



Centre de référence en agriculture
et agroalimentaire du Québec

Rapport final

Projet # 550001-XPI

Atlas agroclimatique du Québec

Évaluation des opportunités et des risques agroclimatiques
dans un climat en évolution

par René Audet, AAC
Hélène Côté, Ouranos
Denise Bachand, CRAAQ
Alain Mailhot, INRS-ETE

22 juin 2012

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



Table des matières

| | |
|--|----|
| 1. Introduction | 4 |
| 2. Contexte et objectifs..... | 5 |
| 3. Méthodologie et données | 5 |
| 3.1. Le choix des indices agroclimatiques | 6 |
| 3.2. Portrait du climat actuel..... | 7 |
| 3.2.1. La base de données | 7 |
| 3.2.2. Les analyses | 8 |
| 3.3. Tendances observées dans le passé récent | 12 |
| 3.3.1. Approche statistique | 12 |
| 3.3.1.1. Test non paramétrique de Mann-Kendall | 12 |
| 3.3.1.2. Test de Sen..... | 13 |
| 3.3.2. Données utilisées | 14 |
| 3.3.2.1. Caractéristiques des séries de données | 14 |
| 3.3.2.2. Traitement des valeurs manquantes..... | 17 |
| 3.4. Scénarios climatiques 2041-2070 | 20 |
| 3.4.1. Sélection des données climatiques simulées | 20 |
| 3.4.2. Construction de l'ensemble final de projections climatiques | 22 |
| 3.4.3. Validation des simulations de l'ensemble | 26 |
| 3.4.4. Calcul des scénarios de changement des indicateurs agroclimatiques | 28 |
| 3.5. Diffusion et communication | 29 |
| 3.5.1. Une interface Web conviviale | 29 |
| 3.5.2. Ateliers de formation et produits promotionnels | 30 |
| 3.5.3. Consultations..... | 30 |
| 4. Résultats | 31 |
| 5. Conclusion et recommandations | 34 |
| 6. Références..... | 36 |
| ANNEXES..... | 39 |

1. Introduction

En avril 2009, un atelier de consultation sur les enjeux en regard de l'adaptation aux changements climatiques par le secteur agricole avait lieu à Québec. Ce forum, organisé par le MAPAQ, rassemblait une cinquantaine de spécialistes de diverses organisations pour discuter des enjeux et des problématiques du secteur agricole face aux changements climatiques et des types d'activités et d'études qui permettraient d'accroître la capacité d'adaptation.

L'un des enjeux prioritaires identifiés lors de ce forum fut la réduction de la vulnérabilité du secteur agricole face aux changements climatiques par le développement et le transfert de l'information agrométéorologique et agroclimatique. Parmi les actions suggérées en appui à ce besoin, on retrouvait notamment :

- *La refonte de l'atlas agroclimatique du Québec en intégrant des projections des indicateurs basées sur des scénarios climatiques du futur.*

La Commission agrométéorologie du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ : www.craaq.qc.ca), constituée d'une vingtaine d'experts et d'intervenants dans le domaine, était alors identifiée comme étant l'organisme le mieux placé pour coordonner de tels travaux.

Ainsi, à l'automne 2009, une proposition de projet visant le développement d'un atlas agroclimatique pour le Québec fut soumise par le CRAAQ à Ouranos, consortium sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques, pour financement dans le cadre du Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques du Gouvernement du Québec, en partenariat avec Ressources naturelles Canada (programme d'Initiatives de collaboration pour l'adaptation régionale (ICAR)). Ce projet d'atlas, intégrant des informations sur le climat actuel, sa variabilité et son évolution future, fut accepté et les travaux s'amorcèrent en 2010 pour aboutir au printemps 2012.

Bien que le CRAAQ ait été responsable du projet, il n'aurait pu être réalisé sans la collaboration de plusieurs autres organisations : Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC), Ouranos, La Financière agricole du Québec, le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), l'Institut national de la recherche scientifique – Eau Terre Environnement (INRS-ETE), la Société de protection des forêts contre les insectes et maladies (SOPFIM) et l'Union des producteurs agricoles (UPA).

Le présent rapport rend compte des travaux réalisés et des résultats obtenus dans le cadre de ce projet. Le document propose d'abord une mise en contexte et un énoncé des objectifs visés. Par la suite, la méthodologie utilisée est décrite, les résultats obtenus sont présentés et enfin, la conclusion et des recommandations sont proposées pour une éventuelle deuxième phase au projet. Dès le départ, cette initiative visait avant tout le transfert et la diffusion de connaissances et c'est pourquoi le rapport ne contient pas d'analyse exhaustive des résultats et aucune discussion de leurs implications pour le secteur agricole.

2. Contexte et objectifs

Le secteur agricole est constamment confronté aux aléas du climat. Les conditions météorologiques et climatiques peuvent avoir des impacts multiples au niveau de la ferme et des répercussions sur l'ensemble du secteur. L'intégration d'informations climatiques dans la planification des activités d'une entreprise agricole permet de mieux gérer les risques, de saisir les opportunités qui se présentent et d'améliorer la gestion agroenvironnementale.

Le secteur agricole a particulièrement besoin d'informations climatiques adaptées (ex. : indices agroclimatiques tels que les risques de gel, cumuls thermiques, etc.), capables de mieux traduire l'impact du climat actuel et futur sur les cultures et les systèmes agricoles et ainsi faciliter la prise de décision pour, entre autres, mieux orienter les activités agricoles.

Au Québec, de telles informations étaient soit désuètes ou encore difficilement accessibles et cette situation était déplorée par le milieu (producteurs, conseillers, analystes). Jusqu'à tout récemment, la référence était *l'Atlas agroclimatique du Québec* publié par Pierre-André Dubé de l'Université Laval en 1982 (Dubé *et al.*, 1982). Depuis ce temps, très peu de travaux ont été réalisés afin de mettre à jour ces informations, la plus récente étant l'actualisation des unités thermiques maïs publiée en 1999 (Bootsma *et al.*, 1999). Enfin, le secteur agricole ne disposait que de peu d'informations présentées de manière conviviale sur les tendances actuelles et projections futures des conditions agroclimatiques.

Afin de répondre à ces lacunes et attentes, le présent projet s'était donné les objectifs suivants :

- Mettre à jour le portrait de l'agroclimat actuel en analysant un ensemble d'indices agroclimatiques d'intérêt pour le secteur agricole québécois.
- Faire état de l'évolution de ces indices au cours des dernières décennies (passé récent).
- Développer des scénarios climatiques futurs afin d'évaluer les changements attendus de ces indices pour la période 2041-2070.
- Intégrer et diffuser l'ensemble de ces informations de manière conviviale par le biais d'un site Internet.
- Informer et sensibiliser les intervenants agricoles sur l'existence et les applications d'un tel outil afin d'améliorer leurs prises de décision.

3. Méthodologie et données

Pour atteindre les objectifs mentionnés ci-haut, l'approche décrite dans les prochaines sections fut employée.

3.1. Le choix des indices agroclimatiques

Tout d'abord, il fallait s'entendre sur les indices agroclimatiques à cibler aux fins d'analyses. Un indice agroclimatique permet d'exprimer de manière simple la relation entre le climat et les productions agricoles. Ainsi, la répartition, le développement et les rendements des cultures peuvent être corrélés avec ces indices tels que les risques de gel, les cumuls thermiques et la pluviométrie. Pour une description plus détaillée de ces indices, se référer au feuillet technique produit par le CRAAQ, *Indices agrométéorologiques pour l'aide à la décision dans un contexte de climat variable et en évolution*¹ à l'adresse suivante :

<http://www.craaq.qc.ca/Publications-du-CRAAQ/indices-agrometeorologiques-pour-l-aide-a-la-decision-dans-un-contexte-de-climat-variable-et-en-evolution/p/PAGR0103>.

Après une revue des indices les plus couramment utilisés (ACIS : <http://www.agric.gov.ab.ca/app116/quick.jsp>, Nadler (2007), Bélanger *et al.* (2002), Dubé *et al.* (1982), Rochette (1988), Bootsma *et al.* (1999), Rochette *et al.* (2004), Bélanger et Bootsma (2002)) et la consultation de nombreux usagers potentiels de l'Atlas (voir section 3.5.3), la sélection finale des indices s'appuya sur les critères suivants :

- besoins exprimés par les usagers;
- portée générale (applicables à plusieurs cultures);
- disponibilité des données pour le calcul de l'indice;
- état des connaissances (est-ce que l'indice a été validé au Québec?);
- au minimum, ceux que l'on retrouve dans l'Atlas de Dubé *et al.* (1982).

Les indices retenus sont présentés au tableau suivant. Ils ont été classés selon la nature du phénomène qu'ils expriment, soit les indices thermiques ou hydriques.

¹ Produit dans le cadre du projet « Sensibilisation et diffusion d'informations sur les opportunités et les risques associés aux changements climatiques pour l'agriculture au Québec » réalisé en partenariat avec RNCAN.

Tableau 1. Indices agroclimatiques retenus pour l'Atlas.

| | | |
|--|--|--|
| INDICES THERMIQUES | Risques de gel <i>5 seuils en fonction du type de culture : 0 °C, -1 °C, -2 °C, -3 °C et -4 °C</i> | Date du dernier gel printanier Date du premier gel automnal Longueur de la saison sans gel |
| | Températures extrêmes | Fréquence de températures > 30 °C Température minimale annuelle |
| | Saison de croissance | Dates de début et de fin de la saison de croissance Longueur de la saison de croissance |
| | Degrés-jours <i>3 températures de base en fonction des cultures : 0 °C, 5 °C, 10 °C</i> | Cumul d'avril à octobre Cumuls mensuels d'avril à octobre Cumul durant la saison de croissance (base 5 °C) |
| | Unités thermiques maïs (UTM) | Dates de début et de fin de cumul des UTM Cumul des UTM |
| | Potentiel d'endurcissement | Cumul des degrés-froid (< 5 °C) durant la période d'endurcissement |
| | Perte d'endurcissement | Cumul des degrés-jours (base 0 °C) au cours de la période froide |
| INDICES HYDRIQUES | Précipitations | Cumul d'avril à octobre Cumul pendant la saison de croissance Cumuls mensuels d'avril à octobre |
| | Précipitations – Évapotranspiration (P – ETP) | Cumul de mai à octobre Cumul pendant la saison de croissance |
| COURBES INTENSITÉ – DURÉE – FRÉQUENCE (IDF) DE PRÉCIPITATIONS | | |

Dans le cas des unités thermiques maïs (UTM), un groupe de travail, constitué de spécialistes de La Financière agricole du Québec, du Centre de recherche sur les grains inc. (CÉROM), d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), a été créé afin de statuer sur de nouveaux critères de début et de fin des cumuls saisonniers d'UTM. La liste des membres de ce comité est présentée en annexe 1. À la suite des travaux de ce comité, il a été convenu d'utiliser les critères suivants :

- La date de début annuelle du cumul des UTM correspond à la première occurrence d'une température moyenne mobile sur 5 jours égale ou supérieure à 12,8 °C, après la date médiane sur 30 ans du dernier gel printanier (0 °C). La dernière journée de cette période de 5 jours est alors retenue comme la date de début du cumul des UTM.
- La date de fin du cumul des UTM correspond au premier gel automnal meurtrier soit une température gélive de - 2,0 °C.

Pour une description détaillée des formules utilisées pour le calcul de l'ensemble des indices agroclimatiques traités dans le cadre de ce projet, se référer à l'annexe 2.

3.2. Portrait du climat actuel

3.2.1. La base de données

Pour caractériser l'agroclimat actuel, le projet a eu recours à une base de données climatiques couvrant la période de 1961 à 2008 et contenant des valeurs quotidiennes

de températures et de précipitations estimées tous les 10 km sur le territoire agricole québécois. Ces estimations ont été obtenues par interpolation avec le modèle « Anusplin » (Hutchinson, 2004) en se basant sur les observations climatologiques provenant d'Environnement Canada (EC) et du MDDEP. Cette base de données a été produite dans le cadre d'un autre projet mené par le Service national d'information sur les terres et l'eau d'AAC avec la collaboration d'EC, de Ressources naturelles Canada et de l'*Australian National University* (<http://www4.agr.gc.ca/AAFC-AAC/display-afficher.do?id=1227620138144&lang=fra>).

L'utilisation d'une telle base de données, plutôt que l'analyse explicite de séries d'observations aux stations possédant au moins 20 à 30 années d'historique, a été privilégiée puisque cela facilite grandement la détermination des indices, les calculs statistiques et la cartographie des résultats dans un système d'information géographique. Cette approche présente de nombreux avantages puisque le traitement et la structuration des données ainsi que l'estimation des observations manquantes ont déjà été effectués (le calcul des indices nécessite des séries complètes). Ceci permet donc de se concentrer sur les analyses et la cartographie des indices réduisant ainsi le temps et les ressources nécessaires à la réalisation d'un projet comme celui de l'Atlas et facilite les mises à jour subséquentes. Enfin, cela rend possible l'utilisation d'un plus grand nombre de stations et non seulement de celles avec des séries complètes de 20 à 30 années d'observations. (Voir également : <http://www.metoffice.gov.uk/climatechange/science/monitoring/ukcp09/faq.html#faq>).

Cependant, il faut être conscient que cette base de données contient des valeurs interpolées, c'est-à-dire des estimations qui, par définition, ont une erreur associée pouvant varier selon plusieurs facteurs dont, entre autres, la densité du réseau, la topographie de la région et la saison. Néanmoins, des travaux de validation effectués par Newlands *et al.* (2010) ont démontré l'intérêt d'utiliser cette base de données, puisque les estimations quotidiennes ne sont que très faiblement biaisées et qu'il y a peu de différences entre les résultats selon que les valeurs soient d'abord interpolées et ensuite agrégées ou inversement, agrégées et ensuite interpolées. Il faut cependant reconnaître que, pour une journée en particulier, surtout dans le cas des précipitations, des écarts relativement importants peuvent exister entre les valeurs interpolées en un point de la grille et les observations aux stations voisines. De plus, l'interpolation a tendance à lisser le champ d'une variable et ne peut donc reproduire exactement les extrêmes que l'on retrouve dans les séries d'observations aux stations (pour plus de détails, veuillez consulter Newlands *et al.* (2010)).

Mentionnons qu'il avait également été prévu d'intégrer à l'Atlas des données sur les sols afin d'avoir un portrait plus complet du potentiel pédoclimatique du Québec mais, faute de temps, ces travaux n'ont pu être réalisés.

3.2.2. Les analyses

Après avoir opté pour cette base de données géoréférencées, les analyses ont été réalisées. Ainsi, à tous les 10 km, les valeurs quotidiennes des indices furent déterminées et, selon l'indice, divers cumuls ou autres calculs basés sur l'occurrence de certains événements furent effectués sur une base mensuelle, saisonnière ou annuelle, et ce, pour chacune des 30 dernières années disponibles. Diverses statistiques basées sur ces 30 valeurs furent par la suite dérivées : moyennes, centiles et coefficients de

variation. Cependant, après consultation des usagers et afin de réduire le nombre de cartes à diffuser, seules les valeurs moyennes et les 20^e, 50^e et 80^e centiles furent retenus pour les fins de la diffusion. À la suite de cette même consultation, il fut également décidé de cartographier les résultats obtenus selon une échelle dynamique correspondant à 8 classes égales, entre les valeurs minimales et maximales.

À noter que la période de référence des 30 dernières années disponibles correspond à 1979-2008 pour les indices thermiques, mais à 1974-2003 pour les indices hydriques. Ceci s'explique par la présence d'une discontinuité dans les données pluviométriques observées entre 2004 et 2008, ce qui a contraint à rejeter cette période dans les analyses. (À noter que la base de données a été actualisée depuis ce temps, et ce, pour la période 1951-2010; il est prévu d'utiliser cette nouvelle grille pour la prochaine mise à jour de l'Atlas).

Pour avoir davantage confiance dans la validité des résultats obtenus, les valeurs interpolées de certains indices ont été comparées à celles obtenues en utilisant les observations de stations climatologiques du MDDEP n'ayant pas servi à l'élaboration de la base de données aux 10 km. Environ une quarantaine de stations étaient disponibles pour cette analyse, la plupart à l'est et au nord du Québec, peu dans la plaine du Saint-Laurent (voir la carte de la figure 1).



