoute que les effets des changements climatiques demeurent incertains et varient selon les espèces, mais qu'il est rare d'identifier des espèces qui seront défavorisées par les prédictions climatiques projetées. Ainsi, des pertes de rendement majeures sont à prendre en considération pour l'évaluation des conséquences des changements climatiques sur l'agriculture.

### Irrigation

Le projet RADEAU est une initiative du MAPAQ qui a pour but de mieux cerner les défis actuels et futurs de la gestion de l'eau, et plus particulièrement les éventuels conflits d'usage de l'eau en milieu agricole<sup>30</sup>. Au Québec, la répartition de l'utilisation de l'eau varie pour chaque région, en fonction de trois principaux secteurs : agricole, résidentiel et industriel-commercial-institutionnel. À titre d'exemple, pour les 5 régions étudiées dans la 1<sup>ère</sup> phase, les usages des secteurs agricoles de la Montérégie, de l'Estrie et de Lanaudière oscillaient entre 7 % et 17%, alors que Chaudière-Appalaches et le Centre-du-Québec utilisaient respectivement 26% et 34%. Une des particularités de l'utilisation de l'eau par le secteur agricole est qu'il est difficile de mettre en place des mesures pour réduire la quantité d'eau consommée. Les scénarios futurs

---

<sup>30</sup> Charron, Isabelle, Antoine Beauchemin, Ariane Blais-Gagnon, Sylvestre Delmotte, Sandrine Ducruc, David Dugré *et al.* (2019). « Recherche participative d'alternatives durables pour la gestion de l'eau en milieu agricole dans un contexte de changement climatique (RADEAU 1). » Québec, Québec : Groupe AGÉCO, 266p.

étudiés dans ce projet ont permis de s'apercevoir que c'est surtout le taux de croissance de la population, et ses habitudes de consommation, qui auront les plus gros impacts sur l'utilisation de l'eau. Ce sont néanmoins les besoins en eau du secteur agricole qui risquent d'être le plus touchés par les changements climatiques, puisqu'ils progresseront significativement (irrigation, abreuvement et refroidissement des animaux).

Concernant l'irrigation, les auteurs ont étudié la possibilité d'irriguer certaines cultures qui ne le sont pas actuellement et ils ont estimé les besoins en eau et les rendements futurs avec et sans irrigation. Leur conclusion est qu'à moyen terme (2041-2070), l'irrigation des cultures à faible valeur ajoutée (grandes cultures et fourrages) n'est pas rentable à cause des coûts d'acquisition onéreux d'un système d'irrigation. Toutefois, pour les producteurs étant déjà équipés de système d'irrigation, notamment pour subvenir aux besoins en eau de cultures maraîchères, il serait envisageable d'étendre ces systèmes pour couvrir les grandes cultures et les fourrages. Un autre élément à considérer pour l'irrigation est la source d'où proviendra l'eau. Si les producteurs s'approvisionnent dans les eaux de surface ou issues des aquifères de surface, les changements climatiques pourraient occasionner d'importante réduction de la disponibilité de cette eau. En effet, les chercheurs s'attendent à ce que les débits des cours d'eau soient en baisse, surtout en été, alors que c'est la période où l'accès à l'eau est le plus crucial pour le secteur agricole.

En outre, un entretien téléphonique avec Sylvestre Delmotte, membre de l'équipe de réalisation du projet RADEAU, a permis de rajouter quelques précisions sur le thème de l'irrigation des cultures agricoles au Québec (S.Delmotte, communication personnelle, 30 juin 2020). Premièrement, il y a une grande distinction à faire entre les cultures à faible valeur ajoutée et les cultures à forte valeur ajoutée. Au Québec, avec le climat actuel, les grandes cultures sont cultivées sans système d'irrigation parce que ce n'est pas nécessaire. En effet, les sols sont généralement assez riches en eau et lorsque ce n'est pas le cas, les agriculteurs choisissent d'irriguer leurs terres pour cultiver des cultures à plus forte valeur ajoutée, comme la pomme de terre. Deuxièmement, M. Delmotte est d'avis qu'il ne serait pas rentable de se munir d'un système d'irrigation pour un agriculteur québécois qui cultiverait les cinq cultures étudiées dans ce mémoire. Il précisait que dans des régions plus chaudes, comme aux États-Unis, le gain de rendement pour le maïs est beaucoup plus important et surpassait les coûts engendrés. Notons que les coûts afférents à la mise en place d'un système d'irrigation englobent entre autres l'accès à certaines certifications, le financement d'études démontrant qu'il n'y a pas de dommages

importants sur l'environnement, l'équipement et la main-d'œuvre. Troisièmement, il soulignait que, d'un point de vue rationnel, il ne serait pas rentable de choisir d'installer un système d'irrigation pour des grandes cultures ou des fourrages, mais que des décisions peuvent être prises de façon irrationnelle, comme après une sécheresse ayant causé d'importantes pertes. Aussi, concernant les fourrages, il y a plus de chance qu'elles soient irriguées, car elles sont d'une importance vitale pour le bétail, contrairement aux grandes cultures.

#### Concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub>

L'augmentation prévue de la concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> devrait avoir un effet globalement positif sur les rendements des cultures grâce à une meilleure stimulation de la photosynthèse et à l'amélioration de l'utilisation de l'azote et de l'eau par la plante (Ouranos, 2015). L'effet de l'augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> est plus important pour les espèces cultivées de type C3 (dont le blé, l'orge, l'avoine et le soya) que pour celles de type C4 (dont le maïs) (Charbonneau, 2013). Toutefois, un niveau élevé en CO<sub>2</sub> pourrait altérer la qualité de la production, par exemple sur la teneur en nutriments, et au fil du temps on observe une saturation des plantes en CO<sub>2</sub> lorsque la concentration atmosphérique est trop élevée<sup>31</sup>. L'augmentation de CO<sub>2</sub> atmosphérique pourrait aussi favoriser la croissance des mauvaises herbes, ce qui nuirait à l'efficacité de certains herbicides (Debailleul *et al.*, 2013 et Ouranos, 2015).

### 1.2.2 Évolution des opportunités et de la rentabilité pour les grandes cultures

#### Opportunités de production

Un très grand nombre d'experts en grandes cultures s'entendent sur le fait que le réchauffement des conditions climatiques représente une opportunité de production pour les agriculteurs québécois puisque la principale limite agricole au Québec concerne la température trop fraîche (Debailleul *et al.*, 2013). Cependant, ces changements auront différentes conséquences sur les cultures en fonction de leurs caractéristiques. Par exemple, pour les cultures qui sont actuellement limitées par des températures trop basses (maïs et soya), un réchauffement des conditions de croissance pourrait permettre l'introduction de nouvelles cultures ou variétés sur certains territoires actuellement trop froids (si la qualité des sols le permet) et les rendements

---

<sup>31</sup> Garric, Audrey (2016). « La Terre verdit grâce aux émissions de CO<sub>2</sub>. », *LeMonde*, Récupéré de [https://www.lemonde.fr/planete/article/2016/04/27/la-terre-verdit-grace-aux-emissions-de-co2\\_4909274\\_3244.html](https://www.lemonde.fr/planete/article/2016/04/27/la-terre-verdit-grace-aux-emissions-de-co2_4909274_3244.html)

potentiels pourraient augmenter (Ouranos, 2015). Dans cette optique, le maïs et le soya pourraient être introduits au Saguenay-Lac-Saint-Jean, en Abitibi, en Gaspésie ou dans le Bas-Saint-Laurent et favoriseraient une plus grande rotation des cultures. En outre, quelques cultures émergentes sont présentement à l'essai au Québec : chia, chanvre, quinoa, argousier et camerise (Firlej et Saguez, 2019<sup>32</sup>). En revanche, des conditions de croissance plus chaudes pourraient nuire aux cultures ayant besoin de fraîcheur (avoine et orge) et même aux cultures nécessitant plus de chaleur, car au-delà de 3500 UTM, les rendements moyens de ces cultures décroissent et les risques de stress thermiques et hydriques augmentent (Ouranos, 2015).

Un autre aspect positif découlant de l'augmentation éventuelle de la diversité en milieu agricole pourrait être de limiter le risque de pénurie alimentaire. Durant les dernières décennies, plusieurs cultures ont énormément décru ou ont cessé d'être cultivées parce qu'elles s'avéraient moins rentables que d'autres. Ceci a entraîné une production intensive de certaines cultures, notamment du maïs-grain et du soya. Ces pratiques intensives comportent plus de risques pour les récoltes, car la propagation des ravageurs et des maladies est grandement facilitée par la proximité des champs. Ainsi, une façon de sécuriser les ressources alimentaires serait d'accroître la diversité de l'agriculture, entre autres dans le but de diminuer le risque d'ennemis des cultures (Firlej et Saguez, 2019).

Par ailleurs, la position concurrentielle du Québec sur le marché du maïs-grain pourrait s'améliorer par rapport à celle de ses principaux concurrents (l'Ontario et les États de l'Illinois et de l'Iowa) grâce à deux avantages concurrentiels : des réserves d'eau plus abondantes et la possibilité d'accroître les superficies des terres consacrées à ces cultures (Debailleul *et al.*, 2013). Les États américains devraient surtout subir les impacts négatifs des changements climatiques, particulièrement concernant leur déficit hydrique, ce qui amoindrirait leur avance sur l'Ontario et le Québec. De son côté, l'Ontario devrait significativement améliorer sa production puisqu'elle bénéficiera de gains de rendement similaires à ceux du Québec et l'écart entre les deux provinces devrait donc rester à peu près stable. Toutefois, le Québec pourrait être légèrement avantagé s'il accroît ses superficies cultivables et s'il réussit à diminuer ses coûts (il présente actuellement les rendements les plus bas et les coûts les plus élevés). En somme, chacune des

---

<sup>32</sup> Firlej, Annabelle et Julien Saguez (2019). « Changements climatiques et phytoprotection au Québec. Synthèse et recommandations. » Québec : IRDA et CÉROM, 82p.

régions devrait conserver sa position (Iowa, Illinois, Ontario et Québec), mais l'écart entre les quatre régions serait plus restreint.

#### Rendements futurs

Quatre des articles sélectionnés présentaient des projections de rendement couvrant certaines cultures à l'étude. Ils sont présentés séparément pour pouvoir clairement comprendre leur méthodologie.

Le premier article est celui de Bélanger et Bootsma (2002). L'objectif de cet article était d'expliquer les conséquences potentielles des changements climatiques sur le maïs, le soya, l'orge, les plantes fourragères et les arbres fruitiers pour différentes régions de la province (Sud du Québec, Centre du Québec, Bas-Saint-Laurent/Gaspésie, Continental Nord et Outaouais). Pour le maïs-grain et le soya, les rendements projetés pour 2040-2069 ont été calculés en fonction des UTM et la période de référence était 1961-1990. Les résultats sont présentés dans le tableau 1.3. En ce qui concerne les régions du Bas-Saint-Laurent/Gaspésie et le Continental Nord, le niveau d'UTM de référence était trop faible pour cultiver ces types de cultures, donc l'augmentation de rendement n'a pu être calculée.

**TABLEAU 1.3 PROJECTIONS DES RENDEMENTS 2040-2069 (BÉLANGER ET BOOTSMA, 2002)**

Projections des rendements 2040-2069 (T/ha)				
Régions	Maïs-grain		Soya	
	Rdt	Variation	Rdt	Variation
Sud du Québec	12,9	54%	4,3	39%
Centre du Québec	10,7	70%	3,7	42%
B-S-L/Gaspésie	8,0	-	3,0	-
Continental Nord	6,4	-	2,6	-
Outaouais	12,6	57%	4,2	35%

Le second article est l'analyse prospective de la position concurrentielle du Québec de Debailleul *et al.* (2013). Les auteurs ont eu recours à la méthode de Delphi (consultation d'experts sur un sujet précis) pour faire ses projections. Toutefois, une des limites de cette étude est, d'une part, que seuls 6 experts sur un total de 37 ont répondu aux deux rondes de questionnaires soumis par l'auteur et, d'autre part, que les experts n'ont pas établi de consensus quant aux impacts des changements climatiques sur le Québec. Néanmoins, ils s'entendent tous sur le fait que le

réchauffement climatique représente une opportunité pour la culture du maïs-grain au Québec. Le tableau 1.4 présente donc les projections de rendements du maïs-grain pour 2050.

**TABLEAU 1.4 PROJECTIONS DES RENDEMENTS DU MAÏS-GRAIN PAR RÉGION EN 2050 (DEBAILLEUL, 2013)**

Projections des rendements du maïs-grain en 2050 (T/ha)							
Régions	Actuel	2050	Variance	Régions	Actuel	2050	Variance
Bas-St-Laurent, Gaspésie, Îles-de-la-Madeleine	-	6,5 - 7,35	1 - 1,5	Capitale-Nationale, Mauricie	7,51	10 à 12,6	1,5 - 2
Saguenay-Lac-St-Jean, Côte-Nord	-	6,5 - 8,2	1 - 1,5	Montréal, Laval, Lanaudière	8,36	11 à 12	1,5 - 2
Abitibi-Témiscamingue, Nord-du-Québec	-	4 à 7	2 - 2,5	Outaouais, Laurentides	8,51	10 à 12	1,5 - 2,5
Estrie	5,45	9,00	1,5 - 2	Chaudières-Appalaches	6,53	9,00	1,5 - 2
Montérégie Nord-est	8,92	12 à 13	1,5 - 2	Centre du Québec	7,43	10 à 11	1 - 1,5
Montérégie Sud-ouest	9,25	12 à 13	1,5 - 2				

Ensuite, le premier des deux articles d'Édith Charbonneau *et al.*, (2013)<sup>33</sup> s'intéressait aux impacts potentiels des changements climatiques sur la durabilité technico-économique et agroenvironnementale des fermes laitières au Québec à l'horizon 2050. Dans le cadre de cette recherche, les auteurs ont compilé de l'information issue de la littérature sur le sujet, puis fait des projections sur les rendements de plusieurs céréales utilisées dans l'alimentation des bovins, dont le maïs-grain, le soya, l'orge et le blé. Ils ont considéré deux scénarios climatiques (augmentation élevée ou modérée en GES) et ont ensuite soumis ces projections à un comité d'experts dans le cadre d'un *focus group*. Cette étude considérait les régions du Bas-Saint-Laurent et du Centre-du-Québec. Les indices agroclimatiques utilisés pour modéliser les rendements sont les DJC pour les plantes fourragères et les céréales, et les UTM pour le maïs et le soya. Les résultats obtenus concordent avec l'idée générale que les rendements des cultures ne répondent pas de manière linéaire à la variation de température. De plus, les auteurs ont pris soin d'inclure les cultures du maïs-grain et du soya au niveau des rotations pour les agriculteurs du Bas-Saint-Laurent. Les projections des rendements sont regroupées dans le tableau 1.5 ci-bas.

<sup>33</sup> Charbonneau, Édith, Juan Manuel Moreno Prado, Doris Pellerin, Gilles Bélanger, Hélène Côté, Valérie Bélanger, *et al.* (2013) « Première évaluation de l'impact potentiel des changements climatiques sur la durabilité technico-économique et agroenvironnementale des fermes laitières au Québec. »

**TABLEAU 1.5 PROJECTIONS DES RENDEMENTS PAR RÉGION ET PAR SCÉNARIO (CHARBONNEAU ET AL., 2013)**

Scénario	Projections des rendements (T/ha)					
	Centre-du-Québec			Bas-Saint-Laurent		
	Actuel	Modéré	Élevé	Actuel	Modéré	Élevé
Blé	2,1	2,1	2,1	1,9	1,9	1,9
Maïs-grain	6,1	9,9	10,4	-	6,0	6,1
Orge	2,1	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0
Soya	1,9	2,5	2,5	-	2,1	2,1

Par ailleurs, les auteurs insistent sur le fait que l’augmentation des UTM bénéficiera aux rendements du maïs-grain et du soya, alors que l’augmentation des DJC nuira aux rendements des céréales à paille. En outre, l’augmentation de la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub> bénéficiera aux rendements des céréales à paille et du soya.

Les auteurs ont aussi calculé qu’une ferme laitière typique du Centre-du-Québec devrait engranger des revenus annuels supplémentaires de 28 760\$ (scénario modéré) à 32 229\$ (scénario élevé), en s’appuyant sur les projections de rendements ci-haut et sur celles d’autres cultures fourragères. Pour une ferme laitière typique du Bas-Saint-Laurent, les agriculteurs devront s’attendre à une perte de revenus entre 4 941\$ (scénario modéré) à 781\$ (scénario élevé) s’ils n’adaptent pas leurs rotations des cultures. Cette différence majeure s’explique aussi par le fait que dans le Centre-du-Québec, la ferme moyenne tire profit de la vente d’une partie de ses récoltes, tandis que les fermes laitières du Bas-Saint-Laurent sont plus spécialisées dans la production de lait et que la presque totalité des récoltes sert à l’alimentation de leurs animaux. Présentement, les revenus de la vente de cultures pour une ferme moyenne du Bas-Saint-Laurent ne compte que pour 0,1% des revenus totaux de la ferme. Ces revenus augmentent à 1,8% (scénario modéré) et 2,3% (scénario élevé) avec les changements climatiques, mais aucune adaptation des rotations. Dans l’éventualité où les producteurs intégreraient le maïs-grain et le soya dans leurs rotations, les revenus tirés de la vente de maïs-grain et de soya augmenteraient d’environ 14%.

Finalement, la seconde étude publiée par Charbonneau *et al.* (2020) comportait aussi plusieurs volets pertinents pour déterminer l’évolution de la production végétale à l’horizon 2050. D’une part, les auteurs ont mené une enquête sur la perception des producteurs laitiers québécois par rapport aux changements climatiques (celle-ci est abordée dans la prochaine sous-section : Facteurs décisionnels dans les pratiques agricoles québécoises) et, d’autre part, ils ont recalculé des projections de rendements potentiels des principales associations d’espèces

végétales. Leurs résultats pour les cultures à l'étude de ce mémoire sont résumés dans le tableau 1.6. On peut y observer que cinq rendements ont été calculés par culture pour le Bas-Saint-Laurent, alors qu'il n'y en a que quatre pour la Montérégie. Cette différence s'explique par le fait que les scénarios du futur proche (modéré et élevé) en Montérégie étaient très semblables.

