

Cultivons l'avenir 2
Une initiative fédérale-provinciale-territoriale

Canada  **Québec** 

Forest Lavoie
Conseil



En collaboration avec Rémy Lambert Ph.D.

Identification des facteurs explicatifs de l'évolution des rendements en production de grains au Québec

Rapport final présenté au Groupe de concertation du secteur des grains du Québec

21 Février 2018

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les membres du GCSG pour leur collaboration dans la recherche des informations nécessaires à la réalisation de cette étude et dans l'organisation de rencontres avec les groupes afin d'échanger sur le projet et sur les facteurs explicatifs des rendements.

Plus spécifiquement, nous tenons à remercier Mme Sylvie Richard du GCSGQ pour son appui, M. André Houle de la FADQ pour ses efforts afin de rendre disponible l'historique des rendements réels par région administrative, M. Gaétan Bourgeois et Mme Dominique Plouffe d'AAC pour nous avoir gracieusement transféré leur base de données météorologique et à M. Darrel Cerkowniak d'AAC pour nous avoir également transféré sa base de données sur l'évolution de la matière organique au Québec par écosystème. Leur collaboration a permis d'obtenir les données nécessaires à la réalisation de la présente étude.

Équipe

Responsable du mandat :	Gilbert Lavoie, agr., M.Sc., Forest Lavoie Conseil
Recherche, analyse et rédaction :	Rémy Lambert, Ph.D., professeur à l'Université Laval Gilbert Lavoie, agr., M.Sc., Forest Lavoie Conseil Patrick Lapierre, M.Sc., Forest Lavoie Conseil Peter Goldsmith, Ph.D., professeur à l'Université d'Illinois Claude Hamel, agr., M.Sc., Forest Lavoie Conseil
Révision linguistique :	Marie Rouleau

Table des matières

Sommaire exécutif	1
1. Contexte, problématique et objectifs.....	8
1.2 Objectifs et étapes de réalisation	8
2. Démarche et approche méthodologique	9
2.1 Formation du Comité de pilotage et rencontre d'organisations sectorielles	9
2.2 Revue de littérature	10
2.3 Méthode d'analyse des niveaux, des tendances, de la variabilité et des facteurs explicatifs des rendements historiques.....	14
3. Analyse comparative du niveau, de l'évolution et de la variabilité des rendements	17
3.1 Maïs : Analyse de l'évolution des rendements	17
3.2 Soya : Analyse de l'évolution des rendements du Soya	22
3.3 Orge : Analyse de l'évolution des rendements.....	25
3.4 Avoine : Analyse de l'évolution des rendements	28
3.5 Blé : Analyse de l'évolution des rendements	31
3.6 Canola : Analyse de l'évolution des rendements du Canola.....	34
3.7 Principaux constats sur l'évolution des rendements au Québec	35
4. Identification des facteurs déterminants des rendements	37
4.1 Le rendement du Maïs.....	39
4.2 Le rendement du Soya	40
4.3 Le rendement de l'Orge	40
4.4 Le rendement de l'Avoine.....	41
4.5 Le rendement du Blé	42
4.6 Principaux constats sur les facteurs explicatifs des rendements au Québec et pistes d'action prioritaires.....	42
5. Bibliographie.....	47

Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des rencontres dans le cadre du projet sur le rendement des grains	9
Tableau 2 : Principaux facteurs explicatifs répertoriés dans la revue de littérature	13
Tableau 3 : Rendements moyens et croissance annuelle moyenne du maïs, Québec.....	18
Tableau 4 : Rendements moyens et croissance annuelle moyenne Maïs, Régions du Québec.....	20
Tableau 5 : Rendements moyens et croissance annuelle moyenne Soya, Québec.....	23
Tableau 6 : Rendements moyens et croissance annuelle moyenne Soya, Régions du Québec	24
Tableau 7 : Rendements moyens et croissance annuelle moyenne Orge, Québec.....	26
Tableau 8 : Rendements moyens et croissance annuelle moyenne Orge, Région du Québec	27
Tableau 9 : Rendements moyens et croissance annuelle moyenne Avoine, Québec	29
Tableau 10 : Rendements moyens et croissance annuelle moyenne Avoine, Région du Québec.....	30
Tableau 11 : Rendements moyens et croissance annuelle moyenne Blé, Québec.....	32
Tableau 12 : Rendements moyens et croissance annuelle moyenne Blé, Région du Québec	33
Tableau 13 : Rendements moyens et croissance annuelle moyenne Canola, Québec	35
Tableau 14 : Sommaire des résultats de l'analyse comparative du niveau, de l'évolution et de la variabilité des rendements du Québec par rapport aux autres régions	36
Tableau 15 : Liste des variables, descriptions, manipulations et sources.....	37
Tableau 16 : Facteurs explicatifs de l'évolution du rendement du maïs dans les régions administratives du Québec	39
Tableau 17 : Facteurs explicatifs de l'évolution du rendement du soya dans les régions administratives du Québec	40
Tableau 18 : Facteurs explicatifs de l'évolution du rendement de l'orge dans les régions administratives du Québec	41
Tableau 19 : Facteurs explicatifs de l'évolution du rendement de l'avoine dans les régions administratives du Québec	41
Tableau 20 : Facteurs explicatifs de l'évolution du rendement du blé dans les régions administratives du Québec	42

Liste des figures

Figure 1 : Illustration de la présence d'un plateau dans l'évolution des rendements	15
Figure 2 : Nature des facteurs explicatifs des rendements.....	16
Figure 3 : Évolution des rendements du Maïs, Saint-Hyacinthe, Ontario et Iowa	21
Figure 4 : Évolution des rendements du Soya, Saint-Hyacinthe, Ontario et Iowa	25
Figure 5 : Évolution des rendements de l'Orge, Saint-Hyacinthe, Ontario et Wyoming.....	28
Figure 6 : Évolution des rendements de l'Avoine, Saint-Hyacinthe, Ontario et Maine	31
Figure 7 : Évolution des rendements du Blé, Saint-Hyacinthe, Ontario et Michigan.....	34

Sommaire exécutif

Objectif général

L'objectif général du projet était d'identifier les facteurs les plus significatifs capables d'expliquer l'évolution (stagnation, diminution, augmentation) des rendements, de même que le rythme de productivité (baisse, gain) des principales productions de grains au Québec.

Étapes de réalisation

Pour atteindre les objectifs du présent projet, nous avons réalisé les étapes suivantes :

- **Étape 1 : Démarche et approche méthodologique**

Pour la réalisation de cette étape, nous avons :

- ⇒ Travaillé de concert avec un Comité de pilotage du Groupe de concertation du secteur des grains du Québec (GCSGQ) et avons organisé une série de rencontres avec des organisations sectorielles
- ⇒ Réalisé une revue documentaire portant sur la réalisation d'études similaires afin d'identifier l'approche économétrique et les principaux facteurs déterminants qui ont été utilisés
- ⇒ Précisé, sur la base des deux éléments précédents, notre approche économétrique et statistique pour exécuter les analyses.

- **Étape 2 : Analyse comparative du niveau, de l'évolution et de la variabilité des rendements**

À cette étape, nous avons réalisé une analyse statistique comparative du niveau, de l'évolution et de la variabilité des rendements observés au Québec par rapport aux autres régions productrices à l'étude (Ontario, Ouest canadien et principaux États américains) de même qu'une analyse des rendements entre diverses régions administratives au Québec.

- **Étape 3 : Identification des facteurs déterminants des rendements et pistes d'action**

Pour la réalisation de cette étape, nous avons :

- ⇒ Dressé une liste exhaustive de facteurs potentiellement explicatifs, recherché et compilé les différentes informations nécessaires à la réalisation des analyses économétriques et statistiques, grâce à une revue documentaire et des consultations des membres de l'industrie.
- ⇒ Réalisé les différentes analyses économétriques et tests statistiques requis afin d'identifier les facteurs qui sont statistiquement significatifs dans l'explication des tendances et du niveau des rendements
- ⇒ Identifié les facteurs qui ont le plus d'impact dans l'explication du niveau et de l'évolution des rendements, à l'aide des résultats économétriques obtenus
- ⇒ Formulé les principaux constats et pistes d'actions prioritaires à déployer afin d'optimiser la croissance des rendements des grains au Québec.

- **Étape 4 : Présentation des résultats**

En plus de la rédaction de ce rapport, nous avons préparé une synthèse en format PowerPoint qui résume les étapes de réalisation, les résultats et les recommandations du rapport. Cette synthèse PowerPoint sera déposée et présentée au GCSGQ le 19 mars 2018, à l'AGA de l'APNC le 16 mars 2018 et à l'AGA PGQ le 19 mars 2018.

Démarche et approche méthodologique

La revue documentaire nous a permis de constater qu'il existe une multitude d'études portant sur le secteur des grains et visant l'explication du niveau et de l'évolution des rendements entre diverses régions ou dans une période de temps déterminée. Plusieurs études portent aussi sur l'identification des facteurs responsables du niveau de rendement et de son évolution. Le tableau ci-après résume les différents facteurs explicatifs des rendements qui ont été répertoriés dans la revue de littérature que nous avons effectuée.

Principaux facteurs explicatifs répertoriés dans la revue de littérature

Facteurs climatiques		
• Saison de croissance	• Date de récolte	• Eau
• Température	• Changement climatique	• Risques climatiques
• Précipitations	• CO2	• Variations température/précipitations
• Humidité	• Ozone	• Latitude
• Interaction température/précipitations	• Radiation	• Polluants
Intrants		
• Fertilisants (prix et type – minéraux et organiques)	• Pesticides	• Caractéristiques des cultivars
• Azote	• Technologie	• Irrigation
	• Type de semence	• Accès au capital
Pratiques culturales		
• Labour	• Rotation	• Résidus aux champs
Condition des sols et des cultures		
• Fertilité	• Maladies	• Surface de feuilles
• Nutriments	• Mauvaises herbes	• Surfaces récoltées
Support à la production		
• Accès aux services d'extension	• Dépenses publiques	• PIB per capita
• Outils de vulgarisation	• Infrastructures	
Changements technologiques		
• Variable tendance (années)		

La revue documentaire nous a également permis de préciser que l'approche économétrique était l'approche à privilégier compte tenu des objectifs visés par l'étude. L'économétrie permet en effet de déterminer les liens qui unissent un phénomène à certaines variables, que celles-ci soient économiques ou techniques.

Principaux constats sur l'évolution des rendements au Québec

Les analyses statistiques portant sur la période 1981 à 2016 (incluant une sous-période 2000 à 2016) ont permis de démontrer que le Québec tire très bien son épingle du jeu en termes d'évolution des rendements des grains par rapport aux autres régions productrices en Amérique du Nord. En effet, contrairement au postulat formulé dans le cadre de la réalisation du plan stratégique sectoriel (voir section 1.1) voulant que la croissance des rendements des grains au Québec soit moins importante qu'ailleurs, l'analyse comparative du niveau, de l'évolution et de la variabilité des rendements montre que le

Québec enregistre en général, des taux de croissance et une variabilité des rendements similaires aux autres régions. Le tableau ci-après résume les principaux constats pour les différents grains analysés.

Sommaire des résultats de l'analyse comparative du rendement moyen, de l'évolution et de la variabilité des rendements du Québec par rapport aux autres régions

Grains/Éléments	Rendement moyen	Taux de croissance	Variabilité
Maïs	Des rendements plus faibles que l'Ontario et l'Iowa	Une croissance significative Québec = Ontario Québec = Iowa Absence de plateau ¹	Une variabilité des rendements comparable à l'Ontario et à l'Iowa
Soya	Des rendements comparables à l'Ontario, mais inférieurs à l'Iowa	Une croissance significative Québec = Ontario Québec < Iowa Absence de plateau au provincial, mais présence au régional	Une variabilité des rendements comparable à l'Ontario et moindre qu'en Iowa
Orge	Des rendements au Québec comparables aux autres régions	Une croissance significative Québec = Ontario Québec < Prairies Absence de plateau	Une variabilité des rendements moindre ou comparable
avoine	Des rendements comparables aux autres régions	Une croissance faible Québec = Ontario Québec = Prairies Présence d'un plateau	Une variabilité des rendements comparable à l'Ontario et moindre que dans les Prairies
Blé	Des rendements plus faibles que l'Ontario, mais plus élevés que dans les Prairies	Une croissance faible Québec < Ontario Absence de plateau	Une variabilité des rendements moindre
Canola	Des rendements comparables aux autres régions	Absence de croissance Québec < Ontario Absence de plateau	Une variabilité des rendements moindre

Principaux constats sur les facteurs explicatifs des rendements au Québec et pistes d'action prioritaires

L'objectif poursuivi par les analyses économétriques était d'identifier les principaux facteurs explicatifs de l'évolution des rendements au Québec. La méthode utilisée est celle de l'analyse de données longitudinales. Ainsi, pour chaque type de culture, une régression de type longitudinal (panel) a été employée pour faire le lien entre le rendement obtenu dans chaque région et diverses informations comme; la température, les précipitations, le niveau de matière organique dans le sol, etc. Les principaux facteurs explicatifs et significatifs dans nos modèles économétriques sont :

- La matière organique : Une hausse (réduction) de la matière organique a un effet positif (négatif) significatif sur les rendements

¹ Lorsqu'il y a absence de plateau, cela signifie que le rendement de la culture est toujours en croissance et qu'il n'a pas encore plafonné.

- La température et les précipitations (le niveau et la variation) : Les UTM ont un effet positif significatif sur les rendements tandis que les variations météorologiques ont un effet négatif
- La fertilisation : La fertilisation a un impact positif sur les rendements, mais cet impact est décroissant au fur et à mesure que l'on intensifie l'utilisation de la fertilisation
- L'innovation et la régée des cultures : Le transfert technologique et l'amélioration génétique de la régée des cultures ont eu un impact important et significatif sur la croissance des rendements au Québec.

Dans le cadre de notre mandat nous devons également identifier sur la base des facteurs déterminants, les pistes d'action prioritaires à déployer pour optimiser la croissance des rendements au Québec. Nous présentons ci-après les principaux facteurs déterminants des rendements des cultures, ainsi que les constats et les pistes d'action prioritaires à déployer.

La matière organique

La relation entre la matière organique et le rendement est positive. C'est-à-dire qu'un accroissement (une réduction) de la matière organique a un impact positif (négatif) sur les rendements. Ainsi, la réduction de la matière organique observée dans le sol au cours des dernières années a un impact négatif significatif sur le rendement du maïs et du soya au Québec (impact négatif d'environ 10% sur le niveau des rendements). C'est donc dire que si l'on souhaite optimiser les rendements au Québec dans le secteur des grains, il est important de déployer une stratégie pour stimuler les entreprises céréalières à introduire des pratiques agronomiques visant à accroître le taux de matière organique des sols.

Sans entrer dans les détails, notons que différentes pratiques agronomiques peuvent être mises en place en vue d'accroître la matière organique des sols. Voici quelques exemples :

- Faire des apports de fumier ou de composts
- Intégrer aux rotations de cultures des espèces laissant davantage de matières ligneuses au sol
- Utiliser des cultures de couverture (en dérobée ou en intercalaire)
- Adopter des pratiques agricoles de conservation qui maintiennent au moins 30 % de résidus après semis (travail minimum du sol)
- Réduire l'érosion des sols pour retenir les particules organiques et maintenir une bonne épaisseur de la couche arable du sol (ex. : à l'aide de haies brise-vent, de structures de conservation de l'eau, de cultures de couverture non enfouies à l'automne, etc.).

Un des enjeux pour favoriser l'adoption de pratiques favorables à l'accroissement de la matière organique dans le sol vient du fait que les coûts pour le producteur sont en général à court terme tandis que les bénéfices se feront ressentir à moyen long terme dans la mesure où l'amélioration du taux de matière organique dans le sol n'est jamais immédiate. À cet égard, étant donné le bénéfice environnemental et intergénérationnel d'une amélioration de la teneur en matières organiques dans le sol, des programmes d'aide à l'adoption de meilleures pratiques devraient être déployés pour accélérer l'adoption par les producteurs de pratiques favorables à l'accroissement de la matière organique dans le sol².

Il est intéressant de constater qu'aux États-Unis, plusieurs programmes d'aide financière gérés par l'USDA sont disponibles pour les producteurs agricoles en vue d'intégrer différentes pratiques agricoles de conservation. Voici deux exemples de ces programmes :

- Environmental Quality Incentives Program (EQIP)³
 - Programme offert aux entreprises agricoles visant l'adoption de pratiques de conservation des ressources sol, eau, air. L'appui fourni peut être sous forme de ressources financières (pour couvrir une part des

² À noter que la matière organique deviendra un enjeu grandissant avec les changements climatiques (voir point portant sur la température et les précipitations un peu plus loin dans la présente section.)

³ <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/programs/financial/eqip/>

- dépenses liées à l'adoption des pratiques de conservation) ou d'appui technique (notamment pour l'élaboration d'un plan d'action approprié pour chaque entreprise).
- Quelques exemples de pratiques subventionnées par le programme : cultures de couverture, grands tunnels, production biologique, différentes pratiques visant à réduire l'érosion des sols, etc.
 - Conservation Stewardship Program (CSP)⁴
 - Dans le cadre de ce programme, un contrat d'une durée de cinq ans avec option de renouvellement pour cinq années supplémentaires est établi entre le NRCS et le producteur. Ce contrat cible des mesures de conservation de l'environnement et des ressources à mettre en place sur l'entreprise agricole.
 - Quelques exemples de pratiques couvertes par le programme : travail réduit du sol ou semis direct, cultures de couverture, bandes riveraines, gestion de l'irrigation, utilisation de paillis, etc.
 - La subvention s'élève à un minimum de 1 500 USD/an et à un maximum de 40 000 USD/an en fonction des pratiques mises en place et des États concernés.

La température et les précipitations

Sans grande surprise, la température ((UTM) et les précipitations sont des facteurs déterminants des rendements des grains au Québec. Comme l'ont démontré les modèles économétriques, mentionnons l'impact négatif qu'ont sur les rendements, les variations de température et les précipitations.

En raison de l'accroissement des UTM et de la période de végétation, les changements climatiques devraient avoir des effets bénéfiques sur les rendements, mais ceux-ci devraient également être accompagnés par de plus fortes variations de température et de précipitations⁵. Selon le résultat de nos analyses, de plus grandes variations météorologiques devraient se traduire par des effets négatifs sur les rendements.

Ici encore, plusieurs pratiques agronomiques peuvent être employées par les producteurs pour minimiser les impacts négatifs. Par exemple, pour assurer un meilleur drainage et une meilleure infiltration de l'eau dans les champs lors de périodes de pluies intenses, les producteurs pourraient, en fonction des réalités de l'entreprise, favoriser des pratiques de conservation du sol (ex. travail réduit), réduire la circulation à des endroits spécifiques dans les champs pour limiter la compaction, intégrer dans leur rotation de cultures des espèces reconnues pour leurs propriétés structurantes, etc.⁶. Le secteur aurait donc intérêt à déployer, notamment en lien avec les pratiques favorables à l'accroissement de la matière organique, une stratégie pour réduire les effets négatifs des changements climatiques sur les rendements des grains.

En ce sens, notons que le secteur maraîcher québécois s'est penché sur cette problématique.

Une étude récente commandée par l'Association des producteurs maraîchers du Québec⁷ a mis en relief les risques climatiques étudiés qui demeureront préoccupants durant les prochaines décennies. Il s'avérera donc important pour les producteurs agricoles de tirer profit des opportunités liées aux changements climatiques, tout en veillant à réduire les impacts négatifs. De plus, cette étude a permis d'identifier des pratiques agricoles qui permettent d'accroître la résilience des entreprises agricoles face aux risques climatiques, dont l'accroissement de la matière organique dans le sol.

⁴ <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/programs/financial/csp/>

<https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/cspsearch/national/programs/financial/csp/?lu=ALLL&rc=ALLR#cspTable>

⁵ Forest Lavoie Conseil, 2016. Évaluation des principaux risques climatiques actuels sur les cultures maraîchères afin d'identifier les besoins d'adaptation et les technologies potentielles

⁶ D'autres pratiques intéressantes pour favoriser le drainage et l'infiltration de l'eau sont nommées dans un article récent du Bulletin des agriculteurs.

https://www.lebulletin.com/cultures/quand-moins-de-labours-enrichis-le-sol-91548?utm_source=Le%20Bulletin&utm_campaign=7f639304b4--%202018-03-26&utm_medium=email&utm_term=0_0961ccbe09-7f639304b4-87316514

⁷ Forest Lavoie Conseil, 2016. Évaluation des principaux risques climatiques actuels sur les cultures maraîchères afin d'identifier les besoins d'adaptation et les technologies potentielles

En continuité de cette étude, un projet est en cours et vise à développer un outil de diagnostic simple et convivial pour identifier les principales forces et faiblesses d'une entreprise maraîchères face aux risques climatiques. Différents outils sont en cours d'élaboration afin d'aider le producteur à cibler des mesures d'atténuation à mettre en œuvre pour mieux gérer les risques climatiques. Cet outil diagnostique pourrait être facilement adapté pour le secteur des grains.