Figure 1. Carte montrant la répartition des stations météorologiques du MDDEP ayant servi à la validation des résultats de l'analyse en climat actuel

Cet exercice avait notamment comme objectif d'évaluer s'il y avait propagation des erreurs lors de cumuls sur plusieurs mois ainsi que la sensibilité de certains indices à des valeurs seuils basées sur des données quotidiennes, donc, en principe, sensibles aux erreurs d'interpolation. Par exemple, les degrés-jours sont calculés à partir d'une température moyenne quotidienne de base et les dates de gel correspondent, par définition, à divers seuils de températures gélives basées sur la température minimale quotidienne.

Ces comparaisons, basées sur les différences absolues et relatives entre les valeurs aux points de grille et la station la plus proche, ont été faites avec la collaboration du MDDEP pour les cumuls de degrés-jours (base 0 °C) et de précipitations d'avril à octobre, les risques de gel (0 °C et - 2 °C), la fréquence des températures maximales supérieures à 30 °C et la température minimale annuelle. Les résultats obtenus sont présentés à l'annexe 3 et ont été partagés avec les participants à un atelier de consultation tenu en mars 2011. Ces derniers se sont montrés à l'aise avec les écarts observés.

Les résultats d'actualisation des UTM obtenus selon la méthode habituelle utilisée dans le passé par Bootsma *et al.* (1999) ont également été comparés avec la nouvelle approche proposée dans le cadre du présent projet. Le même groupe de travail qui s'était penché sur la question des critères de début et de fin du cumul des UTM a fait cette évaluation et en est venu à la conclusion que les résultats obtenus avec la nouvelle approche devraient être privilégiés pour diffusion dans le cadre de l'Atlas. Cette décision a été rendue en se basant sur le fait que les résultats obtenus selon les deux approches étaient comparables (généralement < 200 UTM) et que l'utilisation de la grille de données aux 10 km faciliterait les mises à jour futures. De plus, les membres du groupe de travail n'étaient pas à l'aise avec l'utilisation de normales mensuelles pour déduire, par régression linéaire, les cumuls d'UTM en un plus grand nombre de sites pour les besoins de cartographie, comme proposée par la méthode « Bootsma ». Enfin, en procédant de la même façon avec les UTM qu'avec les autres indices agroclimatiques, l'Atlas offre ainsi une suite cohérente de cartes basées sur les mêmes données. (Voir en annexe 4 un document et des cartes résumant les résultats de cette analyse comparative).

À noter que l'ensemble des analyses et de la cartographie des résultats fut réalisé par AAC dans un environnement ArcGIS en utilisant le langage de programmation « Python ». La procédure fut documentée et les données et résultats stockés sur un serveur d'AAC dédié aux projets en géomatique selon certaines normes internes afin de faciliter les mises à jour futures du volet « climat actuel » de l'Atlas. Ainsi, lors de la prochaine mise à jour du volet « climat actuel », l'intervention humaine ne sera nécessaire que pour ajuster au besoin certains paramètres des scripts Python (ex : période de référence), lancer la programmation et assurer la qualité des résultats obtenus. L'ensemble de la production cartographique a été automatisée, y compris l'habillage des cartes.

À noter que la cartographie des résultats a été restreinte à la zone où l'on pratique actuellement l'agriculture et où l'on pourrait le faire sans contraintes liées à la qualité des sols ou la topographie. Cette délimitation a été réalisée en se basant sur des données de la Commission de protection du territoire agricole du Québec (CPTAQ;

<http://www.cptaq.gouv.qc.ca/index.php?id=231>) et la carte des pédo-paysages du Canada version 3 (<http://sis.agr.gc.ca/siscan/nsdb/slc/index.html>).

Enfin, pour éviter toute discontinuité et améliorer le rendu cartographique, une zone tampon de 15 km a été appliquée à la délimitation de la zone agricole décrite précédemment et un lissage des résultats obtenus aux 10 km a été effectué avec la fonction d'interpolation bi-linéaire d'ArcGIS pour en arriver à une résolution de 1 km (<http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//018700000006000000>). Ce lissage n'avait qu'un but purement esthétique afin d'éviter des frontières en forme d'« escalier » entre les régions et ceci n'implique aucunement une plus grande précision que celle des données initiales dont la résolution est de 10 km.

3.3. Tendances observées dans le passé récent

3.3.1. Approche statistique

L'analyse des tendances dans les séries d'indices agroclimatiques a été effectuée grâce à deux tests statistiques, soit le test non paramétrique de Mann-Kendall (Kendall, 1975) et le test de Sen (Sen, 1968; Wang et Swail, 2001). Le test de Mann-Kendall est utilisé pour détecter la présence d'une tendance dans les séries de données et permet de déterminer le signe de cette tendance (à la hausse ou à la baisse). Le test de Sen, pour sa part, détermine s'il y a tendance et, le cas échéant, estime la valeur de la pente de la droite de régression représentant le mieux cette tendance. Les sections suivantes fournissent une description de ces deux tests.

3.3.1.1. Test non paramétrique de Mann-Kendall

Le test non paramétrique de Mann-Kendall est utilisé pour détecter une tendance significative à un certain niveau de confiance (95 % dans le cas présent) ainsi que pour déterminer le signe de cette tendance.

Pour une série x_i avec $i = 1, \dots, n$, toutes les paires de valeurs x_i et x_j sont comparées entre elles de la façon suivante (Adamowski et Bougadis, 2003) :

$$\text{Signe}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1 & \text{si } x_j > x_i \\ 0 & \text{si } x_j = x_i \\ -1 & \text{si } x_j < x_i \end{cases} \quad (1)$$

Ensuite la statistique du test est calculée :

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{Signe}(x_j - x_i) \quad (2)$$

La variance statistique, σ^2 , est ensuite estimée :

$$\sigma^2 = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(i)(i-1)(2i+5)}{18} \quad (3)$$

où t_i représente le nombre d'égalités dans la série de données.

Ensuite, le paramètre Z_s est estimé :

$$Z_s = \begin{cases} \frac{S-1}{\sigma} & \text{si } S > 0 \\ \frac{S+1}{\sigma} & \text{si } S < 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \end{cases} \quad (4)$$

La distribution des valeurs de Z_s est une normale centrée réduite $\mathcal{N}(0,1)$. Si $|Z_s|$ est plus grand que $Z_{\alpha/2}$, où α représente le niveau de confiance retenu (dans le cas présent $\alpha = 0,05$), alors la tendance est significative. Le signe de Z_s détermine si la tendance est positive ($Z_s > 0$) ou négative ($Z_s < 0$).

3.3.1.2. Test de Sen

Le test de Sen (Sen, 1968) est utilisé pour détecter la présence d'une tendance significative et, s'il y a lieu, pour déterminer la pente de la droite de régression permettant de mieux représenter cette tendance. En effet, la façon la plus simple de représenter une tendance est de considérer une droite de régression $Y_t = a + b t + \varepsilon_t$ où a et b sont les paramètres de la droite de régression et où ε_t représente le bruit. Le test de Sen, qui est basé sur un test de corrélation de Kendall, permet d'estimer ces paramètres (Wang et Swail, 2001; Zhang *et al.* 2000). Assumons d'abord que $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_n$ sont les temps de mesure des n données et ne sont pas tous égaux. Y_1, Y_2, \dots, Y_n sont donc les mesures associées aux temps de mesure. On estime :

$$X_{ij} = \frac{Y_j - Y_i}{t_j - t_i} \quad (5)$$

Les N valeurs de X_{ij} sont rangées en ordre croissant. La pente de la droite de régression est donnée par :

$$b = \begin{cases} X_{(N-1)/2+1} & \text{si } N \text{ est impair} \\ (X_{N/2} + X_{N/2+1})/2 & \text{si } N \text{ est pair} \end{cases} \quad (6)$$

En résumé, le paramètre b correspond à la médiane des valeurs de pente X_{ij} . La distribution des valeurs de pente est utilisée pour déterminer l'intervalle de confiance à 95 % sur b .

3.3.2. Données utilisées

La construction des séries des indices agroclimatiques définis à la section précédente exige des séries de données homogénéisées de températures journalières minimales, maximales et de précipitations mensuelles, ainsi que la latitude des stations.

3.3.2.1. Caractéristiques des séries de données

Un total de 48 séries de températures journalières minimales et maximales, homogénéisées par le MDDEP et Ouranos, ont été obtenues d'Ouranos. Par ailleurs, 7 séries de données homogénéisées de températures journalières minimales et maximales ainsi que 46 séries de précipitations mensuelles homogénéisées ont été acquises d'Environnement Canada. Au total, les données de 74 stations situées dans la partie méridionale du Québec ont été utilisées pour la construction des séries agroclimatiques. De ces stations, 27 présentent des séries de températures et de précipitations, 28 ne présentent que des séries de températures et 19 ne présentent que des séries de précipitations. Le tableau 2 ainsi que la figure 2 présentent un portrait de ces différentes stations. Il est à noter que les stations localisées dans des régions non agricoles n'ont pas été considérées.

Les 48 séries de données homogénéisées MDDEP / Ouranos couvrent la période allant de 1960 à 2003. Les 7 séries d'Environnement Canada sont plus longues et de durées plus variables, débutant entre 1895 et 1952, et se terminant entre 2004 et 2008 (tableau 3). Les séries de précipitations sont généralement plus longues que les séries de températures. Toutefois, seules les années où des données de températures et de précipitations sont simultanément disponibles ont été traitées.

Tableau 2. Liste des stations météorologiques retenues et périodes considérées pour l'analyse des tendances du passé récent

| Numéro de la station | Nom | Séries disponibles* | Début | Fin |
|----------------------|-------------------|---------------------|-------|------|
| 7090120 | Amos | T, P | 1960 | 2003 |
| 7050240 | Armagh | P | 1916 | 1994 |
| 7030310 | Arundel | P | 1914 | 2008 |
| 7060400 | Bagotville | T,P | 1895 | 2008 |
| 7080452 | Barrage Angeliens | P | 1911 | 1996 |
| 7080600 | Belleterre | T,P | 1960 | 2003 |
| 7020828 | Bonsecours | T | 1960 | 2003 |
| 7020840 | Brome | P | 1877 | 2008 |
| 7051200 | Causapscal | T, P | 1960 | 2003 |
| 7031360 | Chelsea | T, P | 1960 | 2003 |
| 7031375 | Cheneville | T | 1960 | 2003 |
| 7012071 | Donnacona | T, P | 1960 | 2003 |
| 7022160 | Drummondville | T, P | 1960 | 2003 |
| 7022320 | Farnham | T | 1960 | 2003 |

| Numéro de la station | Nom | Séries disponibles* | Début | Fin |
|----------------------|-----------------------------|---------------------|-------|------|
| 7042840 | Grandes-Bergeronnes | T | 1960 | 2003 |
| 7052865 | Grande-Vallée | T, P | 1960 | 2003 |
| 7023075 | Hemmingford-Four-Winds | T | 1960 | 2003 |
| 7063090 | Hemon | T | 1960 | 2003 |
| 7013362 | Joliette Ville | T, P | 1960 | 2003 |
| 7043960 | La Malbaie | T, P | 1960 | 2003 |
| 7054095 | La Pocatière | T, P | 1913 | 2008 |
| 7094120 | La Sarre | P | 1952 | 2004 |
| 7074240 | La Tuque | T, P | 1960 | 2003 |
| 7024250 | Laurierville | T | 1960 | 2003 |
| 7024254 | Lauzon | P | 1872 | 2008 |
| 7024280 | Lennoxville | T, P | 1915 | 2008 |
| 7014290 | Les Cèdres | T, P | 1960 | 2003 |
| 7034482 | Maniwaki Airport | T | 1916 | 2008 |
| 7024920 | Milan | T | 1960 | 2003 |
| 7055120 | Mont-Joli A | T | 1960 | 2003 |
| 7035160 | Mont-Laurier | P | 1920 | 2008 |
| 7055210 | Montmagny | T | 1960 | 2003 |
| 7025250 | Montréal | T, P | 1896 | 2008 |
| 7025440 | Nicolet | T, P | 1960 | 2003 |
| 7035520 | Nominique | P | 1914 | 2008 |
| 7065640 | Normandin | P | 1936 | 1992 |
| 7015730 | Oka | T | 1960 | 2003 |
| 7065960 | Péribonca | T | 1960 | 2003 |
| 7036063 | Pointe-au-Chênes | T, P | 1960 | 2003 |
| 7056120 | Port-Daniel | T | 1960 | 2003 |
| 7016294 | Québec | T | 1960 | 2003 |
| 7056480 | Rimouski | T, P | 1960 | 2003 |
| 7066685 | Roberval | P | 1914 | 2005 |
| 7026836 | Saint-Anicet | T | 1960 | 2003 |
| 7016960 | Saint-Charles de Mandeville | P | 1921 | 2008 |
| 7017080 | Saint-Côme | T | 1960 | 2003 |
| 7017100 | Saint-Donat | T | 1960 | 2003 |
| 7057160 | Saint-Elzéar-de-Bonaventure | T | 1960 | 2003 |
| 7027200 | Saint-Ephrem | T | 1960 | 2003 |
| 7027283 | Saint-Georges | P | 1913 | 2008 |

| Numéro de la station | Nom | Séries disponibles* | Début | Fin |
|--|--------------------------|---------------------|-------|------|
| 7057395 | Saint-Jean-de-Cherbourg | T | 1960 | 2003 |
| 7037400 | Saint-Jérôme | T, P | 1960 | 2003 |
| 7057590 | Saint-Octave-de-L'Avenir | P | 1905 | 1997 |
| 7057600 | Saint-Pamphile | T, P | 1960 | 2003 |
| 7027725 | Saint-Sébastien | P | 1915 | 2008 |
| 7016840 | Sainte-Anne-de-la-Pérade | T | 1960 | 2003 |
| 7056850 | Sainte-Anne-des-Monts | T | 1960 | 2003 |
| 7036855 | Sainte-Anne-du-Lac | T | 1960 | 2003 |
| 7057720 | Sainte-Rose-du-Dégelis | T, P | 1960 | 2003 |
| 7027802 | Sawyerville-Nord | T | 1960 | 2003 |
| 7027840 | Scott | T | 1960 | 2003 |
| 7097900 | Senneterre | P | 1940 | 1994 |
| 7047910 | Sept-Îles | T, P | 1960 | 2003 |
| 7018000 | Shawinigan | T, P | 1960 | 2003 |
| 7038080 | Sheenboro | P | 1915 | 2008 |
| 7028124 | Sherbrooke | T | 1904 | 2004 |
| 7028200 | Sorel | T, P | 1960 | 2003 |
| 7048320 | Tadoussac | P | 1914 | 2004 |
| 7098360 | Taschereau | T | 1960 | 2003 |
| 7028441 | Thetford Mines | P | 1922 | 2008 |
| 7058520 | Trinité-des-Monts | P | 1951 | 2004 |
| 7098600 | Val D'Or | T, P | 1952 | 2008 |
| 7088760 | Ville-Marie | T, P | 1960 | 2003 |
| 7038975 | Wright | T, P | 1960 | 2003 |
| Total : 19 (P), 28 (T) et 27 (T, P) | | | | |

* T indique que seulement la série de températures est disponible, P que seulement la série de précipitations est disponible et T, P que les deux types de séries sont disponibles.