**TABLEAU 1.6 PROJECTION DES RENDEMENTS PAR RÉGION ET PAR SCÉNARIO (CHARBONNEAU ET AL., 2020)**

Période	Projection des rendements (T/ha) par région pour la période de référence, le futur proche et le futur lointain								
	Bas-Saint-Laurent					Montérégie			
	Référence	Futur proche		Futur lointain		Référence	Futur proche	Futur lointain	
Scénario	Actuel	Modéré	Élevé	Modéré	Élevé	Actuel	Moyen	Modéré	Élevé
Blé/Orge	2,4 ± 0,8	2,6 ± 0,8	2,3 ± 0,9	2,4 ± 0,9	2,2 ± 1,0	3,0 ± 1,0	3,1 ± 1,0	3,3 ± 1,1	2,9 ± 1,1
Maïs-grain	-	-	6,0 ± 2,8	7,5 ± 3,0	7,9 ± 2,8	8,1 ± 2,6	9,2 ± 2,7	9,7 ± 2,7	9,4 ± 2,6
Soya	-	-	2,0 ± 0,4	2,1 ± 0,5	2,4 ± 0,4	2,0 ± 0,3	2,5 ± 0,4	2,6 ± 0,5	2,9 ± 1,1

\*Le blé est cultivé en Montérégie, alors que l'orge est cultivé au Bas-Saint-Laurent

De plus, malgré que les valeurs des rendements diffèrent légèrement, des conclusions similaires à celles tirées de l'étude précédente de Charbonneau et al. (2013) ressortent : un réchauffement très élevé des températures pourrait nuire aux rendements des céréales à paille et les cultures du maïs-grain et du soya verront leurs rendements augmenter dans les deux régions. Toutefois, dans le cas de la Montérégie un important stress hydrique pourrait limiter la croissance des rendements dans le cas du scénario élevé du futur lointain.

#### Évolution des coûts

Les changements climatiques devraient fortement influencer les coûts de production des agriculteurs (Debailleul, 2013 et Charbonneau et al., 2013). Étant donné que plusieurs types de coûts sont proportionnels aux rendements, ils devraient augmenter au même rythme. Les postes de coûts qui devraient changer sont les suivants : fertilisants, herbicides, entretien de la machinerie, temps de travail, frais de séchage et d'entreposage, coûts liés au plan conjoint<sup>34</sup> et irrigation. L'analyse de Debailleul présente trois tableaux qui résument les modifications de coûts de production pour trois scénarios de GES différent (bas, médian et élevé) pour l'horizon 2050. Pour le scénario médian de l'analyse de Debailleul, les coûts qui devraient le plus varier sont les coûts d'amortissement liés à un système d'irrigation (+52,9%), les salaires des employés (+50%), les frais de séchage et frais d'entreposage (+40%), les frais liés au plan conjoint (+40%), ainsi que les fertilisants (+20%). Il est d'ailleurs important de noter que l'auteur a fait l'hypothèse de l'installation d'un système d'irrigation dans chacun des trois scénarios puisqu'il l'estime

<sup>34</sup> Outil dont disposent les agriculteurs pour négocier collectivement les conditions de mise en marché d'un produit

nécessaire pour faire face au déficit hydrique. En somme, les changements climatiques seraient responsables d'une hausse des coûts de production totaux par hectare de 27,2% pour le scénario bas, de 29,8% pour le scénario médian et de 30,6% pour le scénario élevé (Debailleul *et al.*, 2013). De leur côté, les auteurs de l'étude de Charbonneau *et al.* (2013), soulèvent l'importance de majorer plusieurs coûts pour obtenir des projections cohérentes, dont les frais reliés à la récolte en lien avec les nouveaux rendements et les coûts en pesticides pour les cultures de soya et de maïs (pas pour les céréales à paille). Les coûts des fertilisants (N, P et K) devront aussi être revus à la hausse en fonction de l'augmentation supplémentaire des prélèvements en ces minéraux par les plantes. Il est aussi pertinent d'augmenter les pourcentages de perte à la récolte de 10% pour considérer l'augmentation du nombre des événements météorologiques extrêmes (grêle, orages, etc.), ainsi que de bonifier de 10% les cotisations à l'assurance-récolte pour refléter l'augmentation des pertes.

#### Facteurs décisionnels dans les pratiques agricoles québécoises

La seconde étude de Charbonneau *et al.* (2020) comporte une enquête sur la perception des producteurs laitiers québécois par rapport aux changements climatiques. Elle a été réalisée au cours de l'été 2016, auprès de 194 producteurs laitiers québécois issus de 12 régions administratives québécoises. Deux des principaux objectifs de cette enquête étaient de (1) vérifier les pratiques actuelles et prévues pour gérer les risques climatiques pour les cultures fourragères et de (3) vérifier la perception des producteurs face aux changements climatiques. Une des questions concernait les caractéristiques considérées lors du choix des espèces fourragères et il s'avère que les caractéristiques les plus importantes aux yeux des producteurs sont les rendements d'une espèce fourragère, sa valeur nutritive et sa probabilité de survie hivernale. Le critère de la tolérance à la chaleur et à la sécheresse se classait au cinquième rang. De plus, le questionnaire a permis d'identifier que 36% des répondants n'ont pas modifié leurs rotations des cultures au cours des 15 dernières années, bien que 34% aient incorporé de nouvelles cultures. La modification du choix des cultures dans la rotation dépend surtout de la diminution des rendements (46%) et des nouvelles opportunités de vente (45%), puis de la modification des conditions climatiques de la région (32%) et de la valeur nutritive des cultures (21%). Une autre question portait sur l'impact des changements climatiques sur les différents départements de la ferme (cultures, animaux, sols, aucun) et près de 75% des répondants ont désigné le secteur des cultures comme étant le plus à risque. Cependant, la majorité des

producteurs considéraient comme peu probable que des problématiques découlant des changements climatiques (déficit hydrique et fréquence des événements climatiques extrêmes) augmentent de manière significative. En outre, 74% des répondants envisageaient que les effets des changements climatiques sur la productivité seraient mineurs.

Dans le même ordre d'idée, les auteurs d'une étude de cas sur la résilience des bassins agricoles face aux changements climatiques ont développé un questionnaire pour mieux comprendre les facteurs de décision impactant l'affectation des terres chez les producteurs (Bano Mehdi *et al.*, 2014)<sup>35</sup>. Les réponses à ces questions me permettront de mieux projeter les comportements des agriculteurs vis-à-vis l'adoption de nouvelles cultures. Les questions portaient sur les raisons pour lesquelles certains changements de cultures avaient eu lieu dans le passé et sur les facteurs qui entraîneraient un futur changement possible des cultures sur leur ferme. Les 73 répondants sont composés d'agriculteurs québécois et d'étudiants issus d'un programme agricole de Macdonald College à Ste-Anne-de-Bellevue. Leurs réponses étaient basées sur leur expérience et sur leurs pratiques actuelles.

Cinq questions, sur un total de 17, s'avéraient plus pertinentes pour la rédaction de ce mémoire et sont donc présentées ci-bas avec les réponses associées :

- « Pouvez-vous nommer certains facteurs décisifs pour lesquels vous avez cessé de planter une culture en particulier? » Les réponses les plus communes étaient les raisons monétaires, d'autres facteurs (non détaillés), les facteurs climatiques, la faible demande pour ces cultures, les ennemis des cultures, etc.
- « À votre avis, quelle influence les facteurs suivants ont-ils sur le choix des types de cultures à cultiver dans votre ferme (tradition, rentabilité économique, expérience que vous avez, temps disponible pour cultiver cette culture, accès à l'équipement ou à la technologie agricole, accès au marché de la culture, information disponible concernant la culture)? » Les facteurs les plus importants étaient ceux de la rentabilité économique, l'investissement de temps, ainsi que l'équipement et la technologie.
- « Qu'est-ce qui vous a poussé, dans les 10 dernières années, à choisir une nouvelle culture? » Les réponses principales étaient l'accès à de nouvelles informations, les facteurs

---

<sup>35</sup> Mehdi, Bano, Colline Gombault, Bernhard Lener, Aubert Michaud, Isabelle Beaudin, Marie-France Sottile, *et al.* (2014). "Increasing agricultural watershed resilience to climate change and land use change using a water master plan: A case study for the Missisquoi Bay"

climatiques, les facteurs de marché et les conseils agronomiques. De plus, 65% des répondants ont répondu qu'ils ne planifiaient pas d'introduire de nouvelle culture sur leur ferme dans le futur.

- « Qu'est-ce qui influencerait votre décision de cultiver d'autres types de cultures que celles que vous cultivez déjà? » Le facteur le plus important était le potentiel marketing, suivi de l'acquisition d'une nouvelle terre, des facteurs climatiques, des subventions gouvernementales et de l'accès à de l'information nouvelle.
- « Si la durée de la saison de croissance augmente de quatre semaines en raison des changements climatiques futurs, pensez-vous que cela affecterait vos décisions de choix de culture, ou changer vos pratiques agricoles? Si oui, de quelle façon? », la plupart des répondants ont dit que ça affecterait leurs décisions et qu'ils varieraient leurs cultures, en plus de procéder à plus de coupes de foin et de faire plus de rotations

## Chapitre 2 : Méthodologie

### 2.1 Approche méthodologique

L'approche sélectionnée consiste d'abord à recenser la recherche existante sur les changements climatiques, plus spécifiquement sur les industries qui en tireraient des bénéfices potentiels. Dans cette optique, les secteurs du tourisme et de l'agriculture ont été sélectionnés puisqu'un rapport de l'OCDE (2016) les désignait comme étant les seuls secteurs canadiens pouvant retirer des conséquences positives des changements climatiques. Étant plus largement documenté et reposant sur des caractéristiques plus tangibles, le secteur agricole a finalement été retenu. Ensuite, j'ai contacté un expert en économie de l'agroenvironnement, Luc Belzile, afin d'obtenir des renseignements sur l'état de la recherche agroenvironnementale au Québec. Après avoir consulté les données agricoles disponibles et m'être entretenue avec M. Belzile, j'ai décidé de me concentrer sur les cultures végétales, plus particulièrement les grandes cultures. Une revue de la littérature étoffée sur la relation entre les changements climatiques et les cultures agricoles a ultérieurement été menée pour identifier les enjeux futurs qui affecteront la production végétale. Cette revue de la littérature a aussi servi à récolter des informations dans le but de pouvoir déterminer quel scénario économique, en fonction de l'évolution future des prix et de la production, caractériserait le plus la production agricole végétale québécoise à l'horizon 2050.

Les données utilisées sont principalement des données secondaires quantitatives recueillies à travers les articles abordés dans la revue de littérature, ainsi que des statistiques sur la production agricole et sur le niveau des prix mondiaux. Des données secondaires qualitatives ont aussi été retenues pour discuter des facteurs décisionnels les plus importants chez les agriculteurs, en plus de données primaires obtenues via plusieurs entrevues téléphoniques avec des spécialistes et chercheurs en agronomie.

En outre, cette approche permet de rassembler et de comparer les résultats de nombreuses études locales et internationales, tout en tenant compte de l'opinion de plusieurs experts du domaine. Ce travail de recherche est réalisé dans un contexte où pratiquement aucune étude québécoise alliant les domaines de l'économie, de l'agronomie et de la climatologie n'a encore été publiée. Cette démarche permet aussi de discuter de certains concepts économiques comme l'offre et la demande, la fluctuation du niveau des prix, les politiques gouvernementales et leur impact sur les marchés, les taux de change mondiaux et le commerce mondial.

## 2.2 Provenance des données

La majorité des données est constituée de projections de rendements des cultures sélectionnées, de projections climatiques issues de différents modèles et de statistiques concernant la production et le niveau des prix passés et actuels. La plupart de ces données ont été récoltées à travers des articles triés en fonction de leurs similitudes avec la région de référence de ce mémoire, soit la province du Québec. Effectivement, bien que plusieurs études utilisées aient été conduites pour d'autres régions du monde, il a toujours été vérifié que ces régions présentaient suffisamment de ressemblances au niveau du climat (conditions climatiques et type d'écosystème) ou des techniques agricoles employées (technologies et équipement, usage de pesticides et fertilisants, choix des cultures) avec l'agriculture québécoise. Ainsi, des recherches sur les continents africain, australien, asiatique et sud-américain ont été mises de côté. De plus, pour les articles dont les données étaient accessibles, j'ai examiné les fichiers de données pour faire ressortir les statistiques calculées pour le Canada ou le Québec, même si ces résultats n'étaient pas directement présentés dans la section résultats de ces recherches.

Les statistiques de la production agricole québécoise sont rassemblées dans des documents publiés par le gouvernement provincial comme *le Profil Sectoriel de l'Industrie Bioalimentaire du Québec, Bioalimentaire Économique* ou le *Portrait-diagnostic sectoriel*. Ces publications sont généralement éditées chaque année et ce sont les données des éditions les plus récentes (2019 et 2020) qui ont été utilisées. La banque de données de Statistiques Canada a aussi été consultée pour trouver des données sur les prix des cultures comme l'indice des prix des produits agricoles. Le centre de documentation de la FADQ a aussi été utile pour trouver des données sur l'évolution des cultures étudiées au cours des 30 dernières années, ainsi que sur les prix des cultures. Certains organismes, dont le CRAAQ, produisent aussi des guides professionnels parfois payants à l'attention des producteurs et agronomes et des démarches ont été complétées pour obtenir un accès temporaire à certains de ces documents.

J'ai aussi conduit huit entrevues téléphoniques avec plusieurs agronomes, économistes et agents de développement en assurances agricoles, ainsi qu'une entrevue en personne avec le président d'une entreprise œuvrant dans l'agriculture et la commercialisation de grains biologiques à Charlevoix. Ces entrevues ont surtout été réalisées durant les mois de mai et juin 2020 et ont été menées avec des objectifs différents. Le but de ces appels était principalement de répondre

à des questions techniques et d’avoir des suggestions d’autres contacts dans le domaine. Sarah Delisle, agronome et coordonnatrice du projet Agriclimat, et Anne Blondlot, agronome et coordonnatrice agriculture, pêches et aquaculture commerciales chez Ouranos, ont été contactées pour leur avis général sur mon approche méthodologique et pour l’accès au scénario climatique produit pour le projet Agriclimat et utilisé dans ce mémoire. L’appel avec Charles-Antoine Gosselin, économiste chez Ouranos, a servi à discuter des modèles climatiques d’Ouranos. Dominick Pageau et Isabelle Duchesne, respectivement agente principale de développement en assurances agricoles et agente de recherche et de planification socio-économique à la FADQ, ont été consultées quant au fonctionnement des programmes d’assurances agricoles pour mieux comprendre les facteurs de décisions des producteurs. L’entrevue avec Sylvestre Delmotte, consultant en agroenvironnement, a permis de mieux comprendre le fonctionnement de l’irrigation au Québec et de discuter des pistes d’adaptation aux changements climatiques pour les agriculteurs. Finalement, la rencontre avec Rudy Laixhay, Président chez Pierre du Moulin, entreprise de culture et commercialisation de grains biologiques à Charlevoix, s’est déroulée en septembre 2020. La discussion concernait particulièrement les enjeux de l’agriculture biologique au Québec, ainsi que le lobbying.

## 2.3 Méthode d’analyse

### 2.3.1 Cultures étudiées

Une fois l’approche méthodologique choisie, j’ai brossé le portrait de la production agricole au Québec pour avoir une meilleure compréhension du fonctionnement de cette industrie. Cette étape avait pour but de cibler la partie de l’agriculture qui serait à l’étude et de faire ressortir ses principales caractéristiques.

Le secteur agricole comporte trois branches principales, à savoir les productions animales, les productions végétales, ainsi que les pêches et l’aquaculture. Cette analyse se concentre sur l’étude des productions végétales plutôt que sur les productions animales, car elle repose sur moins de variables, ce qui en simplifie l’analyse. En effet, l’étude de la production animale aurait requis de considérer un plus grand nombre de variables reliées aux animaux (nourriture, abris, soins pour les animaux, etc.), en plus des variables affectant déjà la production végétale. Les cultures sélectionnées sont l’avoine, le blé, le maïs-grain, l’orge et le soya. Il s’agit de cinq cultures appartenant à la catégorie des grandes cultures, reconnues pour être cultivées sur de grandes superficies.

Le choix des cultures étudiées reposait sur deux principaux critères : une production importante au Québec (nombre d'exploitations, superficies et recettes) et la facilité d'accès aux données. Les grandes cultures et les cultures fourragères étaient donc deux choix intéressants parce que le fait qu'elles soient cultivées annuellement sur de très grandes superficies permet d'avoir un grand nombre de données. En revanche, depuis plusieurs années, on observe une substitution unilatérale des cultures fourragères par les grandes cultures puisque la production laitière diminue au profit de la production de grains. En effet, avec les sécheresses et les pénuries de foin de plus en plus fréquentes, certains agriculteurs choisissent de diminuer leur production animale (très dépendante à un apport en fourrage régulier) et s'équipent pour pouvoir cultiver des grains. De plus, il était important que les cultures choisies puissent être représentatives de la production végétale au Québec et il avait donc été déterminé qu'un minimum de 3 cultures seraient retenues.

Lorsque le choix des cultures s'était arrêté sur la catégorie des grandes cultures, il a été décidé de travailler avec 5 des 6 grandes cultures puisque la sixième, le canola, était peu cultivée par les agriculteurs québécois. Parmi les cinq grains choisis, on regroupe l'avoine, le blé et l'orge dans la catégorie des céréales à paille. Le maïs-grain fait aussi partie des céréales, alors que le soya est un oléagineux. Les céréales à paille sont des cultures qui ont surtout besoin de fraîcheur. En effet, les trois principales régions (ou regroupement de régions) qui produisent l'avoine et l'orge sont les régions Bas-Saint-Laurent et Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine, Saguenay-Lac-Saint-Jean et Côte-Nord, ainsi qu'Abitibi-Témiscamingue et Nord-du-Québec. Le blé provient principalement des régions Montérégie nord-est, Chaudière-Appalaches et Centre-du-Québec. Quant au maïs-grain et au soya, ces cultures préfèrent des climats plus chauds, ce qui explique qu'on les retrouve surtout en Montérégie nord-est, en Montérégie sud-ouest et en Centre-du-Québec (MAPAQ, 2020)<sup>36</sup>.

Au Québec, le marché de l'alimentation animale utilise à lui seul plus de 80% de la production annuelle de grains. Les autres usages des grains sont la transformation industrielle, l'alimentation humaine et les semences (MAPAQ, 2020). En outre, les exportations québécoises des produits céréaliers et céréales non transformées étaient de 7,99M\$ en 2019, alors que les exportations des produits oléagineux et les oléagineux rapportaient près de 6,44M\$ pour la même année (MAPAQ 2020).