Dans le secteur maraîcher, différentes pistes de solutions potentielles ont été identifiées pour les six principaux risques climatiques documentés. Les pistes de solutions proposées au producteur découlent d'un exercice de diagnostic de sa ferme. La sélection des pratiques à mettre en place est réalisée conjointement par le producteur et son conseiller en considérant les différents aspects de l'environnement de production. Soulignons, à titre d'exemple, quelques-unes des pistes de solutions qui peuvent être proposées au producteur maraîcher en fonction des résultats de son diagnostic :

- Utiliser des cultures de couverture (en dérobée ou en intercalaire) et s'assurer que les sols sont protégés à l'automne et à l'hiver
- Intégrer des brise-vents pour réduire l'érosion des sols pour retenir les particules organiques et maintenir une bonne épaisseur du sol
- Sélectionner les variétés en considérant leur résistance aux conditions d'humidité abondante, à la sécheresse et aux maladies.
- Etc.

Pour le secteur des grains, il s'avérera nécessaire dans un premier temps de bien documenter les risques climatiques qui affectent ses cultures. Par la suite dans un projet pilote, il sera question d'adapter l'outil de diagnostic et de valider ou de préciser les pistes de solutions potentielles à mettre en place en fonction des risques climatiques prépondérants dans le secteur.

La fertilisation

Les analyses démontrent que l'utilisation globale de la fertilisation au Québec est positive et qu'elle approche son niveau optimal. En effet, la fertilisation a un impact positif sur les rendements, mais cet impact est décroissant au fur et à mesure qu'on intensifie son utilisation. Cela ne doit pas être interprété comme si nous avons atteint un optimum au niveau de la fertilisation. Cela signifie plutôt une individualisation des recommandations en ce qui concerne les doses d'application optimale d'un point de vue économique. En effet, il serait important que les doses d'application soient optimisées en prenant en compte à la fois les coûts marginaux et les revenus marginaux associés à un accroissement des doses de fertilisation.

À cet égard, notons les travaux récents de Mme Lucie Kaplan, Ph. D. de la Coop fédérée qui ont été présentés au Rendez-vous végétal le 7 février dernier. Mme Kaplan indiquait que pour optimiser économiquement les doses d'azote, il était nécessaire de considérer plusieurs variables tels la date de semis, la texture du sol, la pluviométrie, la régie d'application et le potentiel de rendement. Ses analyses démontrent également que dans le cas de champs à haut potentiel de rendement, les doses économiquement optimales à appliquer peuvent être supérieures aux recommandations du CRAAQ. Les conclusions de son étude sont résumées dans la Revue le Coopérateur⁸. Ici encore, les résultats font ressortir l'importance pour les producteurs, d'établir les doses économiquement optimales en fonction de la réalité spécifique de leurs champs.

L'innovation, l'amélioration génétique et la régie des cultures

La variable temps est utilisée dans le modèle économétrique pour capter l'innovation technologique, l'amélioration génétique et l'amélioration de régie des cultures. Cette variable qui est positive et significative indique, sans grande surprise, que le transfert technologique, l'amélioration génétique et la régie des cultures sont des éléments clés de la réussite en ce qui concerne les rendements de grains. Toutefois, couplé aux résultats du taux de croissance (section précédente où l'on démontre que le Québec tire aussi bien son épingle du jeu que les autres régions étudiées), on peut conclure que le secteur des grains québécois réalise globalement un aussi bon travail que les autres régions à l'étude; c'est pourquoi il appert nécessaire de maintenir les efforts consentis au niveau de l'innovation et de l'amélioration de la régie des cultures pour maintenir un taux de croissance similaire aux autres régions.

La création d'une banque de données centralisée

Comme mentionné précédemment, l'accès à l'information a été un défi important dans la réalisation de ce projet. Il n'existe pas de série de données historiques facilement accessible ni disponible dans un endroit centralisé. Sans la collaboration et l'appui des membres du secteur, la réalisation de cette étude aurait été sérieusement compromise.

Une dernière piste d'action que nous souhaitons ajouter aux précédentes est la création d'une banque de données centralisées où l'ensemble des informations pertinentes sur les rendements des grains devraient être conservées par un organisme sectoriel, accessible à l'ensemble des membres du secteur des grains au Québec. Les principaux membres du secteur pourraient ainsi se réunir afin de préciser les données à colliger et identifier l'organisme qui serait responsable de la collecte et de la gestion de la banque de données.

⁸ <http://www.coopérateur.coop/fr/affaires-agricoles/quelle-dose-dazote-est-optimale-dans-le-mais>

1. Contexte, problématique et objectifs

1.1 Contexte de réalisation

Dans le cadre de la réalisation de leur plan stratégique de l'industrie des grains 2012-2016, le GCSGQ a identifié et retenu comme un des objectifs prioritaires, la réalisation d'un diagnostic sur les causes à l'origine de la diminution/stagnation des rendements de plusieurs cultures au Québec.

On peut y lire que : « ...malgré les progrès réalisés en génétique et l'amélioration des technologies et des techniques de production, certaines cultures connaissent une diminution ou une stagnation de rendement depuis le début des années 1990. Les céréales à paille (avoine et orge) et le soya connaissent les baisses de rendement les plus importantes. Les rendements du maïs sont en croissance, mais sans toutefois suivre les gains de productivité réalisés chez nos concurrents ontariens et américains. S'il y a un consensus dans le secteur sur l'urgence de cette problématique, les causes qui expliqueraient ces baisses de rendements demeurent mal connues. Plusieurs pistes ont été évoquées dont la fertilisation, le manque de cultivars adaptés, la dégradation de la qualité des sols, les pratiques culturales inadéquates, etc. Un sérieux coup de barre doit être donné pour mieux comprendre les causes à l'origine de cette diminution de rendements et y remédier. Jusqu'à ce jour, les études sur les rendements se font rares et mettent l'accent sur un seul facteur sans tenir compte de la globalité de la situation. Ce projet vise donc à élaborer un diagnostic sur l'identification des facteurs expliquant l'évolution des rendements en grandes cultures au Québec à l'aide d'une étude scientifique et statistiquement valide de l'ensemble des facteurs potentiels afin de répondre à ce besoin du secteur des grains ».

Ainsi le GCSGQ souhaitait identifier des facteurs explicatifs de l'évolution des rendements en production de grains au Québec pour les cultures suivantes :

- les céréales à paille (orge, avoine et blé)
- le maïs-grain
- les oléagineux (soya et canola).

1.2 Objectifs et étapes de réalisation

Objectif général

L'objectif général du projet était d'identifier les facteurs les plus significatifs capables d'expliquer l'évolution (stagnation, diminution, augmentation) des rendements de même que le rythme de productivité (baisse, gain) des principales productions de grains au Québec.

Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques étaient de :

1. Comparer le Québec par rapport aux autres régions productrices en Amérique du Nord, soit :
 - L'Ontario
 - L'Ouest canadien
 - Les principaux États américains
2. Comparer entre elles les différentes régions administratives du Québec
3. Identifier les principaux facteurs selon une approche statistique/économétrique
4. Analyser les facteurs identifiés avec un comité de suivi
5. Identifier les principales pistes d'action à apporter.

Nous reprendrons plus en détail ces différentes étapes et les résultats dans les sections suivantes.

2. Démarche et approche méthodologique

Dans cette section nous présentons les éléments suivants :

- ⇒ Formation du Comité de pilotage et rencontres sectorielles
- ⇒ Revue de littérature
- ⇒ Méthode d'analyse des niveaux, des tendances, de la variabilité et des facteurs explicatifs des rendements historiques

2.1 Formation du Comité de pilotage et rencontres d'organisations sectorielles

Un comité de suivi a été formé et des rencontres ont été tenues afin d'assurer le suivi du projet et échanger sur les facteurs explicatifs des rendements des grains. Le GCSGQ a été rencontré à deux reprises afin de leur présenter le projet et son évolution. Nous avons rencontré 5 organisations impliquées dans la production des grains au Québec (PGQ, MAPAQ, APNC, CRAAQ et ANCQ) pour leur faire part de quelques résultats préliminaires et échanger sur les principaux facteurs déterminants à analyser de même que sur les sources d'information disponibles. La disponibilité de série de données historiques pour réaliser les analyses économétriques et statistiques a été un enjeu important dans la réalisation de ce projet. Grâce à la collaboration des membres du GCSG, de La Financière agricole du Québec et d'Agriculture et agroalimentaire Canada, nous avons été en mesure d'obtenir les données nécessaires à la réalisation des analyses statistiques. Nous tenons à les remercier, car sans leur contribution la réalisation de l'étude aurait été compromise.

Le tableau ci-après présente les organisations, la date et le lieu des rencontres tenues.

Tableau 1 : Liste des rencontres dans le cadre du projet sur le rendement des grains

Organisation	Date	Lieu
Groupe de concertation du secteur des grains du Québec	24 avril 2017	Saint-Hyacinthe
Groupe de concertation du secteur des grains du Québec	2 juin 2017	Saint-Hyacinthe
Producteurs de grains du Québec	30 août 2017	Longueuil
MAPAQ	13 octobre 2017	Québec
Association professionnelle en nutrition des cultures (APNC)	1 ^{er} décembre 2017	Saint-Hyacinthe
Comité grandes cultures du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ)	8 décembre 2017	Drummondville
Association des négociants en céréales du Québec (ANCQ)	15 janvier 2018	Mont-Saint-Hilaire

La sous-section suivante présente le résultat de la revue de littérature que nous avons réalisée.

2.2 Revue de littérature

Il existe une multitude d'études qui portent sur le secteur des grains et qui visent l'explication du niveau et de l'évolution des rendements entre diverses régions ou dans une période de temps déterminée, de même que l'identification des facteurs responsables du niveau de rendement et de son évolution. L'objectif ici n'est pas d'effectuer une revue de littérature exhaustive, mais de relever certaines des études les plus pertinentes pour les besoins de ce rapport.

Runge et Odell (1958) rapportent que dès 1914, Smith (1914, in Odell) a analysé le lien entre le rendement du maïs et les précipitations aux États-Unis. Selon les résultats de cette étude, les précipitations de mi-juillet à mi-août sont cruciales dans l'explication des rendements du maïs. La technique utilisée par Smith repose sur l'analyse de la corrélation entre les deux variables (précipitations et rendement). Bien qu'elle puisse mesurer le degré avec lequel les deux variables varient l'une par rapport à l'autre, cette technique ne permet pas de déterminer l'ampleur du lien qui les unit. Tel que Runge et Odell (1958) le soulignent, exprimer mathématiquement la relation entre le rendement du maïs et les variables climatiques demeure très difficile. En effet, on peut comprendre qu'à cette époque cet élément présentait des limites importantes pour les analyses et que de nos jours, ces limites ont été grandement repoussées.

Swanson et Smith (1971) ont observé que les rendements sont croissants dans le temps et se sont questionnés sur la croissance potentielle de la variabilité de ce rendement. Ces auteurs ont utilisé une tendance linéaire des rendements dans le temps et ont observé la déviation des rendements réels de la tendance. Ils ont comparé ainsi deux périodes, soit les années 1950 et les années 1960. Les résultats montrent une croissance des rendements sur l'ensemble de la période à l'étude (1950-1969), mais ne permettent pas de conclure que la variabilité s'est accrue.

Plusieurs études ont par la suite porté sur l'explication de l'évolution des rendements et les facteurs qui les influencent (entre autres : Garcia et al. (1987), Cerrato et Blackmer (1990), Ait Hamza (1998), Pouzet et Delplancke (2000), Olesen et Bindi (2002), Gallais et al. (2010), Weersink et al. (2010)). Parmi les principaux facteurs analysés comme éléments explicatifs du niveau et de l'évolution des rendements figurent les précipitations, le changement technologique (temps), les fertilisants, et les changements climatiques.

Tannura et al (2008) se sont interrogés sur l'impact des conditions climatiques et de la technologie sur les rendements du maïs, du blé et du soya dans le Corn Belt américain. Les travaux de Tompson (1963) ont fortement influencé ces auteurs. Tannura et al (2008) présentent une excellente revue des méthodes destinées à évaluer le lien entre le rendement d'une culture, les conditions climatiques et la technologie. Les auteurs classent ces méthodes en deux groupes. Le premier porte sur les méthodes de simulation qui évaluent directement les effets des précipitations et des caractéristiques du sol sur la physiologie des plantes. L'autre groupe consiste en des modèles de régressions multiples qui permettent d'évaluer le lien entre la technologie (approximé par le temps) et les diverses variables ayant des impacts sur les rendements, telles les précipitations. Ces modèles sont particulièrement utiles pour comparer des cultures de diverses régions ou sous-régions et permettent aussi de faire des prédictions quant aux effets possibles des variables explicatives retenues. Tannura et al. (2008) ont ciblé les États de l'Illinois, de l'Indiana et de l'Iowa en raison du fait qu'ils sont d'importants producteurs de maïs et de soya et qu'ils ont des conditions climatiques similaires. Les auteurs utilisent une équation quadratique expliquant les rendements en fonction des précipitations et températures des mois d'été en incluant une variable temps exprimant les changements technologiques. La variable précipitation prend la forme quadratique pour refléter les effets négatifs des précipitations trop importantes sur la plante. Le modèle utilisé est performant sauf pour certaines années. La technologie est une variable importante dans l'explication de l'évolution des rendements. Cependant, les auteurs soulignent que les variables de climat (température et précipitations) sont non négligeables dans cette tendance et qu'il faut être prudent lorsque vient le moment de prétendre que l'accroissement des rendements observés dans le temps provient des changements technologiques. Ils soulignent également que les projections de la croissance des rendements, lorsque les résultats ont été ajustés pour l'impact

de la température, ne sont pas si évidentes, suggérant la prudence pour prévoir la capacité à accroître le niveau de production totale pour le futur.

Chengyi et al. (2015) après avoir analysé la tendance dans les rendements du maïs de l'est des États-Unis et le niveau des précipitations, ont étudié à l'aide de modèles de régression simples, le lien entre ces deux variables. Les auteurs soulignent que, bien que d'autres variables telles la température, la régée, la grêle, le niveau de fertilité des sols, les insectes, les maladies et la pression exercée par les mauvaises herbes soient significatives, il ne fait aucun doute que les précipitations représentent un des principaux facteurs expliquant le rendement du maïs. De plus, ce sont les précipitations qui ont l'impact le plus important lors des mois de pollinisation dans les régions du Nord-Est. Dans le Sud-Est, les auteurs ont montré que les rendements du maïs sont moins affectés lorsque les précipitations en saison de croissance ne varient pas de manière importante.

Llano et al. (2012) ont analysé, sur la base de modèles de régression multiple, l'impact de la variabilité climatique sur les rendements du soya et du maïs en Argentine, aux États-Unis, au Brésil et en Chine. Selon les auteurs, la variabilité climatique implique une variabilité dans les rendements qui est indépendante du changement technologique. Plusieurs modèles ont été estimés afin de tenir compte des différents stades de croissance de production. Les variables explicatives sont les précipitations accumulées, la température maximale moyenne et la température maximale et minimale au cours de la saison végétative. Une variable de tendance fut également introduite dans l'analyse afin de tenir compte des changements technologiques et faire ressortir l'impact de la variabilité climatique. Les précipitations ont été la variable la plus significative dans l'explication des rendements. Cet impact différait cependant selon la distribution des précipitations au cours de la saison. Le modèle le plus performant inclut la température maximale de même que l'accumulation des précipitations dans chaque stade de croissance. Les divers modèles expliquaient entre 25% et 73% de la variabilité des rendements.

Xu et al. (2013) ont analysé l'impact des semences génétiquement modifiées sur les rendements du maïs et du soya depuis leur introduction en 1990. L'étude porte sur l'évolution des rendements de ces deux productions entre 1964 et 2010 aux États-Unis. Les auteurs utilisent un modèle de régression multiple dont les variables explicatives sont la technologie disponible, les différences technologiques entre les régions, le taux d'adoption des variétés génétiquement modifiées, la température, les précipitations, les fertilisants appliqués et d'autres variables spécifiques régionales, telle la qualité du sol. Les résultats montrent que l'adoption de semences génétiquement modifiées a eu un impact significatif sur les rendements du maïs, mais n'a pas montré d'impact sur le soya.

Fisher et al. (2014) soulignent qu'en 2008, la compagnie Monsanto prédisait que la croissance des rendements du maïs doublerait entre 2000 et 2030, principalement à cause des avancées biotechnologiques. D'un autre côté, Duvick et Cassman (in Fisher 2014) soulignent que les rendements du maïs ont déjà atteint un plateau malgré les dépenses importantes en recherche et développement, ce que confirment Fisher et al. (2014). C'est dans cette optique que les auteurs proposent d'analyser la tendance dans la croissance des rendements du maïs, du riz, du blé et du soya et d'en déterminer les facteurs explicatifs. Selon les auteurs, l'importance de ces cultures n'est plus à prouver puisqu'elles fournissent 2/3 des calories et protéines dans le monde. De plus, Fisher et al. mentionnent que la demande pour ces cultures augmentera de 60% entre 2010 et 2050 avec une plus forte croissance pour les 20 premières années. De plus, on peut s'attendre à une croissance des surfaces en culture d'environ 10% au cours de la même période, d'où l'importance de bien connaître les facteurs responsables de la croissance des rendements. Les résultats obtenus par Fisher et al. (2014) illustrent que plusieurs facteurs peuvent expliquer la croissance des rendements et ceux-ci peuvent varier selon la culture et la région étudiée. Ces facteurs identifiés par les auteurs sont : la technologie, qui représente la principale cause de croissance des rendements, les surfaces cultivées, la localisation, la qualité des semences, la concentration de CO₂, le niveau d'ozone qui, selon Horie et al. (2005, in Fisher et al.) augmente d'environ 0,2% par année, la température saisonnière, les changements dans la qualité des sols, les politiques (.ex : subventions sur les engrais, drainage, etc.), le coût des semences et le prix du marché pour les produits.

Dans l'objectif de permettre une meilleure prédiction de l'offre future des céréales et des surfaces cultivées, Finger (2010) a analysé les tendances de la croissance des rendements et de leur variabilité. L'auteur a utilisé une analyse de régression simple dans l'analyse de la tendance de croissance des rendements et dans l'identification de l'atteinte d'un plateau de croissance de ces rendements. L'analyse de la variabilité a été effectuée en régressant les résidus obtenus de la régression de tendance linéaire (Yobservé – Yestimé) en fonction du temps. L'analyse concerne la production de maïs, d'orge, de triticale, d'avoine, de blé et du seigle en Suisse pour la période 1961 à 2006. L'auteur démontre qu'une tendance significative croissante est présente pour toutes les productions lorsque le modèle linéaire est utilisé. Les résultats expliquent entre 79% et 94% de la variabilité des rendements. L'utilisation d'un modèle quadratique montre cependant des résultats plus performants pour l'avoine, le triticale et le blé, ce qui dénote une saturation des rendements. Les résultats expriment également une croissance de la variabilité des rendements pour le blé et le seigle. Bien que la tendance soit positive pour le maïs, le triticale et le blé, celle-ci n'était cependant pas significative. Il en est de même pour la tendance négative pour l'avoine. L'auteur poursuit son analyse en citant une série de facteurs qui pourraient expliquer l'évolution de ces rendements. Ainsi, l'érosion, la qualité du sol, la disponibilité de l'eau et les conditions climatiques défavorables sont les facteurs susceptibles selon lui, d'affecter les rendements. L'auteur soupçonne cependant d'autres facteurs responsables des tendances observées, comme les changements des politiques environnementales et la baisse des prix comme des facteurs potentiels explicatifs. L'auteur suggère donc qu'une analyse plus poussée soit réalisée pour mesurer l'impact de l'introduction d'une politique agroenvironnementale.

Chebil et al. (2011) ont analysé l'impact de variables climatique sur la productivité des cultures céréalières (blé, blé tendre et orge) dans la région de Béja (Tunisie) pour la période 1980 à 2009. Les variables explicatives retenues, sont les précipitations des mois de novembre-décembre, les précipitations des mois de mars-avril, la température maximale moyenne des mois de mars-avril, la température minimale moyenne des mois novembre-décembre et une tendance temporelle comme variable représentant le progrès technologique. L'impact des changements climatiques se mesure par l'utilisation d'un modèle de simulation dont les résultats sont introduits dans le modèle estimé. Les résultats montrent que les variables retenues expliquent une grande partie de l'évolution des rendements des céréales. Les précipitations de novembre-décembre et de mars-avril, de même que la variable représentant le progrès technologique sont significatives au seuil de 10%. Selon les résultats obtenus, la température ne semble pas avoir d'effet significatif sur les rendements. Les auteurs ont testé l'interaction entre les variables température et précipitation. Les résultats montrent que cette variable affecte négativement les rendements des céréales. Ainsi, selon les auteurs, une augmentation des températures et des précipitations accroît les risques de maladies et par le fait même, diminue les rendements.