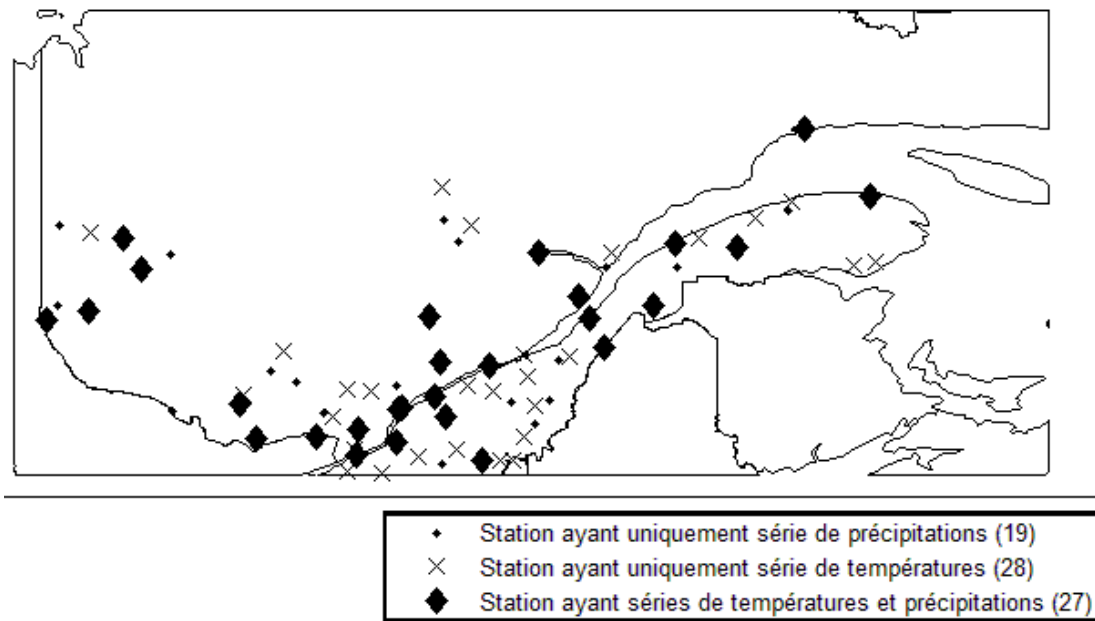


Figure 2. Localisation des stations météorologiques retenues pour l'analyse des tendances du passé récent

Tableau 3. Longueur des séries de données homogénéisées de températures journalières d'Environnement Canada

| Station | Années disponibles |
|--------------|--------------------|
| Bagotville | 1895-2008 |
| La Pocatière | 1913-2008 |
| Lennoxville | 1915-2008 |
| Maniwaki | 1916-2008 |
| Montréal | 1896-2008 |
| Sherbrooke | 1904-2004 |
| Val D'Or | 1952-2007 |

3.3.2.2. *Traitement des valeurs manquantes*

Les valeurs manquantes causent des problèmes dans toutes les études qui utilisent des données historiques. Dans le cas de la présente étude, le traitement des données manquantes s'inspire de l'approche de Yagouti *et al.* (2006) (voir aussi Yagouti *et al.*, 2008). Le tableau 4 décrit comment les données manquantes ont été traitées pour chacun des indices considérés dans cette étude.

Tableau 4. Traitement des valeurs manquantes dans le cadre de l'analyse des tendances du passé récent

| Indice | Traitement |
|--|--|
| Dates de début, de fin et durée en jours de la saison de gel | Connaissant les dates de début et de fin de la période de gel, on dénombre, durant les 30 jours précédant chacune de ces dates, les valeurs manquantes. Si ce nombre est inférieur ou égal à 5, la valeur est retenue. Sinon, la valeur de l'indice est manquante. |
| Température journalière minimale annuelle | Si un des mois de décembre, janvier ou février compte plus de 5 valeurs manquantes, la valeur de cet indice est manquante. |
| Température critique > 30, 35 °C | Si un des mois de mai, juin, juillet, août ou septembre compte plus de 5 valeurs manquantes, la valeur de cet indice est manquante. |
| Date de début, de fin et longueur de la saison de croissance | Connaissant les dates de début et de fin de la période de croissance, on dénombre durant les 30 jours précédant chacune de ces dates les valeurs manquantes. Si ce nombre est inférieur ou égal à 5, la valeur est retenue. Sinon, la valeur de l'indice est manquante. |
| Cumul des degrés-jours conventionnels | Pour la période de cumul des degrés-jours, soit du 1 ^{er} avril au 31 octobre, on tolère un maximum de 35 jours manquants. Si le nombre de données manquantes respecte cette contrainte, on remplace les valeurs manquantes de degrés-jours par les normales quotidiennes correspondantes. Sinon, la valeur du cumul est manquante. |
| Cumul des UTM | Pour la période de cumul des UTM, on tolère un maximum de 5 jours manquants par mois sur toute sa période de mesure. Si le nombre de données manquantes respecte ces contraintes, on remplace les valeurs manquantes des UTM par les normales quotidiennes correspondantes. Sinon, la valeur du cumul est manquante. |
| DJ < 5 °C pendant la période d'endurcissement des plantes fourragères | Pour la période de cumul des degrés-jours, on tolère un maximum de 5 jours manquants par mois. Si le nombre de données manquantes respecte ces contraintes, on remplace les valeurs manquantes de degrés-jours par les normales quotidiennes correspondantes. Sinon, la valeur du cumul est manquante. |
| DJ supérieur à 0 °C entre la première et la dernière journée avec $T_{\min} < 15$ °C | Pour la période de cumul des degrés-jours, on tolère un maximum de 5 jours manquants par mois. Si le nombre de données manquantes respecte ces contraintes, on remplace les valeurs manquantes de degrés-jours par les normales quotidiennes correspondantes. Sinon, la valeur du cumul est manquante. |

| Indice | Traitement |
|--|---|
| Cumul des précipitations | Le cumul des précipitations pour la période allant du 1 ^{er} avril au 31 octobre est manquant aussitôt qu'une donnée de précipitations mensuelles est manquante. |
| Évapotranspiration potentielle (ETP) | Pour la période de cumul de l'ETP, on tolère un maximum de 5 jours manquants par mois. Si le nombre de données manquantes respecte ces contraintes, on remplace les valeurs manquantes de l'ETP par les normales quotidiennes correspondantes. Sinon, la valeur du cumul est manquante. |
| Indice bilan hydrique Précipitations moins évapotranspiration potentielle (P - ETP) | L'indice est manquant aussitôt que P ou ETP est manquant. |

3.4. Scénarios climatiques 2041-2070

3.4.1. Sélection des données climatiques simulées

Afin de sensibiliser et d'informer les décideurs du domaine agricole sur les impacts des changements climatiques, des modèles climatiques à base physique ont été utilisés pour estimer le changement des indicateurs agroclimatiques pour la période 2041-2070 par rapport à la période de référence 1971-2000. Le choix de la période 2041-2070 est motivé par le fait que les concentrations de gaz à effet de serre (GES) auront atteint des niveaux suffisants pour induire un signal de changement climatique clairement détectable pour plusieurs variables climatiques dans plusieurs régions du monde. Il existe deux types de modèles climatiques à base physique : les modèles climatiques globaux (MCG) et les modèles régionaux de climat (MRC). Ces modèles offrent deux avantages principaux : 1) ce sont les seuls outils pouvant fournir un signal de changement climatique cohérent dans l'espace et le temps puisque leur formulation tient compte d'un assemblage complexe de processus et d'interactions qui déterminent les changements futurs (Murphy *et al.*, 2004) et 2) des ensembles de simulations et de projections climatiques sont maintenant disponibles, ce qui permet d'envisager une estimation des incertitudes associées à chaque indicateur, information essentielle dans le processus d'évaluation d'impacts et de prise de décision.

Au moment d'entreprendre l'étude, Ouranos avait accès à deux ensembles de simulations issus de modèles climatiques à base physique. Le premier est constitué de 130 réalisations climatiques globales à une résolution grossière (ordre de 250 km) produites par les MCG participant au Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison (PCMDI) (Meehl *et al.*, 2007). Les données issues du PCMDI sont disponibles pour le climat récent et le climat projeté dans le futur en réponse à 3 scénarios d'émission de gaz à effet de serre (A1b, A2 et B1) provenant du Special Report on Emissions Scenarios (SRES) (Nakićenovič *et al.*, 2000). Ces simulations sont endossées par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Par ailleurs, plusieurs indicateurs agroclimatiques peuvent bénéficier de données climatiques à haute résolution. C'est pourquoi on utilise un second ensemble composé de simulations climatiques régionales produites par des MRC sur l'Amérique du Nord à une résolution plus fine (ordre de 45 km). Ces dernières étant beaucoup plus coûteuses à produire que les projections globales, le choix est forcément plus restreint. Ouranos a donc fait appel à sa propre banque de simulations produites à l'aide du Modèle régional canadien de climat (MRCC) (Caya et Laprise, 1999, Music et Caya, 2007, de Elía et Côté, 2010) ainsi qu'à celle du North American Regional Climate Change Assessment Project (NARCCAP) auquel Ouranos contribue. De façon générale, dans le sud du Québec, où la topographie est peu accidentée, on s'attend à obtenir une meilleure performance des MRC comparativement aux MCG lorsqu'on s'intéresse à la distribution d'une variable plutôt qu'à sa moyenne (Laprise R., 2008). Ainsi, pour les indicateurs associés aux extrêmes climatiques ou à des dépassements de seuils, les projections régionales de climat s'avèrent particulièrement intéressantes. L'usage de données à plus fine résolution est également profitable pour le calcul d'indicateurs liés au cycle hydrique.

Le calcul des divers indicateurs repose sur les séries quotidiennes de 4 variables : la précipitation, la température moyenne à 2 mètres, la température minimale et la température maximale. C'est la disponibilité de ces variables pour les périodes d'intérêt (1971-2000 et 2041-2070) qui permet d'effectuer une première sélection de simulations climatiques parmi

les deux ensembles décrits précédemment. On retient donc 19 simulations climatiques globales provenant du PCMDI, 9 simulations climatiques régionales produites à Ouranos et une simulation régionale de NARCCAP. L'examen du tableau 5 montre comment ces 29 simulations climatiques permettent de prendre en compte 4 importantes sources d'incertitudes affectant les projections climatiques : le choix du scénario de gaz à effet de serre par l'utilisation des SRES A1B, A2 et B1; le choix du modèle climatique; la provenance des données pilotes pour les simulations régionales et, finalement, la variabilité naturelle par l'inclusion de plusieurs membres d'un même MCG. L'effet des diverses sources d'incertitude et leurs contributions relatives se manifestent différemment selon la variable et la saison considérée (de Elía et Côté, 2010). Le fait d'utiliser les simulations globales des MCG permet de tenir compte d'un plus grand nombre de sources d'incertitude – ce que la rareté des simulations régionales rendait difficile. Ces dernières viennent toutefois pallier la faible résolution spatiale des MCG en assurant une bonne représentation spatiale des différentes variables d'intérêt.

Tableau 5. Description des 29 simulations climatiques comprenant les données requises pour le calcul des indicateurs agroclimatiques en climat futur.

| Source | Type | Modèle | Pilote du MRC | SRES | Domaine | Code de simulation |
|---------|------|---------------|-------------------|------|---------|--------------------|
| NARCCAP | MRC | HRM3 | HACM3 | A2 | NARCCAP | 1 |
| Ouranos | MRC | MRCC4.2.3 | CCCma-CGCM3.1 (1) | A2 | AMNO | aey-afb |
| Ouranos | MRC | MRCC4.2.3 | CCCma-CGCM3.1 (2) | A2 | AMNO | aez-afc |
| Ouranos | MRC | MRCC4.2.3 | CCCma-CGCM3.1 (3) | A2 | AMNO | afa-afd |
| Ouranos | MRC | MRCC4.2.3 | CCCma-CGCM3.1 (4) | A2 | AMNO | aet-aet |
| Ouranos | MRC | MRCC4.2.3 | CCCma-CGCM3.1 (5) | A2 | AMNO | aev-aev |
| Ouranos | MRC | MRCC4.2.3 | CCCma-CNRM-CM3.3 | A1B | AMNO | agw-ahb |
| Ouranos | MRC | MRCC4.2.3 | ECHAM5 (1) | A2 | AMNO | agx-agx |
| Ouranos | MRC | MRCC4.2.3 | ECHAM5 (2) | A2 | AMNO | ahi-ahk |
| Ouranos | MRC | MRCC4.2.3 | ECHAM5 (3) | A2 | AMNO | ahj-ahw |
| PCMDI | MCG | CCCma-CGCM3.1 | N/A | A2 | GLOBAL | membre 1 |
| PCMDI | MCG | CCCma-CGCM3.1 | N/A | A2 | GLOBAL | membre 2 |
| PCMDI | MCG | CCCma-CGCM3.1 | N/A | A2 | GLOBAL | membre 3 |
| PCMDI | MCG | CCCma-CGCM3.1 | N/A | A2 | GLOBAL | membre 4 |
| PCMDI | MCG | CCCma-CGCM3.1 | N/A | A2 | GLOBAL | membre 5 |
| PCMDI | MCG | CCCma-CGCM3.1 | N/A | B1 | GLOBAL | membre 1 |
| PCMDI | MCG | CCCma-CGCM3.1 | N/A | B1 | GLOBAL | membre 2 |
| PCMDI | MCG | CCCma-CGCM3.1 | N/A | B1 | GLOBAL | membre 3 |
| PCMDI | MCG | CCCma-CGCM3.1 | N/A | B1 | GLOBAL | membre 4 |
| PCMDI | MCG | CCCma-CGCM3.1 | N/A | B1 | GLOBAL | membre 5 |
| PCMDI | MCG | CCCma-CGCM3.1 | N/A | A1B | GLOBAL | membre 1 |

| Source | Type | Modèle | Pilote du MRC | SRES | Domaine | Code de simulation |
|--------|------|---------------|---------------|------|---------|--------------------|
| PCMDI | MCG | CCCma-CGCM3.1 | N/A | A1B | GLOBAL | membre 2 |
| PCMDI | MCG | CCCma-CGCM3.1 | N/A | A1B | GLOBAL | membre 3 |
| PCMDI | MCG | CCCma-CGCM3.1 | N/A | A1B | GLOBAL | membre 4 |
| PCMDI | MCG | CCCma-CGCM3.1 | N/A | A1B | GLOBAL | membre 5 |
| PCMDI | MCG | CSIRO MK3.5 | N/A | A2 | GLOBAL | membre 1 |
| PCMDI | MCG | CSIRO MK3.5 | N/A | B1 | GLOBAL | membre 1 |
| PCMDI | MCG | CSIRO MK3.5 | N/A | A1B | GLOBAL | membre 1 |
| PCMDI | MCG | MPI ECHAM5 | N/A | A1B | GLOBAL | membre 4 |

3.4.2. Construction de l'ensemble final de projections climatiques

De façon assez évidente, il ressort de la liste des 29 simulations du tableau 5 que près de 70 % d'entre elles impliquent directement – ou indirectement via les données pilotes du MRCC – le modèle CCCma-CGCM3.1. D'autre part, la majorité des simulations régionales ont été produites par le MRCC4.2.3. La surreprésentation d'un modèle dans un ensemble de projections climatiques crée un déséquilibre et complique l'évaluation des incertitudes. Afin de réduire cette redondance de façon la plus objective possible, les 29 simulations ont été soumises à une analyse par grappe (« cluster analysis » en anglais) selon l'approche proposée par Hartigan et Wong (Hartigan et Wong, 1979). Cette procédure, décrite en détails par Casajus *et al.* (2012) (Berteaux *et al.*, 2010), fait maintenant partie des procédures courantes à Ouranos.

L'analyse par grappe a été exécutée en 10 dimensions, basées sur les changements projetés saisonniers et annuels des variables qui serviront au calcul des indicateurs agroclimatiques, soient la température et les précipitations. Les dimensions de l'analyse par grappe sont présentées dans le tableau 6. Le nombre de simulations final a été établi comme étant le nombre de simulations nécessaires pour expliquer 90 % de la variabilité de l'ensemble dans les 10 dimensions. La sélection d'une simulation dépend de sa distance par rapport au centre de la grappe. De plus, un poids différent a été appliqué pour les simulations MCG et MRC (respectivement 5 % et 95 %) dans le but de favoriser les simulations régionales à plus fine résolution tout en profitant de la meilleure couverture des incertitudes par les simulations globales. Ainsi, lorsqu'une simulation MRC se trouve au voisinage du centre de la grappe, son poids plus grand peut lui permettre d'avoir préséance sur une simulation MCG qui serait plus près du centre de la grappe. La région d'étude sur laquelle est appliquée l'analyse par grappe englobe toutes les régions agricoles du Québec et est présentée à la figure 3. Il résulte de l'analyse par grappe (utilisée avec des poids) un ensemble final de 15 simulations climatiques provenant de MRC et de MGC qui serviront au calcul des indicateurs. Elles sont décrites dans le tableau 7.