---

<sup>36</sup> MAPAQ, 2020. « Portrait-diagnostic sectoriel de l'industrie des grains au Québec », Annexe 6, 51 p.

### 2.3.2 Horizon 2050 et scénario climatique

Lors de l'élaboration de la question de recherche, j'ai choisi d'étudier les impacts économiques des changements climatiques pour une période future. Afin d'avoir un scénario climatique différent du climat actuel, l'horizon sélectionné devait être suffisamment éloigné pour que les conditions climatiques aient significativement évolué. Cependant, il fallait quand même que les conditions de production futures s'apparentent aux conditions de production actuelles pour simplifier l'analyse et éviter que des éléments externes aux changements climatiques affectent la production agricole différemment. Ainsi, il a été déterminé qu'une période de 30 ans répondrait aux exigences mentionnées précédemment et l'horizon 2050 a été retenu. De plus, il s'agit d'un horizon souvent utilisé dans les recherches sur les effets des changements climatiques, ce qui a permis de pouvoir plus facilement manipuler et comparer les résultats d'autres recherches.

Le scénario utilisé dans le cadre de ce mémoire a été gracieusement fourni par les responsables du projet Agriclimat (2017-2020). Agriclimat est un projet d'envergure provinciale qui a pour but de permettre aux producteurs et productrices agricoles de mieux comprendre l'impact futur des changements climatiques sur l'agriculture. Le scénario en lui-même a été développé par OURANOS, un consortium de recherche québécois sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques.

Un des critères qu'Ouranos a dû considérer lors de l'élaboration de ce scénario était qu'il représente un futur climatique plausible pour le Québec en 2050. Pour ce faire, 22 scénarios climatiques internationaux issus de l'ensemble CMIP5 ont été produits et la valeur médiane est utilisée pour représenter l'horizon 2050. Certains des scénarios sont associés à une faible diminution des émissions de GES au niveau mondial, alors que les autres représentent une diminution plus importante des émissions de GES. De plus, les valeurs présentées pour les indicateurs climatiques correspondent à deux périodes distinctes : le climat historique (calculé à partir de la moyenne de la période 1981-2010) et l'horizon 2050 (calculé à partir de la moyenne 2041-2070).

### 2.3.3 Scénarios économiques

Pour répondre à la question de recherche, quatre scénarios économiques ont été construits en fonction de deux variables majeures affectant la situation économique des producteurs agricoles : les prix du marché et la production agricole (quantité produite). Il était nécessaire de

se limiter à un nombre restreint de variables puisque chaque variable additionnelle amène un lot d'incertitude supplémentaire, ce qui complexifie les résultats. En effet, comme il s'agit de prévisions pour un horizon de 30 ans, l'évolution de ces variables est incertaine et les interactions qu'elles peuvent avoir avec les changements climatiques, qui ne peuvent être prédits avec certitude, sont aussi ambiguës, voire inconnues.

Pour la variable des prix du marché, une attention particulière doit être portée aux prix mondiaux, car les prix des grandes cultures sont principalement déterminés par les bourses de Chicago (maïs, soya, blé et avoine), de Minneapolis (blé) et de Winnipeg (orge et canola)<sup>37</sup>. Effectivement, les prix transigés sur ces bourses déterminent près de 80% des prix affichés au Québec, le reste dépendant essentiellement de la dynamique du marché local (offre et demande locales, taux de change et climat).

En ce qui concerne la production agricole, ce sont uniquement les quantités produites au Québec qui ont été considérées puisque la question de recherche cible les effets des changements climatiques sur l'agriculture québécoise. La production agricole dépend de plusieurs facteurs : rendement des cultures, variété de cultures adaptées au climat local, superficie cultivable et techniques des agriculteurs. Le rendement d'une culture correspond à la quantité produite pour une surface donnée et peut être présenté en fonction de différentes unités, par exemple en tonnes/hectare. La variété des cultures adaptées au climat local est l'ensemble des cultures qui pourraient être cultivées dans les conditions climatiques locales. Ce facteur influence la production agricole dans la mesure où plus les agriculteurs ont un vaste choix de cultures qu'ils pourraient cultiver, plus ils sont à même de choisir les cultures les plus intéressantes ou celles qui s'adapteront le mieux à leur rotation. La superficie cultivable correspond à la superficie des terres agricoles et est encadrée par des réglementations gouvernementales et municipales. Les techniques agricoles employées par les agriculteurs sont nombreuses et englobent aussi les décisions concernant la gestion des sols, les ravageurs et l'irrigation.

Après avoir défini mes variables d'intérêt, j'ai déterminé que j'estimerai les impacts des changements climatiques en comparant l'évolution projetée des deux variables par rapport à leur état actuel. Autrement dit, j'ai cherché à identifier le mouvement futur des prix mondiaux (augmenteront-ils ou diminueront-ils), ainsi que celui de la production agricole (les quantités

---

<sup>37</sup> MAPAQ (2020). « Portrait diagnostique de l'industrie des grains », 51p.

produites augmenteront-elles ou diminueront-elles). Cette méthode est représentée dans la matrice suivante (figure 2.1) :

**FIGURE 2.1 MATRICE DES SCÉNARIOS ÉCONOMIQUES DE LA PRODUCTION AGRICOLE À L’HORIZON 2050**

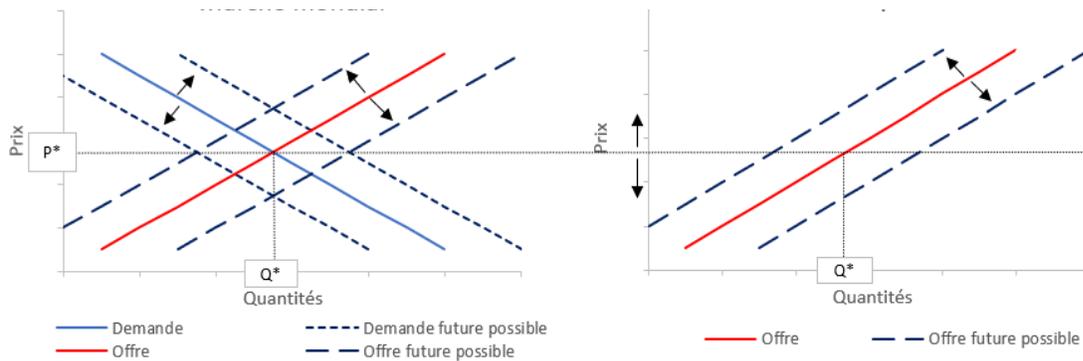
	Quantité produite au $Q_c \uparrow$	Quantité produite au $Q_c \downarrow$
Prix mondiaux $\uparrow$	Scénario 1 (Prix $\uparrow$ , Qté $\uparrow$ )	Scénario 2 (Prix $\uparrow$ , Qté $\downarrow$ )
Prix mondiaux $\downarrow$	Scénario 3 (Prix $\downarrow$ , Qté $\uparrow$ )	Scénario 4 (Prix $\downarrow$ , Qté $\downarrow$ )

#### 2.3.4 Estimation des variables

L’estimation des variables est faite séparément puisqu’elles font partie de deux marchés distincts. Étant donné que les prix des cultures québécoises sont majoritairement déterminés par les bourses américaines, il est pertinent de d’abord considérer les effets des changements climatiques sur le marché mondial des grandes cultures, puis d’analyser les répercussions sur la production locale. Les graphiques de la figure 2.2 illustrent la situation actuelle de ces deux marchés. Les courbes d’offre et de demande mondiales sont tracées dans le graphique de gauche et leur intersection détermine le prix et la quantité d’équilibre. On y aperçoit également les impacts potentiels des changements climatiques sur chacune des courbes. Ils correspondent aux déplacements représentés par les lignes pointillées. Actuellement, la nature de ces déplacements (positive ou négative) est inconnue, mais elle sera déterminée dans le chapitre de l’analyse.

Le graphique de droite représente le marché québécois. Seule la courbe d’offre y figure, car on s’intéresse uniquement à la production végétale locale (offre) et non à la demande locale. En effet, puisqu’il s’agit d’une économie ouverte, les producteurs ne sont pas limités à cette demande locale et ont recours à l’exportation pour écouler une partie de leurs stocks. De plus, la juxtaposition de ces graphiques permet d’illustrer la situation de preneurs de prix (*price takers*) des producteurs québécois. Comme le Québec représente un petit joueur dans le marché international des grains, il est contraint de suivre les prix des marchés mondiaux pour demeurer compétitif.

FIGURE 2.2 SCHÉMAS ÉVOLUTION POSSIBLE DE L'OFFRE ET DE LA DEMANDE SUR LES MARCHÉS MONDIAL ET QUÉBÉCOIS



Ainsi, une première analyse d'offre et de demande étudie l'évolution des prix mondiaux des grandes cultures d'ici l'horizon 2050. Cette analyse aborde les principaux facteurs influents sur le niveau des prix mondiaux des commodités agricoles et elle permet de brosser un portrait global de la situation actuelle et future. Les facteurs discutés sont les prix du marché, le climat, le prix du pétrole brut, la superficie cultivable, le taux de change du dollar américain, la consommation, la démographie, les revenus de la population, la demande de biocarburants, le niveau de stock de produits agricoles et la spéculation. De plus, l'analyse tient compte de plusieurs autres études basées sur des modèles économétriques pour vérifier et comparer les résultats obtenus.

Pour la variable des quantités produites au Québec, une analyse largement documentée abordant les 4 facteurs affectant la production agricole est présentée dans le prochain chapitre. La première section de cette analyse propose une comparaison de l'évolution passée des rendements des cultures avec les projections des rendements futurs. Pour cette comparaison, les rendements publiés dans l'étude de Charbonneau *et al.* (2020) ont été sélectionnés, car il s'agit des prévisions les plus récentes pour le Québec et qu'elles ont pour horizon de projection l'année 2050. Ce sont les projections des rendements qui correspondent au futur lointain (2050-2079) de cette étude qui ont été retenues parce que nous entamons présentement la période du futur proche (2020-2049) et que les estimés de 2020-2049 ne captent probablement pas suffisamment les changements climatiques attendus pour 2050. Les rendements passés proviennent des statistiques de la FADQ.

La seconde section de l'analyse des quantités produites présente des perspectives de cultures pour 2050 appuyées sur des articles cités dans la revue de littérature. Les facteurs de décision des agriculteurs y sont aussi analysés pour déterminer si les producteurs décideront d'adopter les futures opportunités qui s'offriront à eux. Ensuite, la troisième section traite des superficies cultivables, en examinant des tendances observées à l'étranger et en étudiant la possibilité d'augmenter ces superficies au Québec. Puis, la quatrième section aborde les principales techniques agricoles et analyse l'évolution de ces pratiques en fonction des changements climatiques.

En outre, l'hypothèse que les montants des subventions et des programmes d'assurance demeureraient similaires a été faite. Étant donné que ces montants sont pour l'instant indépendants des changements climatiques et difficilement prévisibles, il est préférable de les exclure de cette analyse. Dans cette logique, les décisions futures des producteurs reposeront essentiellement sur les facteurs décisionnels qui seront discutés dans le prochain chapitre.

#### 2.3.5 Zones bioclimatiques

Le Québec compte plus de 63000 km<sup>2</sup> de terres agricoles répartis à travers les 17 régions administratives de la province<sup>38</sup>. Un des objectifs de ce mémoire était de couvrir les impacts des changements climatiques sur l'agriculture pour tout le territoire du Québec. Ainsi, les 17 régions administratives du Québec ont été divisées en 3 sous-groupes selon leur caractéristiques bioclimatiques et leur position géographique :

- Le Sud : la Mauricie, l'Estrie, Montréal, l'Outaouais, Laval, Lanaudière, les Laurentides, la Montérégie et le Centre-du-Québec
- La Vallée du Saint-Laurent (Centre et Est) : Bas-Saint-Laurent, Capitale-Nationale, Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine et Chaudière-Appalaches
- Le Nord : Saguenay-Lac-Saint-Jean, Abitibi-Témiscamingue, Côte-Nord, le Nord-du-Québec

Ces zones bioclimatiques permettront d'aborder les particularités climatiques de ces régions plus en profondeur pour mieux évaluer les impacts des changements climatiques sur la production agricole.

---

<sup>38</sup> Commission de protection du territoire agricole (2015). Zone agricole du Québec, 3 p., Récupéré de <http://www.cptaq.gouv.qc.ca/index.php?id=175&file=zonage.zip>



## Chapitre 3 : Analyse

Comme expliqué dans la section Estimation des variables du chapitre précédent, l'analyse des deux variables d'intérêt est conduite séparément. Étant donné que les producteurs québécois sont preneurs des prix internationaux (*price takers*), les conséquences des changements climatiques sur le marché mondial sont d'abord examinées. Puis, une seconde section présente l'analyse des impacts des changements climatiques sur la production végétale québécoise (offre). Ensuite, les conclusions des deux analyses sont rassemblées pour déterminer le scénario économique qui correspondra le mieux à la situation des producteurs québécois en 2050.

### 3.1 Prix internationaux des grandes cultures

#### 3.1.1 Contexte

Au cours du 20<sup>ème</sup> siècle, les prix réels des cultures ont énormément chuté. Par rapport aux prix de 1900 (qui étaient relativement stables), les prix de 2000 du blé, du maïs-grain et de l'orge ont respectivement perdu 83%, 77% et 63% de leur valeur<sup>39</sup>. Cependant, cette tendance à la baisse des prix réels a été ponctuée de plusieurs hausses de prix vertigineuses, notamment lors des deux guerres mondiales et de la crise alimentaire de 1974. Il est intéressant d'analyser les prix réels puisqu'ils permettent de mieux comprendre les pénuries et les surplus alimentaires. La baisse des prix observée au 20<sup>ème</sup> siècle est surtout attribuable à l'augmentation plus rapide de l'offre que de la demande. Cette augmentation rapide de l'offre est due à la baisse des coûts de transport, aux innovations technologiques, au marketing mieux adapté et à l'augmentation des superficies agricoles (Ito, 2019)<sup>40</sup>.

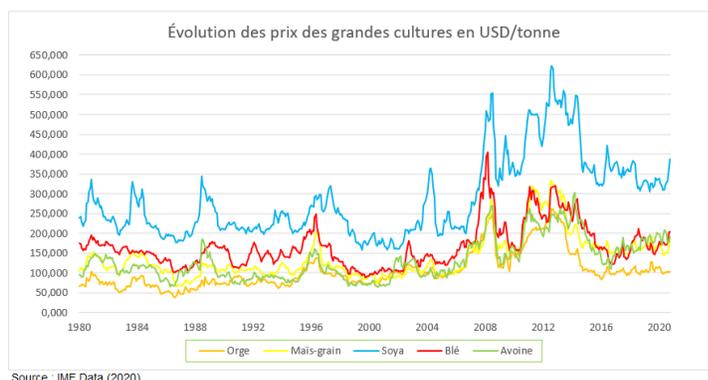
Le graphique 3.1 illustre l'évolution des prix nominaux des cinq cultures étudiées depuis 1980. Ces données proviennent du FMI et sont présentées en dollars américains par tonne métrique.

---

<sup>39</sup>Jacks, D.S. (2019). "From Boom to Bust: A Typology of Real Commodity Prices in the Long Run", *Cliometrica* 13(2), 202-220.

<sup>40</sup>Ito, Shoichi (2019). "The global dynamics of price hikes in food production increase – A reference to the climate change", 25th International Conference on the Unity of the Sciences (ICUS XXV) : Environmental Health and the Quality of Human Life, Seoul, Korea, Session 2.

**FIGURE 3.1 ÉVOLUTION DES PRIX DES GRANDES CULTURES**



Ce graphique permet d’observer la dynamique de plus en plus volatile des prix nominaux des grandes cultures et on y remarque que les prix des 4 céréales semblent généralement fluctuer de façon similaire. Depuis le début des années 2000, il y a eu deux hausses de prix des commodités agricoles majeures : celle de 2006-2008 et celle de 2011-2014. Les facteurs avancés pour expliquer ces hausses comprennent l’augmentation de la demande alimentaire dans les économies en développement, la forte hausse des prix de l’énergie qui a stimulé les coûts de production des produits agricoles, l’augmentation de la demande en biocarburant, la dépréciation du dollar américain, ainsi que les déficits de production dus aux conditions météorologiques (May *et al.*, 2009)<sup>41</sup>. En outre, puisque le marché des grains dépend directement de facteurs de plus en plus volatiles, il risque fortement d’être sujet à une plus grande volatilité au cours des prochaines décennies.

Pour la prévision de prix futurs, il existe différentes techniques, dont les prévisions à partir d’analyse d’offre et de demande, celles reposant sur l’évolution des prix passés et celles basées sur des modèles utilisant les prix des contrats à terme (*futures*). L’efficacité de ces techniques dépend de plusieurs éléments comme l’horizon de la prévision, les données utilisées, la prise en compte de facteurs indirectement liés au marché étudié, le choix du modèle, etc. Hertel *et al.* (2016)<sup>42</sup> soulignaient aussi que l’exactitude des prévisions d’un marché dépend du dynamisme du marché et que plus il est dynamique, plus il sera difficile d’obtenir de bonnes prévisions. Un des avantages en faveur de l’utilisation de modèles est qu’ils prennent généralement en compte

<sup>41</sup> Peters, May, Suchada Langley et Paul Westcott (2009). “Agricultural Commodity Price Spikes in the 1970s and 1990s: Valuable Lessons for Today”, USDA, Economic Research Service.

<sup>42</sup> Hertel, Thomas, Uris Lantz Baldos et Dominique van der Mensbrugghe (2016). « Predicting Long-Term Food Demand, Cropland Use, and Prices », *Annu. Rev. Resour. Econ.*, 8:417–41

un plus grand ensemble de données et peuvent ainsi produire une analyse plus riche et identifier des dynamiques sous-jacentes. Néanmoins, dans le cas où l'environnement futur présente suffisamment de similitudes avec l'environnement actuel et que les données actuellement disponibles demeureront pertinentes, l'extrapolation statistique est probablement plus efficace (Godfray et Robinson, 2015)<sup>43</sup>. Ainsi, une analyse détaillée des facteurs influents sur le niveau des prix mondiaux a été réalisée pour déterminer l'évolution des prix des cultures agricoles d'ici l'horizon 2050. Cette analyse est ensuite comparée aux résultats qu'ont obtenus d'autres chercheurs via l'utilisation de modèles économétriques pour souligner les différences des deux méthodes.