Huang et Khanna (2010) proposent d'analyser le lien qui existe entre le rendement et les surfaces en culture et les changements climatiques. Les auteurs soulignent qu'il n'y a pas d'unanimité dans la littérature en ce qui concerne l'impact de la croissance des superficies ensemencées sur le rendement des céréales. Les auteurs proposent plusieurs modèles économétriques liant le rendement et les surfaces en culture, à des variables climatiques, au prix des céréales, à la technologie et à la qualité des sols. Les variables climatiques sont représentées par les précipitations mensuelles moyennes (un terme quadratique est aussi utilisé pour cette variable), la durée en jours de la saison de croissance et la déviation mensuelle de la température (température maximale – température minimale). Le prix des fertilisants et le prix des céréales de la saison précédente sont aussi utilisés. La technologie est désignée par la surface irriguée et l'année qui capture le progrès technologique. Les auteurs ont décidé de laisser tomber la variable reflétant la qualité des sols, celle-ci n'étant pas disponible.

Minten et al. (1997) ont analysé l'évolution des rendements du riz à Madagascar. Dans un premier temps, pour expliquer les rendements des cultures, les auteurs ont identifié une série de facteurs connus du milieu scientifique. L'accessibilité aux intrants, les variétés utilisées, la régie, l'irrigation, la fertilité du sol, le climat et les précipitations ont été les facteurs retenus. Les auteurs ont analysé le niveau d'utilisation de ces divers facteurs dans différentes régions dans le but de déterminer

lesquels sont susceptibles d'expliquer la différence de rendement. Ils ont par la suite employé une analyse de régression afin de lier le niveau de divers facteurs explicatifs au rendement du riz. Les facteurs qui ont été retenus sont la technologie et le prix des produits agricoles.

Le tableau ci-après résume les différents facteurs explicatifs des rendements qui ont été répertoriés dans la littérature que nous venons de présenter.

Tableau 2 : Principaux facteurs explicatifs répertoriés dans la revue de littérature

Facteurs climatiques		
• Saison de croissance	• Date de récolte	• Eau
• Température	• Changement climatique	• Risques climatiques
• Précipitations	• CO2	• Variations température/précipitations
• Humidité	• Ozone	• Latitude
• Interaction température/précipitations	• Radiation	• Polluants
Intrants		
• Fertilisants (prix et type – minéraux et organiques)	• Pesticides	• Caractéristiques des cultivars
• Azote	• Technologie	• Irrigation
	• Type de semence	• Accès au capital
Pratiques culturales		
• Labour	• Rotation	• Résidus aux champs
Condition des sols et des cultures		
• Fertilité	• Maladies	• Surface de feuilles
• Nutriments	• Mauvaises herbes	• Surfaces récoltées
Support à la production		
• Accès aux services d'extension	• Dépenses publiques	• PIB per capita
• Outils de vulgarisation	• Infrastructures	•
Changements technologiques		
• Variable tendance (années)	•	•

Dans le cadre du projet, nous avons déployé de grands efforts pour répertorier les différentes sources d'information nous permettant de tester ces différents facteurs explicatifs. L'accès à l'information a été un défi important dans la réalisation de ce mandat. Il n'existe pas de série de données historiques facilement accessible ou disponible dans un endroit centralisé. Nous reviendrons davantage sur cette faiblesse sectorielle dans l'analyse et les pistes d'action (section 4). Nous présentons à la section 4 du présent rapport, les informations que nous avons été en mesure de colliger.

Les objectifs poursuivis dans cette étude nous amènent à utiliser différentes méthodes d'analyse qui ont pour base l'économétrie, à l'instar de plusieurs des études précédemment citées. En effet, l'économétrie nous permet de déterminer les liens qui unissent un phénomène à certaines variables, qu'elles soient économiques ou techniques. Les méthodes analytiques utilisées sont présentées à la sous-section suivante.

2.3 Méthode d'analyse des niveaux, des tendances, de la variabilité et des facteurs explicatifs des rendements historiques

Analyse des taux de croissance

Il existe plusieurs façons de calculer un taux de croissance annuelle d'une série de données. Dans une note, Martens⁹ présente de manière simplifiée, celle que nous retenons dans cette étude. L'approche utilisée est la suivante¹⁰ :

$$(1) \quad y_t = y_0(1+r)^t.$$

Où y_0 est la valeur de départ de la série qui croît à un taux « r » pendant t années et « y_t » est la valeur à la fin de la période à l'étude. Afin de simplifier les calculs, il est recommandé de linéariser cette formule de la façon suivante :

$$(2) \quad y_t = \ln y_0 + \ln(1+r)t$$

L'équation (2) est une équation linéaire estimable par la méthode des moindres carrés ordinaires. L'estimation par les moindres carrés ordinaires de cette fonction nous permet d'obtenir la valeur $\ln(1+r)$. C'est la valeur du paramètre « r » qui nous intéresse et qui représente le taux de croissance (ou de décroissance) d'une série, le tout multiplié par 100 pour obtenir le pourcentage de croissance annuelle moyen. Cette méthode nous permet également de déterminer d'un point de vue statistique, si le taux de croissance obtenu « r » (qui peut être positif ou négatif selon que l'on est face à une croissance ou à une décroissance) est significatif ou non.

Certaines études régressent directement les valeurs du rendement des diverses cultures en fonction de l'année, de la manière suivante :

$$(3) \quad rdt_t^c = \alpha + \beta(A_n)$$

Ici, β représente la croissance absolue annuelle (en kg par hectare par exemple). Ainsi, il est plus difficile de comparer cette croissance avec une autre culture dont les rendements annuels moyens seraient plus importants ou moindres. L'approche que nous retenons permet une comparaison sur une base commune, soit en pourcentage.

Dans le cas qui nous préoccupe, nous estimerons le taux de croissance des rendements dans les diverses régions à l'étude, et ce pour l'ensemble de la période retenue (1981 à 2016) ou selon la disponibilité des données.

L'analyse de l'atteinte d'un plateau

Comme nous l'avons vu dans la revue de la littérature, plusieurs experts s'interrogent sur la présence ou non d'un essoufflement quant à la croissance des rendements moyens au cours des récentes années. Afin de déterminer si de telles observations peuvent être notées quant aux rendements des cultures à l'étude dans les diverses régions retenues, nous procéderons ici encore avec l'analyse de régression (moindres carrés ordinaires). Pour atteindre cet objectif et à l'instar de Hafner (2003)¹¹, l'équation suivante sera estimée pour chaque culture et pour chacune des régions à l'étude.

$$(4) \quad rdt_t^c = \alpha + \gamma (A_n) + \varphi (A_n)^2$$

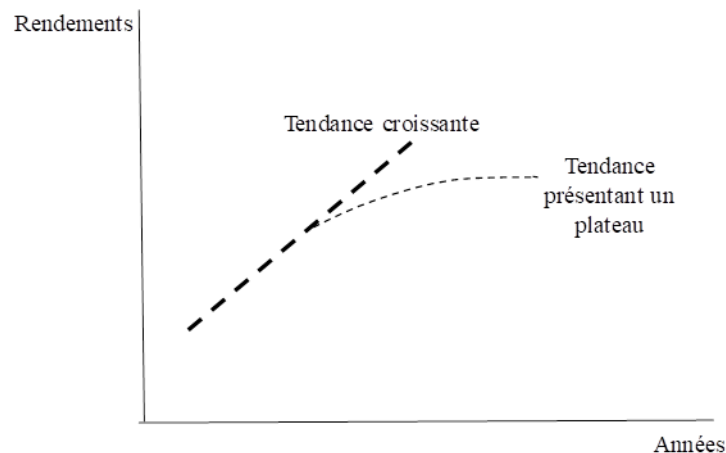
où γ et φ sont les paramètres à estimer dont la valeur attendue est respectivement positive et négative. Cette façon de faire nous permet de déterminer, tel qu'illustré à la figure 1, si la tendance dans la croissance du rendement moyen annuel « s'essouffle » et présente un plateau.

⁹ Économie du développement – Les notes de repère du Professeur Martens. Université de Montréal. Février 2006

¹⁰ Cf : http://neumann.hec.ca/sites/cours/6-837-77/Doc/Chap1_desc.htm ou encore : http://onlinehelp.tableau.com/current/pro/desktop/fr-fr/trendlines_model.html
et : <https://www.youtube.com/watch?v=O6rgag4-8Pk>

¹¹ ¹¹ Gallais *et al.* (2010) ont aussi estimé l'évolution des rendements de plusieurs céréales, mais ont utilisé la régression linéaire pour la période 1955 à 2008, puis ont scindé la période en deux de 1995 à 1989 et 1990 à 2008 pour comparer par la suite les résultats afin de voir si des différences de croissance existent.

Figure 1 : Illustration de la présence d'un plateau dans l'évolution des rendements



Ici encore, l'utilisation de la méthode des moindres carrés nous permet de déterminer quel type de tendance s'applique selon le degré de signification du paramètre « ϕ » dans l'équation (4). Si le paramètre « ϕ » de l'équation (4) n'est pas significatif (et négatif) d'un point de vue statistique, nous ne pourrions pas conclure à la présence d'un plateau.

L'analyse des facteurs explicatifs de l'évolution des rendements

Tel que mentionné, plusieurs études ont analysé les causes de l'évolution des rendements moyens de diverses cultures et en particulier le maïs, le blé et l'orge. Dans cette étude, nous utilisons l'approche proposée par Weersink et al. (2010) et Tannura (2008) qui permet, entre autres, l'identification des facteurs responsables de l'évolution des rendements, ce qui est un des principaux objectifs de ce rapport. Telle que présentée par Weersink et al., cette approche offre aussi la possibilité de connaître l'effet des facteurs explicatifs sur la variabilité observée des rendements.

L'approche proposée est la suivante :

$$(5) \quad Rdt_t = f(X_t, \beta) + h^{1/2}(X_t, \alpha)\epsilon_t$$

Où Rdt_t est le rendement de la culture à l'étude au temps t , X_t sont les variables qui expliquent les rendements (variables explicatives) (ex : température, précipitations, qualité des sols, etc.), $f(\cdot)$ est la relation qui existe entre le rendement et les variables explicatives avec β représentant les paramètres à estimer. L'expression $h^{1/2}(X_t, \alpha)$ représente la variabilité des rendements, où α sont les paramètres à estimer et ϵ est le terme d'erreur. En pratique, Weersink et al. proposent l'estimation des deux équations pour chaque culture à l'étude :

$$(6) \quad Rdt = \beta_0 + \beta_1 \text{Température} + \beta_2 \text{Précipitations} + \beta_3 \text{Qualité du sol, etc..} + e$$

$$(7) \quad Lne^{*2} = \alpha_0 + \alpha_1 \text{Température} + \alpha_2 \text{Précipitations} + \alpha_3 \text{Qualité du sol, etc..} + \mu$$

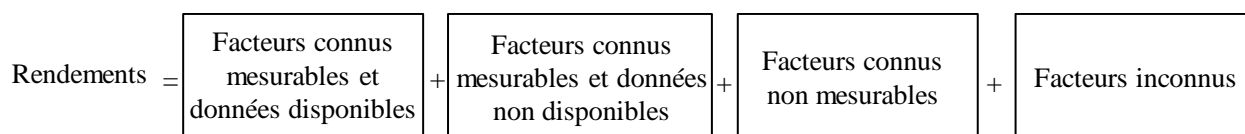
Où Lne^{*2} sont les résidus au carré de l'équation (7).

De manière simplifiée, l'équation (6) permet de déterminer les facteurs qui expliquent les rendements des cultures à l'étude et l'équation (7) permet de connaître l'effet des mêmes variables sur la variabilité des rendements. Dans chaque équation, les auteurs proposent d'inclure une variable de tendances (années) afin de refléter les changements technologiques et améliorations génériques. L'approche de Weersink et al. concernant la partie explicative des rendements sera utilisée dans cette étude.

Limites liées à la méthode utilisée

L'analyse proposée permet tel que mentionné, d'identifier les facteurs qui sont responsables de l'évolution des rendements des cultures à l'étude. La mesure des facteurs qui sont susceptibles d'être responsables de l'évolution des rendements de même que leur disponibilité est une condition essentielle à l'obtention de résultats satisfaisants. Ceci implique également que ces facteurs soient connus et les mesures disponibles, ce qui signifie que certains facteurs soient mis de côté faute de données. Ainsi, on peut illustrer l'évolution des rendements de la façon suivante :

Figure 2 : Nature des facteurs explicatifs des rendements



Parmi les facteurs connus mesurables et disponibles, on peut penser aux précipitations, au nombre de degrés jours, au dernier jour sans gel ou encore à l'arrivée d'une nouvelle variété plus productive sur le marché. par exemple. Parmi les facteurs connus mesurables et non disponibles, on pense par exemple à l'absence d'information disponible et répertoriée pour une région, telles les précipitations. On compensera ce manque par des informations d'une autre région si l'on croit que celle-ci présente les mêmes caractéristiques. par exemple. Parmi les facteurs connus non mesurables, on peut penser par exemple au changement technologique. Ce changement se produit graduellement au cours des années, mais peu d'informations existent pour le mesurer. La façon dont les divers auteurs ont tenu compte des changements technologiques consiste à inclure une variable de tendance dans l'équation. Les facteurs non connus sont tous autres éléments de l'environnement ou des pratiques culturales par exemple qui peuvent avoir un effet, mais qui n'ont pas été encore identifiés.

L'équation (6) ci-dessus vise à identifier les facteurs responsables de l'évolution des rendements. Cette équation est estimée à l'aide des moindres carrés ordinaires et l'utilisation du coefficient de détermination (R^2) indique jusqu'à quel point les facteurs retenus dans l'analyse expliquent la variabilité des rendements observés. Ainsi, un R^2 de 60% indique que les facteurs retenus (variables côté droit de l'équation (6)) expliquent 60% de l'évolution des rendements de la culture étudiée. Plus les facteurs explicatifs retenus dans l'étude seront pertinents pour expliquer les rendements, plus élevé sera le coefficient de détermination (R^2). Cependant, tel que mentionné, les facteurs responsables de l'ensemble de la variabilité des rendements ne sont pas tous connus ou leurs mesures ne sont pas disponibles. L'utilisation de la forme fonctionnelle utilisée peut aussi entraîner des erreurs par l'utilisation de la forme fonctionnelle utilisée. Ainsi, nous n'atteindrons jamais la parfaite explication soit un R^2 de 100%.

Dans cette étude, nous utiliserons dans la mesure du possible les facteurs disponibles et mesurables pour déterminer leur impact sur les rendements des cultures à l'étude. En ce qui concerne les facteurs connus dont nous ne possédons pas de mesure ou dont les données ne sont pas disponibles sur toute la période à l'étude, la revue de littérature nous servira à leur identification et pour donner le sens de leur impact (impact négatif ou positif) sur les rendements. Des discussions avec des experts permettront aussi de compléter les informations manquantes.

La section suivante présente les résultats de l'analyse statistique comparative du niveau, de l'évolution et de la variabilité des rendements.

3. Analyse comparative du niveau, de l'évolution et de la variabilité des rendements

Plusieurs analyses de tendances dans l'évolution des rendements, leur variabilité relative, de même qu'en ce qui concerne la présence de l'atteinte d'un plateau dans l'évolution des rendements ont été effectuées selon les méthodes présentées précédemment.

Dans un premier temps, les analyses ont été faites pour le Canada et les principales régions productrices que sont le Québec, l'Ontario et les Prairies de même que pour 18 États américains. Les États retenus sont ceux de la couronne nord des États-Unis qui de ce fait, s'apparentent plus au type de climat que l'on retrouve au Canada. Les cultures étudiées sont le Maïs-grain, l'Orge, l'Avoine, le Soya, le Blé et le Canola. La période à l'étude s'échelonne de 1981 à 2016.

Dans un second temps, les mêmes analyses ont été effectuées pour les régions productrices du Québec¹². Pour celles-ci, nous avons à notre disposition les cultures du Maïs-grain, de l'Orge, de l'Avoine, du Soya et du pour la période qui s'échelonne de 1981 à 2015, sauf exception, lesquelles seront précisées dans la partie de la présentation des résultats.

Une analyse de rupture dans l'évolution des rendements a été faite afin de déterminer si la tendance semblait être modifiée par rapport à son évolution historique. À différentes reprises, pour plusieurs des productions et régions à l'étude, cette analyse a révélé que la tendance semblait s'être modifiée autour des années 1998-2002, ce qui correspond dans certains cas, à l'arrivée de nouvelles variétés. Nous avons donc choisi d'effectuer les analyses précédentes, mais cette fois pour les années 2000-2016 seulement (2000-2015 pour les régions du Québec). Cette façon de faire nous indiquera comment la tendance dans l'évolution des rendements a pu être modifiée depuis 2000, comparativement à la tendance générale 1981-2016 (1981-2015 dans le cas des régions du Québec).

Les sections qui suivent présentent l'ensemble des analyses qui ont été effectuées dans cette étude. Chaque production fait l'objet d'une sous-section qui comprend les analyses pour le Québec, l'Ontario, les Prairies canadiennes et les États américains retenus en plus d'une sous-section pour les régions administratives du Québec. Chaque section est complétée par une analyse des rendements de la région productrice du Québec montrant les meilleurs rendements par rapport à l'Ontario ainsi que l'État américain illustrant les rendements les plus élevés pour la culture en question.

3.1 Maïs : Analyse de l'évolution des rendements

3.1.1. Maïs : Le Québec par rapport aux régions canadiennes et aux États-Unis

La croissance annuelle des rendements du Maïs pour la période 1981 et 2016, dans les principales régions productrices canadiennes et américaines, est présentée au Tableau 3. Ce tableau comprend plusieurs informations.¹³ La première colonne indique les régions à l'étude. La deuxième colonne donne le nombre d'observations disponibles pour la période 1981-2016. Lorsque les informations ne sont pas disponibles pour toute la période, analysée, le nombre d'années disponibles sera indiqué dans la première colonne intitulée « Nb. Obs. ». La troisième colonne du tableau présente la moyenne des rendements pour les quatre dernières années disponibles. Cette moyenne est donnée à titre d'information seulement et n'a fait l'objet d'aucune analyse statistique. La quatrième colonne contient la moyenne de rendement des cultures à l'étude, dans ce cas-ci, celle du Maïs. Nous reviendrons sur la signification des signes « + » et « - ». La colonne 5 présente le résultat des analyses de variabilité. Ainsi, les informations contenues dans cette colonne indiquent si des différences significatives de variabilité des rendements sont observées entre ceux du Québec et des autres régions. Notons que les analyses sont faites avec la base de comparaison du Québec, c'est ce qu'indique l'ombrage à la ligne Québec. De plus, les analyses des différences de moyenne et de variabilité n'ont été effectuées que par rapport aux régions qui se situent sous la ligne du

¹² Les régions étudiées sont celles ... telles que définies par la Financière Agricole du Québec.

¹³ La structure du Tableau 1 sera reprise, dans la mesure du possible pour chacune des productions à l'étude.

Identification des facteurs explicatifs de l'évolution des rendements en production de grains au Québec

Rapport final présenté au GCSGQ

Québec dans le tableau. La moyenne des régions étant plus appropriée à l'étude, nous avons cru bon d'utiliser cette dernière plutôt que les moyennes américaine et canadienne.

La colonne 6 présente le résultat de l'analyse de plateau tel que mentionné à la section précédente. La colonne 7 quant à elle, reprend le résultat de l'analyse de tendances dans l'évolution des rendements moyens de chacune des régions pour l'ensemble de la période à l'étude et la colonne 8, illustre les résultats pour la période plus récente, soit entre 2000 et 2016. Nous reviendrons sur la signification des étoiles qui apparaissent dans ces deux colonnes. Finalement, dans le cas où la croissance (ou décroissance) est significativement différente de zéro, la dernière colonne indique l'évolution des rendements en valeur absolue (kg/an) de chacune des régions pour la période 2000-2016.