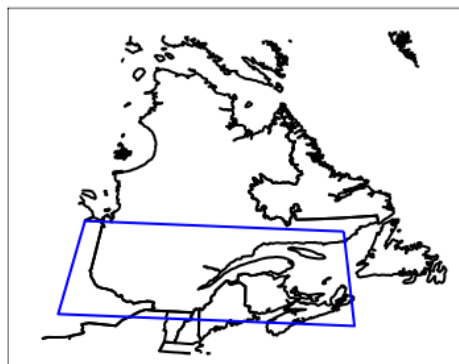


Figure 3. Région d'étude (en bleu) sur laquelle est appliquée l'analyse par grappe des simulations climatiques

Tableau 6. Dimensions sur lesquelles a été appliquée l'analyse par grappe des simulations climatiques

| Dimension | Variable | Période |
|-----------|--------------------------------------|------------------|
| 1 | Changement absolu de température | Annuel |
| 2 | Changement relatif de précipitations | Annuel |
| 3 | Changement absolu de température | Hivernal (DJF) |
| 4 | Changement absolu de température | Printanier (MAM) |
| 5 | Changement absolu de température | Estival (JJA) |
| 6 | Changement absolu de température | Automnal (SON) |
| 7 | Changement relatif de précipitations | Hivernal (DJF) |
| 8 | Changement relatif de précipitations | Printanier (MAM) |
| 9 | Changement relatif de précipitations | Estival (JJA) |
| 10 | Changement relatif de précipitations | Automnal (SON) |

Tableau 7. Simulations climatiques retenues par l'analyse par grappe pour la production des scénarios climatiques des indicateurs agroclimatiques de l'Atlas agroclimatique

| Type | Modèle | Pilote du MRC | SRES | Domaine | Code de simulation |
|------|---------------|-------------------|------|---------|--------------------|
| MRC | HRM3 | HACM3 | A2 | NARCCAP | 1 |
| MRC | MRCC4.2.3 | CCCma-CGCM3.1 (4) | A2 | AMNO | aet-aet |
| MRC | MRCC4.2.3 | CNRM-CM3.3 | A1B | AMNO | agw-ahb |
| MRC | MRCC4.2.3 | ECHAM5 (1) | A2 | AMNO | agx-agx |
| MRC | MRCC4.2.3 | ECHAM5 (2) | A2 | AMNO | ahi-ahk |
| MCG | CCCma-CGCM3.1 | N/A | A2 | GLOBAL | membre 1 |
| MCG | CCCma-CGCM3.1 | N/A | A2 | GLOBAL | membre 3 |
| MCG | CCCma-CGCM3.1 | N/A | B1 | GLOBAL | membre 1 |

| Type | Modèle | Pilote du MRC | SRES | Domaine | Code de simulation |
|------|---------------|---------------|------|---------|--------------------|
| MCG | CCCma-CGCM3.1 | N/A | B1 | GLOBAL | membre 2 |
| MCG | CCCma-CGCM3.1 | N/A | B1 | GLOBAL | membre 4 |
| MCG | CCCma-CGCM3.1 | N/A | A1B | GLOBAL | membre 3 |
| MCG | CCCma-CGCM3.1 | N/A | A1B | GLOBAL | membre 5 |
| MCG | CSIRO MK3.5 | N/A | A1B | GLOBAL | membre 1 |
| MCG | CSIRO MK3.5 | N/A | B1 | GLOBAL | membre 1 |
| MCG | MPI ECHAM5 | N/A | A1B | GLOBAL | membre 4 |

On note que l'ensemble résultant de l'analyse par grappe offre une bonne représentation de chacun des scénarios SRES (six A2, cinq A1B et quatre B1) et des 5 modèles (MRC et MCG) disponibles. Par ailleurs, les simulations MRCC choisies ont une certaine diversité en ce qui a trait aux données pilotes. Bien qu'une certaine redondance persiste dans l'ensemble, surtout dans le cas du CGCM3, les simulations sélectionnées représentent assez bien la couverture de l'incertitude (due au scénario SRES, au choix du modèle et modèle pilote pour les MRC et à la variabilité naturelle) présente dans l'ensemble des simulations disponibles. Cela est particulièrement vrai pour le printemps (MAM) et l'été (JJA). C'est ce que montre la figure 4 en comparant les changements de température et de précipitations des 15 simulations choisies à ceux de la totalité de la banque de simulations accessibles à Ouranos (PCMDI, Ouranos, NARCCAP), sans égard à la fréquence temporelle et au choix des variables.

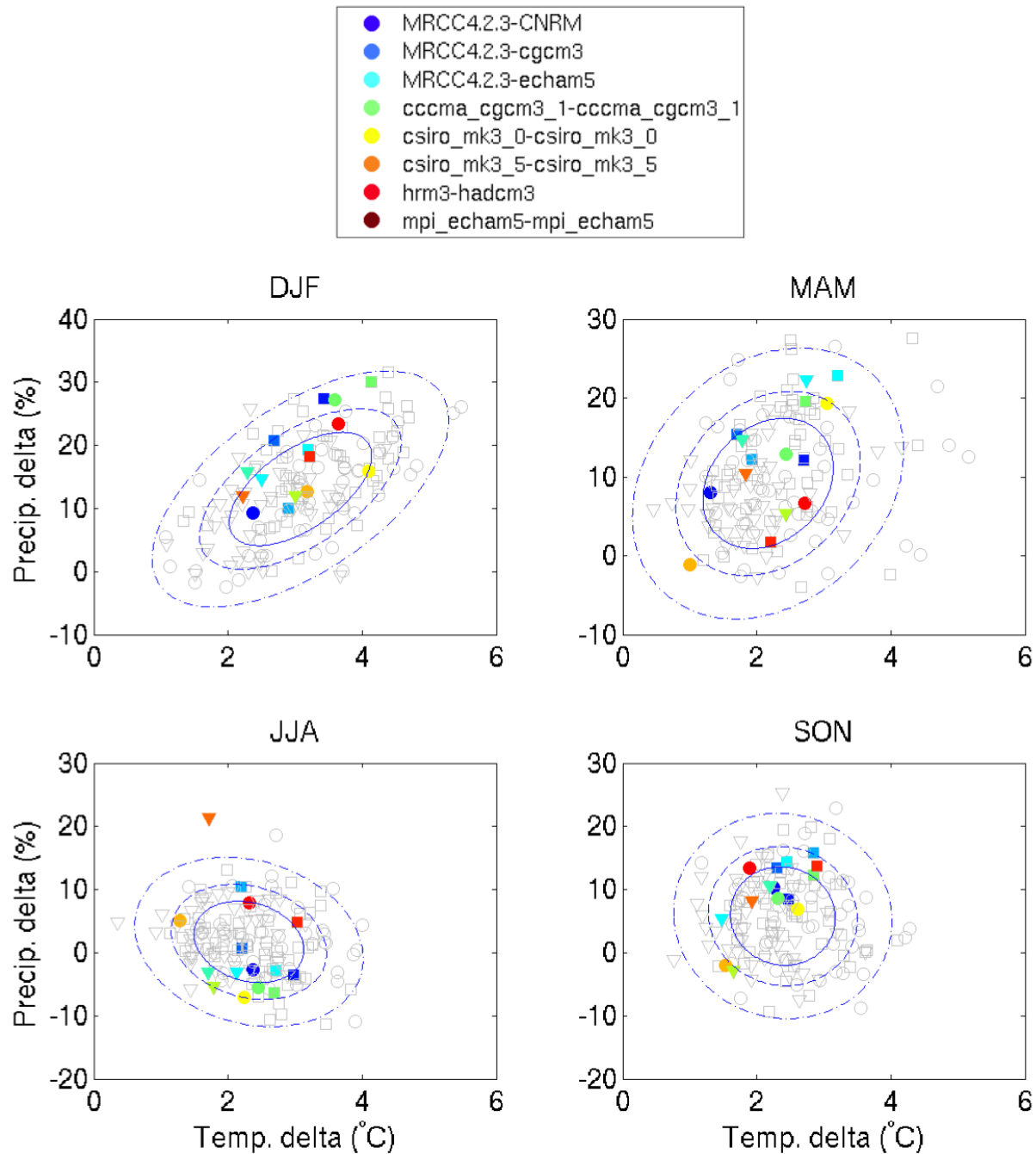


Figure 4. Distribution des changements saisonniers projetés de températures et précipitations sur le sud du Québec entre 2046-2065 et la période de référence 1971-2000, par les simulations décrites au tableau 7. Les symboles gris indiquent toutes les autres simulations disponibles dans les banques PCMDI, Ouranos et NARCCAP. Les lignes pleines, tiretées et en traits et pointillés correspondent respectivement à la médiane, au 75^e et au 95^e percentiles. Les scénarios GES-SRES A2, A1B et B1 sont représentés respectivement par des carrés, des cercles et des triangles.

3.4.3. Validation des simulations de l'ensemble

Une fois établie la représentativité de l'ensemble de 15 simulations en termes de changements de température et de précipitations, on peut examiner brièvement la performance de ces dernières en mode validation. Pour les températures et les précipitations, on procède en calculant le biais des normales saisonnières de la période de référence 1971-2000 de chaque simulation par rapport aux normales saisonnières provenant des données du Climatic Research Unit (CRU) (Mitchell et Jones, 2005). Les données CRU sont disponibles sur des grilles de 0,5 degré de résolution semblables à celles des simulations régionales. La figure 5 illustre la moyenne pour le sud de Québec des biais des normales saisonnières de températures et de précipitations et permet de constater que les simulations retenues montrent des performances comparables à celles du reste des simulations disponibles (PCMDI, Ouranos, NARCCAP). Ces résultats ne permettent pas d'identifier de déficience majeure dans les simulations qui compromettrait l'évaluation des indicateurs et de leur changement dans le futur.

Il est important de noter que pour un modèle climatique, une bonne performance en climat récent ne garantit aucunement sa fiabilité en climat futur. De faibles biais en climat récent indiquent simplement que l'effet net des processus inclus dans le modèle climatique permet de produire des variables climatiques ayant les mêmes caractéristiques que celles du climat réel récent pour une région donnée. Cela est d'autant plus difficile à réaliser qu'aucune donnée observée n'est utilisée en intrant dans les modèles physiques de climat et que ces derniers ne sont pas calés sur des observations. Or, en climat futur, selon les régions et les saisons, l'importance relative des divers processus risque d'être fort différente de celle du climat présent et rien ne permet de présager que dans ce nouveau contexte le modèle en question continuera de bien performer. C'est plutôt la capacité d'un modèle à bien simuler une vaste gamme de régimes climatiques qui donne confiance dans ces projections. Pour toutes ces raisons, les performances en climat récent n'ont pas servi à la sélection de l'ensemble final de 15 simulations.

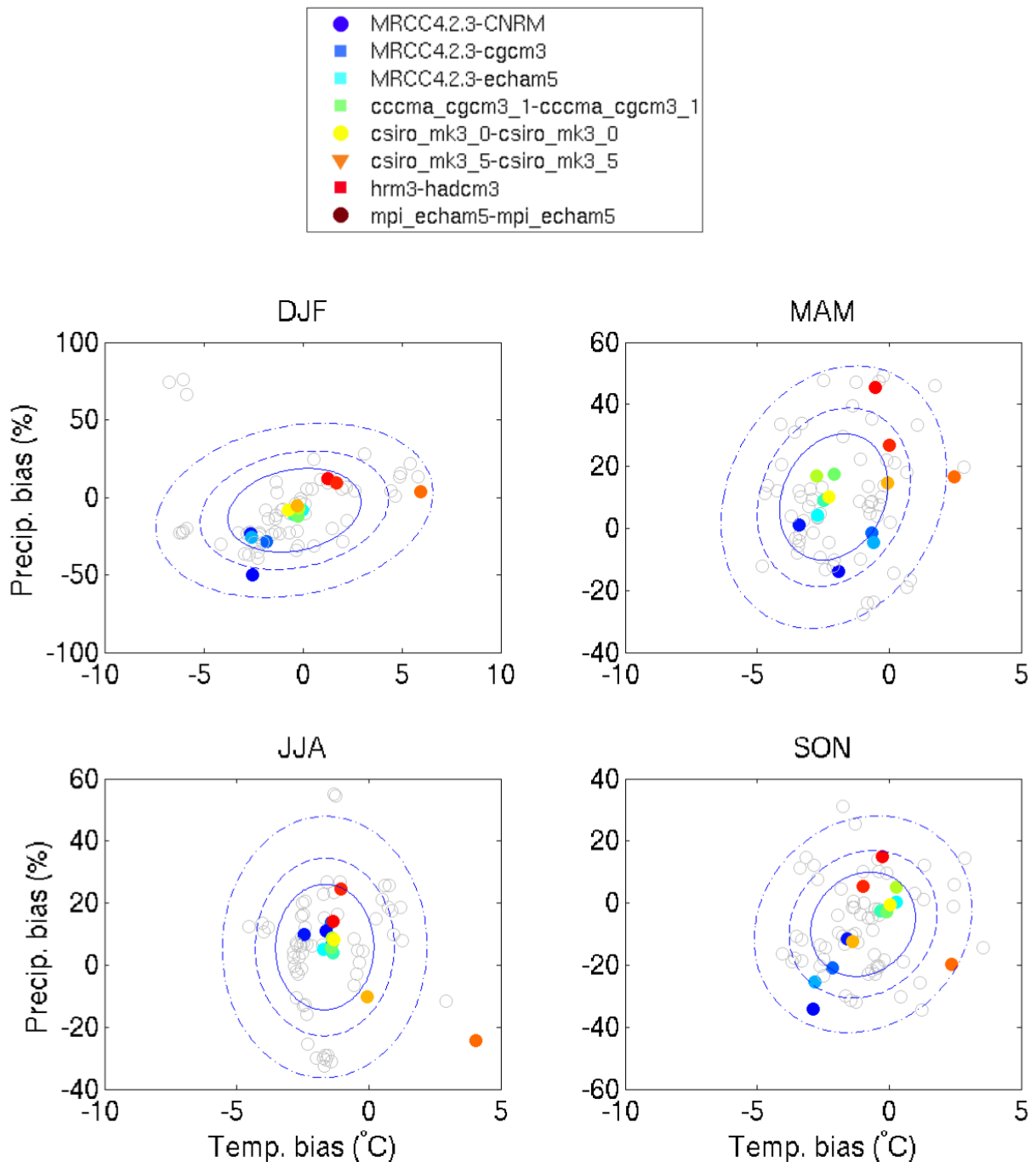


Figure 5. Distribution des biais saisonniers de températures et précipitations sur le sud du Québec et la période 1971-2000, pour les simulations décrites au tableau 7, par rapport aux données du Climatic Research Unit (CRU) (Mitchell et Jones, 2005). Les symboles gris indiquent toutes les autres simulations disponibles dans les banques PCMDI, Ouranos et NARCCAP. Les lignes pleines, tiretées et en traits et pointillés indiquent respectivement la médiane, les 75^e et 95^e percentiles.

3.4.4. Calcul des scénarios de changement des indicateurs agroclimatiques

La richesse des résultats d'ensembles de projections climatiques se prête à une panoplie d'analyses statistiques visant à mettre en lumière les diverses caractéristiques du climat futur. Dans ce contexte, l'atelier de consultation auquel a participé un groupe d'utilisateurs potentiels a grandement influencé le choix des statistiques et la façon de les diffuser. Les discussions avec les participants ont porté sur des cas concrets et ont permis d'identifier une façon conviviale de présenter les changements climatiques en tenant compte de l'usage envisagé et du niveau de compréhension des usagers, tout en essayant de minimiser les écueils possibles dans l'interprétation des résultats.

Après réflexion, il fut convenu de fournir des scénarios de changement inférieur et supérieur de chaque indicateur, obtenus à partir des 10^e et 90^e percentiles de la différence entre les moyennes 2041-2070 et 1971-2000. Puisqu'un ensemble de 15 projections de changement est insuffisant pour présenter les résultats de façon probabiliste, les 10^e et 90^e percentiles correspondent à environ $\pm 1,5$ fois l'écart-type de l'ensemble.