### 3.1.2 Analyse des prix internationaux

La formation des prix des produits alimentaires est très complexe parce qu'elle résulte de multiples interactions entre les facteurs influençant les prix des commodités agricoles. Les facteurs déterminants de l'offre sont le climat, la superficie de terres agricoles et le prix du pétrole brut. Par ailleurs, puisque le marché des grains est un marché fortement intégré au niveau international, les chocs de production régionaux y ont moins d'importance que dans un marché local (Schaub et Finger, 2020)<sup>44</sup>. Ceci permet ainsi de traiter les facteurs affectant l'offre d'un point de vue global, sans se concentrer sur les caractéristiques des pays producteurs. Les facteurs qui pèsent sur la demande sont la consommation, la démographie, les revenus de la population et la demande de biocarburants. En outre, le niveau de stock de produits agricoles, la volatilité et le taux de change du dollar américain seront aussi abordés puisqu'ils peuvent jouer sur les prix des cultures.

#### Facteurs affectant l'offre mondiale des grandes cultures

Le premier facteur affectant l'offre est le climat. En effet, les récoltes agricoles découlent directement des conditions météorologiques, plus particulièrement des températures, de l'accumulation de chaleur et des précipitations (Ouranos, 2015). Les vagues de chaleur et sécheresses qui ont affecté les récoltes américaines en 2012 en témoignent : ce choc de production a entraîné une réduction de la production américaine de maïs de 13% par rapport à l'année précédente et une diminution de 20% du rendement du grain (Chung *et al.*, 2014). Chung

---

<sup>43</sup> Godfray, Charles et Sherman Robinson (2015). "Contrasting approaches to projecting long-run global food security", *Oxford Review of Economic Policy*, vol. 31, no 1, p. 26-44.

<sup>44</sup> Schaub, Sergei et Robert Finger, (2020). "Effects of drought on hay and feed grain prices" dans *Environmental Research Letters*, Vol. 15, no 3.

*et al.* (2014) prévoient des augmentations des températures passagères pouvant atteindre jusqu'à 9°C en 2050, ainsi qu'une réduction des précipitations annuelles entre 40% et 60% pour certaines régions du monde. Ces chercheurs ont aussi trouvé qu'en fonction des scénarios élaborés, les rendements du maïs pourraient perdre entre 29% et 58% de leur valeur actuelle. Tack, Barkley et Hendricks (2017)<sup>45</sup> ont estimé une diminution de 8% du rendement du blé (cultivé sur des terres non-irriguées) par augmentation de degré de température. L'ensemble de ces prévisions laisse présager un stress thermique et un stress hydrique pour les plantations qui ne seront pas correctement irriguées, ce qui nuirait gravement à l'offre mondiale des grandes cultures.

D'autre part, un grand nombre d'études s'intéressent aux phénomènes climatiques ENSO (*El Nino/Southern Oscillation*) et aux répercussions qu'ils ont sur les récoltes agricoles. Les événements El Niño (courant côtier saisonnier chaud) et La Niña (phase opposée de El Niño) prennent place dans l'océan pacifique, mais ont un impact tout autour du monde en influençant les températures saisonnières, les précipitations et les vents. Les conditions météorologiques induites par ENSO augmentent le risque de catastrophes climatiques (sécheresses, inondations et cyclones tropicaux) et, selon plusieurs chercheurs, la fréquence de ces catastrophes devrait augmenter d'ici 2050 (Ubilava, 2017<sup>46</sup>). De plus, ENSO est indirectement responsable de réductions des rendements de nombreuses cultures, notamment du blé (-1,4% lors de El Niño et de -4,0% lors de La Niña) (Izumi *et al.*, 2014<sup>47</sup>).

Dans le même ordre d'idées, des recherches ont démontré que ENSO a des impacts sur la volatilité des prix des cultures (Rezitis et Sassi, 2013)<sup>48</sup>. Le fait que la production du maïs et du soya soit concentrée dans quelques pays seulement (environ 36% de la production mondiale de maïs provient des États-Unis) augmente le risque que ces pays soient simultanément affectés par des conditions météorologiques extrêmes, faisant soudainement augmenter la volatilité des prix. Les auteurs ont même trouvé que la volatilité conditionnelle attendue du prix des cultures a tendance à augmenter par elle-même en fonction du cycle de production dans l'année (plus

---

<sup>45</sup> Tack, Jesse, Andrew Barkley et Nathan Hendricks (2017). "Irrigation offsets wheat yield reductions from warming temperatures", *Environ. Res. Lett.* 12 114027.

<sup>46</sup> David Ubilava, (2017). "The ENSO Effect and Asymmetries in Wheat Price Dynamics" *World Development*, Vol. 96, p. 490-502

<sup>47</sup> Izumi, Toshichika, Jing-Jia Luo, Andrew J. Challinor, Gen Sakurai, Masayuki Yokozawa, Hirofumi Sakuma, Molly E. Brown et Toshio Yamagata (2014). "Impacts of El Niño Southern Oscillation on the global yields of major crops", *Nat. Communication*, Vol. 5, 3712.

<sup>48</sup> Rezitis, Anthony et Maria Sassi, (2013). "Commodity Food Prices: Review and Empirics", *Economics Research International*, vol. 2013, Article ID 694507, 15 p.

élevée avant les récoltes et plus bas lorsque les récoltes sont terminées). Une meilleure diversification de la production mondiale d'ici 2050 permettrait de limiter les risques associés aux chocs de production éventuels et d'ainsi limiter la volatilité entourant les prix des commodités agricoles. Cependant, l'agriculture intensive est actuellement une pratique très répandue et bien que plusieurs experts dénoncent les désavantages qu'elle entraîne, il est peu probable qu'elle diminue d'ici 2050.

Le second déterminant de l'offre mondiale du marché des grains est la superficie de terres agricoles. Certains chercheurs sont d'avis qu'il reste encore une quantité importante de terres en Amérique latine et en Afrique subsaharienne qui pourraient être utilisées pour l'agriculture (Ito, 2019). Actuellement ces terres servent de pâturages ou sont inutilisables à cause des zones de conflits à proximité. Toutefois, d'autres auteurs sont plus pessimistes et prévoient une diminution nette de la superficie des terres agricoles à cause de la sécheresse et de la hausse du niveau des mers (Ray *et al.*, 2013). La plupart des auteurs s'accordent néanmoins sur l'idée que l'impact négatif des changements climatiques sur l'agriculture sera plus important que le gain potentiel de superficies agricoles.

Le troisième élément influençant l'offre est le prix du pétrole brut. Il est reconnu que le pétrole affecte la production de produits agricoles, et donc les prix de ces produits, via le prix des intrants agricoles (gaz naturel) et les coûts de transport. Plusieurs auteurs soulignent que les hausses de prix du pétrole coïncident souvent avec une hausse des prix des cultures (Rezitis et Sassi, 2013, Baumeister et Kilian, 2013<sup>49</sup>). Il est néanmoins important de faire la différence entre une augmentation des prix des commodités agricoles et une augmentation des prix des produits transformés puisqu'ils réagissent différemment aux variations des prix du pétrole. Baumeister et Kilian (2013) ont démontré qu'un choc de 1% sur le prix réel du pétrole a tendance à être suivi d'une augmentation persistante et statistiquement significative du prix réel du maïs qui culmine à 0,5% un an après le choc. Ils trouvent également une réponse sur les prix des produits transformés vendus en supermarché, mais celle-ci est beaucoup plus faible : 0,05%. Cependant, les auteurs soulignent que ces réponses de prix ne sont pas exclusivement causées par la hausse des prix du pétrole, mais que d'autres facteurs liés à l'activité industrielle mondiale ont des impacts à la fois sur les prix du pétrole et sur les prix des commodités agricoles. Par ailleurs, puisque la production de pétrole est fortement politisée et difficile à prévoir, je privilégie

---

<sup>49</sup> Baumeister, Christiane et Lutz Kilian (2013). "Forecasting the Real Price of Oil in a Changing World: A Forecast Combination Approach", Bank of Canada Working Paper no 2013-28, 32 p.

l'hypothèse que les prix du pétrole brut resteront semblables au niveau actuel. En effet, l'environnement de production risque de beaucoup évoluer pour des raisons environnementales, commerciales et politiques d'ici les 30 prochaines années. Il est aussi possible que l'offre de pétrole diminue à cause de l'épuisement de cette ressource, mais cela implique des hypothèses particulièrement incertaines.

#### Facteurs affectant la demande mondiale des grandes cultures

En ce qui concerne les principaux facteurs qui ont des impacts sur la demande des grandes cultures, ils sont interdépendants et sont donc présentés ensemble. La consommation globale et l'enrichissement des ménages dans les pays en voie de développement dépendent directement de la démographie, qui elle-même dépend partiellement de ces facteurs. L'évolution prévue de la démographie d'ici 2050 est estimée à une augmentation de 2 milliards d'individus sur la planète, dont la moitié proviendra de neuf pays seulement, à savoir l'Inde, le Nigéria, le Pakistan, la République démocratique du Congo, l'Éthiopie, l'Indonésie, l'Égypte et les États-Unis<sup>50</sup>. En parallèle, Fukase et Martin (2020)<sup>51</sup> ont identifié que le taux de convergence des revenus des pays en voie de développement par rapport aux revenus des pays développés devrait être deux fois plus rapide pour la période 2009-2050 que durant la dernière décennie. La croissance des revenus implique d'importants changements pour la demande alimentaire, dont une augmentation de plus de 100% de la demande pour les produits céréaliers (Fukase et Martin, 2020), notamment à cause d'une plus grande consommation de produits d'origine animale (Valin *et al.*, 2014)<sup>52</sup>. Ainsi, l'augmentation de la démographie, de la consommation et des revenus des ménages met donc une pression à la hausse sur la demande du marché des grandes cultures. Toutefois, on ne peut considérer que l'évolution de ces facteurs découle directement des changements climatiques. J'ai quand même choisi de les considérer dans cette analyse étant donné l'impact qu'ils devraient avoir sur la demande mondiale de grains.

Le quatrième facteur ayant un impact sur la demande des grandes cultures est la demande de biocarburants. La production de biocarburants concerne surtout le maïs et le soya qui servent à

---

<sup>50</sup> United Nations (2019). "World Population Prospects 2019: Highlights", *Department of Economic and Social Affairs, Population Division*, 46p.

<sup>51</sup> Fukase, Emiko et Will Martin (2020). "Economic growth, convergence, and world food demand and supply", *World Development*, Vol. 132, no 104904, <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.104954>

<sup>52</sup> Valin, Hugo, Ronald D. Sands, Dominique van der Mensbrugghe, *et al.* (2014). "The future of food demand: understanding differences in global economic models", *Agricultural Economics*, Vol. 45, pp. 51-67

fabriquer l'éthanol et le biodiesel. Les prévisions à moyen terme (10 ans) de l'OCDE<sup>53</sup> rapportent que les productions mondiales d'éthanol et de biodiesel devraient fortement ralentir par rapport aux dernières décennies à cause de l'augmentation plus rapide de l'offre que de la demande. L'augmentation de la demande devrait surtout provenir des pays en voie de développement, où on s'attend à une augmentation du nombre de véhicules. Le secteur des biocarburants est étroitement lié au secteur des transports et aux politiques que les gouvernements mettent de l'avant. La production de biocarburants fonctionne principalement grâce aux obligations d'incorporer un seuil minimal d'éthanol ou de biodiesel à l'essence pour diminuer l'empreinte écologique d'une industrie. Les prix internationaux de ces carburants sont souvent inférieurs aux prix intérieurs des pays producteurs puisque certains gouvernements adoptent des politiques fiscales avantageuses ou imposent des prix garantis pour encourager cette production localement. On observe d'ailleurs que les exportations de ce marché représentent rarement plus de 10% de la production totale et l'OCDE prévoit qu'elles devraient diminuer à 8% en 2029. Enfin, près de 60% de l'éthanol est produit à base de maïs, mais puisque plusieurs alternatives (canne à sucre et autre oléagineux) sont développées et qu'un fort ralentissement de la croissance est prévu, il est raisonnable de prendre pour hypothèse que la demande mondiale de maïs et du soya ne sera pas beaucoup affectée par la production d'éthanol et d'autres biocarburants.

Ensuite, il existe d'autres éléments à considérer lors de l'analyse de l'évolution du niveau des prix des grandes cultures : le niveau de stock de produits agricoles détenu par chaque pays, la spéculation et le taux de change du dollar américain. Ces éléments n'affectent pas directement l'offre ou la demande, mais ont des effets importants sur les prix mondiaux des cultures. Le stockage de denrées alimentaires découle de politiques propres à chaque pays et permet entre autres de se protéger d'une éventuelle hausse de prix ou de mauvaises récoltes. Une des conséquences immédiates des réserves alimentaires est qu'elles augmentent la volatilité des prix et donc l'incertitude économique, en plus d'entraîner de lourdes conséquences sur la sécurité alimentaire des pays en développement (Peri, 2017)<sup>54</sup>. En outre, il existe une statistique qui compare l'inventaire de fin d'année des produits céréaliers par rapport au stock utilisé durant l'année : le ratio stocks/utilisation (Hull, 2015)<sup>55</sup>. À mesure que le ratio d'un produit diminue, le

---

<sup>53</sup> OCDE/FAO (2019). « Biocarburants » dans *Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2019-2028*, Éditions OCDE, Paris/FAO, Rome, p. 223-238.

<sup>54</sup> Peri, Massimo (2017). "Climate variability and the volatility of global maize and soybean prices", *Food Sec.* vol. 9, p. 673-683, <https://doi.org/10.1007/s12571-017-0702-2>.

<sup>55</sup> Hull, John (2015). "Agricultural Commodities" dans *Options, futures and other derivatives*, 9ème Éd., Harlow, Pearson Education Limited, p.776.

prix du produit devient plus sensible aux variations de l'offre, faisant donc augmenter la volatilité. Algieri (2014)<sup>56</sup> suggérerait une augmentation de près de 1% du prix du blé pour une diminution de 1% du ratio stocks/utilisation.

En ce qui a trait à la spéculation faite sur les prix des commodités agricoles, elle affecte également les prix des marchés agricoles en augmentant la volatilité. De nombreux investisseurs et spéculateurs investissent dans des contrats à terme (*futures*) de produits agricoles lorsque le dollar se déprécie parce qu'ils anticipent une hausse d'inflation, ce qui fait donc augmenter les prix des commodités agricoles à court terme. Plusieurs auteurs croient que la spéculation sur le marché des contrats à terme (*futures*) a contribué aux hausses de prix des commodités alimentaires et à l'augmentation de la volatilité des prix agricoles en 2006-2008 (Rezitis et Sassi, 2013). Toutefois, malgré une volatilité des prix importante, l'analyse de l'évolution historique des prix internationaux des grandes cultures permet de constater que les chocs se résorbent rapidement (Schaub et Finger, 2020) et le niveau des prix moyens de 2050 ne sera pas forcément affecté par la volatilité du marché.

De plus, le taux de change du dollar américain peut avoir un impact sur la quantité demandée à travers les prix du marché. Puisque de nombreux produits agricoles sont vendus en dollars américains, ce taux de change influence grandement les exportations et importations. Un dollar plus faible peut augmenter la demande extérieure de produits agricoles et donc les prix de ces produits (Baumeister et Kilian, 2013). Il est important de noter que l'augmentation de la demande de produits agricoles a un impact important sur les prix puisque les courbes d'offre et de demande de ces commodités sont considérées comme inélastiques (Baumeister et Kilian, 2013). De plus, Rezitis (2015)<sup>57</sup> s'est intéressé à la relation de long-terme entre le prix du pétrole brut, les taux de change du dollar américain et le prix de 30 commodités agricoles. Les résultats indiquent que les prix des commodités agricoles répondent négativement (-0,74) à une augmentation de 1% du taux de change du dollar américain et positivement (0,32) à une augmentation de 1% du prix du pétrole brut. La sous-catégorie des céréales (orge, maïs, riz, sorgho, blé), répond en moyenne encore plus fortement à une augmentation de 1% du taux de change (-1,0), ainsi que le soya (-1,03). Cependant, tout comme pour les prix du pétrole, il est

---

<sup>56</sup> Algieri, Bernardina, (2016). "A Roller Coaster Ride: An Empirical Investigation of the Main Drivers of Wheat Price" dans *Food Price Volatility and Its Implications for Food Security and Policy*, Springer, Cham.

<sup>57</sup> Rezitis, Anthony (2015). "Empirical Analysis of Agricultural Commodity Prices, Crude Oil Prices and US Dollar Exchange Rates using Panel Data Econometric Methods", *Inter Journ of Ener Econ Pol*, Vol. 5, no 3, pp. 851-868.

difficile de faire des prévisions sur les taux de change futurs et bien qu'il s'agisse d'un facteur déterminant dans la construction des prix du marché des grandes cultures, celui-ci sera considéré comme stable à travers le temps.

En définitive, bien que les prix mondiaux dépendent de nombreux facteurs, cette analyse se concentre sur six d'entre eux : les impacts des changements climatiques sur la production, les superficies cultivables, la consommation, la croissance de la population, la croissance des revenus de la population et la demande de biocarburants. Il s'agit des facteurs quantifiables les plus importants pour l'offre et la demande du marché mondial des grandes cultures. Néanmoins, l'évolution des facteurs affectant la demande ne découlent pas des changements climatiques. Il a tout de même été décidé de les inclure dans cette analyse en raison de leur impact significatif. L'étude de ces facteurs a permis de déterminer que l'offre mondiale de grains pour l'horizon 2050 devrait diminuer à cause des impacts négatifs majeurs prévus sur la production agricole. L'augmentation des températures et de la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes, ainsi que la diminution des précipitations entraînerait un stress hydrique important qui nuirait fortement aux rendements agricoles. De plus, la hausse potentielle des superficies cultivables ne parviendrait pas à compenser la perte de rendement induite par les changements climatiques et l'effet net sur l'offre mondiale serait donc négatif. Du côté de la demande, la consommation, la population, ainsi que les revenus de la population devraient tous augmenter, ce qui entraînerait une hausse de la demande. En outre, l'impact de la demande de biocarburants ne devrait pas affecter significativement la demande de grains mondiale d'ici 2050. Ainsi, une diminution de l'offre combinée à une augmentation de la demande conduit à une hausse nette des prix internationaux et à un effet incertain sur les quantités.