Tableau 3 : Rendements moyens et croissance annuelle moyenne du maïs, Québec

	Rendements moyens (t/ha) et croissance annuelle moyenne du Maïs (%), 1981-2016 et 2000-16							
	Nb. Obs.	Moy. 2014-16	Analyse période 1981 - 2016			Croissance 2000-2016		
			Moy. 1981-2016	Diff Variabilité	Plateau	Crois. (%/an)	Croiss.(%/an)	Croiss. (kg/an)
États-Unis	36	10,75	8,31		Non	1,46 ***	1,13 ***	109
Canada	36	9,90	7,52		Non	1,64 ***	2,60 ***	211
Québec	36	9,83	7,32		Non	1,61 ***	2,55 ***	205
Ontario	36	10,23	7,78 (+) ***	Non	Non	1,69 ***	2,74 **	229
Prairies	36	7,93	5,33 (-) ***	Non	Non	2,45 ***	2,76 ***	121
Dakota du Nord	36	8,58	6,23 (-) ***	Non	Non	2,09 ***	1,04 **	84
Dakota du Sud	36	9,79	6,46 (-) ***	Non	Non	2,54 ***	2,34 ***	187
Illinois	36	11,97	9,00 (+) ***	Non	Non	1,44 ***	0,97	
Indiana	36	10,69	8,57 (+) ***	Non	Non	1,31 ***	0,62	
Iowa	36	11,99	9,09 (+) ***	Non	Non	1,65 ***	1,07 **	114
Kansas	36	9,19	8,16 (+) ***	Qc > Ks **	Non	0,22	0,31	
Maine	n.d.							
Massachusetts	n.d.							
Michigan	36	10,04	7,62 (+) *	Non	Non	1,62 ***	2,02 ***	171
Minnesota	36	10,52	8,67 (+) ***	Non	Non	1,45 ***	1,07 ***	105
Montana	36	6,49	7,46	Non	Oui ***	0,75 ***	-2,32 ***	-182
New Hampshire	n.d.							
New York	36	8,79	7,09 (-) *	Non	Non	1,41 ***	2,09 ***	157
Ohio	36	10,21	8,31 (+) ***	Non	Non	1,36 ***	1,29	
Pennsylvanie	36	9,00	6,98	Non	Non	1,32 ***	2,17 **	152
Vermont	n.d.							
Wisconsin	36	10,42	8,03 (+) ***	Non	Non	1,41 ***	1,39 ***	129
Wyoming	36	9,29	7,64	Qc > WY *	Non	1,02 ***	0,85 ***	73

*** Significatif à 1%

(+) Significativement plus élevée qu'au Québec

** Significatif à 5%

(-) Significativement plus faible qu'au Québec

* Significatif à 10%

(n.d.) Indique une absence de données

Sources: USDA, Statistique Canada. Calcul des auteurs

Des rendements au Québec généralement plus faibles

Le Tableau 3 indique que le Québec se situe dans une position que l'on pourrait qualifier d'intermédiaire quant au niveau des rendements moyens pour la période 1981-2016. Le signe « (+) » et « (-) » indique si le rendement du Maïs dans les régions à l'étude est statistiquement plus ou moins élevé qu'au Québec et le nombre d'étoiles indique le seuil de signification, trois étoiles étant le plus significatif (seuil 1%). Ainsi, les Prairies canadiennes, le Dakota du Nord et du Sud et l'État de New York ont des rendements significativement plus faibles que ceux du Québec. Le Montana, la Pennsylvanie et le Wyoming ne présentent pas de différence significative quant à la moyenne de leurs rendements, comparativement au Québec. En revanche, l'Ontario, l'Illinois, l'Indiana, l'Iowa, le Kansas, le Michigan, le Minnesota, l'Ohio et le Wisconsin ont des rendements significativement plus élevés qu'au Québec.

Une variabilité des rendements comparables

Comme mentionné précédemment, la variabilité des rendements des diverses régions à l'étude a aussi été analysée en comparaison avec celles du Québec. De manière générale, la variabilité des rendements moyens du Québec pour la période 1981-2016 se compare à celle des autres régions à l'exception du Kansas et du Wyoming où elle est significativement plus faible qu'au Québec au seuil 5% et 10% respectivement.

Une analyse de variance montre que les rendements au cours des périodes 1981-1999 et 2000-2016 présentaient une variabilité similaire sauf en ce qui concerne l'Ontario, le Minnesota et New York. Ainsi, pour l'Ontario et l'État de New York, les rendements varient davantage au cours des périodes 2000-2016 et 1981-1999. Pour ce qui est du Minnesota, on note l'inverse.¹⁴

Une croissance significative des rendements et une absence quasi généralisée d'un plateau

Les résultats de l'analyse de la présence d'un plateau (colonne 6) et celle de la croissance des rendements (colonne 7) peuvent être interprétés simultanément. Ainsi, le Tableau 3 montre qu'au cours de la période 1981-2016 les rendements ont crû de manière générale et de façon significative (seuil 1 %) sauf pour la région du Kansas. Pour la même période, le Québec a connu une croissance annuelle significative de 1,61 % de ses rendements moyens de 1981 à 2016. Le taux de croissance au Québec n'est pas statistiquement différent de celui qu'ont connu l'Ontario et le Canada en général avec des seuils de 1,69 % et 1,64 % respectivement. Ce sont les Prairies canadiennes, le Dakota du Nord et le Dakota du Sud qui ont connu la croissance annuelle moyenne (1981-2016) la plus forte avec 2,45 %, 2,09 % et 2,54 % respectivement. Ces taux de croissance sont significativement plus élevés que celui du Québec au seuil 1% (sauf Dakota du Nord : 10%)¹⁵.

Cette croissance généralisée ne semble pas s'être accompagnée de la présence d'un plateau dans l'évolution des rendements. Seul le Montana montre que les rendements moyens ont atteint un plateau. Notons que pour la période 1981-2016, le niveau des rendements moyens du Kansas, du Montana et du Wyoming est significativement plus faible que celui du Québec. Les autres régions ne montrent pas de différence significative quant à leur taux de croissance si on compare celui-ci à celui du Québec.

Les résultats des analyses de croissance pour la période 2000-2016 sont présentés à la colonne 8 du Tableau 3. Dans plusieurs cas, la croissance des rendements semble avoir été plus forte pour la période 2000-2016 que pour la période 1981-2016. La croissance annuelle des rendements moyens au Québec de 2000 à 2016, a été de 2,55 %, comparativement à 1,61 % pour la période 1981-2016 encore une fois équivalente à la croissance en Ontario (2,74 %) et au Canada dans son ensemble (2,60 %). L'Illinois, l'Indiana, le Kansas, et l'Ohio n'ont quant à eux pas connu de croissance significative de leurs rendements pour la période 2000-2016¹⁶. Il faut noter cependant que ce sont ces régions qui présentent les rendements les plus élevés.

La dernière colonne du Tableau 3 présente la croissance (lorsque significative) en valeur absolue (kg/an) des rendements pour la période 2000-2016. Ainsi, au Québec les rendements ont cru en moyenne de 205 kg/an en moyenne au cours de cette période, derrière l'Ontario avec une croissance de 229 kg/an.

Nous présentons ci-après les résultats des mêmes analyses, mais cette fois-ci pour les régions administratives du Québec.

¹⁴ Résultats non montrés afin de ne pas alourdir le visuel du tableau

¹⁵ Les résultats de ces analyses ne sont pas présentés dans le tableau afin de ne pas alourdir le visuel. Il est à noter aussi que cette analyse est effectuée seulement si le nombre de données disponibles est similaire au nombre de données disponibles pour la région pour laquelle on fait la comparaison (à une ou deux années près).

¹⁶ Aucune analyse statistique n'a été effectuée afin de déterminer si cette croissance est différente d'un point de vue statistique à la croissance moyenne de 1981-2016

3.1.2. Maïs : Les régions administratives du Québec

Saint-Hyacinthe, La Prairie-Valleyfield et Saint-Jean Richelieu ont les plus hauts rendements

Cette section présente les résultats des analyses de l'évolution des rendements des régions agricoles du Québec. On compare la moyenne de chacune des 13 régions agricoles du Québec¹⁷ par rapport à la moyenne provinciale. Le Tableau 4 cumule les résultats des analyses. On y reprend la même structure que précédemment.

La moyenne des rendements historiques provinciaux de Maïs se situe à 6 768 kg/ha (6,8 t/ha). Au cours des 3 dernières années, ce sont les régions de Saint-Hyacinthe et de La Prairie Valleyfield qui occupent les deux premières positions en termes de rendements moyens. Sur une base historique, on note que les régions de Saint-Hyacinthe, de La Prairie-Valleyfield et de Saint-Jean-sur-Richelieu obtiennent les plus hauts rendements.

D'un point de vue statistique, les régions de Québec, du Centre-du-Québec, de Granby-Estrie, de l'Outaouais et de la Mauricie ont des rendements historiques statistiquement plus faibles que la moyenne provinciale. Finalement, la région de Lanaudière se situe dans la moyenne provinciale puisque les rendements moyens à cet endroit ne diffèrent pas significativement de ceux du Québec dans son ensemble.

Une variabilité identique et une absence de plateau

Concernant la variabilité des rendements au cours de la période 1981-2015, aucune région ne se démarque, l'ensemble de ces dernières affichant une variabilité identique à celle de la province. On note également une absence de plateau dans l'évolution des rendements.

Tableau 4 : Rendements moyens et croissance annuelle moyenne Maïs, Régions du Québec

	Rendements moyens (kg/ha) et croissance annuelle moyenne du Maïs (%), 1981 - 2015							
	Nb. Obs	Moy. 2013-15	Analyse période 1981-2015				Croissance 2000-2015	
			Moy. 1981-2016	Diff Variabilité	Plateau	Crois. (%/an)	Croiss. (%/an)	Croiss. (kg/an)
Province	35	8737	6768		Non	1,42 ***	3,15 ***	210
St-Hyacinthe	35	10207	7745 (+) ***	Non	Non	1,66 ***	2,82 ***	228
St-Jean Richelieu	35	9736	7574 (+) ***	Non	Non	1,34 ***	2,92 ***	
BStLaurent Gaspésie	n.d.			Non	Non			
Québec (Rive Nord-Sud)	32	6855	5279 (-) ***	Non	Non	2,09 **	4,06 *	169
Beauce	n.d.							
Centre du Québec	35	7955	6103 (-) ***	Non	Non	1,69 ***	3,77 **	195
Granby Estrie	34	6970	6375 (-) **	Non	Non	0,31	2,86	
La Prairie Valleyfield	35	10449	7740 (+) ***	Non	Non	1,67 ***	3,94 ***	311
Outaouais	33	7439	5826 (-) ***	Non	Non	1,21 ***	4,54 ***	233
Abitibi Témis.	n.d.							
Lanaudière	35	8601	6611	Non	Non	1,72 ***	4,36 ***	262
Mauricie	34	8391	5993 (-) ***	Non	Non	2,22 ***	4,77 ***	247
Sag. Lac St-Jean	n.d.							

*** Significatif à 1%

** Significatif à 5%

* Significatif à 10%

(+) Significativement plus élevée qu'au Québec

(-) Significativement plus faible qu'au Québec

(n.d.) Indique une absence de données

Sources: FADQ. Calcul des auteurs

L'analyse des différences de variance des rendements entre les périodes 1981-1999 et 2000-2015 montre que la variabilité de ceux-ci a été similaire dans presque toutes les régions, sauf pour Saint-Jean-sur-Richelieu, Granby-Estrie, l'Outaouais et La Prairie-Valleyfield où la variabilité lors de la première période a été moindre que lors de la deuxième période (au seuil 10% sauf pour La Prairie-Valleyfield au seuil 1%)¹⁸.

¹⁷ Si la région produit la céréale en question ou encore si les données sont disponibles

¹⁸ Résultats non montrés dans le tableau afin de ne pas alourdir le visuel.

Une croissance généralisée, mais variable

Le taux de croissance des rendements pour la période 1981-2015 est statistiquement positif pour l'ensemble des régions, sauf pour la région de Granby-Estrie qui présente une croissance faible et non statistiquement significative. La croissance moyenne historique provinciale est de 1,42 % annuellement. Seules les régions de Saint-Hyacinthe et de la Mauricie affichent une croissance qui est statistiquement supérieure à la moyenne provinciale (au seuil 5%). De même, seule la région de Granby-Estrie montre une croissance statistiquement plus faible que celle du Québec au seuil 1%¹⁹.

Si on regarde la période 2000-2015, les taux de croissance semblent tous supérieurs à la période 1981-2015, démontrant une accélération dans la croissance des rendements du Maïs. C'est la région de la Mauricie qui dénote la croissance la plus élevée avec 4,77 %, suivie de la région de l'Outaouais avec une croissance de 4,54 % annuellement²⁰. Notons cependant que ces deux régions présentent des rendements moyens historiques plus faibles que la moyenne provinciale. En valeur absolue, cela se traduit par une croissance qui se situe selon la région, entre 169 et 311 kg en moyenne par année depuis 2000.

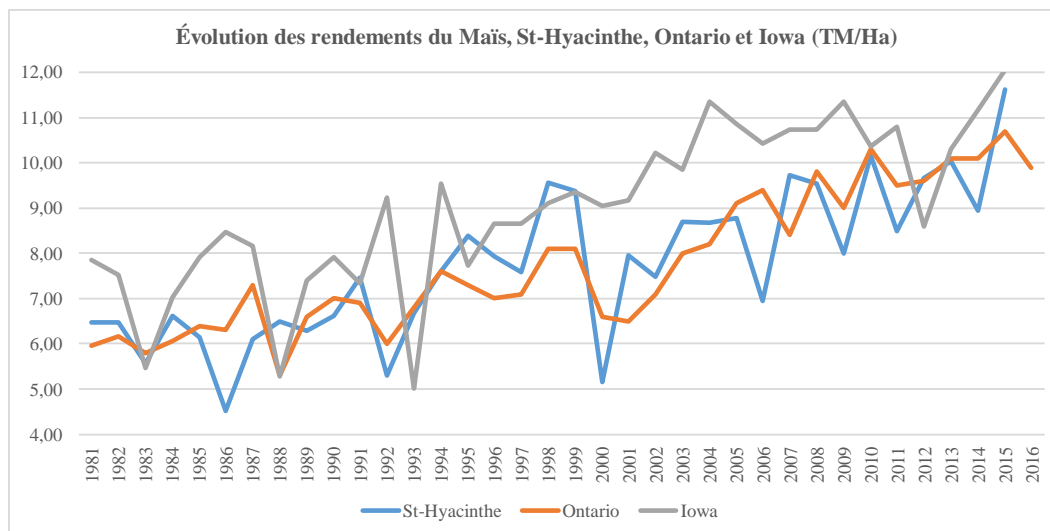
3.1.3. Maïs : Le positionnement de la meilleure région productrice du Québec

Saint-Hyacinthe se compare à l'Ontario, mais est moins productive que l'Iowa

Les analyses précédentes montrent que le niveau et l'évolution des rendements moyens historiques du Maïs au Québec ne sont pas nécessairement les plus élevés si on les compare à ceux de l'Ontario et à certaines régions productrices des États-Unis. De même, le niveau et l'évolution des rendements dans les diverses régions productrices du Québec présentent des différences parfois marquées. Cette section a pour but de déterminer, comment la meilleure région productrice de Maïs du Québec se compare par rapport à l'Ontario et à la principale région productrice des États-Unis. Pour le Maïs, nous avons retenu les régions de Saint-Hyacinthe, l'Ontario et l'État de l'Iowa.

La figure ci-après présente l'évolution des rendements moyens dans ces trois régions. Une analyse de différence de moyenne montre que le rendement historique moyen de Saint-Hyacinthe (7,74t/ha) ne diffère pas d'un point de vue statistique de celui de l'Ontario (7,78t/ha). Cependant, le rendement moyen historique de l'Iowa (9,09t/ha) demeure statistiquement supérieur à celui de la région de Saint-Hyacinthe. Si on considère la période 2000-2016, les résultats restent similaires.

Figure 3 : Évolution des rendements du Maïs, Saint-Hyacinthe, Ontario et Iowa



¹⁹ Résultats non montrés dans le tableau afin de ne pas alourdir le visuel.

²⁰ Aucune analyse statistique n'a été effectuée afin de déterminer si cette croissance est différente d'un point de vue statistique que la croissance moyenne 1981-2015.

La variabilité des rendements du Maïs pour ces trois régions ne diffère pas statistiquement l'une de l'autre si on regarde la période 1981-2016 (1981-2015 pour Saint-Hyacinthe). Il en est de même si on considère la période depuis 2000. Rappelons en terminant que la croissance des rendements moyens pour la période 1981-2016 (1981-2015 pour Saint-Hyacinthe) est similaire pour les trois régions, soit de 1,66 %, 1,69 % et 1,64% pour Saint-Hyacinthe, l'Ontario et l'État de l'Iowa respectivement. Si on tient compte de la période depuis 2000, la croissance moyenne de ces trois régions a été de 2,82 %, 2,74 % et de 1,07 % respectivement.

3.2 Soya : Analyse de l'évolution des rendements du Soya

3.2.1 Soya : Le Québec par rapport aux régions canadiennes et à celles des États-Unis

Des rendements au Québec similaires ou comparables à plusieurs régions

Le Tableau 8 présente les résultats des analyses pour la production de Soya au Canada et aux États-Unis. D'un point de vue historique, seules les régions de l'Illinois, de l'Indiana et de l'Iowa présentent des rendements statistiquement supérieurs à ceux du Québec. Le Québec se compare à l'Ontario. Les États du Dakota du Nord et du Sud, le Kansas et le Michigan ont des rendements inférieurs à ceux du Québec. Les autres régions ne présentent pas de différences significatives d'un point de vue statistique.

Une variabilité des rendements moindre au Québec

Les tests de différence de variabilité des rendements historiques montrent que le Québec présente moins de variabilité que les régions du Dakota du Sud, de l'Illinois, de l'Indiana, de l'Iowa, du Kansas, de l'Ohio et du Wyoming. Notons cependant que ces résultats ne sont significatifs qu'aux seuils 5% et 10%. Les autres régions ne présentent pas de différence de variabilité dans les rendements comparativement au Québec. L'analyse des différences de variabilité des rendements²¹ entre les périodes 1981-1999 et 2000-2016 montre que seul l'Ontario présente une différence de variabilité alors que la variance des rendements est plus faible lors des périodes 1981-1999 et 2000-2016 (seuil 1%).

Une croissance significative des rendements et une absence d'un plateau

Nos analyses montrent que les rendements historiques sont en croissance dans la plupart des régions. Le Québec présente une croissance de ses rendements pour la période 1986-2016²² de 0,56% annuellement. Cette croissance est inférieure d'un point de vue statistique à celles du Dakota du Sud, de l'Illinois, de l'Indiana, de l'Iowa, du Michigan et de l'Ohio. Les autres régions ne diffèrent pas significativement du Québec.²³

La croissance des rendements pour la période 2000-2016 semble supérieure pour plusieurs régions, dont le Québec avec une croissance de 1,53%²⁴.

²¹ Résultats non présentés

²² Selon les données disponibles

²³ Résultats non présentés

²⁴ Aucune analyse effectuée pour déterminer si ces différences sont significatives

Tableau 5 : Rendements moyens et croissance annuelle moyenne Soya, Québec

	Rendements moyens (t/ha) et croissance annuelle moyenne du Soya (%), 1981-2016 et 2000-16							
	Nb. Obs.	Moy. 2014-16	Analyse période 1981 - 2016			Croissance 2000-2016		
			Moy. 1981-2016	Diff Variabilité	Plateau	Crois. (%/an)	Croiss. (kg/an)	
États-Unis	36	3,31	2,55		Non	1,36 ***	1,55 ***	44
Canada	36	2,87	2,55		Non	0,62 ***	2,32 ***	55
Québec	31	3,00	2,69		Non	0,56 **	1,53 ***	42
Ontario	36	3,10	2,61	Non	Non	0,85 ***	2,98 ***	72
Prairies	7	2,40	2,27	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Dakota du Nord	36	2,43	1,99 (-) ***	Non	Non	1,02 ***	0,81	
Dakota du Sud	36	3,15	2,25 (-) ***	Qc < SD *	Non	1,35 ***	2,34 ***	60
Illinois	36	3,83	2,90 (+) **	Qc < IL **	Non	1,22 ***	1,64 ***	53
Indiana	36	3,65	2,90 (+) ***	Qc < IN *	Non	1,21 ***	1,07 **	34
Iowa	36	3,77	2,99 (+) ***	Qc < IA **	Non	1,16 ***	1,49 **	47
Kansas	36	2,73	2,07 (-) ***	Qc < KS **	Non	1,18 ***	2,59 **	53
Maine	n.d.							
Massachusetts	n.d.							
Michigan	36	3,18	2,51 (-) **	Non	Non	1,13 ***	2,47 ***	64
Minnesota	36	2,99	2,59	Non	Non	0,71 ***	0,87	
Montana	n.d.							
New Hampshire	n.d.							
New York	19	2,88	2,76	Non	Non	1,56 ***	2,00 ***	51
Ohio	36	3,52	2,76	Qc < OH *	Non	1,22 ***	1,93 ***	57
Pennsylvanie	36	3,07	2,58	Non	Non	1,15 ***	1,75 **	45
Vermont	n.d.							
Wisconsin	36	3,33	2,65	Qc < WI *	Non	1,01 ***	1,85 **	51
Wyoming	n.d.							

(1) Données insuffisantes pour effectuer des analyses pertinentes

*** Significatif à 1%

(+) Significativement plus élevée qu'au Québec

** Significatif à 5%

(-) Significativement plus faible qu'au Québec

* Significatif à 10%

(n.d.) Indique une absence de données

Sources: USDA, Statistique Canada. Calcul des auteurs

3.2.2 Soya : Les régions productrices du Québec

Saint-Hyacinthe et Saint-Jean-sur-Richelieu: De hauts rendements historiques

Le tableau 9 présente les résultats des analyses pour les régions du Québec. Une fois de plus, les régions de Saint-Hyacinthe et de Saint-Jean-sur-Richelieu occupent les premières places en termes de rendements moyens historiques avec respectivement, des rendements de 2,79t/ha et de 2,72t/ha. La moyenne provinciale est de 2,55t/ha. La seule autre région ayant des rendements supérieurs à la moyenne provinciale est celle de La Prairie-Valleyfield. Toutes les autres régions ont des rendements significativement plus faibles que cette moyenne, à l'exception de Lanaudière dont les rendements se comparent à la moyenne provinciale..