Voici les différentes étapes de la production des cartes de la section climat futur des divers indicateurs agroclimatiques décrits dans le tableau 1 :

- Calcul de la moyenne de la période 1971-2000 de l'indicateur pour les 15 simulations.
- Calcul de la moyenne de la période 2041-2070 de l'indicateur pour les 15 simulations.
- Calcul de la différence (delta) entre la moyenne 2041-2070 et la moyenne 1971-2000 de l'indicateur pour les 15 simulations.
- Interpolation du delta de l'indicateur sur la grille à 10 km des données climatiques quotidiennes pour les 15 simulations.
- Calcul de la moyenne et de l'écart-type des 15 deltas interpolés.
- Calcul du scénario changement *inférieur* de l'indicateur (moyenne *moins* 1,5 fois l'écart-type des deltas).
- Calcul du scénario changement *supérieur* de l'indicateur (moyenne *plus* 1,5 fois l'écart-type des deltas).
- Calcul de la normale observée 1971-2000 de l'indicateur à partir des données climatiques quotidiennes à 10 km.
- Cartographie de la normale observée ainsi que des scénarios de changement inférieur et supérieur de chaque indicateur dans un environnement ArcGIS par AAC.

Dans le cas spécifique d'indicateur d'extrême à dépassement de seuil critique fixe, comme le nombre d'occurrences annuelles de $T_{\max} > 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, une procédure de correction de biais a été ajoutée aux deux premières étapes de la production des cartes mentionnées ci-haut. Bien que la validation n'ait pas permis d'identifier de déficience majeure, les modèles climatiques possèdent des biais qui sont plus accentués pour les queues de distribution. Il est effectivement difficile pour un modèle climatique d'une résolution de 250 km ou même de 45 km de reproduire les valeurs extrêmes que l'on enregistre typiquement à une station. Pour pallier cette difficulté, on calcule plutôt l'équivalent percentile de la température critique dans la distribution observée, qui devient le seuil critique par rapport auquel on calcule le nombre de dépassements. Par exemple, si une température de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ correspond au 95^e percentile de la distribution de températures à Montréal, alors on cherchera dans les données simulées la

température correspondant au 95^e percentile, et cette dernière sera utilisée comme seuil critique. Il est important de garder en tête que toute procédure de correction de biais repose sur l'hypothèse que les biais d'un modèle en climat récent demeureront les mêmes en climat futur, ce qui n'est pas toujours le cas (Christensen *et al.*, 2008).

Le fait de présenter des scénarios de changement par rapport à une normale plutôt que de montrer les valeurs futures de l'indicateur offre comme avantage d'éviter que la projection climatique soit faussement considérée et utilisée comme une prévision. Par exemple, les modèles climatiques ne prédisent pas « x » degrés-jours en 2050, mais projettent entre « y » et « z » degrés-jours de plus que la normale 1971-2000. À noter qu'il a été décidé de ne pas inclure de scénarios de changement médian en plus des scénarios de changement inférieur et supérieur. En effet, les expériences passées à Ouranos ont permis de relever que plusieurs usagers, lorsque mis en présence des 3 scénarios de changement, tendent à n'utiliser que le scénario médian et laissent tomber les scénarios inférieur et supérieur. Cela a pour effet d'évacuer totalement le concept d'incertitude dans les projections climatiques.

3.5. Diffusion et communication

3.5.1. Une interface Web conviviale

Un aspect fort important de ce projet était de s'assurer que l'ensemble des résultats obtenus soit diffusé de manière conviviale aux usagers de l'Atlas, soit une clientèle composée principalement de conseillers agricoles. Pour ce faire, le choix s'est arrêté sur le développement d'une interface Web basée sur un modèle et des outils de visualisation cartographique développés par l'*Oklahoma Climatological Survey* (OCS) de l'Université de l'Oklahoma (<http://climate.ok.gov/>). Cette organisation possède une expertise reconnue dans le développement d'outils conviviaux pour la diffusion d'informations météorologiques et climatologiques à différentes clientèles. Ce modèle fut adapté pour nos besoins par Mesonet-Québec, un service de la Société de protection des forêts contre les insectes et maladies (SOPFIM), qui détient les droits au Québec sur l'utilisation des outils de l'OCS.

Ces mêmes outils sont d'ailleurs déjà utilisés dans le cadre de l'initiative « Agrométéo Québec² » où diverses données et produits dérivés sont diffusés en temps quasi-réel à une clientèle agricole cible par l'entremise du site Internet www.agrometeo.org. Afin d'offrir au secteur agricole une forme de « guichet unique » pour accéder à des informations météorologiques et climatologiques adaptées à leurs besoins, il fut décidé d'intégrer l'Atlas agroclimatique dans une section du site d'Agrométéo Québec.

Ainsi, dans la section « Atlas » de www.agrometeo.org, l'ensemble des cartes offertes pour chacun des indices a été organisé en 3 sections : climat actuel, tendances du passé récent et climat futur. De plus, certains résultats issus du projet « Mise à jour des normes et procédures de conception des ouvrages hydro-agricoles dans un contexte de changements climatiques », mené par Aubert Michaud de l'IRDA, furent également intégrés dans la section « Courbes

² Agrométéo Québec est une initiative menée conjointement par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, le ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec ainsi qu'Agriculture et Agroalimentaire Canada.

IDF », c'est-à-dire des courbes « Intensité-Durée-Fréquence » qui représentent les périodes de récurrence d'évènements pluviométriques intenses. À noter que le comité de pilotage du projet, à la suite de l'atelier de consultation des usagers éventuels, a pris la décision de ne pas diffuser les valeurs des tendances sur les cartes de cette section et de s'en tenir uniquement à une présentation qualitative des résultats : tendance significative à la hausse, tendance significative à la baisse ou tendance non significative. Il a été décidé de procéder ainsi afin d'éviter toute mauvaise interprétation des résultats de la part des usagers qui pourraient être tentés d'extrapoler ces valeurs dans le futur. Également, le fait que la détection et l'ampleur des tendances sont tributaires de la longueur des séries d'observations disponibles, et que cette dernière variait d'une station météorologique à l'autre, ajoutait à la complexité. Donc, les cartes diffusées dans le présent atlas ne donnent qu'une simple indication de la présence et du signe des tendances significatives.

Pour faciliter l'interprétation de l'ensemble des cartes, de courts textes explicatifs furent rédigés pour accompagner chacune de celles-ci. Pour les usagers souhaitant avoir plus de détails, une section « Aide et documentation » a été conçue afin d'accueillir divers feuillets, guides, rapports et articles.

En plus des cartes présentées sous forme d'images statiques produites par le « WeatherMapper » de l'OCS, des cartes interactives ont également été créées grâce à l'outil de visualisation « WeatherScope » (également développé par l'OCS). Ce dernier est un progiciel gratuit qui permet aux usagers d'afficher et d'interagir avec des cartes de manière très conviviale. Grâce au « WeatherScope », il est possible d'agrandir la carte (« zoomer »), de la déplacer, de visualiser les valeurs des indices à tous les 10 km, d'ajouter diverses couches d'information (ex. : noms et limites des municipalités), etc. Enfin, les cartes correspondant à l'analyse des indices agroclimatiques en climat actuel ont été créées en format PDF afin de permettre aux usagers de les télécharger, de les imprimer et, au besoin, de les insérer dans des documents.

3.5.2. Ateliers de formation et produits promotionnels

Afin de favoriser une meilleure interprétation du contenu de l'Atlas ainsi qu'un meilleur usage de l'interface Web, un feuillet d'information ainsi qu'une affiche furent élaborés et deux sessions de formation sous la forme de webinaires furent organisées (voir annexes 5, 6 et 8).

3.5.3. Consultations

Tout au long du projet, le comité de pilotage mentionné ci-haut, représentant l'ensemble des usagers potentiels et des organisations agricoles, s'est réuni sur une base régulière, soit de 3 à 4 fois par année, pour être informé de l'évolution du projet et orienter les développements afin de s'assurer que le produit final réponde aux attentes du milieu. Les membres de ce comité furent sollicités également sur une base ad hoc afin d'offrir leur expertise sur certaines questions. La coordination de ce comité était assurée par le CRAAQ. Comme mentionné précédemment, un groupe de travail a vu le jour afin de se pencher sur certaines questions en lien avec les UTM. De plus, un sous-comité fut également formé pour mener à terme le volet diffusion du projet en se dédiant à la mise à jour de l'affiche de l'Atlas, au feuillet d'information, au contenu et à la présentation du site Internet, ainsi qu'aux sessions de formation. La liste des membres de ces divers comités se trouve en annexe 1.

Le projet a su profiter des conseils offerts par les usagers du site Agrométéo Québec (www.agrometeo.org) qui ont notamment été sollicités lors de la sélection des indices agroclimatiques et lors de l'élaboration de l'interface du site Internet de l'Atlas. Par exemple, au début du projet, près d'une trentaine d'usagers ont répondu à une demande par courriel au sujet des indices agroclimatiques à privilégier.

Afin de valider la démarche auprès des usagers éventuels de l'Atlas, un atelier de consultation a eu lieu à Drummondville, le 10 mars 2011. L'objectif principal de cet atelier était de recueillir les commentaires et les suggestions des participants afin de mieux orienter les phases subséquentes du projet. Ainsi, les 27 personnes présentes, essentiellement des conseillers agricoles de diverses organisations, ont eu droit à des présentations sur les différents volets du projet incluant certains résultats préliminaires. Par la suite, une série de questions sur chacun des volets du projet furent soumises aux participants et discutées en ateliers.

4. Résultats

L'Atlas étant avant tout un projet de transfert et de diffusion d'information, l'objectif de la présente section n'est pas de présenter de manière exhaustive l'ensemble des résultats obtenus, mais de plutôt faire part des livrables tangibles qui en ont découlés :

- **Site Internet de l'Atlas agroclimatique**

Tout d'abord, le livrable principal est évidemment le site Internet de l'Atlas que l'on peut consulter sur le site [Agrométéo Québec](http://www.agrometeo.org), en cliquant sur l'onglet « Atlas ».

L'interface conviviale propose près de 300 cartes dont la plupart peuvent être visionnées en mode interactif (sauf celles sur les tendances historiques observées). Lors des deux premiers mois suivant son lancement, soit en avril et mai 2012, plus de 5 000 pages du site ont été vues et les commentaires reçus à ce jour ont été très positifs, ce qui porte à croire que l'outil répond aux attentes du milieu. Toutefois, pour avoir un meilleur gage de la réussite de l'Atlas, il serait important de faire un suivi pour connaître son utilisation et de quelle façon les informations qu'il contient sont intégrées dans les prises de décisions.



Figure 6. Interface du site Internet de l'Atlas agroclimatique du Québec

- **Rapport sur les tendances observées au cours du passé récent**

Un rapport scientifique portant sur les analyses de tendances des indices agroclimatiques a été livré par l'INRS-ETE au CRAAQ (Thibault *et al.*, 2011).

- **Feuille d'information**

Ce [feuille](#) de 4 pages, inclus à l'annexe 5, a été conçu dans le but de faire la promotion du site de l'Atlas et de vulgariser son contenu et ses principales fonctionnalités. Il a été dévoilé lors du Colloque en agroclimatologie du CRAAQ, le 7 mars 2012. Il est maintenant disponible via le site du CRAAQ et celui de l'Atlas.

- **Affiche**

Cette affiche, jointe à l'annexe 6, présente une description sommaire de l'ensemble du projet. Une première version a été produite pour le Symposium d'Ouranos tenu en novembre 2010 à Québec. Elle a été mise à jour depuis et présentée lors du Colloque en agroclimatologie du CRAAQ, le 7 mars 2012.

- **Atelier de consultation et sessions de formation**

Un atelier de consultation a eu lieu le 10 mars 2011, à Drummondville, dont l'objectif était de recueillir les commentaires et les suggestions des participants afin de mieux orienter les phases subséquentes du projet. Un total de 27 personnes a pris part à ce forum. Pour plus de détails, consulter le compte-rendu des discussions en annexe 7.

Deux ateliers de formation ont eu lieu les 18 et 19 avril 2012 sous la forme de webinaires avec, au total, plus de 80 participants.

Ces ateliers, d'une durée d'environ 90 minutes, se voulaient avant tout une démonstration « en direct » des principales fonctionnalités du site Internet de l'Atlas afin d'aider les usagers à naviguer sur le site et de trouver facilement l'information souhaitée. (Voir le programme à l'annexe 8).

Des enregistrements de ces webinaires seront intégrés sous forme de modules dans la section « Aide et documentation » du site de l'Atlas.

- **Activités de promotion**

De nombreuses actions promotionnelles ont été réalisées par le CRAAQ afin de faire connaître l'Atlas agroclimatique du Québec.

Premièrement, il a été lancé officiellement le 7 mars 2012, lors du Colloque en agroclimatologie du CRAAQ qui s'est tenu à Drummondville et où la conférence d'ouverture présentait le nouvel Atlas (Audet, 2012).

Le comité de pilotage a retenu ensuite les autres activités de promotion, notamment le communiqué de presse, jusqu'au mois de mai 2012. Il fallait tenir compte que les indices UTM contenus dans le site de l'Atlas étaient des indices dont le calcul avait été révisé et qu'ils seraient utilisés par La Financière agricole du Québec à partir de la saison 2013 seulement.

Le lien Internet vers l'Atlas a été déposé à plusieurs endroits sur le site du CRAAQ ainsi que dans plusieurs sites spécialisés d'Agri-Réseau (<http://www.agrireseau.qc.ca>) (Phytoprotection, Grandes cultures, Agroenvironnement, Réseau pommier, Érable, Pomme de terre, Légumes de champ, Horticulture ornementale - Pépinière, Horticulture ornementale - Gazon, Horticulture ornementale - Arbres de Noël, Plantes fourragères).

Le CRAAQ a également fait parvenir une promotion électronique à environ 1000 de ses clients et a déposé l'information dans ses médias sociaux (Facebook, LinkedIn et Twitter).

Plusieurs journalistes se sont intéressés à l'Atlas agroclimatique du Québec et cela a résulté par des interviews et plusieurs articles dans des revues agricoles.

5. Conclusion et recommandations

Le projet « Atlas agroclimatique du Québec » a atteint les objectifs fixés à l'origine. En plus d'actualiser un ensemble d'indices agroclimatiques en climat actuel, cet atlas innove et va encore plus loin en intégrant également des informations sur l'évolution de l'agroclimat dans le passé récent et dans le futur. De plus, l'accès à ces informations est facilité par la mise en ligne d'un site Internet convivial.

L'élaboration de l'Atlas agroclimatique a été le fruit d'un travail collectif impliquant des ressources et de l'expertise de plusieurs organisations. Les usagers potentiels furent également consultés afin de s'assurer que l'outil réponde le plus fidèlement possible à leurs attentes.

À peine quelques semaines après son lancement, il semblerait que les attentes aient été comblées puisque l'intérêt pour l'Atlas ne faisait déjà aucun doute avec plus de 5 000 pages du site visionnées dans les deux premiers mois après sa mise en ligne. De plus, de nombreuses demandes pour des couches d'informations ont été reçues et plusieurs collaborations avec diverses organisations dans le cadre d'autres projets ont vu le jour. Citons en exemple la mise à jour des normes UTM de la Financière agricole du Québec prévue pour 2013, un projet sur la durabilité des fermes laitières piloté par l'Université Laval, l'intégration de données de l'Atlas dans le plan directeur de l'eau d'un organisme de bassin versant et le transfert de données au MAPAQ pour un projet sur les pâturages et, éventuellement, l'intégration dans leur système d'information géographique ministériel. L'intérêt semble même déborder les frontières du Québec puisque des conseillers du ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario (OMAFRA) ont exprimé le souhait qu'un tel outil soit développé pour leur province.

En plus d'appuyer la prise de décision, l'Atlas sera également un précieux atout pour sensibiliser le secteur agricole aux changements climatiques. En intégrant dans un même site Internet des informations sur le climat futur, des données sur la variabilité du climat actuel et, en plus, des observations météorologiques en temps réel, cela permet d'inscrire les changements climatiques dans un continuum allant de la gestion tactique des événements météorologiques (qui sont appelés à devenir davantage extrêmes) jusqu'à la prise en compte d'enjeux plus stratégiques basés sur des considérations à plus long terme. Avant de s'adapter au climat futur, encore faut-il être en mesure de s'adapter à la variabilité du climat actuel, voire à la météo, et le site www.agrometeo.org offrent des informations qui appuient cette conduite.

Cet atlas agroclimatique offrira donc au secteur agricole québécois un outil concret, dynamique et convivial pour appuyer son adaptation à la variabilité et aux changements climatiques. Cet outil, adapté aux technologies d'aujourd'hui, fournira la base pour l'analyse et la gestion des risques et potentialités climatiques.