De plus, les résultats de cette analyse sont corroborés par les recherches d'autres auteurs qui ont adopté une démarche basée sur des modèles économétriques. Plusieurs hypothèses sur l'évolution des prix des produits alimentaires pour l'horizon 2050 ont été avancées, mais la plupart des économistes s'entendent sur une hausse des prix futurs. Deux études ont été retenues pour faire ressortir les éventuelles ressemblances et différences des méthodes d'analyse : l'étude de Godfray et Robinson (2015) qui soutiennent une hausse des prix et l'étude de Baldos et Hertel (2014)<sup>58</sup> qui annoncent une baisse des prix.

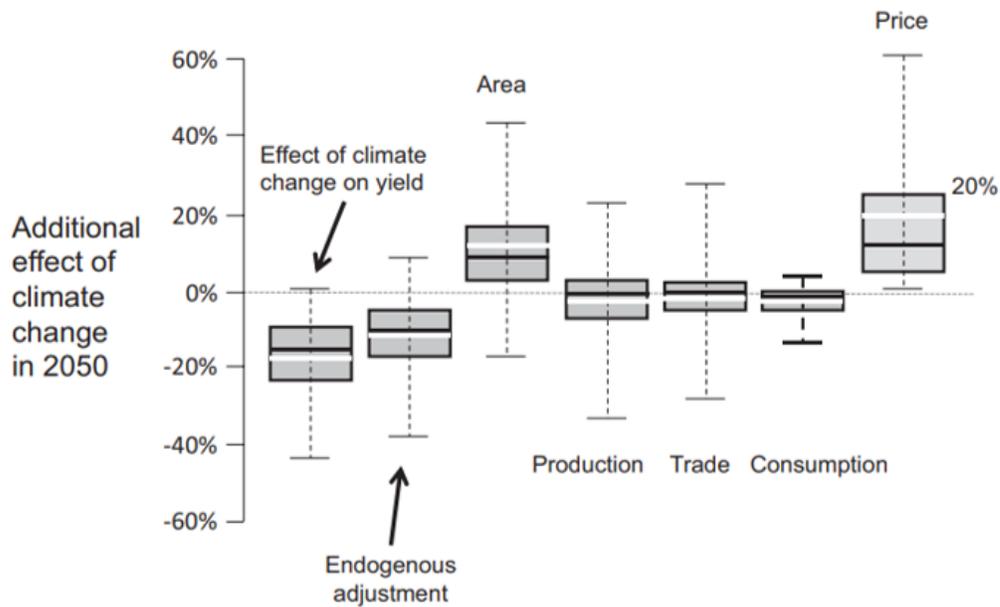
---

<sup>58</sup> Baldos, Uris Lantz, et Thomas Hertel (2014). "Bursting the Bubble: A Long Run Perspective on Crop Commodity Prices", GTAP Working Paper, 80.

Godfray et Robinson (2015) ont repris une étude qui comparait neuf modèles économiques de prévisions de prix alimentaires provenant de AgMIP<sup>59</sup>, puis en ont fait l'analyse. Leurs résultats sont présentés dans le graphique 3.2 et on peut y identifier la médiane (ligne noire), ainsi que la moyenne (ligne blanche) pour chacun des paramètres estimés. Tous les modèles prévoient que la variable des prix augmentera d'ici 2050 et la moyenne des prévisions futures se chiffre à 20%. Cependant, la répartition très étendue des prévisions des prix et le fait que la médiane soit significativement inférieure à la moyenne reflètent que certains modèles ont obtenu des estimations extrêmement élevées. Il est plus probable que la variable des prix augmente dans des proportions moindres que la moyenne de 20%. Ce graphique permet aussi d'illustrer l'impact des effets climatiques sur les rendements futurs, ainsi que sur les superficies cultivables et il confirme l'analyse précédemment effectuée de ces facteurs.

**FIGURE 3.2 LES EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE SYSTÈME ALIMENTAIRE EN 2050**

### Les effets des changements climatiques sur le système alimentaire en 2050



Source : Godfray et Robinson, 2015

Dans un autre ordre d'idée, Baldos et Hertel (2014) suggèrent que les prix des produits alimentaires devraient diminuer d'ici 2050. Ils ont élaboré un modèle d'équilibre général simplifié, dont les résultats indiquent une baisse de 22% des prix réels par rapport au niveau de

<sup>59</sup> Le projet AgMIP (*Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project*) regroupe une communauté d'experts qui travaillent sur l'amélioration des modèles de prévision future des systèmes agricoles et alimentaires depuis 2010.

2014. Comme pour la majorité des recherches sur le sujet, les auteurs prennent en compte un ralentissement éventuel de la croissance de la productivité, une augmentation des revenus des pays les plus pauvres, une augmentation de la demande de biocarburants et un ralentissement de la croissance de la population mondiale. Toutefois, ils estiment que la productivité totale des facteurs (PTF) et l'effet du ralentissement de la croissance de la population mondiale seront si importants qu'ils surpasseront les autres facteurs, causant ainsi une diminution des prix. Les principales différences entre leur conclusion et la mienne concernent d'une part leur hypothèse sur le degré du ralentissement de la croissance de la population et d'autre part la considération de la PTF qui permettrait de faire augmenter l'offre du marché. Ils reconnaissent néanmoins qu'il n'y a pas de consensus sur la façon dont la croissance inobservable de la PTF en agriculture a évolué durant les deux dernières décennies. Une meilleure compréhension de la PTF permettrait donc de faire des prévisions de prix plus justes.

## 3.2 Production québécoise

### 3.2.1 Contexte

Durant les cinq dernières années, près de 1 million d'hectares ont été cultivés en grains chaque année au Québec. La production moyenne est d'environ 5,5 millions de tonnes par an (+15% par rapport au quinquennat précédent). Le maïs et le soya sont les cultures les plus importantes. Près de 75% des superficies leur y sont consacrées et ils représentent environ 87% de la production. Les petites céréales (blé, orge et avoine) sont cultivées sur 22% des superficies et représentent 12% de la production. Par rapport au quinquennat précédent, les superficies d'orge et d'avoine ont respectivement diminué de 34% et de 19%. À l'inverse, les superficies de soya et de blé ont respectivement augmenté de 31% et de 65%. La production, quant à elle, a progressé de 40% pour le soya et de 81% pour le blé grâce à une augmentation des rendements<sup>60</sup>.

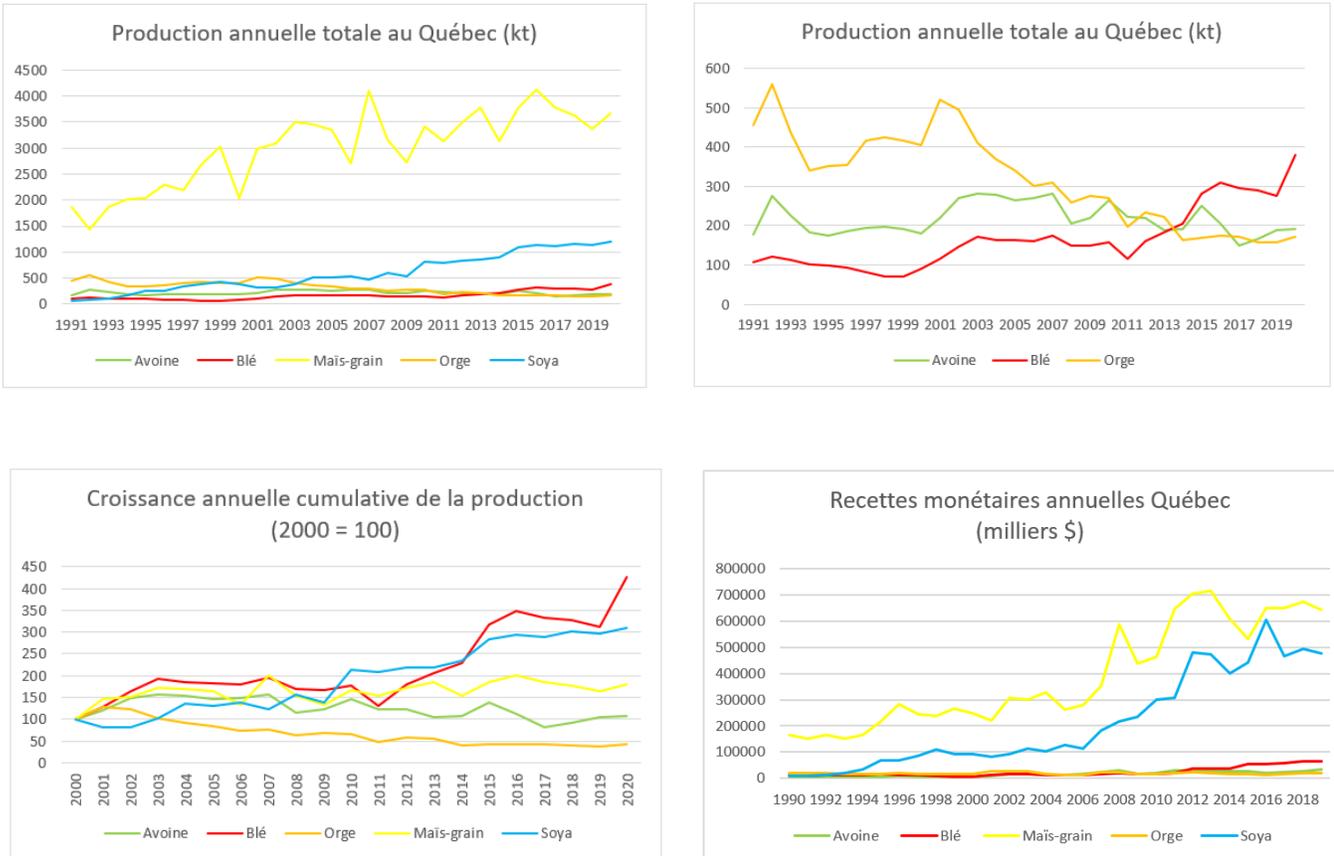
Les graphiques suivants (figure 3.3) présentent l'évolution annuelle des 30 dernières années de la production en kilotonne des cinq cultures, ainsi que les recettes monétaires qu'elles génèrent. On constate que la production de maïs-grain est de loin la plus importante et qu'elle engendre le plus de recettes monétaires. Le soya vient en second et génère des recettes substantielles, malgré une production relativement restreinte si on le compare au maïs. Ceci est notamment attribuable à la forte demande de produits à base de soya comme le tofu, les produits alternatifs

---

<sup>60</sup> MAPAQ (2020). « Portrait-diagnostique sectoriel de l'industrie des grains au Québec » Québec, Québec, 51p.

à la viande et le lait de soya. De plus, le graphique de la croissance annuelle cumulative permet d'illustrer la progression positive du soya et du blé depuis 2000. Ce graphique a été construit avec des données de 2000 à 2020 pour avoir une meilleure vue d'ensemble de la croissance des cinq cultures, puisque pour la période 1991-2020 la croissance de la production de soya était si importante (multipliée par 18) qu'elle éclipsait celle des autres cultures.

**FIGURE 3.3 ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION ANNUELLE ET DES RECETTES MONÉTAIRES**



Sources : Statistique Canada<sup>61,62</sup>

\*Les recettes monétaires annuelles du blé excluent le blé dur puisque ces données ne sont pas disponibles pour le Québec.

### 3.2.2 Analyse des quantités produites au Québec

#### Évolution des rendements agricoles

Le premier élément déterminant dans l'analyse des quantités produites est le rendement futur des cultures. Avec les changements climatiques projetés, le Québec est plutôt avantage par sa

<sup>61</sup> Statistiques Canada. Tableau 32-10-0359-01 Estimation de la superficie, du rendement, de la production, du prix moyen à la ferme et de la valeur totale à la ferme des principales grandes cultures, en unités métriques et impériales.

<sup>62</sup> Statistique Canada. Tableau 32-10-0045-01 Recettes monétaires agricoles, annuel (x 1 000).

position géographique. Sa température annuelle moyenne est d'environ -1°C pour l'ensemble du territoire, alors qu'elle oscille autour de 6°C dans le sud de la province. Même si les moyennes annuelles grimpent de 2,8°C (hausse annoncée par le scénario climatique retenu), les températures resteront inférieures au seuil de productivité optimale de 13°C avancé par Burke *et al.* (2015). Selon ces auteurs, la relation qui unit plusieurs composantes économiques, dont les rendements agricoles, à la température quotidienne est lisse, non-linéaire et concave. Ainsi, le secteur agricole québécois devrait donc connaître une amélioration de sa productivité d'ici 2050.

Afin de vérifier les mouvements futurs des rendements des cultures, j'ai comparé les rendements passés aux rendements projetés et les ai analysés. Le premier tableau présente les rendements actuels et projetés des cultures du blé, de l'orge, du maïs-grain et du soya. Seules ces 4 cultures sont présentées, car l'étude de Charbonneau n'incluait pas de projection pour l'avoine. Les données présentées en blanc sont issues de l'étude de Charbonneau (2020), alors que les données présentées en jaune sont les rendements réels recueillis par la FADQ. Il est à noter que pour éliminer la volatilité interannuelle des rendements, les rendements actuels de la FADQ correspondent à une moyenne arithmétique des trois dernières années disponibles (2016-2018). Cependant, pour les rendements du maïs et du soya au Bas-St-Laurent (FADQ), la moyenne a été faite sur 2017-2018, car les données antérieures ne sont pas disponibles. Une moyenne pondérée par les superficies des rendements aurait permis une vue d'ensemble plus représentative, mais ces données n'étaient pas disponibles. Par ailleurs, malgré qu'il y ait des écarts de rendements entre les sources de données, il est pertinent d'aussi présenter les rendements de la FADQ puisqu'ils sont calculés pour toute la province, et non uniquement pour deux régions. Ces écarts de rendements peuvent notamment être attribués à différentes méthodes de cueillette de données.

**TABLEAU 3.1 PROJECTIONS DES RENDEMENTS PAR RÉGION POUR LA PÉRIODE DE RÉFÉRENCE ET LA PÉRIODE 2050-2079**

Projection des rendements (T/ha) par région pour la période de référence et 2050-2079								
Période	Bas-Saint-Laurent				Montérégie			
	Référence		2050-2079		Référence		2050-2079	
	Actuel	Actuel	Modéré	Élevé	Actuel	Actuel	Modéré	Élevé
Blé/Orge*	2,5	2,4 ± 0,8	2,4 ± 0,9	2,2 ± 1,0	3,5	3,0 ± 1,0	3,3 ± 1,1	2,9 ± 1,1
Maïs-grain	6,9	-	7,5 ± 3,0	7,9 ± 2,8	11,3	8,1 ± 2,6	9,7 ± 2,7	9,4 ± 2,6
Soya	1,9	-	2,1 ± 0,5	2,4 ± 0,4	3,4	2,0 ± 0,3	2,6 ± 0,5	2,9 ± 1,1

\*Le blé est cultivé en Montérégie, alors que l'orge est cultivé au Bas-Saint-Laurent

Par la suite, l'évolution des rendements par zone et par culture est présentée dans les graphiques de la figure 3.4. Il s'agit encore des rendements collectés par la FADQ. Les zones 1, 2 et 3

désignent respectivement les régions du Sud, de la Vallée du Saint-Laurent et du Nord (le détail des régions est disponible dans la section Zones bioclimatiques du chapitre de la méthodologie). Les rendements sont présentés à partir de 1995 puisque c'est le début de la série de données et qu'il est préférable d'utiliser des données qui sont récoltées avec la même méthodologie quitte à ce qu'elles ne couvrent pas les 30 dernières années.

**FIGURE 3.4 RENDEMENTS RÉELS PAR ZONE**



On constate donc que les rendements ont légèrement tendance à augmenter et qu'ils sont plutôt volatiles. Pour le maïs-grain et le soya, les rendements de la zone 1 sont généralement supérieurs à ceux des autres zones. Ceci est plutôt normal puisqu'il s'agit de cultures qui ont besoin de plus de chaleur et que la zone 1 est constituée des régions du sud du Québec. On remarque aussi que les données de la zone 3 (régions du nord) ne sont disponibles qu'à partir de 2017 pour ces cultures. Ces nouvelles données confirment la tendance d'adopter de nouvelles cultures dans des zones plus fraîches. Pour les cultures ayant besoin de fraîcheur, les rendements des trois zones sont plus serrés sur la période observée. En outre, l'évolution des 30 dernières années

permet déjà d'observer une augmentation graduelle des rendements qui précède la hausse projetée par l'étude de Charbonneau.

Concernant les principaux indices agroclimatiques pour l'horizon 2050, les températures annuelles moyennes devraient augmenter de près de 2,8°C, le déficit hydrique devrait aussi augmenter, tandis que le niveau des précipitations estivales devrait rester stable (Bélanger et Bootsma, 2002, Ouranos, 2015 et Agriculmat, 2020). De plus, plusieurs études prévoient que les saisons de croissance continueront de s'allonger et que l'accumulation de chaleur (mesurée en degrés-jours ou unité thermique maïs) continuera d'augmenter (Bélanger et Bootsma, 2002, Debailleul *et al.*, 2013 et Ouranos, 2015). Les rendements pourraient néanmoins être affectés négativement à cause de températures trop chaudes, d'espèces nuisibles plus nombreuses et de dépenses supplémentaires en fertilisants. En effet, l'augmentation du nombre de jours où la température excède les 30°C pourrait s'avérer fortement dommageable pour les céréales à paille qui ont besoin de fraîcheur et pour les cultures en général en raison d'une plus forte évapotranspiration (Ouranos, 2015 et Charbonneau *et al.*, 2020). Les nouvelles conditions climatiques pourraient aussi encourager la prolifération de certains ennemis des cultures en plus de permettre à de nouvelles espèces envahissantes de s'établir au Québec (Firlej et Saguez, 2019). Il est aussi important de mentionner que les fertilisants continueront de représenter le poste de coûts le plus important puisque la consommation de fertilisants augmente proportionnellement aux rendements, malgré le fait que des économies pourraient être réalisées sur d'autres dépenses (Debailleul *et al.*, 2013).

Par ailleurs, d'ici 2050, il est fort probable que les régions québécoises plus fraîches voient leurs conditions climatiques évoluer et ressembler à celles que connaissent présentement les régions centrales de la province (Charbonneau *et al.*, 2013). Les régions centrales devraient à leur tour connaître des conditions climatiques similaires à celles actuellement recensées au sud de l'Ontario et au nord des États-Unis. Les changements climatiques attendus devraient donc se révéler globalement positifs pour les rendements agricoles au Québec puisque plusieurs cultures sont limitées par des températures trop basses pour le moment (Ouranos, 2015).