Une différence de variabilité inexistante

Le tableau 9 montre que la variabilité des rendements historiques des régions ne diffère pas de façon significative de la moyenne de la variabilité provinciale. L'analyse de différence de variabilité des rendements²⁵ entre la période 1981-1999 et celle de 2000-2015 dénote une variabilité des rendements égale entre les deux périodes, et ce pour toutes les régions.

²⁵ Résultats non présentés

Tableau 6 : Rendements moyens et croissance annuelle moyenne Soya, Régions du Québec

	Rendements moyens (kg/ha) et croissance annuelle moyenne du Soya (%), 1981 - 2015							
	Nb. Obs	Moy. 2013-15	Analyse période 1981-2015			Croissance 2000-2015		
			Moy. 1981-2016	Diff Variabilité	Plateau	Crois. (%/an)	Croiss. (kg/an)	
Province	34	2914	2547		Oui *	0,83 ***	2,02 ***	53
St-Hyacinthe	34	3290	2792 (+) ***	Non	Oui **	1,15 ***	1,85 ***	55
St-Jean Richelieu	34	3145	2716 (+) ***	Non	Non	0,78 ***	1,57 **	48
BStLaurent Gaspésie	n.d.							
Québec (Rive Nord-Sud)	28	2502	2084 (-) ***	Non	Non	1,31 **	2,36 **	50
Beauce	n.d.							
Centre du Québec	32	2726	2332 (-) ***	Non	Non	1,05 ***	1,90 **	45
Granby Estrie	29	2458	2474 (-) ***	Non	Non	-0,84 **	1,39	
La Prairie Valleyfield	34	3225	2619 (+) *	Non	Non	1,39 ***	3,24 ***	86
Outaouais	24	2560	2385 (-) ***	Non	Non	-0,45	2,70 **	
Abitibi Témis.	n.d.							
Lanaudière	29	2911	2602	Non	Non	0,85 ***	2,55 ***	66
Mauricie	30	2790	2319 (-) ***	Non	Non	1,76 ***	2,37 ***	57
Sag. Lac St-Jean	n.d.							

*** Significatif à 1%

** Significatif à 5%

* Significatif à 10%

(+) Significativement plus élevée qu'au Québec

(-) Significativement plus faible qu'au Québec

(n.d.) Indique une absence de données

Sources: FADQ. Calcul des auteurs

Une croissance significative des rendements dans toutes les régions et la présence d'un plateau dans Saint-Hyacinthe et au niveau provincial.

L'analyse de plateau montre une tendance à la présence d'un plateau dans la moyenne de la province (au seuil 10%)²⁶ et de celle de Saint-Hyacinthe (au seuil 5%). Les autres régions ne présentent pas de plateau dans l'évolution des rendements.

La croissance des rendements est cependant au rendez-vous dans plusieurs régions sauf l'Outaouais et Granby-Estrie où la croissance des rendements est respectivement non significative dans le premier cas et statistiquement décroissance dans le second. La moyenne de croissance provinciale est de 0,83% annuellement pour la période 1981-2015. La région de Saint-Jean-sur-Richelieu montre une croissance similaire à celle de la province, alors que Saint-Hyacinthe et La Prairie-Valleyfield ont une croissance statistiquement plus élevée que la moyenne provinciale.²⁷

3.2.3 Soya : Le positionnement de la meilleure région productrice de Soya du Québec

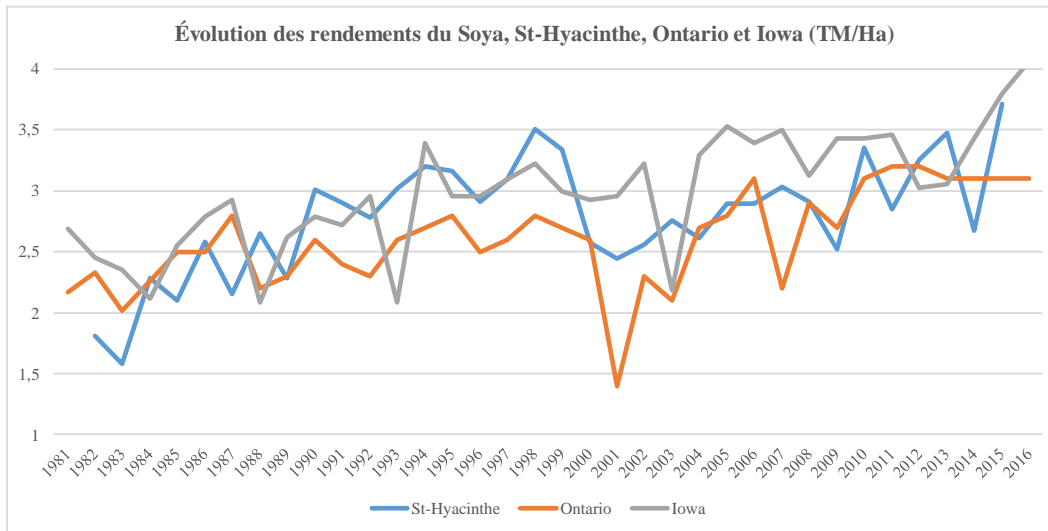
À l'instar des sections précédentes, les rendements historiques de la région de Saint-Hyacinthe sont comparés à ceux de l'Ontario et de la région de référence (soya) aux États-Unis, soit l'Iowa (Graphique 4).

De 1981 à 2016, la variabilité des rendements a été d'un point de vue statistique, similaire dans les trois régions. Il en est de même pour la période 2000-2016.

²⁶ À noter qu'avec les données de Statistique Canada, nous n'avons pas capté au niveau provincial de plateau dans le soya. Cela s'explique fort probablement par le fait que nous avons une année de plus (année 2016 où les rendements de soya ont été élevés) et par le fait que le plateau observé avec les données de la FADQ est faiblement significatif (10%).

²⁷ Seules les régions avec le même nombre d'années disponibles que la province ont fait l'objet de ce test de croissance

Figure 4 : Évolution des rendements du Soya, Saint-Hyacinthe, Ontario et Iowa



La moyenne des rendements historiques pour Saint-Hyacinthe a été de 2,79t/ha, comparativement à 2,61T/ha pour l'Ontario. Ces deux moyennes diffèrent d'un point de vue statistique au seuil de 10%. Les rendements de l'Iowa sont statistiquement supérieurs à ceux du Québec, avec une moyenne de 2,99T/ha (différents au seuil 5%). Pour la période 2000-2016, les rendements au Québec ont été de 2,90T/ha et de 2,74T/ha en Ontario, avec une différence significative au seuil de 10%. L'Iowa a obtenu pour cette période, des rendements de 3,28T/ha, ce qui représente une différence significative de ceux du Québec qui sont au seuil 5%.

3.3 Orge : Analyse de l'évolution des rendements

3.3.1 Orge : Le Québec par rapport aux régions canadiennes et américaines

Le tableau ci-après présente les résultats des analyses concernant la production d'Orge dans les régions canadiennes et américaines à l'étude. La structure du tableau et la description des informations qu'il contient ont été transmises dans la section précédente sur le Maïs.

Des rendements au Québec comparables aux autres régions

Selon les analyses, le rendement moyen pour la période 1981-2016 pour le Québec (3,05t/ha) se compare ou est légèrement supérieur à la moyenne de la plupart des autres régions étudiées. Ainsi, seuls l'Ontario, la Pennsylvanie et le Wyoming présentent une moyenne de rendements historiques significativement plus élevés que ceux du Québec. Les régions du Dakota du Sud et du Nord, du Kansas, du Michigan, du Montana, de New York et du Wisconsin, montrent pour leur part des rendements historiques moyens plus faibles qu'au Québec. Les autres régions ne présentent pas de différence significative d'un point de vue statistique.

Une variabilité des rendements au Québec moindre ou comparable

Contrairement à la production de Maïs, les rendements de l'Orge montrent une très grande différence de variabilité selon les régions. C'est le Québec qui présente la plus forte stabilité relative. Ainsi, la variabilité des rendements moyens de l'Orge au Québec est plus faible que celle des Prairies canadiennes, du Dakota du Nord, du Dakota du Sud, du Kansas, du Maine, du Minnesota, du Montana et du Wyoming. Seule la région de New York accuse une variabilité des rendements plus faibles que

Identification des facteurs explicatifs de l'évolution des rendements en production de grains au Québec

Rapport final présenté au GCSGQ

celle du Québec. Pour les autres régions, incluant l'Ontario et les Prairies, la variabilité des rendements est similaire à celle du Québec.

Lorsqu'on analyse la variabilité des rendements entre les périodes 1981-1999 et 2000-2016, on constate que les Prairies canadiennes présentent une variabilité moindre (seuil 10%) pour la période 1981-1999, comparativement à la période 2000-2016. Il en est de même pour le Kansas (seuil 5%). Le Michigan à l'inverse, obtient un seuil de 1%²⁸.

Une croissance qui semble plus élevée dans les régions canadiennes

De manière générale, la croissance des rendements pour la période 1981-2016 est significativement positive pour toutes les régions canadiennes. Par contre, le Québec semble connaître la croissance la moins élevée, avec 0,39% par année. Aux États-Unis, le Dakota du Nord, le Montana, la Pennsylvanie et le Wyoming sont les seuls États montrant une croissance positive d'un point de vue statistique. Si on compare ces taux de croissance des rendements avec ceux du Québec (0,39%), on note que le taux de croissance des rendements de l'orge dans les Prairies canadiennes, le Dakota du Nord, le Montana, la Pennsylvanie et le Wyoming est supérieur d'un point de vue statistique (seuil entre 4% et 5%). Le Michigan et le Wisconsin présentent pour leur part une croissance significativement plus faible comparativement à celle du Québec (1% et 10% respectivement)²⁹. Le taux de croissance des autres régions ne diffère pas significativement de celui du Québec³⁰.

Tableau 7 : Rendements moyens et croissance annuelle moyenne Orge, Québec

	Rendements moyens (t/ha) et croissance annuelle moyenne de l'Orge (%), 1981-2016 et 2000-16							
	Nb. Obs.	Moy. 2014-16	Analyse période 1981 - 2016			Croissance 2000-2016		
			Moy. 1981-2016	Diff Variabilité	Plateau	Crois. (%/an)	Croiss. (%/an)	Croiss. (kg/an)
États-Unis	36	3,94	3,23		Non	1,10 ***	1,57 ***	55
Canada	36	3,60	2,97		Non	0,9 ***	2,07 ***	39
Québec	36	3,37	3,05		Non	0,39 **	0,25	
Ontario	36	3,57	3,25 (+) ***	Non	Non	0,39 ***	0,51 *	16
Prairies	36	3,60	2,94	Qc < Pr *	Non	0,95 ***	2,33 ***	69
Dakota du Nord	36	3,55	2,88 (-) *	Qc < ND ***	Non	1,01 ***	1,38 **	42
Dakota du Sud	35	2,56	2,34 (-) ***	Qc < SD **	Non	0,39	-1,29	
Illinois	n.d.							
Indiana	n.d.							
Iowa	n.d.							
Kansas	35	1,99	2,17 (-) ***	Qc < Ks *	Non	0,15	0,25	
Maine	16	4,12	3,33	Qc < ME ***	Non	-0,94	-0,93	
Massachusetts	n.d.							
Michigan	35	2,93	2,86 (-) ***	Non	Non	-0,22	-0,39	
Minnesota	36	3,55	3,11	Qc < MN ***	Non	0,19	1,10	
Montana	36	3,05	2,51 (-) ***	Qc < MT ***	Non	1,3 ***	1,93 ***	49
New Hampshire	n.d.							
New York	16	2,47	2,72 (-) ***	Qc > NY *	Non	-0,73 **	-0,73 *	-2
Ohio	n.d.							
Pennsylvanie	36	3,78	3,57 (+) ***	Non	Oui ***	0,76 ***	0,04	
Vermont	n.d.							
Wisconsin	35	2,74	2,79 (-) ***	Non	Non	-0,01	-0,95 *	-3
Wyoming	36	5,34	4,44 (+) ***	Qc < WY ***	Non	1,27 ***	1,17 ***	56

*** Significatif à 1%

** Significatif à 5%

* Significatif à 10%

Sources: USDA, Statistique Canada. Calcul des auteurs

(+) Significativement plus élevée qu'au Québec

(-) Significativement plus faible qu'au Québec

(n.d.) Indique une absence de données

Finalement, on note que la croissance du rendement moyen semble être plus élevée au cours de la période 2000-2016 pour plusieurs régions. Par contre, le rendement de l'orge au Québec n'a pas connu de croissance significative pour cette période (0,25% non significatif).

²⁸ Résultats non montrés

²⁹ Notons que le Minnesota et New York n'ont pas été analysés, on ne possède que 16 observations

³⁰ Le Maine n'a pas fait l'objet de test faute de données suffisantes

3.3.2 Orge : Les régions administratives du Québec

Saint-Hyacinthe, La Prairie-Valleyfield et Saint-Jean-sur-Richelieu ont les plus hauts rendements

Le tableau ci-après montre que les rendements moyens historiques au Québec ont été de 2,4t/ha pour la période 1981-2016. Ce sont les régions de Saint-Hyacinthe et de La Prairie-Valleyfield qui occupent le haut du pavé avec des rendements significativement plus élevés que la moyenne provinciale. Les régions de Saint-Jean-sur-Richelieu et de Lanaudière sont les deux seules autres régions présentant un rendement significativement supérieur à la moyenne provinciale. Les régions de Québec, de la Beauce, de Granby-Estrie, de l'Outaouais et de l'Abitibi-Témiscamingue montrent quant à elles, des rendements moindres d'un point de vue statistique. Le reste des régions ne diffèrent pas de la moyenne provinciale.

Une variabilité des rendements plus élevée dans certaines régions et une absence quasi générale de plateau

Les analyses de différence de variabilité des rendements montrent que les régions de Saint-Hyacinthe, de Saint-Jean-sur-Richelieu, du Centre-du-Québec, de Granby-Estrie, de La Prairie-Valleyfield et de la Mauricie, indiquent toutes une variabilité des rendements plus élevée d'un point de vue statistique comparativement à la variabilité moyenne provinciale. On ne note pas de différence significative dans les autres régions. L'analyse de variance des rendements entre les périodes 1981-1999 et 2000-2016 n'affiche aucune différence significative de variabilité des rendements pour l'ensemble des régions.

Finalement, seule la région de la Gaspésie semble présenter une présence de plateau au seuil 5% alors que toutes les autres régions n'en démontrent aucune.

Tableau 8 : Rendements moyens et croissance annuelle moyenne Orge, Région du Québec

	Rendements moyens (kg/ha) et croissance annuelle moyenne de l'Orge (%), 1981 - 2015							
	Nb. Obs	Moy. 2013-15	Analyse période 1981-2015			Croissance 2000-2015		
			Moy. 1981-2016	Diff Variabilité	Plateau	Crois. (%/an)	Croiss. (%/an)	Croiss. (kg/an)
Province	35	2589	2424			0,15	0,34	
St-Hyacinthe	35	3150	3112 (+)***	StH > Prov ***	Non	0,26	-0,49	
St-Jean Richelieu	35	3172	2921 (+)***	StJ > Prov ***	Non	0,25	0,69	
BStLaurent Gaspésie	35	2335	2353	Non	Oui **	-0,24	-0,52	
Québec (Rive Nord-Sud)	35	2416	2281 (-)***	Non	Non	0,00	0,13	
Beauce	35	2115	2153 (-)***	Non	Non	-0,61	-0,31	
Centre du Québec	35	2712	2485	Centr > Prov **	Non	0,27	0,38	
Granby Estrie	35	2061	2193 (-) **	GrEst > Prov **	Non	-0,55	0,01	
La Prairie Valleyfield	35	3110	3120 (+)***	LPrVal > Prov **	Non	0,11	-0,09 *	-0,9
Outaouais	35	2219	1932 (-) ***	Non	Non	0,26	1,56	
Abitibi Témis.	35	2337	2019 (-) ***	Non	Non	0,49	1,83 **	38
Lanaudière	35	2751	2695 (+) ***	Non	Non	0,32	0,22	
Mauricie	35	2965	2478	Maur > Prov **	Non	0,88 **	0,89	
Sag. Lac St-Jean	35	2691	2405	Non	Non	0,75 ***	0,58	

*** Significatif à 1%

** Significatif à 5%

* Significatif à 10%

(+) Significativement plus élevée qu'au Québec

(-) Significativement plus faible qu'au Québec

(n.d.) Indique une absence de données

Sources: FADQ. Calcul des auteurs

Une croissance anémique

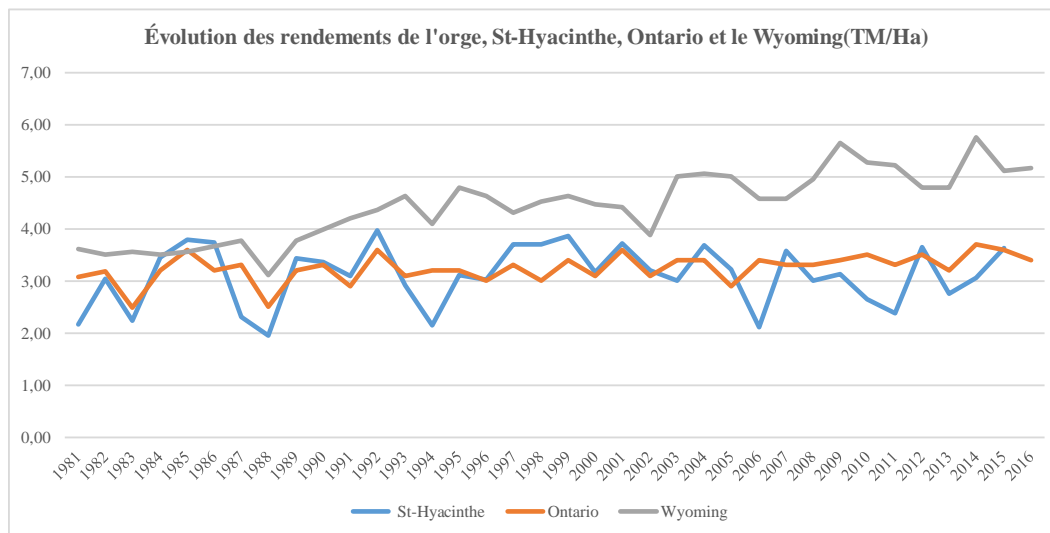
Les taux de croissance des rendements pour la période 1981-2016 sont pour la plupart des régions, non significatifs d'un point de vue statistique. Seules les régions de la Mauricie et du Saguenay-Lac-Saint-Jean sont positives et diffèrent significativement de la moyenne provinciale aux seuils 5% et 10% respectivement. Pour la période 2000-2016, on note une absence de croissance, sauf pour la région de l'Abitibi-Témiscamingue où les rendements ont crû à un taux de 1,83% par an, représentant une croissance de 38 kg/an en moyenne. La région de La Prairie Valleyfield montre une très légère baisse des rendements de 0,09% par an (significatif au seuil 10%).

3.3.3 Orge : Le positionnement de la meilleure région productrice du Québec

L'évolution de la production moyenne de l'Orge de 1981 à 2016 dans les régions de Saint-Hyacinthe, de l'Ontario et du Wyoming est présentée à la figure ci-après. On y voit clairement que le rendement au Wyoming se démarque tandis que celui de Saint-Hyacinthe se confond relativement avec celui de l'Ontario. De 1981 à 2016, la variabilité des rendements à Saint-Hyacinthe a été statistiquement supérieure à celle de l'Ontario tandis qu'elle a été similaire à celle du Wyoming. Le niveau de rendement de Saint-Hyacinthe quant à lui, a été similaire d'un point de vue statistique, à celui de l'Ontario avec respectivement 3,11t/ha et 3,15t/ha. Le rendement du Wyoming a été significativement supérieur à celui de Saint-Hyacinthe avec 4,44t/ha.

Si on analyse la période 2000 à 2016, on obtient les mêmes résultats quant à la variabilité des rendements des trois régions. Concernant les moyennes on note aussi des résultats semblables avec un rendement moyen pour Saint-Hyacinthe, l'Ontario et le Wyoming de 3,12t/ha, 3,15t/ha et de 4,44t/ha respectivement.

Figure 5 : Évolution des rendements de l'Orge, Saint-Hyacinthe, Ontario et Wyoming



3.4 Avoine : Analyse de l'évolution des rendements

3.4.1 Avoine : Le Québec par rapport aux régions canadiennes et celles des États-Unis

Des rendements au Québec comparables dans la plupart des cas

Les rendements historiques moyens de l'Avoine au Québec, en Ontario, dans les Prairies canadiennes et aux États-Unis sont présentés au tableau ci-après. Selon les analyses, les rendements moyens historiques du Québec (1981-2016) se comparent à ceux de l'Ontario, des Prairies canadiennes, de l'Indiana, de l'Iowa, du Minnesota, de l'État de New York et de l'Ohio. Seuls l'Illinois et le Maine présentent des rendements historiques significativement supérieurs à ceux du Québec, tandis que les autres régions affichent toutes des rendements significativement inférieurs.