Recommandations :

Au terme du projet de l'Atlas agroclimatique, certaines recommandations sont proposées.

- Dans un contexte de changements climatiques, il serait souhaitable, voire essentiel, d'actualiser les informations contenues dans la section « climat actuel » de l'Atlas sur une base régulière.
 - Dans un premier temps, il faudrait, d'ici la fin de l'année 2013, mettre à jour les indices avec les données de 1981-2010 qui sont maintenant disponibles.
 - Par la suite, procéder aux mises à jour à tous les 3 à 5 ans selon la disponibilité des ressources et de la base de données. Cette fréquence est un compromis entre la période habituelle de 10 ans pour l'actualisation des normales et une mise à jour annuelle qui serait un peu trop exigeante et qui, de toute façon, n'apporterait probablement pas de changement significatif.
 - L'utilisation d'une base de données climatiques quotidiennes interpolées aux 10 km avec le modèle « Anusplin » a donné les résultats escomptés dans le cadre du présent projet et devrait servir aux prochains travaux d'actualisation.
- Pour ce qui est de l'actualisation des sections « tendances » et « climat futur », il est recommandé de les actualiser dès que de nouvelles données, connaissances, méthodes et modèles apportent de nouvelles informations que l'on juge pertinentes à intégrer à l'Atlas. Ainsi, la mise à jour des scénarios de changements climatiques devrait se faire après chaque cycle du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) pour tenir compte des progrès scientifiques en modélisations climatiques. Il faudrait reprendre la production des scénarios climatiques après la parution du prochain rapport du GIEC afin d'intégrer les avancées scientifiques et l'évolution des gaz à effet de serre. Les projections climatiques ont une durée de vie limitée et doivent être actualisées à intervalle régulier. En effet, la banque de données climatiques simulées sur laquelle repose cette étude est la même qui a servi de base à la rédaction du 4^e Rapport d'évaluation du GIEC (IPCC: Meehl *et al.*, 2007). Or, une nouvelle banque de simulations climatiques globales et régionales issues de la nouvelle génération de modèles climatiques est présentement en cours de production.
- Afin d'avoir un indicateur de l'impact de l'Atlas dans les efforts d'adaptation du secteur agricole, il serait important de faire un suivi en continu de l'achalandage de son site Internet ainsi que des applications et prises de décision qui découleront de l'utilisation des informations contenues dans l'Atlas. Ce suivi devrait se faire de manière intégrée dans le cadre de l'initiative Agrométéo Québec et avec la collaboration du CRAAQ, en utilisant des outils tels que la tenue d'ateliers, de sondages ou encore en sollicitant des exemples directement à même une section du site www.agrometeo.org (à préciser).
- Faire la promotion de l'outil et tenir des ateliers de formation sur une base annuelle.
- En plus des travaux d'actualisation proposés ci-haut, il faudrait également amorcer la planification d'une deuxième phase à l'Atlas agroclimatique afin de bonifier l'outil. Sans

être exhaustive, voici une liste d'ajouts qui pourraient être envisagés dans une éventuelle suite au présent projet :

- Ajout de nouveaux indices (ex. : indices pour certains ennemis des cultures, besoins en eau des plantes, indices spécifiques à certaines cultures comme la vigne, les pommes...).
 - Intégration de données sur les sols.
 - Ajout d'analogues à la section « climat futur » (avec une liste des cultures potentielles dans le futur).
 - Bonification de l'interface : visionnement de deux cartes interactives en même temps (par exemple : scénarios inférieurs et supérieurs de changements climatiques).
 - Intégration des données de stations et affichage en cliquant sur la carte.
- Enfin, explorer la faisabilité et l'intérêt d'étendre cette initiative à d'autres régions du Canada, dans un premier temps, l'Ontario et les provinces de l'Atlantique.

6. Références

Adamowski, K. et J. Bougadis. 2003. Detection of trends in annual extreme rainfall. *Hydrol. Process.* 17: 3547-3560.

Audet, R. L'Atlas agroclimatique du Québec. Colloque en agroclimatologie du CRAAQ, Drummondville, 7 mars 2012. 50 p.

Baier, W. et G.W. Robertson. 1965. Estimation of latent evaporation from simple weather observations. *Can. J. Plant Sci.* 45: 276-284.

Bélanger, G. et A. Bootsma. 2002. Impacts des changements climatiques sur l'agriculture au Québec. Conférence présentée au 65^e Congrès de l'Ordre des agronomes du Québec.

Bélanger, G., P. Rochette, Y. Castonguay, A. Bootsma, D. Mongrain et D.A.J. Ryan. 2002. Climate Change and Winter Survival of Perennial Forage Crops in Eastern Canada. *Agron. J.* 94: 1120–1130.

Berteaux, D., S. de Blois, J.-F. Angers, J. Bonin, N. Casajus, M. Darveau, F. Fournier, M.M. Humphries, B. McGill, J. Larivée, T. Logan, P. Nantel, C. Périé, F. Poisson, D. Rodrigue, S. Rouleau, R. Siron, W. Thuiller et L. Vescovi. 2010. The CC-Bio project: studying the effects of climate change on Quebec biodiversity. *Diversity* 2: 1181–1204.

Bootsma, A., G. Tremblay et P. Filion. 1999. Analyse sur les risques associés aux unités thermiques disponibles pour la production de maïs et de soya au Québec. Centre de recherches de l'Est sur les céréales et oléagineux, Ottawa, 28 p.

Bootsma, A. 1994. Long term (100 YR) climatic trends for agriculture at selected locations in Canada. *Climatic Change* 26(1): 65-88.

Casajus N., C. Périé, T. Logan, M.-C. Lambert, S. de Blois et D. Berteaux. 2012. Projecting species distribution under climate change: an objective approach to select climate scenarios. Article soumis à *Methods in Ecology and Evolution*.

Caya, D. et R. Laprise. 1999. A semi-implicit semi-lagrangian regional climate model : The Canadian RCM. *Monthly Weather Review* 127(3): 341–362.

Christensen, J.H., F. Boberg, O.B. Christensen et P. Lucas-Picher. 2008. On the need for bias correction of regional climate change projections of temperature and precipitation. *Geophysical Research Letters*, 35.

de Elía, R. et H. Côté. 2010. Climate and climate change sensitivity to model configuration in the Canadian RCM over north america. *Meteorol. Z.* 19(4). Doi : 10.1127/0941-2948/2010/0469.

Dubé, P.A., J.E. Chevrette et P. Lamb. 1982. Agrométéorologie : atlas agroclimatique du Québec méridional, données dérivées de la température. Éditeur : MAPAQ.

Hartigan, J.A. et M.A. Wong. 1979. A k-means clustering algorithm. *Applied Statistics* 28: 100–108

Hutchinson, M.F. 2004. ANUsplin Version 4.3: User Guide, The Australian National University, Centre for Resource and Environmental Studies, Canberra, Australia. (<http://cres.anu.edu.au/outputs/anusplin.php>).

IPCC (G.A. Meehl, T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver et Z.-C. Zhao). 2007. *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, chapter Global Climate Projections. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Kendall, M.G. 1975. *Rank Correlation Methods*. Charles Griffin, London.

Laprise, R. 2008. Regional climate modelling. *Jour. Comp. Phys.* 227: 3641-3666.

Meehl, G.A., C. Covey, T. Delworth, M. Latif, B. McAvaney, J.F.B. Mitchell, R.J. Stouffer et K.E. Taylor. 2007. The WCRP CMIP3 Multimodel Dataset, A New Era in Climate Change Research. *BAMS*, p. 1383-1394.

Mitchell, T.D. et P.D. Jones. 2005. An Improved Method of Constructing a Database of Monthly Climate Observations and Associated High-Resolution Grids. *International Journal of Climatology*, 25(6): 693-712, May.

Murphy, J.M., D.M.H. Sexton, D.N. Barnett, G.S. Jones, M.J. Webb, M. Collins et D.A. Stainforth. 2004. Quantification of modelling uncertainties in a large ensemble of climate change simulations. *Nature*. vol. 430, p. 768-772.

Music, B. et D. Caya. 2007. Evaluation of the hydrological cycle over the mississippi river basin as simulated by the Canadian regional climate model (CRCM). *Journal of Hydrometeorology* 8(6): 969-988.

Nadler, A.J. 2007. An Agroclimatic Risk Assessment of Crop Production on the Canadian Prairies. Master of Science Thesis, University of Manitoba. 251 p.

Nakićenovič, N. et R. Swart (publié sous la direction de). 2000. Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, NY, États Unis d'Amérique. 599 p.

Newlands, N.K., A. Davidson, A. Howard et H. Hill. 2010. Validation and inter-comparison of three methodologies for interpolating daily precipitation and temperature across Canada. *Environmetrics* 22: 205-223.

Rochette, P., G. Bélanger, Y. Castonguay, A. Bootsma et D. Mongrain. 2004. Climate change and winter damage to fruit trees in eastern Canada. *Can. J. Plant Sci.* 84: 1113-1125.

Rochette, P. 1988. Contributions au zonage agricole du Québec méridional. Thèse de doctorat. Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval. 544 p.

Sen, P.K. 1968. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association* 63: 1379-1389.

Thibault, T., G. Talbot et A. Mailhot, 2011, Rapport technique : Analyse des tendances d'indices agroclimatiques, Rapport No R-1317 (Confidentiel) INRS-ETE.

Yagouti, A., G. Boulet et L. Vescovi. 2006. Homogénéisation des séries de températures et analyse de la variabilité spatio-temporelle de ces séries au Québec méridional, Consortium OURANOS, Québec. 154 p.

Yagouti, A., G. Boulet, L.A. Vincent, L. Vescovi et E. Mekis. 2008. Observed Changes in Daily Temperature and Precipitation Indices for Southern Québec, 1960-2005. *Atmosphere-Ocean* 46(2): 243-256.

Wang, X. et V. Swail. 2001. Changes of Extreme Wave Heights in Northern Hemisphere Oceans and Related Atmospheric Circulation Regimes. *Journal of Climate* 14: 2204-2221.

Zhang, X., L.A. Vincent, W.D. Hogg et A. Niitsoo. 2000. Temperature and Precipitation Trends in Canada During the 20th Century. *Atmosphere-Ocean* 38(3): 395-429.

ANNEXES

Annexe 1 : Listes des membres des divers comités

Annexe 2 : Formules utilisées pour le calcul des indices agroclimatiques

Annexe 3 : Bilan de la validation des résultats en comparant avec les observations de stations indépendantes du MDDEP

Annexe 4 : Bilan des travaux du Groupe de travail sur les UTM

Annexe 5 : Feuillet d'information

Annexe 6 : Affiche

Annexe 7 : Compte-rendu de l'atelier de consultation du 10 mars 2011

Annexe 8 : Programme des ateliers de formation des 18 et 19 avril 2012

Annexe 1

Liste des membres des divers comités

Comité de pilotage Atlas

René Audet, M.Sc., agrométéorologue, Direction des Sciences et de la technologie, Agriculture et Agroalimentaire Canada

Lise Bélanger, agente de recherche, La Financière agricole du Québec

Anne Blondlot, agronome, Impacts et Adaptation, Ouranos

Gaétan Bourgeois, Ph.D., chercheur en bioclimatologie et en modélisation, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche et de développement en horticulture

Paul Brouillette, consultant, Mesonet-Québec

Guylain Charron, agent de recherche et d'information, Direction recherches et politiques agricoles, UPA

Diane Chaumont, chef Groupe Scénarios climatiques, Programme Sciences du Climat, Ouranos

Hélène Côté, M.Sc., Simulations climatiques, Ouranos

Julie Drapeau, M.Sc., analyste en changements climatiques, Direction du suivi de l'état à l'environnement, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs

Isabelle Duchesne, Ph.D., agente de recherche, La Financière agricole du Québec

Denis Ruel, conseiller en grandes cultures, Direction régionale Centre-du-Québec, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec

Sous-comité « Diffusion de l'Atlas »

René Audet, M.Sc., agrométéorologue, Direction des Sciences et de la technologie, Agriculture et Agroalimentaire Canada

Lise Bélanger, agente de recherche, La Financière agricole du Québec

Anne Blondlot, agronome, Impacts et Adaptation, Ouranos

Paul Brouillette, consultant, Mesonet-Québec

Hélène Côté, M.Sc., Simulations climatiques, Ouranos

Julie Drapeau, M.Sc., analyste en changements climatiques, Direction du suivi de l'état à l'environnement, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs

Isabelle Duchesne, Ph.D., agente de recherche, La Financière agricole du Québec

Groupe de travail sur les unités thermiques maïs (UTM)

René Audet, M.Sc., agrométéorologue, Direction des Sciences et de la technologie, Agriculture et Agroalimentaire Canada

Lise Bélanger, agente de recherche, La Financière agricole du Québec

Gaétan Bourgeois, Ph.D., chercheur en bioclimatologie et en modélisation, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche et de développement en horticulture

Isabelle Duchesne, Ph.D., agente de recherche, La Financière agricole du Québec

Pierre Filion, conseiller en grandes cultures, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec

Bertrand Leclerc, responsable de produits d'assurance agricole, Direction de l'intégration des programmes, La Financière agricole du Québec

Gilles Tremblay, M.Sc., agronome, chercheur, Centre de recherche sur les grains inc.

Annexe 2

Formules utilisées pour le calcul des indices agroclimatiques

1. Définition des variables quotidiennes

T_{min_j} : Température minimale du jour j en °C

T_{max_j} : Température maximale du jour j en °C

T_{moy_j} : Température moyenne du jour j en °C

$$T_{moy_j} = \frac{T_{min_j} + T_{max_j}}{2}$$

P_j : Total des précipitations du jour j en mm

2. Indices agroclimatiques

2.1. Date du dernier gel printanier

Définition : Le dernier jour suivant l'hiver où la température minimale quotidienne est inférieure ou égale à un seuil de température gélive T_{gel} . La recherche du dernier jour de gel se fait entre le 1^{er} janvier (jour julien 1) et le 31 juillet (jour julien 212) inclusivement

Unités : Date ou jour julien

Formule :

$$DGP_{T_{gel}} = \max\{j | T_{min_j} \leq T_{gel}\}$$

dans laquelle

$$T_{gel} = \{-4 \text{ °C}, -3 \text{ °C}, -2 \text{ °C}, -1 \text{ °C}, 0 \text{ °C}\}$$
$$j = 1, \dots, 212$$

2.2. Date du premier gel automnal

Définition : Le premier jour de l'automne où la température minimale quotidienne est inférieure ou égale à un seuil de température gélive T_{gel} . La recherche du premier jour de gel se fait entre le 1^{er} août (jour julien 213) et le 31 décembre (jour julien 365) inclusivement.

Unités : Date ou jour julien

Formule :

$$PGA_{T_{gel}} = \min\{j | T_{min_j} \leq T_{gel}\}$$

dans laquelle

$$T_{gel} = \{-4 \text{ °C}, -3 \text{ °C}, -2 \text{ °C}, -1 \text{ °C}, 0 \text{ °C}\}$$
$$j = 213, \dots, 365$$

2.3. Longueur de la saison sans gel

Définition : Le nombre de jours entre le dernier gel printanier et le premier gel automnal selon un seuil de température gélive T_{gel} .

Unités : Jours

Formule :

$$LSSG_{T_{gel}} = PGA_{T_{gel}} - DGP_{T_{gel}}$$

dans laquelle

$$T_{gel} = \{-4\text{ °C}, -3\text{ °C}, -2\text{ °C}, -1\text{ °C}, 0\text{ °C}\}$$

2.4. Fréquence des températures supérieures à 30 °C

Définition : Nombre de jours dans une année (occurrences annuelles) où la température maximale quotidienne est supérieure à 30°C.

Unités : jours

Formule :

$$OCA_{TSUP30} = \sum_{j=1}^{365} TSUP30_j$$

dans laquelle

$$TSUP30_j = \begin{cases} 1 & \text{si } T_{max_j} > 30\text{ °C} \\ 0 & \text{si } T_{max_j} \leq 30\text{ °C} \end{cases}$$

2.5. Température minimale annuelle

Définition : La plus froide des températures minimales quotidiennes d'une année.