Il est d'autant plus raisonnable de penser que les rendements des grandes cultures devraient augmenter d'ici 2050, car les trois études québécoises qui sont citées dans la revue de littérature ont prévu des augmentations des rendements futurs. Bélanger et Bootsma (2002) avaient calculé les rendements du maïs-grain et du soya pour la période 2040-2069, alors que Debailleul

*et al.* (2013) s'étaient concentré sur ceux du maïs-grain à l'horizon 2050. Leurs résultats sont présentés dans les tableaux 1.3 et 1.4 des pages 23-24. Les rendements des deux études s'enlignent avec celles de Charbonneau *et al.* (2020), quoiqu'ils soient légèrement supérieurs pour certaines régions du sud. En somme, l'idée que les changements climatiques puissent avoir des conséquences globalement positives sur les rendements agricoles québécois fait consensus auprès des experts en agroéconomie.

#### Cultures adaptées au climat local

Le second élément déterminant dans l'analyse des quantités produites est la variété de cultures adaptées au climat local. Le principal bénéfice découlant des changements climatiques pour l'agriculture québécoise est le réchauffement des températures moyennes. La hausse des températures de 2,8°C permettrait, d'une part, d'introduire de nouvelles cultures et de nouvelles variétés et, d'autre part, d'étendre les superficies où poussent actuellement certaines cultures. Pour les producteurs, un plus grand choix de cultures correspondrait à de plus grandes opportunités d'affaires puisque cela leur permettrait de sélectionner les cultures les plus rentables en fonction de leur situation (emplacement et superficie des terres, équipement et machinerie, type de production, etc.). Par exemple, un producteur laitier qui détient aussi des terres agricoles pourrait créer des associations fourragères plus performantes, alors qu'un producteur végétal pourrait intégrer de nouvelles cultures dans ses rotations et obtenir de meilleurs rendements. D'ici 2050, la culture du maïs-grain et du soya devrait être plus répandue dans les régions du nord et de l'est de la province (Saguenay-Lac-Saint-Jean, Abitibi, Gaspésie et Bas-Saint-Laurent) grâce à l'accumulation d'UTM plus élevée (Bélanger et Bootsma, 2002, Debailleul *et al.*, 2013, Charbonneau *et al.*, 2013, Ouranos, 2015 et Charbonneau *et al.*, 2020). De plus, des essais sont présentement réalisés sur des cultures émergentes dont le chia, le chanvre, le quinoa, l'argousier et la camerise (Firlej et Saguez, 2019).

Après avoir établi que plus de variétés de cultures seront adaptées au climat du Québec en 2050, il est important de vérifier si les agriculteurs seront prêts à les adopter sur leurs fermes. Dans cette logique, une brève analyse des facteurs de décision des producteurs est nécessaire. Les principaux critères considérés lors du choix des espèces cultivées sont la rentabilité économique, l'investissement de temps et l'équipement et la technologie requise (Bano *et al.*, 2014 et Charbonneau *et al.*, 2020). Lorsque les producteurs décident de modifier le choix des cultures présentes dans leur rotation, ils examinent surtout les diminutions éventuelles des rendements,

les nouvelles opportunités de ventes, la modification des conditions climatiques et une baisse de la demande (Bano *et al.*, 2014 et Charbonneau *et al.*, 2020). De plus, les facteurs de décision impliqués dans l'adoption future de nouvelles cultures seraient le potentiel de vente, suivi de l'acquisition d'une nouvelle terre, des facteurs climatiques et des subventions gouvernementales (Bano *et al.*, 2014).

En ce qui concerne la perception des agriculteurs face aux changements climatiques, il semble que les conséquences climatiques ne soient pas très bien connues de tous. La majorité des producteurs considéraient comme peu probable que des problématiques découlant des changements climatiques (déficit hydrique et fréquence des événements climatiques extrêmes) augmentent de manière significative et 74% d'entre eux envisageaient que les effets des changements climatiques sur la productivité seraient mineurs (Charbonneau *et al.*, 2020). Néanmoins, la plupart des agriculteurs ont affirmé que si la durée de la saison de croissance augmentait de quatre semaines en raison des changements climatiques futurs, ils réévalueraient leurs décisions et qu'ils varieraient leurs cultures, en plus de procéder à plus de coupes de foin et de faire plus de rotations (Bano *et al.*, 2014). Les réponses des producteurs permettent donc d'affirmer que, si les scénarios climatiques pour 2050 sont fiables et que les conditions climatiques futures permettent une plus grande accumulation de chaleur, ils seraient prêts à adopter de nouvelles cultures potentiellement plus rentables.

De surcroît, puisque l'analyse des prix mondiaux a révélé qu'ils augmenteraient d'ici 2050, les agriculteurs devraient être enclins à adopter ces cultures sur leurs fermes. En effet, les prix du marché influencent fortement la quantité produite par les agriculteurs et plus les prix d'une culture sont élevés, plus les agriculteurs seront incités à la cultiver. Ito (2019)<sup>63</sup> a fait l'étude de ce comportement en comparant les prix moyens de 2007-2014 aux prix de 2006. Il a constaté une immense hausse des prix (+31% blé, +64% maïs, +82% soya) et une augmentation de l'offre importante (+22% blé, + 47% maïs, + 36% soya), pour une augmentation démographique de 10,2%. Cela confirme qu'une hausse de prix est un incitatif significatif sur la production agricole et que les agriculteurs seront portés à augmenter l'offre de grandes cultures.

### Superficies agricoles

---

<sup>63</sup> Ito, Shoichi (2019). "The global dynamics of price hikes in food production increase – A reference to the climate change", 25th International Conference on the Unity of the Sciences (ICUS XXV) : Environmental Health and the Quality of Human Life, Seoul, Korea, Session 2.

Le troisième élément déterminant dans l'analyse des quantités produites est la superficie des terres agricoles. Dans plusieurs régions du monde, dont la Sibérie, l'Amazonie et l'Indonésie, les gouvernements locaux ont choisi d'augmenter la superficie de terres cultivables pour pouvoir accroître leur production agricole <sup>64</sup> (Tchebakova *et al.*, 2011). Cette décision implique généralement une déforestation massive des nouvelles zones agricoles et des dommages irréversibles à la faune et la flore. Le cas de la Sibérie semble légèrement différent puisque les biomes terrestres nordiques de cette région ont significativement reculé sous l'impact des changements climatiques. Ainsi, le centre-sud de la Sibérie pourrait assister à une augmentation de 20 à 30% de la superficie de terres cultivables d'ici 2100 (Tchebakova *et al.*, 2011).

En ce qui concerne le Québec, sa position géographique plus au sud et l'horizon 2050 plus court rendent improbable qu'une augmentation similaire s'y produise. Le réchauffement climatique pourrait néanmoins être favorable à l'implantation de nouvelles superficies agricoles dans des zones actuellement trop froides (Firlej et Saguez, 2019). Dans l'éventualité où de nouvelles zones pourraient être converties en terres agricoles, c'est-à-dire que l'accumulation de chaleur soit suffisante et que la qualité des sols soit adéquate, il faudrait compter 2-3 ans pour défricher, drainer et chauler ces nouvelles parcelles. Ce processus entraînerait des coûts colossaux sans rapporter de rendement à court terme. Il faut aussi considérer que ces nouvelles terres seraient plutôt éloignées des marchés actuels et que les frais de transport des marchandises et équipement seraient plus élevés que pour les terres déjà cultivées. Ces facteurs font en sorte que le développement de nouvelles superficies agricoles vers le nord est très difficile et non rentable pour le moment (S.Delisle, communication personnelle, 29 mai 2020). Pour le sud de la province, le développement de terres agricoles pourrait être rentable, mais il est limité par plusieurs réglementations et il est peu probable qu'il soit encouragé d'ici 2050.

### Techniques agricoles

Le dernier élément déterminant dans l'analyse des quantités produites est les techniques employées par les agriculteurs. Cet élément multidimensionnel englobe notamment les décisions concernant la gestion des sols, la lutte aux ravageurs et l'irrigation. Il s'agit de trois thèmes déterminants pour l'adaptation du secteur agricole aux changements climatiques. Ces choix varient en fonction des agriculteurs, mais de meilleures pratiques permettent de créer des

---

<sup>64</sup> Garcia, Marco, Gerard Rijk et Matthew Pitrowski, 2020. "Deforestation for Agricultural Commodities a Driver of Fires", Chain Reaction Research : sustainability risk analysis.

environnements plus sains et plus résilients. Par exemple, le fait de favoriser une production intensive, au détriment d'une plus riche biodiversité, augmente les risques d'ennemis des cultures, car la propagation des ravageurs et des maladies est grandement facilitée par la proximité des champs (Firlej et Saguez, 2019).

Une bonne gestion des sols permet notamment de contrôler le ruissellement et l'érosion des sols, de maintenir et d'accroître leur niveau de matière organique et de réduire l'utilisation d'intrants agricoles tels que les fertilisants et les pesticides. Des pratiques comme la rotation des cultures, le travail minimal du sol, le semis direct et l'utilisation de plantes couvre-sol ont des effets directs sur la productivité des sols, ainsi que sur la gestion et la qualité de l'eau<sup>65</sup>.

Pour la lutte aux ravageurs, les producteurs agricoles auront des défis supplémentaires à relever avec l'arrivée plus hâtive de certains insectes et l'agrandissement de l'aire de répartition de plusieurs espèces vers le nord (Ouranos, 2015 et Saguez, 2017). En conséquence, les dépenses en pesticides pour les cultures de soya et de maïs risquent particulièrement d'augmenter (Debailleul *et al.*, 2013 et Charbonneau *et al.*, 2020). Cependant, la récente publication du plan d'agriculture durable 2020-2030 du MAPAQ met de l'avant 5 objectifs, dont la réduction de l'usage de pesticides. Actuellement, la moyenne des ventes de pesticides de synthèse se situe autour de 3,3 millions de kilogrammes d'ingrédients actifs et le gouvernement s'est fixé une cible de réduction de 500 000 kilogrammes. Les autres indicateurs visent à améliorer la santé et la conservation des sols, améliorer la gestion des matières fertilisantes, optimiser la gestion de l'eau et améliorer la biodiversité. Jusqu'à présent, peu de détails sur les moyens d'atteindre ces cibles ont été divulgués, mais les moyens privilégiés sont la rétribution des pratiques agroenvironnementales, le développement et les transferts de connaissances (via des partenariats de recherche), la formation continue et l'accompagnement professionnel. Pour la rétribution, un programme pilote de rémunération des producteurs sera mis sur pied au cours de l'été 2022 et l'objectif est d'encourager les agriculteurs qui obtiendront des indicateurs meilleurs que les minimums requis par le plan. Ainsi, plusieurs efforts sont déployés pour intégrer des pratiques qui favoriseront une agriculture résiliente à plus haut rendements. Les incitatifs et les futures normes entraîneront possiblement des changements positifs dans les pratiques des producteurs.

---

<sup>65</sup> MAPAQ, 2020. « Agir pour une agriculture durable : Plan agriculture durable 2020-2030 », 38 p.

En ce qui a trait à l'irrigation, les avis des experts québécois divergent quant à la nécessité d'irriguer les grandes cultures pour l'horizon 2050. D'un côté, certains pensent que les risques de stress hydrique seront si grands que l'acquisition d'un système d'irrigation se révélera nécessaire (Debailleul *et al.*, 2013) et, de l'autre, les chercheurs croient que les gains de rendements attribuables à une meilleure irrigation ne parviendront pas à compenser les coûts d'acquisition d'un tel système (Charron *et al.*, 2019). Actuellement, pour ces cultures, les agriculteurs n'ont pas besoin de système d'irrigation puisque les conditions climatiques sont moins extrêmes. Cependant, le risque de stress hydrique augmentera fortement d'ici 2050 et des projections sur le nombre potentiel de jours en stress hydrique du maïs-grain indiquent une hausse de 25 jours au Bas-Saint-Laurent et de 12 jours en Montérégie (Charbonneau *et al.*, 2020). Selon d'autres estimations, le coût d'un système d'irrigation représente une augmentation de 52,9% du coût d'amortissement de l'équipement du producteur, en plus d'engendrer des coûts d'entretien supplémentaires (Debailleul *et al.*, 2013). Les recherches les plus récentes et les plus approfondies indiquent néanmoins que l'irrigation des cultures à faible valeur ajoutée (grandes cultures et fourrages) n'est pas rentable au Québec à moyen terme (2041-2070) (Charron *et al.*, 2019). Bien que des chercheurs américains aient démontré que l'irrigation parvienne à atténuer les impacts des extrêmes de chaleur sur les rendements du maïs, du soya et du blé de printemps (Vogel *et al.*, 2019), les rendements potentiels au Québec ne justifieraient pas d'investir autant pour un système d'irrigation. Toutefois, il est possible que certains producteurs choisissent quand même cette avenue s'ils cultivent aussi des cultures à plus forte valeur ajoutée ou s'ils considèrent que les rendements potentiels compenseront leurs dépenses.

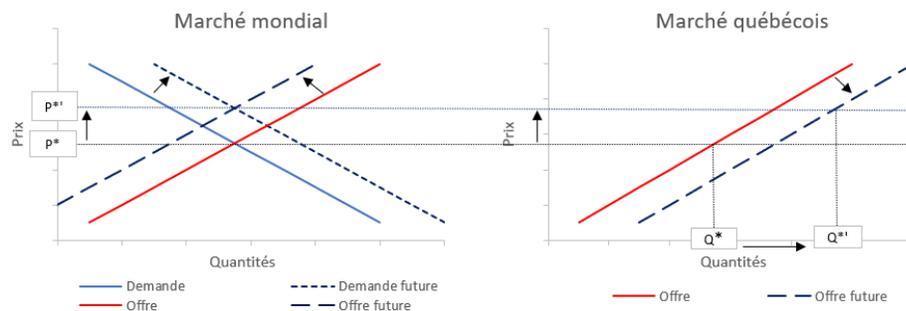
En somme, les décisions managériales qu'adoptent les producteurs ont énormément d'impact sur la rentabilité de la ferme. Indépendamment des rendements potentiels d'une région donnée, les pratiques agricoles sont déterminantes pour la durabilité et la résilience des terres. Les nouveaux objectifs que le ministère de l'agriculture a mis de l'avant s'inscrivent directement dans cette idéologie et devraient encourager les producteurs dans cette direction. Un meilleur niveau de connaissances et de formation favorisera des méthodes plus adaptées aux changements climatiques futurs, comme la lutte intégrée ou le choix de semences plus appropriées aux conditions de cultures locales.

## Analyse récapitulative

Cette analyse en deux étapes a permis de mieux saisir les différents enjeux qui régissent les marchés des grandes cultures. Du côté du marché mondial, les principaux éléments qui affectent l'offre et la demande sont le climat, les superficies cultivables, la consommation, la croissance de la population, la croissance des revenus et la demande en biocarburants. Pour le marché québécois, seule l'offre a été analysée, car les prix des produits agricoles sont formés sur le marché mondial et que l'analyse de la demande locale n'est donc pas nécessaire. Les facteurs qui impactent les quantités produites au Québec sont l'évolution des rendements agricoles, les variétés de cultures adaptées au climat local, les superficies agricoles et les techniques employées par les producteurs.

L'analyse du marché mondial a permis de déterminer que le niveau des prix devrait augmenter d'ici 2050. En effet, les changements climatiques attendus continueront d'affecter négativement l'offre mondiale. Le réchauffement des températures globales, la baisse de précipitations en saison de croissance et l'augmentation de la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes auront de lourdes répercussions sur les rendements agricoles et sur les superficies cultivables. D'autre part, la demande devrait augmenter en raison d'une augmentation de la population mondiale, de la consommation et des revenus des pays en voie de développement. Les déplacements de ces courbes sont illustrés sur le graphique de gauche de la figure 3.5. On peut également constater que les prix augmenteront avec certitude, alors que l'effet sur les quantités échangées est incertain dans la mesure où les déplacements des courbes représentent seulement la direction de leur mouvement et sont approximatifs.

**FIGURE 3.5 SCHEMAS ÉVOLUTION DE L'OFFRE ET DE LA DEMANDE SUR LES MARCHÉS MONDIAL ET QUÉBÉCOIS**



L'analyse des impacts des changements climatiques sur la production québécoise révèle que la courbe d'offre augmentera principalement grâce à des températures plus chaudes. En effet, l'accumulation de chaleur permettra d'obtenir de meilleurs rendements pour la culture du maïs-

grain et du soya. Par ailleurs, les variétés de cultures adaptées au climat local devraient être plus nombreuses avec le réchauffement des températures, alors que les superficies agricoles devraient rester stables. En outre, les techniques culturales (spécifiquement la lutte aux ravageurs et la gestion des sols) des producteurs auront un rôle déterminant dans l'adaptation aux nouvelles conditions climatiques.

En revanche, si certains agriculteurs ne saisissent pas les opportunités qui s'offrent à eux et conservent leurs pratiques actuelles, il est probable que la rentabilité de leur exploitation se dégrade. Une étude avait d'ailleurs calculé que pour une ferme laitière typique du Bas-Saint-Laurent, les agriculteurs devraient s'attendre à une perte de revenus de 4 941\$ (scénario modéré de GES) s'ils n'adaptaient pas leurs rotations des cultures d'ici 2050 (Charbonneau *et al.*, 2013). Cette perte de revenus est surtout attribuable à des dépenses liées à la production laitière, mais les chercheurs avaient calculé que les revenus provenant de la vente de maïs-grain et de soya grimperaient de près de 14% si les rotations étaient adaptées.

Le graphique de droite indique aussi les effets sur les prix de vente et les quantités produites du marché québécois. Puisque le Québec est preneur de prix, il adopte essentiellement les prix fixés sur les marchés mondiaux. Ceci est illustré par la ligne pointillée horizontale qui croise l'axe des prix de chacun des graphiques. On peut donc observer que les déplacements des courbes du marché mondial font augmenter le prix d'équilibre ( $P^*$ ), qui augmente alors automatiquement sur le marché québécois. Cette augmentation des prix, combinée au déplacement de la courbe d'offre locale, augmente ainsi les quantités produites au Québec ( $Q^{*'} > Q^*$ ). En conséquence, la situation économique des producteurs devrait s'améliorer.