Tableau 9 : Rendements moyens et croissance annuelle moyenne Avoine, Québec

	Rendements moyens (t/ha) et croissance annuelle moyenne de l'Avoine (%), 1981-2016 et 2000-16							
	Nb. Obs.	Moy. 2014-16	Analyse période 1981 - 2016			Croissance 2000-2016		
			Moy. 1981-2016	Diff Variabilité	Plateau	Crois. (%/an)	Croiss. (%/an)	Croiss. (kg/an)
États-Unis	36	2,60	2,28		Non	0,62 ***	0,48 *	12
Canada	36	3,33	2,54		Non	1,25 ***	2,58 ***	71
Québec	36	2,67	2,43		Oui ***	0,60 ***	-0,16	
Ontario	36	3,13	2,45	Non	Non	0,95 ***	1,39 ***	38
Prairies	36	3,40	2,55	Qc < PR ***	Non	1,31 ***	2,98 ***	81
Dakota du Nord	n.d.							
Dakota du Sud	n.d.							
Illinois	36	3,02	2,63 (+) ***	Non	Non	0,51 **	-0,14	
Indiana	36	2,53	2,49	Non	Non	0,36	-0,80	
Iowa	36	2,71	2,50	Non	Non	0,58 **	-0,59	
Kansas	36	2,26	1,89 (-) ***	Non	Non	0,06	-0,07	
Maine	36	2,81	2,64 (+) ***	Non	Oui *	0,01	-0,79	
Massachusetts	n.d.							
Michigan	36	2,46	2,31 (-) **	Non	Non	0,44 *	-0,17	
Minnesota	36	2,52	2,30	Non	Non	0,41	0,20	
Montana	36	2,15	1,89 (-) ***	Non	Non	0,68 **	0,89	
New Hampshire	n.d.							
New York	36	2,24	2,39	Non	Non	0,03	-0,61	
Ohio	36	2,54	2,51	Non	Non	-0,04	-0,49	
Pennsylvanie	36	2,29	2,20 (-) **	Non	Non	0,09	-0,03	
Vermont	n.d.							
Wisconsin	36	2,54	2,31 (-) **	Non	Non	0,57 ***	0,02	
Wyoming	36	2,21	1,98 (-) ***	Non	Non	0,4 *	0,59	

*** Significatif à 1%

(+) Significativement plus élevée qu'au Québec

** Significatif à 5%

(-) Significativement plus faible qu'au Québec

* Significatif à 10%

(n.d.) Indique une absence de données

Sources: USDA, Statistique Canada. Calcul des auteurs

Une variabilité des rendements moindre au Québec

Le tableau 9 montre que la variabilité des rendements de l'Avoine dans plusieurs régions est similaire à celle du Québec, sauf pour les Prairies canadiennes où la variabilité a été plus élevée qu'au Québec.

Une analyse de différence de variance entre les périodes 1981-1999 et 2000-2016³¹ conclue que la variabilité des rendements a été la même pour la plupart des régions sauf pour Québec, le Michigan et le Wisconsin où la variabilité pour la période 1981-1999 a été plus élevée que pour la période 2000-2016 (seuil 5%, 1% et 1% respectivement). Pour la région des prairies canadiennes, on note l'inverse.

Une croissance faible des rendements et une présence d'un plateau

La croissance des rendements de l'Avoine pour la période 1981-2016 est statistiquement significative au Québec, en Ontario et dans les Prairies avec un taux de croissance de 0,6 %, 0,95 % et 1,31 % respectivement. Dans les régions américaines, le taux de croissance semble inférieur pour certains États. Une analyse de différence montre que le Maine, New York, l'Ohio et la Pennsylvanie ont une croissance des rendements significativement plus faibles qu'au Québec³². Les autres régions ne présentent pas de différence dans leur taux de croissance d'un point de vue statistique, comparativement au Québec. Pour la période 2000-2016, la croissance des rendements n'a été positive qu'en Ontario et dans les Prairies avec une croissance moyenne absolue de 38kg/ha et 81kg/ha respectivement. Finalement, seuls le Québec et le Maine semblent présenter un plateau dans l'évolution des rendements au cours de la période 1981-2016.

³¹ Résultats non montrés afin de ne pas alourdir le visuel du tableau

³² Les résultats de ces analyses ne sont pas présentés dans le tableau

3.4.2 Avoine : Les régions productrices du Québec

Saint-Hyacinthe et La prairie-Valleyfield en tête du peloton.

Le Tableau 7 présente les résultats pour la production de l'Avoine dans les régions du Québec. Ici encore on note d'une manière historique que Saint-Hyacinthe et Saint-Jean sur- Richelieu occupent les premières places, mais cette fois dernière la région de La Prairie Valleyfield. Les différences sont par contre faibles. Ces trois régions ont des rendements significativement plus élevés que la moyenne provinciale, ce qui est le cas aussi pour les régions du Bas-St-Laurent-Gaspésie et de Lanaudière. Les régions présentant des rendements historiques moindres d'un point de vue statistique sont Québec, Granby-Estrie, l'Outaouais, l'Abitibi-Témiscamingue et le Lac-Saint-Jean. Les autres régions ont une moyenne similaire à la moyenne provinciale.

Une variabilité des rendements différente dans certaines régions

La variabilité est similaire d'un point de vue statistique à la moyenne provinciale dans les régions du Bas-St-Laurent-Gaspésie, Québec, Beauce, l'Outaouais, l'Abitibi-Témiscamingue et le Lac-Saint-Jean. Dans les autres régions, les rendements sont plus variables que la variabilité moyenne provinciale.

L'analyse de différence de variabilité des rendements entre les périodes 1981-1999 et 2000-2016 montre que ceux-ci ont été plus variables au cours de la première période (1981-1999) qu'au cours de la deuxième période (2000-2016) pour les régions de Québec de la Mauricie et de la Beauce (au seuil 5%).

Tableau 10 : Rendements moyens et croissance annuelle moyenne Avoine, Région du Québec

	Rendements moyens (kg/ha) et croissance annuelle moyenne de l'Avoine (%), 1981 - 2015							
	Nb. Obs	Moy. 2013-15	Analyse période 1981-2015				Croissance 2000-2015	
			Moy. 1981-2016	Diff Variabilité	Plateau	Crois. (%/an)	Croiss. (%/an)	Croiss. (kg/an)
Province	35	2122	1991			0,08	0,23	
St-Hyacinthe	35	2418	2518 (+)***	StH > Prov ***	Oui **	-0,01	0,84	
St-Jean Richelieu	35	2378	2338 (+)***	StJ > Prov ***	Non	-0,06	-0,19	
BStLaurent Gaspésie	35	2015	2079 (+) **	Non	Non	-0,34	-0,49	
Québec (Rive Nord-Sud)	35	2192	1929 (-) **	Non	Non	0,28	0,80	
Beauce	35	1932	2002	Non	Non	-0,05	-0,94	
Centre du Québec	35	2613	2113	Centr > Prov ***	Non	0,70 *	1,77	
Granby Estrie	35	1786	1826 (-) *	GrEst > Prov **	Non	-0,71	-0,09	
La Prairie Valleyfield	35	2654	2540 (+) ***	LPrVal > Prov **	Non	0,25	0,38	
Outaouais	35	1545	1426 (-) ***	Non	Non	-0,11	0,33	
Abitibi Témis.	35	1767	1611 (-) ***	Non	Non	-0,02	1,12	
Lanaudière	35	2700	2199 (+) **	Land > Prov ***	Non	0,58	1,65	
Mauricie	35	2367	2051	Maur > Prov **	Non	0,67	0,31	
Sag. Lac St-Jean	35	2286	1900 (-) **	Non	Non	0,60 **	1,68 ***	33

*** Significatif à 1%

** Significatif à 5%

* Significatif à 10%

(+) Significativement plus élevée qu'au Québec

(-) Significativement plus faible qu'au Québec

(n.d.) Indique une absence de données

Sources: FADQ. Calcul des auteurs

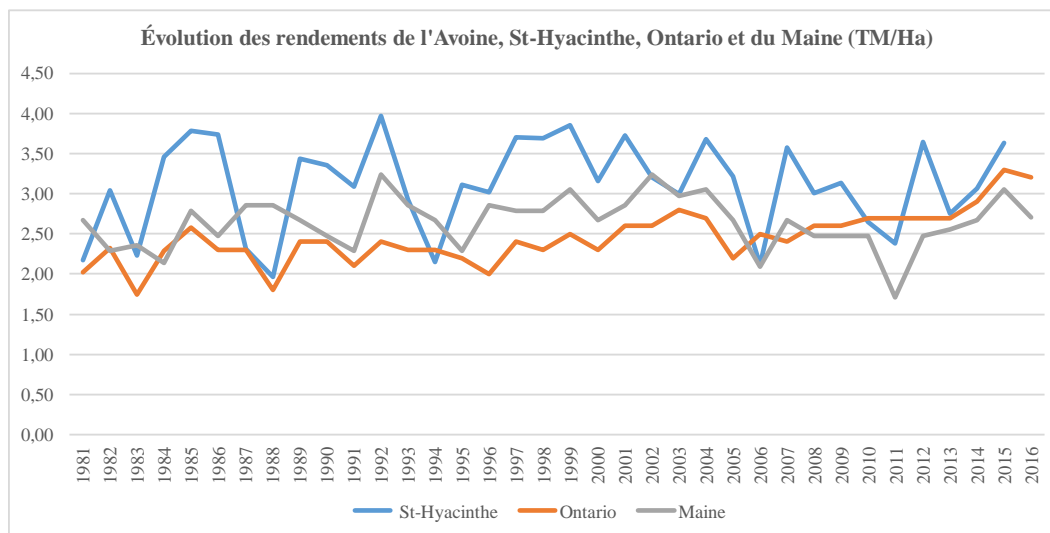
Une croissance non significative des rendements et une absence généralisée de plateau

L'analyse de croissance pour la période 1981-2015 révèle que le rendement moyen dans la plupart des régions n'a pas changé d'un point de vue statistique, sauf dans la région du Centre et du Lac-Saint-Jean avec un taux de croissance respectif de 0,70% et 0,60% annuellement (au seuil 10% et 5% respectivement). La période 2000-2015 ne présente pas de changement significatif du taux de croissance des rendements, et ce pour toutes les régions sauf pour le Saguenay-Lac-Saint-Jean où les rendements ont crû de 1,68% annuellement (seuil 1%). Finalement, l'analyse de plateau montre que seule la région de Saint-Hyacinthe dénote une telle tendance (seuil 5%).

3.4.3 Avoine : Le positionnement de la meilleure région productrice du Québec

En comparant la région de Saint-Hyacinthe avec l'Ontario et la région américaine avec les rendements historiques les plus élevés, soit ceux du Maine (voir figure ci-après), on constate que l'évolution de ces derniers semble montrer la même tendance sauf pour la variabilité qui semble plus élevée pour la région de Saint-Hyacinthe. Une analyse de différence de moyenne vient confirmer ces tendances. Pour la période 1981-2016, la variance des rendements de la région de Saint-Hyacinthe a été plus élevée qu'en Ontario et au Maine, alors que pour la période 2000-2016, la variabilité des rendements a été statistiquement similaire dans les trois régions. Finalement, les rendements moyens dans les trois régions ont été semblables d'un point de vue statistique, pour les deux périodes étudiées.

Figure 6 : Évolution des rendements de l'Avoine, Saint-Hyacinthe, Ontario et Maine



3.5 Blé : Analyse de l'évolution des rendements³³

3.5.1 Blé : Le Québec par rapport aux régions canadiennes et celles des États-Unis

Des rendements au Québec comparables aux autres régions

Le tableau ci-après présente les résultats pour la production de blé³⁴. Les analyses de différence de moyenne montrent que la moyenne des rendements historiques du Québec (3,04T/ha) se compare avantageusement au rendement de plusieurs régions. Ainsi, le Québec présente des rendements de blé statistiquement plus élevés que ceux des Prairies canadiennes, du Dakota du Nord et du Sud, du Kansas, du Montana et du Wyoming. L'Ontario affiche cependant une moyenne historique supérieure (4,35T/ha) à celle du Québec. Il en est de même pour l'Illinois, l'Indiana, le Michigan, New York, l'Ohio, la Pennsylvanie et le Wisconsin.

³³ Notons, faute de données appropriées, qu'aucune différence n'a été faite entre les divers types de blés. Cette section considère tous les types de blés confondus.

³⁴ À noter que nous avons utilisé la moyenne annuelle du rendement blé, tous types de blés confondus (blé de printemps, blé d'automne, etc.) en raison de la non-disponibilité des rendements par type de blé.

Tableau 11 : Rendements moyens et croissance annuelle moyenne Blé, Québec

	Rendements moyens (t/ha) et croissance annuelle moyenne du Blé (%), 1981-2016 et 2000-16							
	Nb. Obs.	Moy. 2014-16	Analyse période 1981 - 2016			Croissance 2000-2016		
			Moy. 1981-2016	Diff Variabilité	Plateau	Crois. (%/an)	Croiss.(%/an)	Croiss. (kg/an)
États-Unis	36	3,14	2,71			0,83 ***	1,20 ***	34
Canada	36	3,20	2,37			1,70 ***	3,19 ***	83
Québec	36	3,43	3,04		Non	0,24 *	0,30	
Ontario	36	5,37	4,35 (+)	Qc < ON ***	Non	1,40 ***	0,99 ***	49
Prairies	36	3,10	2,31 (-)	Qc < PR ***	Non	1,60 ***	3,10 ***	78
Dakota du Nord	36	3,09	2,28 (-)	Qc < ND ***	Non	1,33 ***	2,49 ***	64
Dakota du Sud	36	3,44	2,43 (-)	Qc < SD ***	Non	1,92 ***	2,05 **	55
Illinois	36	4,62	3,72 (+)	Qc < IL ***	Non	1,15 ***	1,13 **	46
Indiana	36	5,04	3,96 (+)	Qc < IN ***	Non	1,38 ***	0,94 *	43
Iowa	36	3,68	3,01	Qc < IA ***	Non	1,39 ***	-0,16	
Kansas	36	2,74	2,52 (-)	Qc < Ks ***	Non	0,58 *	0,44	
Maine	n.d.							
Massachusetts	n.d.							
Michigan	36	5,47	4,09 (+)	Qc < MI ***	Non	1,69 ***	1,35 ***	66
Minnesota	36	3,89	2,99	Qc < MN ***	Non	1,32 ***	1,81 ***	59
Montana	36	2,57	2,08 (-)	Qc < MT ***	Non	1,08 ***	2,92 ***	61
New Hampshire	n.d.							
New York	36	4,48	3,69 (+)	Qc < NY ***	Non	1,07 ***	1,67 ***	68
Ohio	36	4,95	4,04 (+)	Qc < OH ***	Non	1,28 ***	0,42	
Pennsylvanie	36	4,44	3,47 (+)	Qc < PA ***	Non	1,47 ***	1,98 **	75
Vermont	n.d.							
Wisconsin	36	4,89	3,86 (+)	Qc < WI ***	Non	1,39 ***	0,99 *	44
Wyoming	36	2,33	1,94 (-)	Non	Non	0,32	2,25 ***	43

*** Significatif à 1%

(+) Significativement plus élevée qu'au Québec

** Significatif à 5%

(-) Significativement plus faible qu'au Québec

* Significatif à 10%

(n.d.) Indique une absence de données

Sources: USDA, Statistique Canada. Calcul des auteurs

Une variabilité des rendements moindre au Québec

Le tableau 11 montre que la variabilité des rendements au Québec est plus faible que dans la plupart des régions à l'étude, sauf au Wyoming où elle est égale. De plus, il ressort de l'analyse de différence de variabilité des rendements entre la période 1981-1999 et 2000-2016 que seule la région des Prairies canadiennes présente une variabilité qui diffère entre les deux périodes avec une variabilité des rendements plus élevée pour la deuxième période³⁵.

Une croissance significative des rendements et une absence généralisée d'un plateau

Toutes les régions sauf le Wyoming, montrent une croissance significative de leur rendement moyen historique. Bien que le Québec présente une croissance significative de ses rendements de blé, celle-ci demeure faible comparativement aux autres régions. En effet, une analyse de différence de moyenne conclut que la croissance dans toutes les régions a été significativement supérieure à celle du Québec, sauf une fois de plus, celle du Wyoming³⁶. Pour la période 2000-2016, la croissance reste positive pour la plupart des régions, sauf au Québec où elle n'est pas significative d'un point de vue statistique. Notons que les Prairies canadiennes, le Dakota du Nord et du Sud, le Montana et le Wyoming semblent avoir connu la plus forte croissance des rendements moyens au cours de cette période.

³⁵ Résultats non présentés

³⁶ Ces résultats ne sont pas présentés dans le tableau

3.5.2 Blé : Les régions productrices du Québec

Saint-Hyacinthe, La Prairie Valleyfield et St-Jean-sur-Richelieu: l'histoire se répète

Une fois de plus, ce sont les régions de Saint-Hyacinthe, de La Prairie Valleyfield et de Saint-Jean-sur-Richelieu qui occupent les trois premières places en termes de rendements historiques pour la production de blé (Tableau 11). Les trois autres régions obtenant des rendements supérieurs à la moyenne provinciale; sont le centre du Québec (au seuil 10%), Lanaudière et la Mauricie. Les autres régions ont des rendements moindres ou équivalents à ceux de la moyenne provinciale pour la période 1996-2015, soit la période où les données sont disponibles.

Une variabilité des rendements moindre au Québec

On note une plus grande variabilité des rendements dans les régions de Saint-Hyacinthe, de Saint-Jean-sur-Richelieu, de la Beauce, de Granby-Estrie de La Prairie Valleyfield, de l'Outaouais, de l'Abitibi-Témiscamingue et de la Mauricie que la variabilité moyenne provinciale. Mentionnons que ces résultats ne sont pour la plupart, significatifs qu'aux seuils 5% et 10%.

L'analyse de différence de variabilité entre les périodes 1981-1999 et 2000-2016 n'a montré aucune différence significative de variabilité des rendements entre les deux périodes³⁷.

Une croissance endémique des rendements et une absence d'un plateau

La croissance des rendements dans la période 1996-2015 n'a pas été au rendez-vous dans toutes les régions. La région de la Beauce a même connu une décroissance significative de ses rendements historiques de 1,67% annuellement. La période 2000-2016 ne présente pas de changement important à ce sujet, sauf pour la Beauce où la croissance est cette fois non significative.

Tableau 12 : Rendements moyens et croissance annuelle moyenne Blé, Région du Québec

	Rendements moyens (kg/ha) et croissance annuelle moyenne du Blé (%), 1996 - 2015							
	Nb. Obs	Moy. 2013-15	Analyse période 1996-2015				Croissance 2000-2015	
			Moy. 1996-2015	Diff Variabilité	Plateau	Croiss. (%/an)	Croiss. (%/an)	Croiss. (kg/an)
Province	20	2789	2619		Non	-0,14	0,18	
St-Hyacinthe	20	3480	3352 (+) ***	StH > Prov **	Non	0,31	-0,23	
St-Jean Richelieu	20	3046	3058 (+) ***	StJ > Prov ***	Non	0,10	-0,62	
BStLaurent Gaspésie	20	2458	2398 (-) ***	Non	Non	-0,58	-0,27	
Québec (Rive Nord-Sud)	20	2304	2210 (-) ***	Non	Non	-0,78	-0,25	
Beauce	19	2103	2093 (-) ***	Beauc > Prov **	Non	-1,67 **	-0,16	
Centre du Québec	20	3030	2685 (+) **	Non	Non	0,20	1,13	
Granby Estrie	20	2187	2061 (-) ***	GrEst > Prov *	Non	-0,65	0,34	
La Prairie Valleyfield	20	3430	3278 (+) ***	LPrVal > Prov **	Non	0,82	0,26	
Outaouais	18	3113	2479	Outa > Prov **	Non	0,98	1,33	
Abitibi Témis.	19	2813	2317 (-) ***	Ab > Prov *	Non	0,97	1,14	
Lanaudière	20	3148	2899 (+) ***	Non	Non	0,49	0,67	
Mauricie	19	3275	2852 (+) ***	Maur > Prov *	Non	0,46	1,23	
Sag. Lac St-Jean	19	2994	2615	Non	Non	0,25	0,56	

*** Significatif à 1%

** Significatif à 5%

* Significatif à 10%

(+) Significativement plus élevée qu'au Québec

(-) Significativement plus faible qu'au Québec

(n.d.) Indique une absence de données

Sources: FADQ. Calcul des auteurs

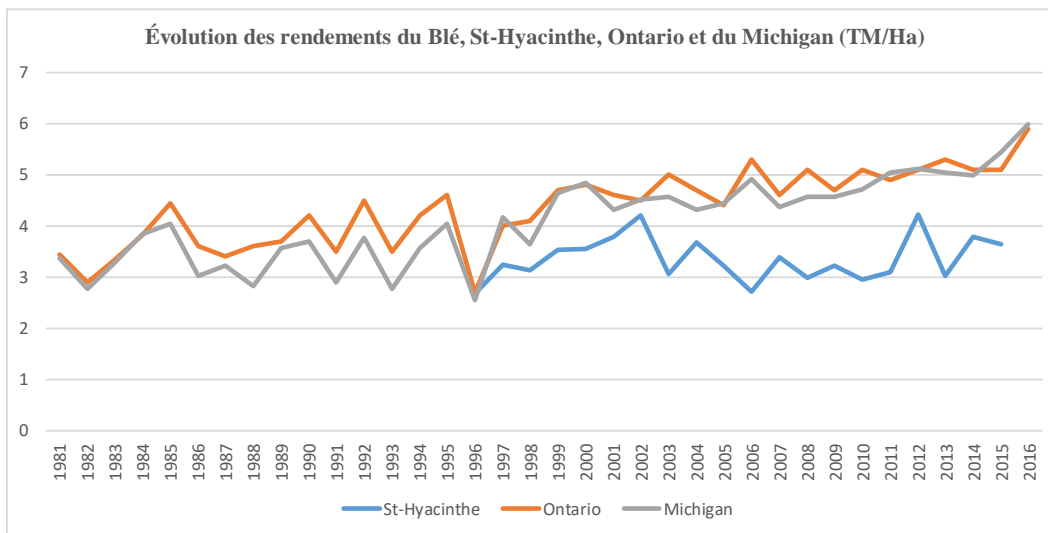
³⁷ Résultats non présentés

3.5.3 Blé : Le positionnement de la meilleure région productrice du Québec

La région qui a obtenu les meilleurs rendements parmi les régions américaines retenues est le Michigan, c'est pourquoi nous avons opté pour comparer Saint-Hyacinthe à cette région de même qu'à l'Ontario. Nous nous attarderons spécifiquement à la période 2000-2015, puisque nous ne sommes pas en possession des données avant 1996 pour la région de Saint-Hyacinthe.