**FIGURE 3. 6 MATRICE FINALE DES SCÉNARIOS ÉCONOMIQUES DE LA PRODUCTION AGRICOLE À L'HORIZON 2050**

	Quantité produite au $Q_c \uparrow$	Quantité produite au $Q_c \downarrow$
Prix mondiaux $\uparrow$	Scénario 1 (Prix $\uparrow$ , Qté $\uparrow$ )	Scénario 2 (Prix $\uparrow$ , Qté $\downarrow$ )
Prix mondiaux $\downarrow$	Scénario 3 (Prix $\downarrow$ , Qté $\uparrow$ )	Scénario 4 (Prix $\downarrow$ , Qté $\downarrow$ )

Par rapport à la matrice des scénarios économiques présentée dans le chapitre de la méthodologie, l'analyse des impacts des changements climatiques sur la production québécoise a démontré que le scénario 1 était le plus probable (Figure 3.6). Étant donné que le niveau des prix et les quantités produites au Québec augmenteront, la situation économique des producteurs pour l'horizon 2050 sera plus avantageuse. En outre, la position concurrentielle du

Québec sur le marché des grains devrait aussi s'améliorer relativement à celle de ses concurrents, notamment grâce à une plus forte croissance des rendements potentiels et à un déficit hydrique plus faible (Debailleul *et al.*, 2013). Les prévisions de rendement analysées laissent également présager que la part de marché du Québec gagnera en importance, tout comme ses exportations en grandes cultures.

## Chapitre 4 : Discussion des résultats

Ce chapitre offre une discussion des résultats de l'analyse et les compare à ceux qu'on obtenus les autres auteurs. Quelques tendances socioéconomiques susceptibles d'affecter les deux variables d'intérêt sont également abordées pour nuancer les résultats. Puis, les limites de l'analyse concluent cette discussion.

### 4.1 Discussion des résultats

En procédant à l'analyse des prix mondiaux et de la production de grandes cultures au Québec, l'objectif était de documenter la situation économique des agriculteurs québécois en regard de l'évolution des changements climatiques. Les résultats ont permis de mettre en lumière que les agriculteurs bénéficieront éventuellement des changements climatiques grâce aux nouvelles opportunités de production qui s'offriront à eux. En effet, d'ici 2050, le contexte de production mondial devrait favoriser une augmentation du niveau des prix et les conditions climatiques locales permettront aux agriculteurs d'augmenter leur production de grandes cultures.

En ce qui a trait aux résultats obtenus, ils s'accordent globalement avec les précédentes études agroéconomiques québécoises. Les études de Bélanger et Bootsma (2002), Debailleul *et al.* (2013), Charbonneau *et al.* (2013) et Charbonneau *et al.* (2020) estimaient toutes que le Québec pourrait être avantagé par les changements climatiques. Cependant, le choix d'utiliser le niveau des prix internationaux comme variable d'intérêt est une innovation par rapport aux recherches de ces auteurs. Bélanger et Bootsma (2002) et Charbonneau *et al.* (2013 et 2020) s'intéressaient spécifiquement à la relation des rendements agricoles québécois avec les changements climatiques, sans pour autant prendre en compte les implications au niveau global. De leur côté, Debailleul *et al.* (2013) analysaient la position concurrentielle du Québec en fonction de plusieurs cultures. Leur analyse était toutefois restreinte aux principaux concurrents de la province et ne tenait pas non plus compte des impacts des changements climatiques sur l'agriculture mondiale.

Pour l'analyse des prix mondiaux, l'approche privilégiée consistait à passer en revue les éléments pouvant avoir un impact sur le marché mondial. Étant donnée la complexité de la formation des prix agricoles et des incertitudes entourant l'évolution de certains facteurs, notamment les prix du pétrole, les conclusions de cette analyse pourraient être considérées comme plus fragiles. Des moyens ont néanmoins été pris pour obtenir une analyse juste et rigoureuse. En premier

lieu, dans le but d’avoir un portrait complet de la situation, tous les éléments pouvant avoir un impact dans le marché mondial des grains ont été abordés, même si la nature de leur impact était floue. De plus, les conclusions de l’analyse de l’offre et de la demande ont été comparées à celles d’autres études économétriques pour observer les différences qui pourraient émerger en fonction du type de prévision utilisé. Au final, les conclusions obtenues rejoignent ceux de la plupart des auteurs, ce qui corrobore mes résultats.

## 4.2 Tendances socioéconomiques

En outre, quelques tendances socioéconomiques et agricoles susceptibles d’affecter les conclusions de l’analyse et, plus généralement, la production québécoise de grains sont discutées pour nuancer les résultats.

### 4.2.1 Agriculture biologique

Au niveau fédéral, le Québec est un grand précurseur de l’agriculture biologique. L’appellation biologique y existe depuis le 1<sup>er</sup> février 2000, alors que la plupart des autres provinces ont adopté un règlement fédéral concernant le commerce des produits biologiques en 2009 et que le reste du pays n’en a toujours pas. En date de novembre 2020, plus de 2400 entreprises agricoles détiennent une certification biologique au Québec, ce qui représente près de 4% des fermes québécoises. En comparaison, le Canada ne compte que 2% de fermes biologiques (Robitaille et Olatound, 2019)<sup>66</sup>.

En outre, 12% des fermes québécoises ayant une production biologique cultivaient des grains et oléagineux en 2016 (Robitaille et Olatound, 2019). Ce secteur est le troisième en importance après la production acéricole et la production laitière en termes de nombre de fermes biologiques. En ce qui concerne les cinq cultures étudiées, entre 2% et 7% de la production était biologique pour l’année 2019 (avoine : 6%, blé : 7%, maïs-grain : 2%, orge : 3,5% et soya : 3,5%)<sup>67</sup>.

De manière générale, le secteur biologique est en forte expansion au Québec et puisque la proportion de produits biologiques est actuellement faible par rapport à la production totale, le marché québécois offre un grand potentiel de croissance. Pour le cas particulier des graines et oléagineux qui servent à la fois dans l’alimentation humaine et dans l’alimentation animale,

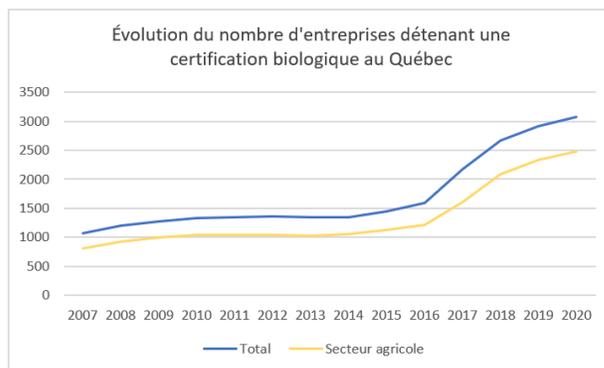
---

<sup>66</sup>Robitaille et Olatound, 2019. « Les produits biologiques au Québec : Ventes dans les grands magasins et comparaison avec le Canada », BioClips+, Vol. 20, No 1, 17 p.

<sup>67</sup> Données provenant de Portail Bio Québec (2020). « Superficies cultivées par produit végétal en 2019 » et de Statistique Canada (2020). Tableau 32-10-0359-01

Robitaille et Olatound (2019) sont d’avis que le nombre de fermes biologiques devrait continuer d’augmenter de façon importante pour soutenir la demande de produits végétaux (boissons alternatives et pudding au soya et à l’avoine) et animaux (lait et dérivés, viandes).

**FIGURE 4.1 ÉVOLUTION DU NOMBRE D’ENTREPRISES DÉTENANT UNE CERTIFICATION BIOLOGIQUE AU QUÉBEC**



#### 4.2.2 Végétarisme

Une étude menée par Sylvain Charlebois, professeur de l’Université de Dalhousie, révèle que près de 7% des canadiens se définissent comme étant végétariens et que près de 10% se définissent comme flexitariens, c’est-à-dire des végétariens qui mangent occasionnellement de la viande ou du poisson<sup>68</sup>. Bien que ces statistiques demeurent relativement stables dans le temps, la demande pour des produits alternatifs à la viande ne cesse de croître. À titre d’exemple, les ventes de tofu augmentent d’environ 20% par année depuis 2013, selon les propriétaires d’Unisoja, principal fabricant de tofu de la province<sup>69</sup>. En outre, plusieurs experts s’accordent sur le fait que la demande mondiale de grains pour la consommation humaine devrait continuer d’augmenter, malgré un ralentissement futur (une croissance annuelle de 1,5% d’ici 2024, au lieu de 4,4% entre 2013 et 2018)<sup>70</sup>.

Dans le même ordre d’idées, l’édition la plus récente du *Guide alimentaire canadien* recommande d’augmenter la consommation d’aliments à forte teneur en protéines végétales, soit les céréales, les oléagineux et les légumineuses. En principe, une diminution de la

<sup>68</sup> Parent, Stéphane et Sylvain Charlebois (2018, 15 novembre). « Les Canadiens de moins en moins carnivores, mais nos végétariens sont souvent des infidèles », Radio Canada International, Récupéré de <https://www.rcinet.ca/fr/2018/11/15/alimentation-viande-canadiens-vegetariens-enquete-sylvain-charlebois-universite-dalhousie/>

<sup>69</sup> Fournier, Marie-Ève (2019, 26 janvier). « Pénurie de tofu au Québec » *LaPresse*, section affaires et économie.

<sup>70</sup> MAPAQ (2020). « Portrait-diagnostic sectoriel de l’industrie des grains au Québec », Annexe 6, 51 p.

consommation de viande entraîne une diminution de la demande pour les cultures fourragères. Cette tendance permet aux agriculteurs de se tourner vers d'autres cultures plus rentables et devrait perdurer au Québec. Les recensements agricoles de 2011 et de 2016 illustrent déjà cette substitution : la superficie cultivée du foin a diminué de 5,7%, tandis que la superficie cultivée des grandes cultures a augmenté de 5,4%. À elle seule, la superficie consacrée à la culture du soya au Québec a grimpé de 26,9% entre 2011 et 2016<sup>71</sup>.

En somme, la popularité croissante des produits alternatifs à la viande pourrait avoir un impact sur la production végétale québécoise en 2050 en augmentant la demande d'ingrédients utilisés pour la fabrication de ces produits, dont le soya et le blé.

#### 4.2.3 Carburants alternatifs

La demande mondiale en carburant alternatifs (aux carburants pétroliers conventionnels) devrait continuer de croître au courant de la prochaine décennie selon l'OCDE et la FAO (2019). En revanche, ces institutions prévoient que ce seront surtout les biodiésels à base d'oléagineux ou d'huiles usagées, l'éthanol à base de canne à sucre et les biocarburants de seconde génération qui seront en demande<sup>72</sup>. L'une des mesures du *Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques* (2016) est d'encourager la production des bioénergies et des bioproduits, notamment les combustibles renouvelables à base de déchets. Actuellement, l'usage de combustibles fossiles est très répandu sur les fermes canadiennes. Ils sont principalement utilisés pour alimenter la machinerie et chauffer les bâtiments, en plus d'être nécessaires dans la production d'engrais agricoles. Selon certains experts, la substitution des combustibles fossiles par des carburants alternatifs au sein des activités agricoles ne devrait pas s'observer à court terme, malgré la promotion des énergies renouvelables (Boudreau, 2019). Toutefois, il est possible qu'ils soient plus présents d'ici 2050, surtout si la production et l'utilisation de carburants alternatifs sont subventionnées par les gouvernements. Ainsi, il est possible que les exploitants agricoles choisissent de produire plus d'oléagineux pour soutenir la production de biodiésels.

#### 4.2.4 Innovation technologique

---

<sup>71</sup> Statistiques Canada (2017). « L'innovation comme facteur de croissance dans le secteur agricole ».

<sup>72</sup> Boudreau, Yvon (2019). « Les perspectives agricoles 2019-2028 de l'ocde et de la fao » BioClips : Actualité bioalimentaire, Vol. 27, no 25, 2p.

L'utilisation de la technologie chez les agriculteurs continue de gagner en importance à travers le pays. L'adoption de certaines technologies comme les GPS, l'autoguidage et la cartographie des sols SIG permet d'améliorer l'efficacité du travail des producteurs, de réaliser des économies d'échelle et d'optimiser leur rentabilité. Par exemple, les applications basées sur le GPS sont variées : planification des exploitations agricoles, cartographie des terres, échantillonnage des sols, guidage des tracteurs (même lorsque la visibilité est mauvaise), dépistage, épandages à taux variable et cartographie des rendements<sup>73</sup>. L'usage de ces méthodes est encore plus répandu dans le cas des grandes cultures puisque les superficies cultivées sont généralement très étendues et donc plus difficiles à cultiver. En 2016, 37% des fermes québécoises spécialisées dans la culture des grains et oléagineux a déclaré utiliser un système de localisation GPS, par rapport à 23% pour les légumes de champ et 14% pour les fruits (Boudreau, 2018)<sup>74</sup>.

À moyen terme, il est fort probable que de nouveaux procédés soient développés dans cette industrie, que ce soit pour obtenir des rendements plus élevés ou pour optimiser la gestion des GES. Les recensements agricoles font aussi état du fait que l'âge moyen des agriculteurs québécois diminue légèrement et que la taille des exploitations augmente, ce qui devrait contribuer à l'augmentation de la présence des technologies sur les fermes (Boudreau, 2018). Par ailleurs, les agriculteurs peuvent tout autant faire preuve d'innovation dans leurs pratiques agricoles indépendamment de la technologie. L'une de ces pratiques innovantes est la culture sans travail du sol, qui implique l'ensemencement direct dans un sol peu travaillé, ce qui réduit donc les coûts de carburant et de main-d'œuvre, tout en augmentant la rentabilité (Boudreau, 2018).

En bref, l'agriculture biologique, le végétarisme et les carburants alternatifs soulignent une augmentation potentielle de la demande québécoise pour des produits dérivés des grandes cultures. La demande québécoise n'était pas considérée dans cette analyse, mais s'il s'avère qu'elle augmente, les producteurs pourraient possiblement en bénéficier, surtout si la tendance à l'achat local se maintient. L'innovation technologique devrait continuer de progresser et pourrait ainsi faire diminuer les coûts de production des agriculteurs, ce qui serait aussi à leur avantage.

---

<sup>73</sup> GPS.gov (2020). "Agriculture", Section Application, Récupéré de <https://www.gps.gov/applications/agriculture/french.php>

<sup>74</sup> Boudreau, Yvon (2018). « L'adoption de technologies de pointe en agriculture », BioClips : Actualité bioalimentaire, Vol. 26, no 6, 2p.

### 4.3 Limites

Une des limites de cette analyse est que le résultat principal repose sur l'hypothèse que les producteurs seront prêts à s'adapter aux opportunités qui s'offriront à eux. Dans l'éventualité où les producteurs choisiraient de conserver leurs rotations et techniques culturales actuelles, l'issue de cette analyse serait fort différente. Les impacts des changements climatiques s'avèreraient probablement néfastes pour une grande partie des agriculteurs québécois. Cette limite a toutefois été considérée dès le début de la recherche et une grande attention a été accordée aux comportements des agriculteurs face à ce type de décisions. En outre, le fait que plusieurs agriculteurs établis dans des régions situées au nord de la province aient déjà commencé à cultiver le soya et le maïs-grain confirme la validité de cette hypothèse.

Par ailleurs, l'analyse des deux variables d'intérêt s'appuie également sur quelques postulats. D'une part, j'ai choisi de prendre pour hypothèse que l'évolution des prix du pétrole brut serait stable, malgré qu'il s'agisse d'un marché très volatile et politisé. De nombreuses recherches ont documenté la relation négative des prix du pétrole sur les rendements agricoles, mais peu de prévisions sont réalisées pour un horizon de 30 ans et celles qui le sont ne font pas l'unanimité. Il était donc plus simple de tenir pour acquis que les prix du pétrole resteraient relativement stables, bien que ce soit moins représentatif de l'évolution réelle de ce marché. D'autre part, j'ai aussi fait l'hypothèse que les subventions gouvernementales resteraient constantes dans le temps. Mes recherches sur les facteurs décisionnels des producteurs (pp.26-28) ont mis de l'avant le rôle d'incitatifs que peuvent jouer les subventions dans la production agricole. Toutefois, l'horizon de prévision de 30 est trop lointain pour que le gouvernement s'avance sur les subventions qui seront en vigueur. En effet, la publication la plus récente sur le sujet est celle du plan d'agriculture durable 2020-2030 du MAPAQ et elle ne couvre qu'une période de 10 ans. Cependant, la construction de prévisions de long terme implique inévitablement la formulation d'hypothèses puisque le contexte futur est incertain, voire inconnu.

Dans un autre ordre d'idées, l'objectif de ce projet de recherche était d'examiner les impacts des changements climatiques sur les marchés agricoles. Toutefois, plusieurs éléments externes à cet enjeu ont été pris en compte, car ils influencent grandement le marché des grandes cultures. Les éléments en question sont la croissance de la population, la consommation, les revenus des pays en voie de développement et la demande de biocarburants. On ne peut considérer que

l'évolution de ces facteurs découle directement des changements climatiques, mais dans la mesure où ils représentent les déterminants majeurs de la demande mondiale, j'ai préféré les incorporer dans l'analyse.

Ensuite, le choix de n'utiliser qu'un seul scénario climatique implique certaines limites puisqu'il fournit des résultats plus généraux et accordent moins d'importance aux différentes possibilités d'émissions de GES. Les quatre autres études québécoises qui calculaient des prévisions de rendements utilisaient toutes un minimum de deux scénarios climatiques pour la même période, ce qui permettait d'avoir des rendements plus précis. Considérant qu'un des objectifs de mon mémoire était de déterminer si la situation des producteurs agricoles s'améliorait ou se détériorait (le niveau des prix et les quantités produites augmenteront-ils ou diminueront-ils?), je ne pense pas qu'il était nécessaire d'utiliser plusieurs scénarios. De plus, le scénario retenu est basé sur 22 scénarios climatiques internationaux qui sont eux-mêmes associés à différents niveaux d'émissions de GES.

En prenant connaissance d'articles évaluant les rendements des grandes cultures, j'ai réalisé qu'une des limites de mon approche était de ne cibler que des grandes cultures. En réalité, plusieurs agriculteurs incorporent aussi des cultures fourragères dans leurs rotations, car elles peuvent notamment servir de couvre-sol en hiver. La décision d'uniquement étudier les grandes cultures représente donc moins fidèlement le contexte dans lequel évoluent une partie des agriculteurs. Dans la même veine, aucune des études agroéconomiques québécoises sur lesquelles j'ai basé mon analyse des rendements n'avait de projections pour l'avoine. Étant donné que cette céréale présente beaucoup de similitudes avec le blé et surtout avec l'orge (production annuelle, conditions de croissance et prix), j'ai pris pour acquis qu'elle évoluerait de façon semblable aux autres céréales à paille. D'ailleurs, dans les autres articles qui abordaient les grandes cultures, les auteurs discutaient souvent de ces trois cultures ensemble et en tiraient des conclusions analogues.

En dernier lieu, une limite liée à l'analyse des prix tient au fait que seul le niveau des prix mondiaux a été examiné, alors que les prix en vigueur sur le marché québécois sont composés à 80% des prix internationaux et à 20% de facteurs locaux (offre et demande locales, taux de change et climat). L'analyse de la production locale aurait donc pu être un peu plus développée. Les facteurs affectant le prix local ont néanmoins été souligné dans le cadre de l'analyse des prix mondiaux ou de l'analyse récapitulative.





## Conclusion

Bien que les changements climatiques ne soient pas souhaitables d'un point de vue général, ils occupent une place centrale dans les enjeux sociétaux actuels et futurs et il est important de les étudier dans leur globalité. Plusieurs chercheurs ont d'ailleurs examiné la possibilité que certains secteurs économiques ou zones géographiques puissent en retirer des externalités positives (Tchebakova *et al.*, 2011, Gregory et Marshall, 2012, OCDE, 2016 et Mintz-Woo et Leroux, 2020). Ce mémoire avait pour objectif de documenter l'évolution des impacts des changements climatiques sur le secteur agricole au Québec pour l'horizon 2050. La question de recherche visait à identifier comment évoluerait la situation économique des agriculteurs spécialisés dans la production végétale.

Afin de répondre à cette question, une analyse conjointe des prix et des quantités produites au Québec a été menée sur cinq cultures : l'avoine, le blé, le maïs-grain, l'orge et le soya. Dans un premier temps, les différents facteurs affectant l'offre et la demande mondiales ont été analysés pour identifier les répercussions des changements climatiques sur le marché des grains international. Dans un deuxième temps, une analyse des impacts des changements climatiques sur l'évolution des éléments les plus déterminants de la production locale a été menée. Ainsi, les perspectives futures des rendements agricoles ont été examinées, tout comme les cultures adaptées au climat local, les superficies cultivables et les techniques culturales. Les principales conclusions de ces analyses ont ensuite été rassemblées pour déterminer le scénario qui caractériserait le mieux la situation économique des producteurs québécois à l'horizon 2050.

Les résultats ont permis de conclure que les impacts des changements climatiques pourraient s'avérer bénéfiques pour les agriculteurs québécois. Ils indiquent d'une part que le niveau des prix des cultures aura tendance à augmenter sur les marchés mondiaux et d'autre part que la production locale s'accroîtra, notamment grâce à de meilleurs rendements des cultures dus au réchauffement des températures. Ainsi, ces deux tendances contribueront à l'amélioration de la situation économique des producteurs dans la mesure où ils seront capables de produire de plus grandes quantités et de les vendre à meilleur prix.

D'un point de vue théorique, cette étude fait preuve d'innovation grâce à son approche méthodologique qui consiste en l'analyse des effets des changements climatiques sur deux variables du secteur agricole provenant de deux marchés distincts. Il s'agit de la première

recherche qui examine le niveau des prix mondiaux pour évaluer la situation économique des producteurs québécois. Cette approche permet également de mieux représenter les nombreuses dynamiques qui composent les marchés agricoles internationaux, en plus d'aborder la position concurrentielle du Québec sur le marché des grandes cultures.

Sur le plan social, ce mémoire contribue à la recherche entourant les enjeux majeurs du secteur agricole québécois. Il considère l'environnement de production global des agriculteurs et met en lumière les opportunités qui s'offriront à eux. Néanmoins, une des limites de cette analyse est que la principale conclusion repose sur l'adaptation des producteurs aux nouvelles conditions climatiques. En effet, les changements climatiques auront des impacts particulièrement positifs sur le secteur agricole si les agriculteurs adaptent certaines de leurs pratiques et intègrent de nouvelles cultures dans leurs rotations. Parmi les pratiques à adapter, on retrouve notamment les techniques de lutte intégrée et les techniques favorisant une saine gestion des sols, alors que pour les cultures, il s'agirait surtout d'introduire le maïs-grain et le soya dans des zones où les températures sont présentement trop froides. Cette limite a toutefois été prise en compte dès le début de la recherche et une section documente les facteurs de décision des producteurs.

En bref, les résultats de cette étude démontrent l'importance d'une adaptation pour faire face aux changements climatiques sur les terres agricoles du Québec. En outre, plusieurs publications récentes, dont le *Plan d'agriculture durable 2020-2030* du MAPAQ et les fiches informatives du projet Agriculmat, soulignent l'importance d'adopter des pratiques culturales plus écologiques et plus efficaces. Il semble donc pertinent de poursuivre la recherche dans cette voie et d'étendre cette réflexion à d'autres cultures. À titre d'exemple, la construction d'un recueil de projections des rendements de moyen terme des cultures les plus importantes basé sur certaines pratiques culturales pourrait être un bon outil pour sensibiliser les agriculteurs à s'adapter aux conditions climatiques futures. Dans un autre ordre d'idées, il pourrait être intéressant de procéder à l'étude d'autres industries québécoises qui pourraient éventuellement profiter des changements climatiques. À ce sujet, le rapport de l'OCDE (2016) soulignait que le secteur touristique canadien devrait retirer d'importants bénéfices économiques attribuables aux changements climatiques.

## Bibliographie

- Algieri, Bernardina, (2016). "A Roller Coaster Ride: An Empirical Investigation of the Main Drivers of Wheat Price" dans *Food Price Volatility and Its Implications for Food Security and Policy*, Springer, Cham., [https://doi.org/10.1007/978-3-319-28201-5\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-28201-5_10).
- Baldos, Uris Lantz, et Thomas Hertel (2014). "Bursting the Bubble: A Long Run Perspective on Crop", *GTAP Working Paper*, No. 80, 25 p.
- Baumeister, Christiane et Lutz Kilian (2013). "Forecasting the Real Price of Oil in a Changing World: A Forecast Combination Approach", *Bank of Canada Working Paper* no 2013-28, 32 p.
- Boudreau, Yvon (2018). « L'adoption de technologies de pointe en agriculture », *BioClips : Actualité bioalimentaire*, Vol. 26, no 6, 2p.
- Boudreau, Yvon (2019). « Les perspectives agricoles 2019-2028 de l'ocde et de la fao » *BioClips : Actualité bioalimentaire*, Vol. 27, no 25, 2p.
- Bélanger, Gilles et Andy Bootsma (2002). « Impacts des changements climatiques sur l'agriculture au Québec », 20p.
- Burke, M., Hsiang, S. & Miguel, E. (2015). "Global non-linear effect of temperature on economic production." *Nature* no.527, p.235-239.
- Charbonneau, Édith, Juan Manuel Moreno Prado, Doris Pellerin, Gilles Bélanger, Hélène Côté, Valérie Bélanger, et al. (2013). « Première évaluation de l'impact potentiel des changements climatiques sur la durabilité technico-économique et agroenvironnementale des fermes laitières au Québec », 62p.
- Charbonneau, Édith, Véronique Ouellet, Sébastien Fournel, Camille Payant, Guillaume Jégo, Gilles Bélanger, et al. (2020). « Choix des graminées fourragères et des mesures d'atténuation du stress thermique des vaches sur les fermes laitières québécoises dans un contexte de changements climatiques », 56p.
- Charron, Isabelle, Antoine Beauchemin, Ariane Blais-Gagnon, Sylvestre Delmotte, Sandrine Ducruc, David Dugré et al. (2019). "Recherche participative d'alternatives durables pour la gestion de l'eau en milieu agricole dans un contexte de changement climatique (RADEAU 1)." Québec, Québec : Groupe AGÉCO, 266p.
- Commission de protection du territoire agricole (2015). *Zone agricole du Québec*, 3 p., Récupéré de <http://www.cptaq.gouv.qc.ca/index.php?id=175&file=zonage.zip>
- David Ubilava, (2017). "The ENSO Effect and Asymmetries in Wheat Price Dynamics", *World Development*, Vol. 96, p. 490-502, <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2017.03.031>
- Debailleul, Guy, Lota Dabio Tamini, Maurice Doyon, Frédérick Clerson-Guicherd, Louis-Samuel Jacques, Maribel Hernandez, et al. (2013) « Analyse prospective de la position concurrentielle du Québec en matière de production agricole dans un contexte de changements climatiques », 193p.
- Déficit hydrique. (2020). *Dictionnaire Aqua Portail*, Récupéré de <https://www.aquaportail.com/definition-13134-deficit-hydrique>.

- Delisle, Sarah et Sylvestre Delmotte (2020). « Changements climatiques en grandes cultures », Projet Agriculmat : Des fermes adaptées pour le futur.
- Estrella N, Sparks TH, Menzel A (2007). "Trends and temperature response in the phenology of crops in Germany", *Global Change Biology*, no.13, p.1737-1747.
- FADQ (2020). « Assurance récolte - Rendements réels annuels », Récupéré de <https://www.fadq.qc.ca/fr/statistiques/assurance-recolte/rendements-reels/>
- Firlej, Annabelle et Julien Saguez (2019). « Changements climatiques et phytoprotection au Québec. Synthèse et recommandations », Québec : IRDA et CÉROM, 82p.
- Fournier, Marie-Ève (2019, 26 janvier). « Pénurie de tofu au Québec » *LaPresse*, section affaires et économie.
- Fukase, Emiko et Will Martin (2020). "Economic growth, convergence, and world food demand and supply", *World Development*, Vol. 132, no 104904, 12p.
- Garcia, Marco, Gerard Rijk et Matthew Pitrowsk (2020). "Deforestation for Agricultural Commodities a Driver of Fires", *Chain Reaction Research: sustainability risk analysis*, 18p.
- Garric, Audrey (2016). « La Terre verdit grâce aux émissions de CO2 », *LeMonde*, Récupéré de [https://www.lemonde.fr/planete/article/2016/04/27/la-terre-verdit-grace-aux-emissions-de-co2\\_4909274\\_3244.html](https://www.lemonde.fr/planete/article/2016/04/27/la-terre-verdit-grace-aux-emissions-de-co2_4909274_3244.html)
- Godfray, Charles et Sherman Robinson (2015). "Contrasting approaches to projecting long-run global food security", *Oxford Review of Economic Policy*, vol. 31, no 1, p. 26-44.
- Gregory, P. J. et B. Marshall (2012). "Attribution of climate change: a methodology to estimate the potential contribution to increases in potato yield in Scotland since 1960", *Global Change Biology* no.18(4), p.1372-1388.
- GPS.gov (2020). "Agriculture", Section Application, Récupéré de <https://www.gps.gov/applications/agriculture/french.php>
- Hertel, Thomas, Uris Lantz Baldos et Dominique van der Mensbrugghe (2016). « Predicting Long-Term Food Demand, Cropland Use, and Prices", *Annu. Rev. Resour. Econ.*, vol. 8:417-41, 27p.
- Hull, John (2015). "Agricultural Commodities" dans *Options, futures and other derivatives*, 9ème Éd., Harlow, Pearson Education Limited, p.776.
- Iizumi, Toshichika, Jing-Jia Luo, Andrew J. Challinor, Gen Sakurai, Masayuki Yokozawa, Hirofumi Sakuma, Molly E. Brown et Toshio Yamagata (2014). "Impacts of El Niño Southern Oscillation on the global yields of major crops", *Nat. Communication*, Vol. 5, 3712, 8p.
- IMF Data (2020). Commodity Data Portal, Récupéré de <https://www.imf.org/en/Research/commodity-prices>
- IPCC (2014). "Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]." IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Ito, Shoichi (2019). "The global dynamics of price hikes in food production increase - A reference to the climate change", 25th International Conference on the Unity of the Sciences (ICUS XXV) : Environmental Health and the Quality of Human Life, Seoul, Korea, Session 2.

- Jacks, D.S. (2019). "From Boom to Bust: A Typology of Real Commodity Prices in the Long Run", *Cliometrica* 13(2), pp. 202-220.
- MAPAQ, 2020. « Agir pour une agriculture durable : Plan agriculture durable 2020-2030 », 38 p.
- MAPAQ, (2020). « Le Bioalimentaire économique - Bilan de l'année 2019 », 60 p.
- MAPAQ (2020). « Portrait-diagnostic sectoriel de l'industrie des grains au Québec », Annexe 6, 51 p.
- Mehdi, Bano, Colline Gombault, Bernhard Lener, Aubert Michaud, Isabelle Beaudin, Marie-France Sottile, *et al.* (2014). "Increasing agricultural watershed resilience to climate change and land use change using a water master plan: A case study for the Missisquoi Bay", 225p.
- MetOffice (2020). "Historic Station Data", Section Climate and climate change, Récupéré de <https://www.metoffice.gov.uk/research/climate/maps-and-data/historic-station-data>
- Michelle Tigchelaar, David S. Battisti, Rosamond L. Naylor, Deepak K. Ray (2018). "Future warming increases probability of globally synchronized maize production shocks", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol.115 (26) pp. 6644-6649.
- OCDE (2012). « Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050 : Les conséquences de l'inaction », *Éditions OCDE*, 10p.
- OCDE/FAO (2019). « Biocarburants » dans *Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2019-2028*, Éditions OCDE, Paris/FAO, Rome, p. 223-238.
- OECD (2016). « Les conséquences économiques du changement climatique », *Éditions OCDE*, Paris, 162 p.
- Ouranos (2015). « Vers l'adaptation. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec. Partie 2 : Vulnérabilités, impacts et adaptation aux changements climatiques » *Édition 2015*. Montréal, Québec : Ouranos, 234 p.
- Parent, Stéphane et Sylvain Charlebois (2018, 15 novembre). « Les Canadiens de moins en moins carnivores, mais nos végétariens sont souvent des infidèles », *Radio Canada International*, Récupéré de <https://www.rcinet.ca/fr/2018/11/15/alimentation-viande-canadiens-vegetariens-enquete-sylvain-charlebois-universite-dalhousie/>
- Peri, Massimo (2017). "Climate variability and the volatility of global maize and soybean prices", *Food Sec.* vol. 9, p. 673-683.
- Peters, May, Suchada Langley et Paul Westcott (2009). "Agricultural Commodity Price Spikes in the 1970s and 1990s: Valuable Lessons for Today", USDA, Economic Research Service, Récupéré de <https://www.ers.usda.gov/amber-waves/2009/march/agricultural-commodity-price-spikes-in-the-1970s-and-1990s-valuable-lessons-for-today/>
- Portail Bio Québec (2020). « Superficies cultivées par produit végétal en 2019 », Récupéré de <https://portailbioquebec.info/superficies-cultivees-par-produit-vegetal-en-2019>
- Radiative Forcing. (2020). Glossaire GIEC, Récupéré de [https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary\\_r.html](https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary_r.html)
- Ray DK, Gerber JS, MacDonald GK, West PC (2015). "Climate variation explains a third of global crop yield variability", *Nat Commun*, no. 6:5989, 9 p.

- Ray DK, Mueller ND, West PC, Foley JA (2013). "Yield Trends Are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050." *PLoS ONE* no.8(6): e66428, 9p.
- Ray DK, West PC, Clark M, Gerber JS, Prishchepov AV, Chatterjee S (2019). "Climate change has likely already affected global food production." *PLoS ONE*, no. 14(5): e0217148, 18p.
- Representative Concentration Pathways. (2020). Glossaire GIEC, Récupéré de [https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary\\_r.html](https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary_r.html)
- Rezitis, Anthony (2015). "Empirical Analysis of Agricultural Commodity Prices, Crude Oil Prices and US Dollar Exchange Rates using Panel Data Econometric Methods", *Inter Journ of Ener Econ Pol*, Vol. 5, no 3, pp. 851-868.
- Rezitis, Anthony et Maria Sassi, (2013). "Commodity Food Prices: Review and Empirics", *Economics Research International*, vol. 2013, Article ID 694507, 15 p.
- Robitaille et Olatound, 2019. " Les produits biologiques au Québec : Ventes dans les grands magasins et comparaison avec le Canada ", *BioClips+*, Vol. 20, No 1, 17 p.
- Saguez, Julien (2017). « Impact des changements climatiques et mesures d'adaptations pour les ravageurs présents et potentiels en grandes cultures au Québec. », Saint-Mathieu-de-Beloil, Québec : CÉROM, 71p.
- Schaub, Sergei et Robert Finger, (2020). « Effects of drought on hay and feed grain prices" dans *Environmental Research Letters*, Vol. 15, no 3, 10 p.
- Siebert S, Ewert F (2012). "Spatio-temporal patterns of phenological development in Germany in relation to temperature and day length." *Agriculture and Forest Meteorology*, no.152, p.44-57.
- Statistiques Canada (2017). « L'innovation comme facteur de croissance dans le secteur agricole», Données sur les exploitations et les exploitants agricoles, no 95-640-X, Récupéré de <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/95-640-x/2016001/article/14816-fra.htm>
- Statistiques Canada (2020). Tableau 32-10-0359-01 : Estimation de la superficie, du rendement, de la production, du prix moyen à la ferme et de la valeur totale à la ferme des principales grandes cultures, en unités métriques et impériales, Récupéré de <https://doi.org/10.25318/3210035901-fra>.
- Statistique Canada (2020). Tableau 32-10-0045-01 Recettes monétaires agricoles, annuel (x 1 000), Récupéré de <https://doi.org/10.25318/3210004501-fra>
- Tack, Jesse, Andrew Barkley et Nathan Hendricks (2017). "Irrigation offsets wheat yield reductions from warming temperatures", *Environ. Res. Lett.* 12 114027, 10p.
- Tchebakova, N. M., E. I. Parfenova, G. I. Lysanova, and A. J. Soja (2011). "Agroclimatic potential across central Siberia in an altered twenty-first century." *Environmental Research Letters* no.6(4), 045207-12, 12p.
- United Nations (2019). "World Population Prospects 2019: Highlights", Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 46p.

United Nations, Climate Change (2017). « Qu'est-ce que l'accord de Paris », *Processus et Réunions*, Récupéré de <https://unfccc.int/fr/process-and-meetings/l-accord-de-paris/qu-est-ce-que-l-accord-de-paris>

Valin, Hugo, Ronald D. Sands, Dominique van der Mensbrugghe, *et al.* (2014). “The future of food demand: understanding differences in global economic models”, *Agricultural Economics*, Vol. 45, pp. 51-67.

Vogel E, Donat MG, Alexander LV, Meinshausen M, Ray DK, Karoly D, Frieler K (2019). “The effects of climate extremes on global agricultural yields.” *Environ. Res. Lett.*, no.14 054010, 13p.



# Annexes

## Carte Régions zonages de la FADQ