La variabilité des rendements du blé a été similaire d'un point de vue statistique entre les trois régions. Concernant les rendements, les analyses statistiques montrent que la région de Saint-Hyacinthe présente des rendements plus faibles d'un point de vue statistique. Ainsi, au cours de la période 2000-2016, les rendements moyens de Saint-Hyacinthe (2000-2015) ont été de 3,40t/ha alors que ceux de l'Ontario et du Michigan ont été respectivement de 4,95t/ha et 4,80t/ha.

Figure 7 : Évolution des rendements du Blé, Saint-Hyacinthe, Ontario et Michigan



3.6 Canola : Analyse de l'évolution des rendements du Canola³⁸

3.6.1 Canola : Le Québec par rapport aux régions canadiennes et celles des États-Unis

Pour la production du Canola les informations sont plutôt rares car plusieurs régions ne produisent pas cette céréale. C'est pourquoi cette section s'attardera uniquement aux régions du Québec, de l'Ontario et des Prairies de même qu'à quelques États américains.

Le tableau 12 montre que le Québec se compare avantageusement aux autres régions concernant les rendements moyens historiques. Ainsi, le rendement moyen du Québec est statistiquement supérieur à celui des Prairies canadiennes, du Dakota du Nord et du Minnesota.

³⁸ Notons que nous n'avons pas pu obtenir les données des régions québécoises pour la production de canola.

Tableau 13 : Rendements moyens et croissance annuelle moyenne Canola, Québec

	Rendements moyens (t/ha) et croissance annuelle moyenne du Canola (%), 1996-2016 et 2000-16							
	Nb. Obs.	Moy. 2014-16	Analyse période 1996 - 2016			Croissance 2000-2016		
			Moy. 1996-2016	Diff Variabilité	Plateau	Crois. (%/an)	Croiss. (%/an)	Croiss. (kg/an)
États-Unis	21	1,91	1,66		Non	1,42 ***	1,76 ***	30
Canada	21	2,20	1,71		Non	2,65 ***	3,41 ***	58
Québec	21	2,20	2,12		Non	-0,06	0,08	
Ontario	21	2,37	2,10	Qc < ON **	Non	0,55	1,10 *	22
Prairies	21	2,20	1,71 (-) ***	Qc < PR ***	Non	2,65 ***	3,41 ***	58
Dakota du Nord	21	2,03	1,68 (-) ***	Qc < ND ***	Non	1,69 ***	2,06 ***	35
Dakota du Sud	n.d.							
Illinois	n.d.							
Indiana	n.d.							
Iowa	n.d.							
Kansas	n.d.							
Maine	n.d.							
Massachusetts	n.d.							
Michigan	n.d.							
Minnesota	19	2,05	1,63 (-) ***	Qc < MN ***	Non	1,74 **	2,45 **	38
Montana	n.d.							
New Hampshire	n.d.							
New York	n.d.							
Ohio	n.d.							
Pennsylvanie	n.d.							
Vermont	n.d.							
Wisconsin	n.d.							
Wyoming	n.d.							

*** Significatif à 1%

** Significatif à 5%

* Significatif à 10%

Sources: USDA, Statistique Canada. Calcul des auteurs

(+) Significativement plus élevée qu'au Québec

(-) Significativement plus faible qu'au Québec

(n.d.) Indique une absence de données

L'Ontario présente les mêmes rendements moyens que le Québec. Notons que la variabilité des rendements est moindre au Québec comparativement aux autres régions. Nous n'avons pas relevé de plateau et la croissance moyenne des rendements au Québec est non significativement différente de zéro. Les autres régions montrent pour leur part, une croissance significative de leur rendement au seuil 1% sauf pour le Minnesota où la croissance est significative au seuil 5% seulement.

3.7 Principaux constats sur l'évolution des rendements au Québec

Les analyses statistiques ont permis de démontrer que le Québec tire très bien son épingle du jeu en matière d'évolution des rendements des grains par rapport aux autres régions productrices en Amérique du Nord. En effet, et contrairement au postulat formulé dans le cadre de la réalisation du plan stratégique sectoriel (voir section 1.1) voulant que la croissance des rendements des grains au Québec soit moins importante qu'ailleurs, l'analyse comparative du niveau, de l'évolution et de la variabilité des rendements montre au contraire que généralement le Québec enregistre des taux de croissance et une variabilité des rendements similaires aux autres régions. Autrement dit, si on tient compte de ses spécificités en ce qui concerne ses sols et son climat, le secteur des grains québécois a réussi à adopter les innovations et les améliorations de ses pratiques et connaissances (génétique, régie, etc.) de manière aussi efficace que les autres régions productrices à l'étude.

Le tableau ci-après résume les principaux constats pour les différents grains analysés.

Tableau 14 : Sommaire des résultats de l'analyse comparative du niveau, de l'évolution et de la variabilité des rendements du Québec par rapport aux autres régions

Grains/Éléments	Rendement moyen	Taux de croissance	Variabilité
Maïs	Des rendements plus faibles que l'Ontario et l'Iowa	Une croissance significative Québec = Ontario Québec = Iowa Absence de plateau	Une variabilité des rendements comparable à l'Ontario et à l'Iowa
Soya	Des rendements comparables à l'Ontario, mais inférieurs à l'Iowa	Une croissance significative Québec = Ontario Québec < Iowa Absence de plateau au provincial Présence au régional	Une variabilité des rendements comparable à l'Ontario et moindre qu'en Iowa
Orge	Des rendements au Québec comparables aux autres régions	Une croissance significative Québec = Ontario Québec < Prairies Absence de plateau	Une variabilité des rendements moindre ou comparable
Avoine	Des rendements comparables aux autres régions	Une croissance faible Québec = Ontario Québec = Prairies Présence d'un plateau	Une variabilité des rendements comparable à l'Ontario et moindre que dans les Prairies
Blé	Des rendements plus faibles que l'Ontario, mais plus élevés que dans les Prairies	Une croissance faible Québec < Ontario Absence de plateau	Une variabilité des rendements moindre
Canola	Des rendements comparables aux autres régions	Absence de croissance Québec < Ontario Absence de plateau	Une variabilité des rendements moindre

Ayant en tête le portrait comparatif de l'évolution des rendements des grains au Québec, la prochaine section présente les résultats des analyses visant à identifier les principaux facteurs explicatifs des rendements des grains au Québec.

4. Identification des facteurs déterminants des rendements

Ce chapitre présente les résultats de nos analyses concernant les facteurs explicatifs de l'évolution des rendements des céréales au Québec. Les cultures étudiées sont dans l'ordre ; le Maïs-grain, l'Orge, l'Avoine, le Soya et le Blé.

Méthode d'analyse

La méthode d'analyse de données longitudinales a été utilisée. Ce type de données comprend plusieurs observations au cours du temps pour un même individu³⁹ ou dans notre cas, pour une même région⁴⁰. Pour chaque type de culture, une régression de type longitudinal (panel) a été employée faisant le lien entre le rendement obtenu dans chaque région en fonction de diverses informations concernant par exemple, la température, les précipitations, le niveau de matière organique dans le sol, etc. Une régression de panel est utilisée afin de trouver un effet commun d'une variable entre tous les individus. Dans notre cas par exemple, on cherche à vérifier si la variation de la matière organique dans le sol a un effet similaire pour toutes les régions observées. Comme mentionné, la méthode de Weersink et al.⁴¹ qui est très répandue dans la littérature, a été privilégiée. Les analyses ont été faites à l'aide du logiciel STATA™ et celles-ci couvrent la période 1981 à 2015. Les régions retenues sont les régions administratives de la Financière du Québec.

Les variables analysées et les sources d'information

Les données qui ont été analysées pour ce rapport sont énumérées dans le tableau ci-après. Le nom des variables, une description ainsi que leur source y sont mentionnées. Seules celles ayant un impact significatif sur la variable dépendante « rendement » ont été retenues dans les régressions.

Tableau 15 : Liste des variables, descriptions et manipulations et sources

Variables	Description	Sources
Rendements provinciaux (Québec, Ontario et Prairies)	Données sur les rendements en kg/ha	Statistique Canada Tableau 001-0072
Rendements régions administratives du Québec	Données sur les rendements réels par région administrative de la FADQ en kg/ha	La Financière agricole du Québec (FADQ) Sortie spéciale
Rendements États américains	Données sur les rendements en boisseaux/acre	USDA https://quickstats.nass.usda.gov/
Météo	Les données météo journalières sont les températures minimums, maximums et les précipitations pour une ville donnée incluant un rayon de 40km. Pour chacune des régions productrices, une ou deux villes ont été sélectionnées en fonction des superficies récoltées dans ladite région. Par exemple, pour la région de Granby-Estrie, pour la culture du blé, Valcourt et Compton ont été choisies. À partir des températures et précipitations, plusieurs variables ont été calculées (degrés/jour, température moyenne, minimum, maximum, variabilité (variance) et ce, par mois, par saison ...), afin de tester les hypothèses de base	Ces résultats ont été générés à l'aide des modules informatiques du logiciel CIBIOG et de la banque de données climatiques quotidiennes maillées aux 10 km pour le Canada (1950-2015) Agriculture et agroalimentaire Canada, Saint-Jean-sur-Richelieu, Québec
Prime d'assurance	Représente les Indemnités versées / Valeurs assurées	Financière agricole du

³⁹ Cf : https://fr.wikipedia.org/wiki/Donn%C3%A9es_de_panel

⁴⁰ Par exemple, pour chaque région on aura pour chaque année le rendement et le nombre d'unités thermiques.

⁴¹ Weersink, Alfons, Juan H. Cabas et Edward Olale. (2010) Acreage Response to Weather, Yield, and Price. Canadian journal of agricultural economics 58. Pp. 57-78.

Identification des facteurs explicatifs de l'évolution des rendements en production de grains au Québec
Rapport final présenté au GCSGQ

Variables	Description	Sources
		Québec https://www.fadq.qc.ca/fr/statistiques/assurance-recolte/statistiques-annuelles/
PIB par habitant	PIB par habitant du Québec, 1981=100	Institut de la Statistique du Québec (ISQ)
Matières organiques	Données sur la matière organique (teneur en carbone organique) dans le sol, calculées en fonction des changements dans la fréquence des travaux du sol, des mises en jachère et des passages des cultures annuelles aux cultures de plantes fourragères vivaces ou aux pâturages. Variations annuelles et cumulatives (1980=0)	AAC http://www.agr.gc.ca/fra/science-et-innovation/pratiques-agricoles/sol-et-terre/indicateur-de-la-matiere-organique-du-sol/?id=1462905651688
Fertilisants	Données sur les dépenses fertilisantes; engrais et chaux en dollar de 1981 (avant 1986, les deux éléments étaient calculés séparément et ont été jumelés afin d'être en lien avec le reste de la série). En utilisant un prix constant, l'indice se trouve à représenter l'évolution de la quantité/qualité des fertilisants utilisés	Statistique Canada Tableau 002-0005
Pesticides	Données sur les dépenses pesticides en dollar de 1981. En utilisant un prix constant, l'indice se trouve à représenter l'évolution de la quantité/qualité des pesticides utilisés	
Semences	Données sur les dépenses semences en dollar de 1981. En utilisant un prix constant, l'indice se trouve à représenter l'évolution de la quantité/qualité des semences utilisées	
Valeur machinerie	Valeur du capital des fermes, au 1 ^{er} juillet, machinerie et matériel (x 1000\$) 1981=100	Statistique Canada Tableau 002-0007
IPC fertilisant, pesticide, machinerie et semence	Trois bases de données constituent l'IPC pour avoir une série de 1981 à 2015. (1981=100). Les IPC sont pour l'Est du Canada et pas seulement pour le Québec, en raison de la configuration des bases de données pour certaines années. L'IPC pour la machinerie contient aussi les véhicules automobiles sur les fermes. L'IPC des semences contient les semences et les plantes commerciales	Statistique Canada Tableaux 328-0001; 328-0014; 328-0015
IPC grains	IPC sur le prix des grains (1981=100)	Statistique Canada Tableau 002-0020
Dettes des entreprises	Ratio d'endettement des fermes du Québec	Statistique Canada Tableau 002-0020
Amortissement	Données sur les amortissements des bâtiments et de la machinerie (x 1000\$)	Statistique Canada Tableau 002-0005
Prix Grain	Prix de marchés dollars / tonne; dollars / hectare	FADQ https://www.fadq.qc.ca/statistiques/assurance-stabilisation/historique-par-produit-dassurance/
Superficies semées /récoltées	Données sur les superficies semées et récoltées par grains et par région	ISQ
Variable binaire sur les lois	Règlement sur la réduction de la pollution d'origine agricole (RRPOA) adopté en 1997 Projet de loi n°23 : Loi modifiant la Loi sur la protection du territoire agricole et d'autres dispositions législatives afin de favoriser la protection des activités agricoles qui est entrée en vigueur en 1996 Règlement sur les exploitations agricoles (REA); entrée en vigueur 2002	http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/prod-porcine/documents/Legal44.PDF http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/milieu_agri/agricole/index.htm

Les résultats des analyses économétriques portant sur les facteurs déterminants des rendements au Québec pour chacune des cultures à l'étude sont fournis à la sous-section suivante.

4.1 Le rendement du Maïs

Le tableau ci-après présente les résultats de nos analyses pour la production de maïs. Chacune des variables retenues est significative au seuil 1% (10% pour les quatre exceptions) à l'exception de quatre variables.

Tableau 16 : Facteurs explicatifs de l'évolution du rendement du maïs dans les régions administratives du Québec

	Coefficient	t-Stat	Prob
OrgMatterA	7,24	2,69	0,01
VolFert	9,12	4,15	0,00
VolFert2	-0,004	-4,25	0,00
PMoyMai	-11,34	-7,46	0,00
PMoyJuin	-6,41	-3,75	0,00
VPAout	-2,49	-1,84	0,07
VPSept	-2,83	-1,99	0,05
VTSept	-22,89	-2,01	0,05
VTOct	-18,74	-1,87	0,06
UTMmaoct	5,25	12,54	0,00
t	67,42	4,39	0,00
Constante	-28856	-7,52	0,00

Selon les résultats, le rendement du maïs est expliqué en partie par :

- La matière organique dans le sol (OrgmatterA) : La relation entre la matière organique et le rendement est positive, c'est-à-dire qu'un accroissement (une réduction) de la matière organique aura un impact positif (négatif) sur les rendements. Ainsi, la réduction de la matière organique observée dans le sol au Québec a eu un impact négatif sur le niveau des rendements au Québec. Une réduction d'une unité de matière organique (1kg/ha) implique une baisse de 7,24 kg/ha dans le rendement du maïs. Selon les résultats du modèle, la perte annuelle de matière organique observée réduit d'environ 10 % les rendements de maïs au Québec.
- La fertilisation (VolFert et VolFert2) : Le volume de fertilisation utilisé (VolFert) a un impact positif sur les rendements, mais celui-ci présente un impact marginal décroissant (VolFert2). Soulignons que cette variable a été obtenue en utilisant les dépenses totales en milliers de dollars dans la province de Québec, divisées par l'indice du prix des fertilisants. Ainsi, cet impact doit être vu comme une moyenne de l'impact de la croissance de l'utilisation des fertilisants à l'échelle provinciale sur la moyenne générale des rendements dans les régions du Québec.
- La moyenne des précipitations des mois de mai et de juin ((PMoyMai et PMoyJuin respectivement) : Ces deux variables ont un impact négatif sur les rendements. Ainsi, une croissance d'un millimètre de pluie en mai ou juin viendra diminuer les rendements moyens de 11,34 et 6,41 kg/ha respectivement.
- La variabilité des précipitations des mois d'août, de septembre et d'octobre (VPAout, VPSept et VPOct respectivement) : Ces trois variables ont aussi des impacts négatifs, surtout pour les mois de septembre et octobre.
- Les unités thermiques maïs de mai à octobre (UTMmaoct) : Sans grande surprise, le nombre d'unités thermiques maïs des mois de mai à octobre a un impact positif sur les rendements, chaque unité apportant une croissance de 5,25kg/ha sur les rendements moyens.

- L'innovation technologie et la régie des cultures (t) : La littérature sur l'explication de l'évolution des rendements souligne que la variable temporelle (variable « t ») représente le changement technologique, la régie des cultures et les nouvelles variétés introduites sur le marché. Ainsi, au cours du temps ces éléments expliquent la croissance structurelle des rendements du maïs de 67,42 kg/ha annuellement.

4.2 Le rendement du Soya

Le Tableau ci-après présente les résultats de nos analyses pour la production du soya. Toutes les variables retenues à l'exception d'une, sont significatives au seuil 1% (à 2 % pour l'exception). Le rendement du soya est expliqué par le niveau de matière organique (OrgMatterA), le volume de fertilisation utilisé (VolFert), la moyenne des précipitations du mois de mai (PMoyMai), la variabilité des précipitations du mois de juin (VTJuin). Ici encore, la variable « t » représente le changement structurel non expliqué par les autres variables du modèle, c'est-à-dire le changement technologique, la régie des cultures, et les nouvelles variétés introduites sur le marché.

Comme dans le cas du maïs, la réduction du niveau de matière organique dans le sol a un impact négatif sur les rendements, avec une baisse de 2,85kg/ha pour chaque kg/ha de matière organique dans le sol. Selon les résultats du modèle, la perte de matière organique représente en moyenne une réduction d'un peu plus de 10 % des rendements du soya au Québec.

Ici encore, les variables météorologiques ont un impact significatif sur le rendement du soya avec la variabilité des précipitations du mois de juin montrant un impact important négatif de 3,65kg/ha pour chaque degré Celsius de variance. La variable de tendance montre un changement technologique (incluant le management, les nouvelles variétés) de 48,63kg/ha par année en moyenne.

Tableau 17 : Facteurs explicatifs de l'évolution du rendement du soya dans les régions administratives du Québec

	Coefficient	t-Stat	Prob
OrgMatterA	2,85	2,39	0,02
VolFert	0,98	6,47	0,00
UTMmaoct	0,78	4,81	0,00
PMoyMai	-1,87	-2,66	0,01
VPJuin	-3,65	-3,69	0,00
t	48,63	6,23	0,00
Constante	-12644	-6,79	0,00

4.3 Le rendement de l'Orge

Le tableau suivant présente les résultats de nos analyses pour la production de l'orge. Chacune des variables retenues est significative au seuil 1% (5% pour les exceptions), à l'exception de deux variables. Le rendement de l'orge est expliqué par le volume de fertilisation utilisé (Volfert), la moyenne des précipitations du mois de mai (PMoyMai), la variabilité des précipitations du mois de mai, la température maximale du mois de juin (TMaxJuin), la température du mois de juillet (TMoynJuil) et les précipitations moyennes de mai, juin, juillet et août (PMoyMai, PMoyJuin, PMoyJuil et PMoyAoût respectivement).

Dans ce modèle et bien que l'effet soit faible (0,54), l'utilisation des fertilisants comme mentionné, accroît les rendements, mais nous n'avons pas noté de rendement marginal décroissant comme dans le cas du maïs. C'est la température moyenne du mois de juillet qui a l'impact marginal le plus important avec un coefficient de -185,59. Ainsi, lorsque la température moyenne du mois de juillet s'accroît d'un degré, les rendements de l'orge diminuent de 185,59kg/ha. Soulignons cependant qu'un degré de plus en moyenne représente une croissance très importante des températures.

La variable temporelle « t » montre que le changement technologique, la régie des cultures, et les nouvelles variétés introduites sur le marché ont eu un impact positif avec une croissance de 16,83kg/ha pour chacune des années, soit de 1981 à 2015.

Tableau 18 : Facteurs explicatifs de l'évolution du rendement de l'orge dans les régions administratives du Québec

	Coefficient	t-Stat	Prob
VolFert	0,54	5,87	0,00
TMoyMai	69,99	6,51	0,00
VMoyMai	-4,35	-2,36	0,02
TMaxJuin	-55,45	-6,88	0,00
TMoyJuin	-185,59	-10,27	0,00
PMoyMai	-2,64	-2,95	0,00
PMoyJuin	-4,45	-8,23	0,00
PMoyJuil	-1,22	-2,47	0,01
PMoyAout	-1,70	-3,65	0,00
t	16,83	7,32	0,00
Constante	3412	4,92	0,00

4.4 Le rendement de l'Avoine

Le tableau ci-après présente les résultats de nos analyses pour la production de l'avoine. Toutes les variables retenues à l'exception d'une, sont significatives au seuil 1%. Le rendement de l'avoine est expliqué par le volume de fertilisation utilisé, la moyenne des précipitations des mois d'avril, mai et juin (PMoyAvril, PMoyMai, PMoyJuin), la variabilité de la température du mois de juin (VTJuin) et le nombre d'unités thermiques de mai à septembre (UTMmasept).

Comme dans le cas de l'orge, l'effet de l'application des fertilisants est responsable de la croissance des rendements de l'avoine, mais à un degré moindre (coefficient : 0,30). De plus, comme dans le cas précédent, l'avoine n'a pas montré d'impact marginal décroissant négatif de cette variable.

Tableau 19 : Facteurs explicatifs de l'évolution du rendement de l'avoine dans les régions administratives du Québec

	Coefficient	t-Stat	Prob
VolFert	0,30	3,91	0,00
PMoyAvril	-3,35	-6,61	0,00
PMoyMai	-4,55	-9,43	0,00
PMoyJuin	-3,10	-5,81	0,00
VTJuin	-13,70	-4,26	0,00
UTMmasept	0,23	2,12	0,03
Constante	2092	5,39	0,00

Notons également qu'une croissance de la variabilité de la température (VTJuin) a un impact relativement important avec un coefficient de -13,70. Ainsi, une croissance de la variabilité d'un degré Celsius, diminue les rendements de 13,70 kg/ha. Contrairement aux deux céréales précédentes, la tendance temporelle n'est pas significative et n'a pas été retenue.

4.5 Le rendement du Blé

Le tableau ci-après présente les résultats de nos analyses pour la production de blé⁴². Selon les résultats, l'application de fertilisant (variable VolFert) montre un impact positif et significatif au seuil 1% avec un coefficient de 3,20. On note également que cet impact positif est marginalement décroissant (variable VolFert2) au fur et à mesure qu'on accroît l'utilisation des engrais avec un coefficient de -0,001 significatif au seuil 1%. Les précipitations du mois d'août (PMoyAout) ont eu un impact négatif et significatif au seuil 1% sur les rendements du blé de l'ordre. Ainsi, pour chaque millimètre et plus de précipitations, on note une décroissance de 3,35 kg/ha dans le rendement.

Tableau 20 : Facteurs explicatifs de l'évolution du rendement du blé dans les régions administratives du Québec

	Coefficient	t-Stat	Prob
VolFert	3,20	3,51	0,00
VolFert2	-0,001	-3,13	0,00
PMoyAout	-3,35	-4,37	0,00
TMoyMai	45,37	3,33	0,00
VTAout	-28,06	-3,60	0,00
Constante	603	1,24	0,22

La température du mois de mai (TMoyMai) présente un impact important et significatif au seuil 1% sur les rendements (45,37). Ainsi, pour chaque degré Celsius dans la température moyenne, les rendements augmentent en moyenne de 45,37 kg/ha. La variabilité de la température a aussi un impact (-28,06) comme c'est le cas pour la variable VTAout qui représente la variabilité de la température du mois d'août. Ainsi, plus la température est variable au mois d'août, moins les rendements sont élevés. C'est la température du mois de mai qui a un impact le plus important sur les rendements, avec un coefficient de 45,37.

4.6 Principaux constats sur les facteurs explicatifs des rendements au Québec et pistes d'action prioritaires

L'objectif des analyses économétriques était d'identifier les principaux facteurs explicatifs de l'évolution des rendements au Québec. Ces facteurs dans nos modèles économétriques sont :

- La matière organique
- La température et les précipitations (le niveau et la variation)
- La fertilisation
- L'innovation et la régie des cultures

De plus, dans le cadre de notre mandat nous devons identifier sur la base des facteurs déterminants, les pistes d'action prioritaires à déployer pour optimiser la croissance des rendements au Québec. Nous présentons ci-après ces principaux facteurs déterminants des rendements des cultures, les constats et les pistes d'action prioritaires à déployer.

La matière organique

La réduction observée de la matière organique dans le sol au cours des dernières années a un impact négatif significatif sur le rendement du maïs et du soya au Québec (impact négatif d'environ 10% sur le niveau des rendements). Ainsi, il est prioritaire pour le secteur des grains, de déployer une stratégie pour stimuler les entreprises céréalères à introduire des pratiques agronomiques visant à accroître le taux de matière organique des sols, si l'on veut optimiser les rendements au Québec.

⁴² À noter que nous avons utilisé la moyenne annuelle du rendement blé, tous types de blés confondus (blé de printemps, blé d'automne, etc.) en raison de la non-disponibilité des rendements par type de blé.

Sans entrer dans les détails, notons que différentes pratiques agronomiques peuvent être mises en place en vue d'accroître la matière organique des sols. Voici quelques exemples :

- Faire des apports de fumier ou de composts
- Intégrer aux rotations de cultures des espèces laissant davantage de matières ligneuses au sol
- Utiliser des cultures de couverture (en dérobée ou en intercalaire)
- Adopter des pratiques agricoles de conservation qui maintiennent au moins 30 % de résidus après semis (travail minimum du sol)
- Réduire l'érosion des sols pour retenir les particules organiques et maintenir une bonne épaisseur de la couche arable du sol (ex. : à l'aide de haies brise-vent, de structures de conservation de l'eau, de cultures de couverture non enfouies à l'automne, etc.).

Un des enjeux pour favoriser l'adoption de pratiques favorables à l'accroissement de la matière organique dans le sol vient du fait qu'en général les coûts pour le producteur sont à court terme tandis que les bénéfices se feront ressentir à moyen long terme dans la mesure où l'amélioration du taux de matière organique dans le sol n'est jamais immédiate. En ce sens considérant le bénéfice environnemental et intergénérationnel d'une amélioration de la teneur en matières organiques dans le sol, des programmes d'aide à l'adoption de meilleures pratiques devraient être déployés pour accélérer l'adoption par les producteurs, de pratiques favorables à l'accroissement de la matière organique dans le sol⁴³.

À cet égard, notons qu'aux États-Unis plusieurs programmes d'aide financière sont gérés par l'USDA et disponibles pour les producteurs agricoles en vue d'intégrer différentes pratiques agricoles de conservation. Voici deux exemples de programmes existants :

- Environmental Quality Incentives Program (EQIP)⁴⁴
 - Programme offert aux entreprises agricoles visant l'adoption de pratiques de conservation des ressources sol, eau, air. L'appui fourni peut être sous forme de ressources financières (pour couvrir une part des dépenses liées à l'adoption des pratiques de conservation) ou d'appui technique (notamment pour l'élaboration d'un plan d'action approprié pour chaque entreprise).
 - Quelques exemples de pratiques subventionnées par le programme : cultures de couverture, grands tunnels, production biologique, différentes pratiques visant à réduire l'érosion des sols, etc.
- Conservation Stewardship Program (CSP)⁴⁵
 - Dans le cadre de ce programme, un contrat d'une durée de cinq ans avec option de renouvellement pour cinq années supplémentaires est établi entre le NRCS et le producteur. Ce contrat cible des mesures de conservation de l'environnement et des ressources à mettre en place sur l'entreprise agricole.
 - Quelques exemples de pratiques couvertes par le programme : travail réduit du sol ou semis direct, cultures de couverture, bandes riveraines, gestion de l'irrigation, utilisation de paillis, etc.
 - La subvention s'élève à un minimum de 1 500 USD/an et à un maximum de 40 000 USD/an en fonction des pratiques mises en place et des États concernés.

⁴³ À noter que la matière organique deviendra un enjeu grandissant avec les changements climatiques (voir point portant sur la température et les précipitations un peu plus loin dans la présente section.)

⁴⁴ <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/programs/financial/eqip/>

⁴⁵ <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/programs/financial/csp/>

<https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/cspsearch/national/programs/financial/csp/?lu=ALLL&rc=ALLR#cspTable>

La température et les précipitations

Sans grande surprise, la température ((UTM) et les précipitations sont des facteurs déterminants des rendements des grains au Québec. Le point à noter ici en lien avec les changements climatiques est l'impact négatif sur les rendements qu'ont les variations de température et de précipitations, comme les modèles économétriques l'ont démontré.

Les changements climatiques devraient avoir des effets bénéfiques sur les rendements avec un accroissement des UTM et de la période de végétation, mais ils devraient également être accompagnés par de plus fortes variations de température et de précipitations. Selon le résultat de nos analyses, de plus grandes variations météorologiques devraient se traduire par des effets négatifs sur les rendements.

Ici encore, plusieurs pratiques agronomiques peuvent être déployées par les producteurs pour minimiser les impacts négatifs. Par exemple, pour assurer un meilleur drainage et une meilleure infiltration de l'eau dans les champs lors de périodes de pluies intenses, les producteurs pourraient, en fonction des réalités de l'entreprise, favoriser des pratiques de conservation du sol (ex. travail réduit), réduire la circulation à des endroits spécifiques dans les champs pour limiter la compaction, intégrer dans leur rotation de cultures des espèces reconnues pour leurs propriétés structurantes, etc.⁴⁶ Le secteur aurait donc intérêt à déployer, notamment en lien avec les pratiques favorables à l'accroissement de la matière organique, une stratégie pour réduire les effets négatifs des changements climatiques sur les rendements des grains.

À cet égard, soulignons que le secteur maraîcher québécois s'est penché sur cette problématique. Une étude récemment réalisée pour l'Association des producteurs maraîchers du Québec⁴⁷ a mis en relief que les risques climatiques étudiés⁴⁸ demeureront préoccupants durant les prochaines décennies. Il s'avérera donc important pour les producteurs agricoles de tirer profit des opportunités liées aux changements climatiques, tout en veillant à réduire les impacts négatifs. Cette étude a aussi permis d'identifier des pratiques agricoles qui permettent d'accroître la résilience des entreprises agricoles face aux risques climatiques, dont l'accroissement de la matière organique dans le sol.

En continuité de cette étude, un projet est en cours et vise à développer un outil de diagnostic simple et convivial pour identifier les principales forces et faiblesses d'une entreprise maraîchère face aux risques climatiques. Différents outils pour aider le producteur à cibler des mesures d'atténuation à mettre en œuvre pour mieux gérer les risques climatiques sont aussi en élaboration. Cet outil diagnostique pourrait être facilement adapté pour le secteur des grains.

Dans le secteur maraîcher, différentes pistes de solutions potentielles ont été identifiées pour les six principaux risques climatiques documentés. Les pistes de solutions proposées au producteur découlent d'un exercice de diagnostic de sa ferme. La sélection des pratiques à mettre en place est réalisée conjointement par le producteur et son conseiller en considérant les différents aspects de l'environnement de production. Soulignons, à titre d'exemple, quelques-unes des pistes de solutions qui peuvent être proposées au producteur maraîcher en fonction des résultats de son diagnostic :

- Utiliser des cultures de couverture (en dérobée ou en intercalaire) et s'assurer que les sols sont protégés à l'automne et à l'hiver
- Intégrer des brise-vents pour réduire l'érosion des sols pour retenir les particules organiques et maintenir une bonne épaisseur du sol
- Sélectionner les variétés en considérant leur résistance aux conditions d'humidité abondante, à la sécheresse et aux maladies.
- Etc.

⁴⁶ D'autres pratiques intéressantes pour favoriser le drainage et l'infiltration de l'eau sont nommées dans un article récent du Bulletin des agriculteurs. https://www.lebulletin.com/cultures/quand-moins-de-labours-enrichis-le-sol-91548?utm_source=Le%20Bulletin&utm_campaign=7f639304b4--%202018-03-26&utm_medium=email&utm_term=0_0961cbe09-7f639304b4-87316514

⁴⁷ Forest Lavoie Conseil, 2016. Évaluation des principaux risques climatiques actuels sur les cultures maraîchères afin d'identifier les besoins d'adaptation et les technologies potentielles

⁴⁸ Excès de pluie ou pluie intense, périodes de sécheresse, gels hâtifs ou tardifs, vents violents, grêle, épisodes de chaleur excessive

Pour le secteur des grains, il s'avérera nécessaire dans un premier temps de bien documenter les risques climatiques qui affectent ses cultures. Par la suite dans un projet pilote, il sera question d'adapter l'outil de diagnostic et de valider ou de préciser les pistes de solutions potentielles à mettre en place en fonction des risques climatiques prépondérants dans le secteur.

La fertilisation

Les analyses démontrent que l'utilisation globale de la fertilisation au Québec est positive et qu'elle approche son niveau optimal. En effet, la fertilisation a un impact positif sur les rendements, mais cet impact est décroissant au fur et à mesure que l'on intensifie l'utilisation de la fertilisation. Cela ne doit pas être interprété comme le fait que nous ayons atteint un optimum au niveau de la fertilisation. En ce qui concerne la ferme, cela veut dire une individualisation des recommandations des doses et des techniques d'application en lien avec les coûts supplémentaires occasionnés par la croissance de la fertilisation et les profits supplémentaires qui en sont retirés.

À cet égard, notons les travaux récents de Mme Lucie Kaplan, Ph.D. de la Coop fédérée qui ont été présentés au Rendez-vous végétal le 7 février 2018. Mme Kaplan indiquait que pour optimiser économiquement les doses d'azote, il était nécessaire de considérer plusieurs variables tels que la date de semis, la texture du sol, la pluviométrie, la régie d'application et le potentiel de rendement. Ses analyses démontent également que dans le cas de champs à haut potentiel de rendement, les doses économiquement optimales à appliquer peuvent être supérieures aux recommandations du CRAAQ. Les résultats de son étude sont résumés dans la Revue le Coopérateur⁴⁹. Ici encore, les résultats font ressortir l'importance pour les producteurs, d'établir les doses économiquement optimales en fonction de la réalité spécifique de leurs champs.

⁴⁹ <http://www.coopérateur.coop/fr/affaires-agricoles/quelle-dose-dazote-est-optimale-dans-le-mais>

L'innovation, l'amélioration génétique et la régie des cultures

La variable temps est utilisée dans le modèle économétrique pour capter l'innovation technologique et l'amélioration de régie des cultures. Cette variable qui est positive et significative indique sans grande surprise que le transfert technologique, l'amélioration génétique et la régie des cultures sont des éléments clés de la réussite en ce qui concerne les rendements de grains. Toutefois, couplé aux résultats du taux de croissance (section précédente où l'on démontre que le Québec tire aussi bien son épingle du jeu que les autres régions étudiées), cela veut dire que le secteur des grains québécois réalise globalement un bon travail en ce qui concerne ces facteurs, du moins aussi bon que les autres régions à l'étude. Ainsi, il appert nécessaire de maintenir les efforts consentis au niveau de l'innovation, l'amélioration génétique et la régie des cultures pour maintenir un taux de croissance similaire aux autres régions.

À noter que pour ce qui est de l'avoine, nous n'avons pas capté d'effet « t » en raison de la stagnation des rendements (présence d'un plateau). Une stratégie d'innovation plus agressive dans les secteurs de l'innovation et de la régie des cultures devrait être considérée.

La création d'une banque de données centralisée

Comme mentionné précédemment, l'accès à l'information a été un défi important dans la réalisation de ce projet. Il n'existe pas de série de données historiques facilement accessible ni disponible dans un endroit centralisé. Sans la collaboration et l'appui des membres du secteur, la réalisation de cette étude aurait été sérieusement compromise.

En terminant, une dernière piste d'action que nous tenons à ajouter aux précédentes est la création d'une banque de données centralisées où l'ensemble des informations pertinentes sur les rendements des grains devraient être conservées par un organisme sectoriel et accessible à l'ensemble des membres du secteur des grains au Québec. Pour ce faire, il est suggéré de réunir les principaux membres du secteur pour préciser les données à colliger et identifier l'organisme qui serait responsable de la collecte et de la gestion de la banque de données.

5. Bibliographie

- Aït Hamza, Mohamed. Les céréales dans le Maroc du Centre-ouest. Méditerranée, tome 88, 1-1998. Précipitations et cultures céréalières dans le Centre-ouest du Maroc. Pp 27-32.
- Cerrato, M. E. and A. M. Blackmer (1990). Comparison of Models for Describing; Corn Yield Response to Nitrogen Fertilizer. *Agronomy Journal*. No 82: pp138-143.
- Chebil, A., N. Mtimet, H. Tizaoui. (2011). Impact du changement climatique sur la productivité des cultures céréalières dans la région de Béja (Tunisie) *Afjare* Vol. 6 No 2.
- Chengyi, Huang, Sjoerd Willem Duiker, Liangji Deng, Conggang Fang et Weizhong Zeng (2015). Influence of precipitation on maize yield in the eastern United States, *Sustainability* 2015, 7, pp 5996-6010.
- Finger, Robert (2010). Evidence of slowing yield growth – The example of Swiss cereal yields. Agri-food and Agri-environmental Economics Group, ETH Zürich, Sonneggstrasse 33, 8092 Zurich, Switzerland. *Food Policy* 35. pp 175-182
- Fisher, Tony, Derek Byerlee et Greg Edmeades (2014). Crop yields and global food security; will yield increase continue to feed the world? ACIAR Monograph no.158. Australian Centre for International Agriculture Research : Canberra. xxii + 634 pp.
- Forest Lavoie Conseil, 2016. Évaluation des principaux risques climatiques actuels sur les cultures maraîchères afin d'identifier les besoins d'adaptation et les technologies potentielles
- Gallais, André, Philippe Gate, François-Xavier Oury. (2010) Évolution des rendements de plusieurs plantes de grandes cultures : Une réaction différente au réchauffement climatique selon les espèces. Académie d'Agriculture de France. Mai.
- Garcia, P., Offutt S.E. M. Pinar et S.A.Changnon. (1987). Corn Yield Behavior : Effects of Technical Advance and Weather Conditions. *American Meteorological Society*. Vol.26. Septembre. pp. 1092-1102.
- Hafner, Sasha (2003). Trends in maize, rice, and wheat yields for 188 nations over the past 40 years: a prevalence of linear growth. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 97. 275–283
- Huang Haixiao et Madhu Khanna (2010). An Econometric Analysis of U.S. Crop Yield and Cropland Acreage: Implications for the Impact of Climate Change. Joint annual Meeting, AAEA, CAES & WAEA. University of Illinois at Urbana-Champaign
- Llano, Maria Paula, Walter Vargas et Gustavo Naumann (2012). Climate variability in areas of the world with high production of soya beans and corn: its relationship to crop yields. *Royal Meteorological Society, Meteorological Applications* 19: 385-396.
- Minten, Bart, Claude Randrianarisoa et Manfred Zeller (1997). Niveau, Évolution, et Facteurs Déterminants des Rendements du Riz à Madagascar: Une Interprétation Basée sur des Données Communautaires. IFPRI/FOFIFA.
- Olesen, Jørgen E, Marco Bindi. (2002). Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. Department of Crop Physiology and Soil Science, Danish Institute of Agricultural Sciences.
- Pouzet, André, D. Delplancke. (2000). Évolution comparée de la production et de la compétitivité du tournesol dans différentes aires de production. *La Filière aujourd'hui, demain*. Oléagineux, Corps Gras, Lipides. Vol. 7. No 3. 243-9. Mai-Juin.

- Runge, E. C. A. et K. T. Odell. (1958) The Relation Between Precipitation, Temperature and the Yield of Corn on the Agronomy South Farm, Urbana, Illinois. *Agronomy Journal*. Pp. 448-454.
- Swanson, Earl R. and Donald G. Smith. Is Corn Yield Variability Changing? Author(s): Source: *Illinois Agricultural Economics*, Vol. 11, No. 2 (Jul., 1971), pp. 13-15
- Tannura, Michael A., Scott H. Irwin, and Darrel L.(2008). Good Weather, Technology, and Corn and Soybean Yields in the U.S. Corn Belt
- Tompson Louis. M. (1963). Weather and technology in the production of corn and soybeans. Iowa State University. CARD reports and Working Papers.
- Weersink, Alfons, Juan H. Cabas et Edward Olale. (2010) Acreage Response to Weather, Yield, and Price. *Canadian journal of agricultural economics* 58. Pp. 57-78.
- Xu, Zheng, David A. Hennessy, Kavita Sardana, and GianCarlo Moschini (2013). The Realized Yield Effect of Genetically Engineered Crops: U.S. Maize and Soybean. *Crop science*. Vol. 53. Mai-Juin.