Unités : °C

Formule :

$$TMA = \min(T_{min_j}) \quad j=1, \dots, 365$$

2.6. Date de début de la saison de croissance

Définition : Le début de la saison de croissance (*DSC*) suivant un hiver correspond au 5^e jour d'une période de 5 jours consécutifs où la moyenne mobile pondérée des températures moyennes quotidiennes (*TMMP5*) est supérieure à 5,5 °C.

Unités : Date

Formule :

$$DSC = \min\{j | TMMP5_j > 5.5 \text{ }^\circ\text{C}\}$$

dans laquelle

$$TMMP5_j = \frac{Tmoy_{j-4} + 4Tmoy_{j-3} + 6Tmoy_{j-2} + 4Tmoy_{j-1} + Tmoy_j}{16}$$

$$j = 1, \dots, 365$$

2.7. Date de fin de la saison de croissance

Définition : La fin de la saison de croissance (*DSC*) correspond au 5^e jour d'une période de 5 jours consécutifs où la moyenne mobile pondérée des températures moyennes quotidiennes (*TMMP5*) est supérieure à 5,5 °C pour la dernière fois suivant un été.

Unités : Date

Formule :

$$FSC = \max\{j | TMMP5_j > 5.5 \text{ }^\circ\text{C}\}$$

dans laquelle

$$TMMP5_j = \frac{Tmoy_{j-4} + 4Tmoy_{j-3} + 6Tmoy_{j-2} + 4Tmoy_{j-1} + Tmoy_j}{16}$$

$$j = 1, \dots, 365$$

2.8. Longueur de la saison de croissance

Définition : Le nombre de jours entre le début et la fin de la saison de croissance.

Unités : Jours

Formule :

$$LSC = FSC - DSC$$

2.9. Cumul des degrés-jours d'avril à octobre

Définition : Cumul, entre le 1^{er} avril (jour julien 91) et le 31 octobre (jour julien 304), de l'excédent de la température moyenne quotidienne par rapport à un seuil de température T_{base} .

Unités : Degrés jours

Formule :

$$DJ = \sum_{j=91}^{304} DJ_j$$

dans laquelle

$$DJ_j = \max[0, (T_{moy_j} - T_{base})]$$

$$T_{base} = \{0 \text{ } ^\circ\text{C}, 5 \text{ } ^\circ\text{C}, 10 \text{ } ^\circ\text{C}\}$$

2.10. Cumuls mensuels des degrés-jours d'avril à octobre

Définition : Cumul, entre le premier jour (jp) et le dernier jour (jd) du mois, de l'excédent de la température moyenne quotidienne par rapport à un seuil de température T_{base} , pour chaque mois entre avril et octobre.

Unités : Degrés jours

Formule :

$$DJ_m = \sum_{j=jp}^{jd} DJ_j$$

dans laquelle

$$DJ_j = \max[0, (T_{moy_j} - T_{base})]$$

$$T_{base} = \{0 \text{ } ^\circ\text{C}, 5 \text{ } ^\circ\text{C}, 10 \text{ } ^\circ\text{C}\}$$

jp : premier jour julien du mois m

jd : dernier jour julien du mois m

2.11. Cumul des degrés-jours durant la saison de croissance

Définition : Cumul, entre le début et la fin de la saison de croissance (DSC) et (FSC), de l'excédent de la température moyenne quotidienne par rapport à un seuil de température T_{base} de $5 \text{ } ^\circ\text{C}$

Unités : Degrés jours

Formule :

$$DJ = \sum_{j=DSC}^{FSC} DJ_j$$

dans laquelle

$$DJ_j = \max[0, (T_{moy_j} - T_{base})]$$

$$T_{base} = 5^\circ\text{C}$$

2.12. Date de début de cumul des unités thermiques maïs

Définition : Suivant l'approche proposée par le groupe de travail « UTM » formé dans le cadre du projet de l'atlas agroclimatique, on débute le cumul des UTM à la première occurrence d'une moyenne mobile sur 5 jours de la température moyenne quotidienne ($TMM5$) supérieure ou égale à $12,8^{\circ}\text{C}$. La date du début du cumul des UTM (DDC_UTM) correspond à la 5^{ème} journée de cette fenêtre mobile. La toute première fenêtre de 5 jours considérée débute avec la médiane pour la période 1971-2000 (ou 2041-2070) des dates de dernier gel printanier par rapport à une température gélive de 0°C (MED_DGPO). Le calcul de la date du dernier gel printanier est présenté à la section 2.1.

Unités : Date

Formule :

$$DDC_UTM = \min\{j | TMM5_j \geq 12.8^{\circ}\text{C}\}$$

dans laquelle

$$TMM5_j = \frac{T_{moy_{j-4}} + T_{moy_{j-3}} + T_{moy_{j-2}} + T_{moy_{j-1}} + T_{moy_j}}{5}$$

$$j \geq MED_DGPO + 4$$

2.13. Date de fin de cumul des unités thermiques maïs

Définition : Suivant l'approche proposée par le groupe de travail « UTM » formé dans le cadre du projet de l'atlas agroclimatique, la fin du cumul des UTM (DFC_UTM) correspond au premier gel automnal par rapport à une température gélive de -2°C ($PGA_{-2^{\circ}\text{C}}$).

Unités : Date

Formule :

$$DFC_UTM = PGA_{-2^{\circ}\text{C}}$$

dans laquelle

$$PGA_{-2^{\circ}\text{C}} = \min\{j | T_{min_j} \leq -2^{\circ}\text{C}\}$$

$$j = 213, \dots, 365$$

2.14. Cumul des unités thermiques maïs

Définition : La somme des UTM journalières (UTM_j) sur une période comprise entre la date de début (DDC_UTM) et la date de fin (DFC_UTM) mentionnées précédemment. Le calcul des UTM journalières est basé sur la formule de Bootsma et al., 1999.

Unités : UTM

Formule :

$$UTM = \sum_{j=DDC_UTM}^{DFC_UTM} UTM_j$$

dans laquelle

$$UTM_j = \frac{1}{2}(Ymax_j + Ymin_j)$$

$$Ymax_j = \begin{cases} 3.33(Tmax_j - 10) - 0.084(Tmax_j - 10)^2 & \text{si } Tmax_j > 10 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 0 & \text{si } Tmax_j \leq 10 \text{ } ^\circ\text{C} \end{cases}$$

$$Ymin_j = \begin{cases} 1.8(Tmin_j - 4.44) & \text{si } Tmin_j > 4.44 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 0 & \text{si } Tmin_j \leq 4.44 \text{ } ^\circ\text{C} \end{cases}$$

2.15. Cumul des degrés-froid durant la période d'endurcissement (potentiel d'endurcissement)

Définition : Cumul des degrés-froids nets ($DF5_j$) journaliers entre le 1 août (jour julien 213) et la fin de la période d'endurcissement (FPE) correspondant à la première occurrence d'une température minimale inférieure ou égale à -10°C . À noter que les $DF5_{j=FPE}$ ne sont pas inclus dans le cumul. Les degrés froids nets proviennent de l'écart entre les degrés froids ($CDD5$) et les degrés jours de croissance ($DD5$). À chaque jour, on vérifie si le cumul des degrés-froids nets ($CDF5$) devient négatif et on le remet à zéro le cas échéant.

Unités : Degrés froids

Formule :

$$CDF5 = \sum_{j=213}^{FPE-1} \{CDF5_j | CDF5_j = \max[0, (CDF5_{j-1} + DF5_j)]\}$$

initialisée au 1 août avec,

$$CDF5_{j=213-1} = 0$$

et dans laquelle

$$FPE = \min\{j | Tmin_j \leq -10^\circ\text{C et } j \geq 213\}$$

$$DF5_j = CDD5_j - DD5_j$$

$$CDD5_j = \begin{cases} 0 & \text{si } Tmoy_j \geq 5^\circ\text{C} \\ |Tmoy_j - 5| & \text{si } Tmoy_j < 5^\circ\text{C} \end{cases}$$

$$DD5_j = \begin{cases} Tmoy_j - 5 & \text{si } Tmoy_j > 5^\circ\text{C} \\ 0 & \text{si } Tmoy_j \leq 5^\circ\text{C} \end{cases}$$

2.16. Cumul des degrés-jours au cours de la période froide (perte d'endurcissement)

Définition : Cumul des degrés-jours base 0°C pendant la saison froide comprise entre de la première (*DHIV*) et la dernière (*FHIV*) occurrence d'une température minimale de -15°C. *DHIV* et *FHIV* sont en jours juliens.

Unités : Degrés jours

Formule :

$$DJO_HIV = \sum_{j=DHIV}^{FHIV} \max(0, T_{moy_j})$$

dans laquelle

$$DHIV = \min\{j | T_{min_j} \leq -15 \text{ °C}\}$$

$$FHIV = \max\{j | T_{min_j} \leq -15 \text{ °C}\}$$

2.17. Cumul des précipitations d'avril à octobre

Définition : Somme des précipitations journalières entre le premier avril (jour julien 91) et le 31 octobre (jour julien 304).

Unités : mm

Formule :

$$P = \sum_{j=91}^{304} P_j$$

2.18. Cumul des précipitations pendant la saison de croissance

Définition : Somme des précipitations journalières entre le début (*DSC*) et la fin de la saison de croissance (*FSC*) inclusivement.

Unités : mm

Formule :

$$P_{SC} = \sum_{j=DSC}^{FSC} P_j$$

2.19. Cumuls mensuels des précipitations d'avril à octobre

Définition : Somme des précipitations journalières entre le premier (jp) et dernier (jd) jour de chaque mois compris entre avril et octobre inclusivement.

Unités : mm

Formule :

$$P_m = \sum_{j=jp}^{jd} P_j$$

jp : premier jour julien du mois m

jd : dernier jour julien du mois m

2.20. Cumul des précipitations moins évapotranspiration potentielle (P-ETP) de mai à octobre

Définition : Cumul de l'indice hydrique P-ETP défini comme étant la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration potentielle journalières entre le 1^{er} mai et le 31 octobre inclusivement. L'évapotranspiration potentielle est calculée selon la formule de Baier et Robertson (1965). Elle est fonction des températures ($FTmax$ et $FTmin$) en °F ainsi que du rayonnement extraterrestre (Re) en MJ/m²/min. Ce rayonnement est calculé à l'aide de la constante solaire (GSC), de la déclinaison solaire (ds , sans unité), de la correction d'excentricité (dr , sans unité), de l'angle horaire (Ω) en radians et de la latitude (LAT) en degrés du lieu considéré (station ou point de grille d'un modèle climatique).

Unités : mm

Formule :

$$C_{PETP} = \sum_{j=1\text{ mai}}^{31\text{ oct}} P_j - ETP_j$$

dans laquelle

$$ETP_j = 0.094[-87.03 + 0.928FTmax_j + 0.933(FTmax_j - FTmin_j) + 0.0486Re]$$

$$FTmax_j = \frac{9}{5}Tmax_j + 32$$

$$FTmin_j = \frac{9}{5}Tmin_j + 32$$

$$Re = \frac{1440}{\pi} GSC dr \left[\Omega \sin\left(\frac{\pi LAT}{180}\right) \sin(ds) + \cos\left(\frac{\pi LAT}{180}\right) \cos(ds) \sin(\Omega) \right]$$

$$dr = 1 + 0.33 \left[\cos\left(\frac{2\pi JJ}{365}\right) \right]$$

$$ds = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi JJ}{180} - 1.39\right)$$

JJ = la date en jours juliens

$$GSC = 0.082 \text{ MJ/m}^2/\text{min}$$

2.21. Cumul des précipitations moins évapotranspiration potentielle pendant la saison de croissance

Définition : Cumul de l'indice hydrique P-ETP défini comme étant la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration potentielle journalières entre le début (DSC) et la fin (FSC) de la saison de croissance inclusivement. L'évapotranspiration potentielle est calculée selon la formule de Baier et Robertson (1965). Elle est fonction des températures ($FTmax$ et $FTmin$) en °F ainsi que du rayonnement extraterrestre (Re). Ce rayonnement est calculé à l'aide de la constante solaire (GSC), de la déclinaison solaire (ds , sans unité), de la correction d'excentricité (dr , sans unité), de l'angle horaire (Ω) en radians et de la latitude (LAT) en degrés du lieu considéré (station ou point de grille d'un modèle climatique).

Unités : mm

Formule :

$$C_{PETP_{SC}} = \sum_{j=DSC}^{FSC} P_j - ETP_j$$

dans laquelle

$$ETP_j = 0.094[-87.03 + 0.928FTmax_j + 0.933(FTmax_j - FTmin_j) + 0.0486Re]$$

$$FTmax_j = \frac{9}{5}Tmax_j + 32$$

$$FTmin_j = \frac{9}{5}Tmin_j + 32$$

$$Re = \frac{1440}{\pi} GSC dr \left[\Omega \sin\left(\frac{\pi LAT}{180}\right) \sin(ds) + \cos\left(\frac{\pi LAT}{180}\right) \cos(ds) \sin(\Omega) \right]$$

$$dr = 1 + 0.33 \left[\cos\left(\frac{2\pi JJ}{365}\right) \right]$$

$$ds = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi JJ}{180} - 1.39\right)$$

JJ = la date en jours juliens

$$GSC = 0.082 \text{ MJ/m}^2/\text{min}$$

Annexe 3

Bilan de la validation des résultats en comparant avec les observations de stations indépendantes du MDDEP

- Cumul des degrés-jours (base 0 °C) : généralement en-deçà de 4 %, mais pouvant atteindre 6 à 12 % en terrain accidenté, près du fleuve et dans les zones où la densité du réseau est moindre :



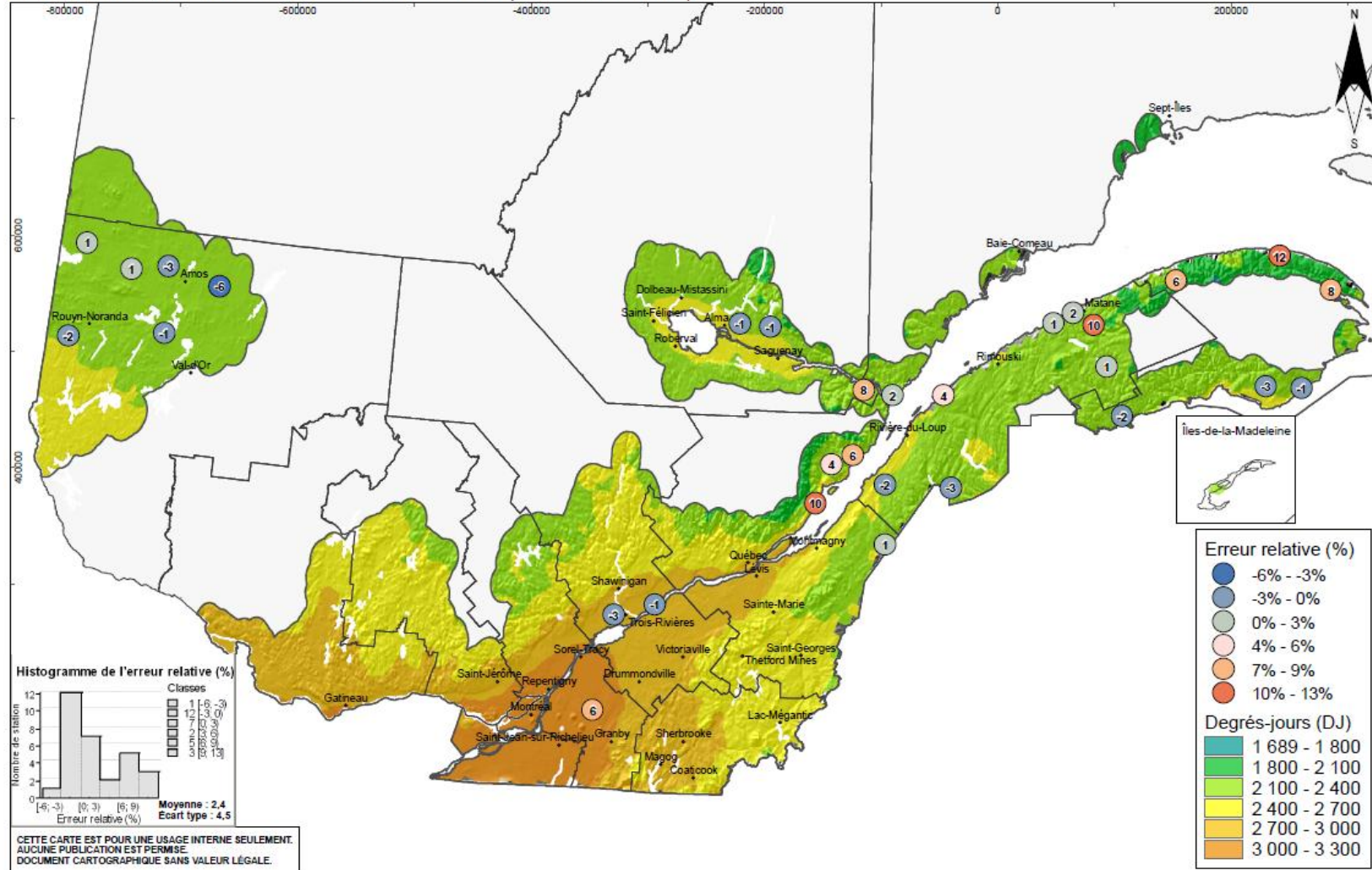
Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada

Moyenne des degrés-jours conventionnels du 1^{er} avril au 31 octobre

Validation avec les données du MDDEP (erreur relative)

Base de 0°C
Période de référence : 1979-2008



Source des données :
Données de base : Données climatiques
quotidiennes mailleées au 10 km (ANUSPLIN)
Données de référence : © Le ministère des Ressources
naturelles Canada et le ministère des Ressources
naturelles et de la Faune du Québec

0 50 100 200 Km

Projection : Lambert Conique Conforme du Québec (m)
Datum : Nord Américain 1983

• Villes principales
□ Régions administratives

En collaboration avec :

[Logo] [Logo]

- Cumul des précipitations : généralement en deçà de 5 %, mais pouvant atteindre 10 à 14 % en terrain accidenté, près du fleuve et dans les zones où la densité du réseau est moindre :



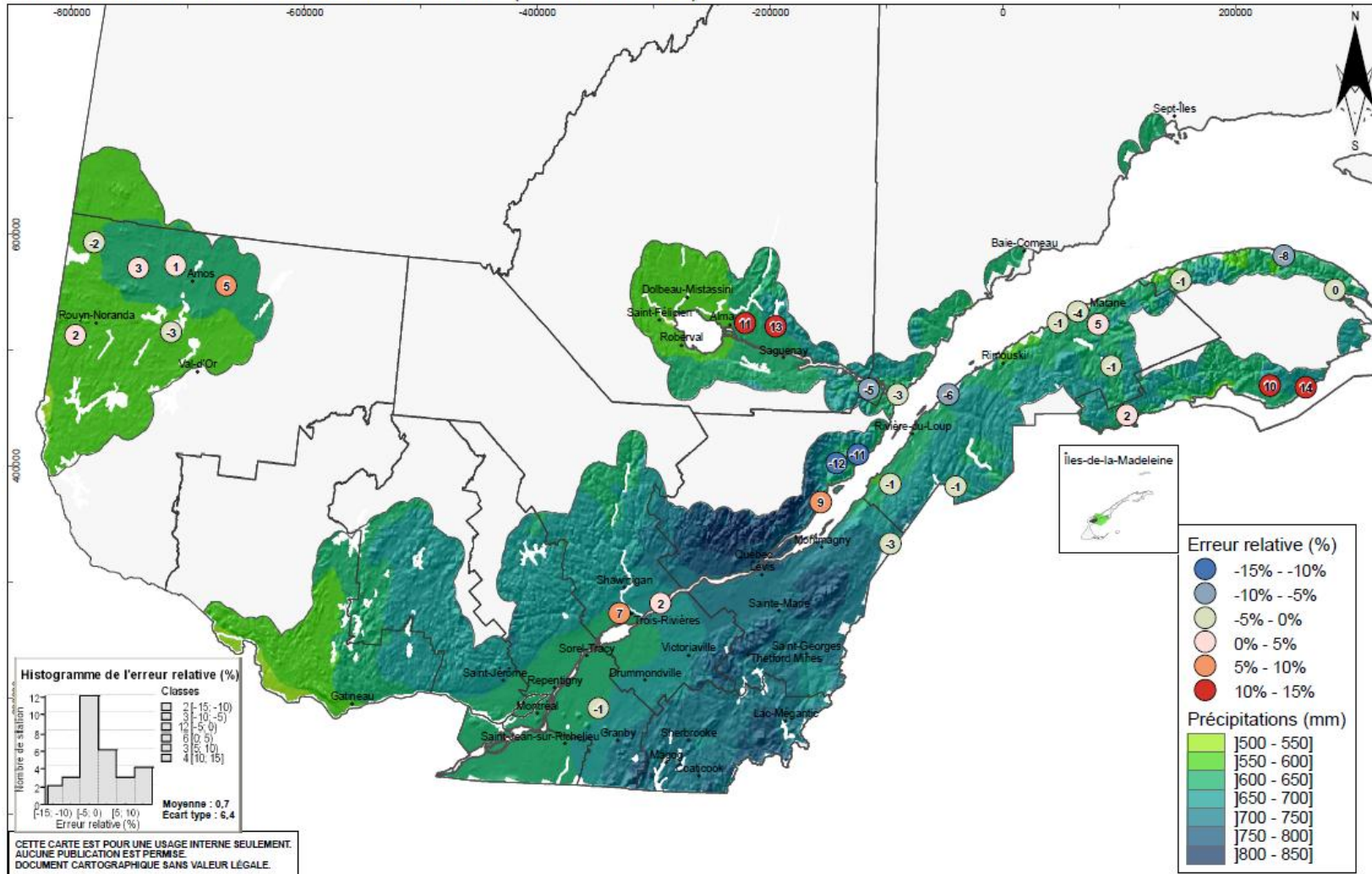
Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada

Moyenne des précipitations totale du 1^{er} avril au 31 octobre

Validation avec les données du MDDEP (erreur relative)

Période de référence :
1979-2008



CETTE CARTE EST POUR UNE USAGE INTERNE SEULEMENT.
AUCUNE PUBLICATION EST PERMISE.
DOCUMENT CARTOGRAPHIQUE SANS VALEUR LÉGALE.

Source des données :
Données de base : Données climatiques
quotidiennes maillées au 10 km (ANUSPLIN)
Données de référence : © Le ministère des Ressources
naturelles Canada et le ministère des Ressources
naturelles et de la Faune du Québec

0 50 100 200 Km

Projection : Lambert Conique Conforme du Québec (m)
Datum : Nord Américain 1983

• Villes principales
□ Régions administratives

En collaboration avec :

[Logo] [Logo]

- Risques de gel : d'importants écarts ont été observés comme on peut le constater sur les 4 cartes suivantes. Ces résultats furent présentés aux participants d'un atelier de consultation en mars 2011 et la conclusion fut que malgré ces écarts, l'intérêt pour les cartes de risques de gel n'était pas amoindri, car les usagers étaient conscients que les données cartographiées représentent des valeurs régionales (10 km x 10 km) et que les risques de gel étaient très variables d'un point à l'autre d'un territoire. D'ailleurs, la même question se posait dans l'utilisation des données de gel d'une station pour un site en particulier d'une région; rien ne garantit que cette station est représentative de la région, les risques de gel étant tributaires de nombreux facteurs dont la topographie et la proximité d'une masse d'eau. À la suite de ces discussions, il fut décidé de diffuser les cartes de risques de gel, mais avec une mise en garde sur leur interprétation.



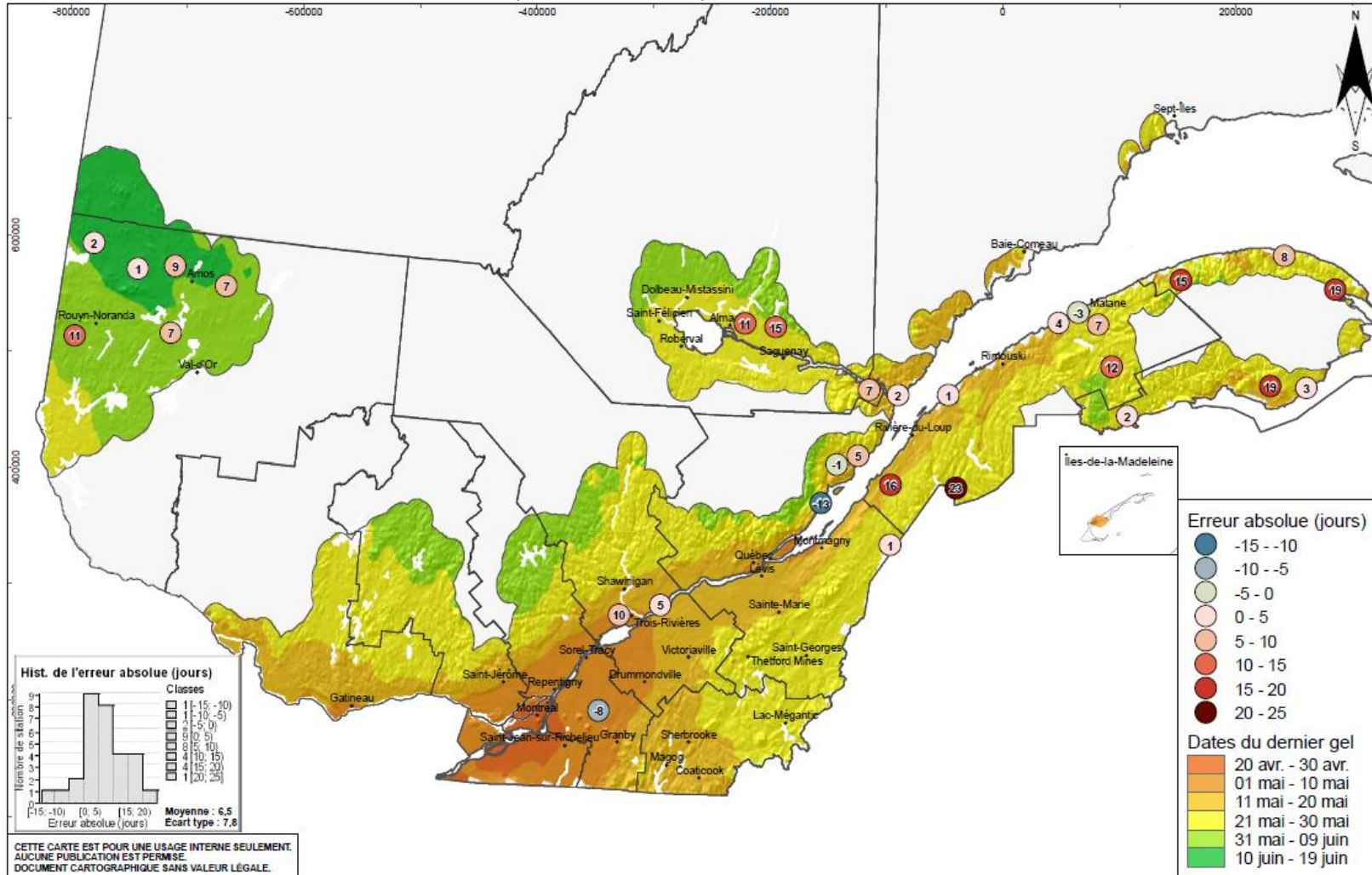
Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada

Moyenne de la date du dernier gel printanier

Validation avec les données du MDDEP (erreur absolue)

Seuil de 0°C
Période de référence : 1979-2008



CETTE CARTE EST POUR UNE USAGE INTERNE SEULEMENT.
AUCUNE PUBLICATION EST PERMISE.
DOCUMENT CARTOGRAPHIQUE SANS VALEUR LÉGALE.

Source des données :
Données de base : Données climatiques
quotidiennes maillées au 10 km (ANUSPLIN)
Données de référence : © Le ministère des Ressources
naturelles Canada et le ministère des Ressources
naturelles et de la Faune du Québec

0 50 100 200 Km

Projection : Lambert Conique Conforme du Québec (m)
Datum : Nord Américain 1983

- Villes principales
- Régions administratives

En collaboration avec :

[Logo] [Logo]

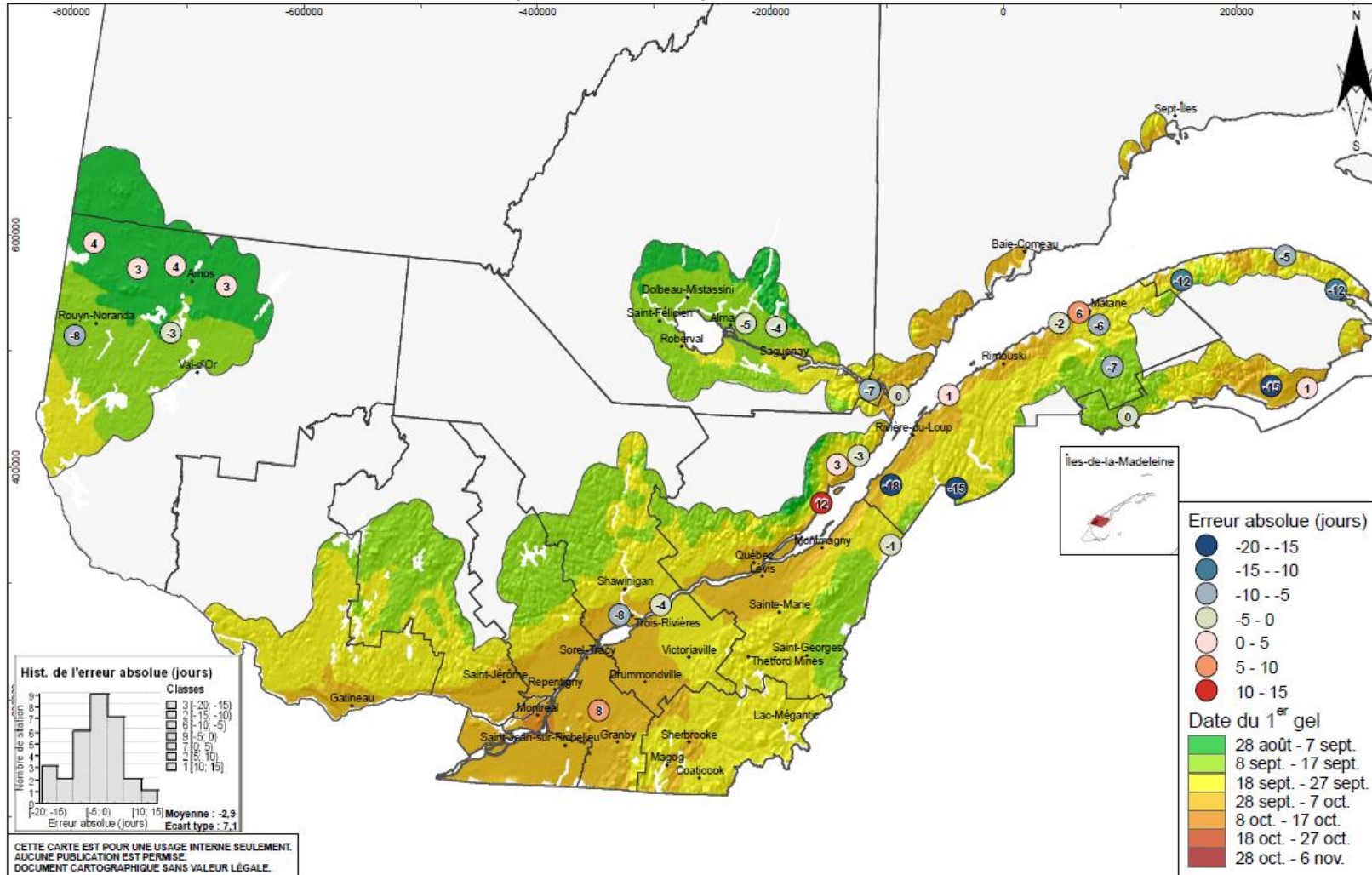


Agriculture et Agroalimentaire Canada

Agriculture and Agri-Food Canada

Moyenne de la date du premier gel automnal Validation avec les données du MDDEP (erreur absolue)

Seuil de 0°C
Période de référence : 1979-2008



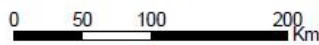
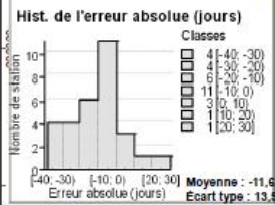
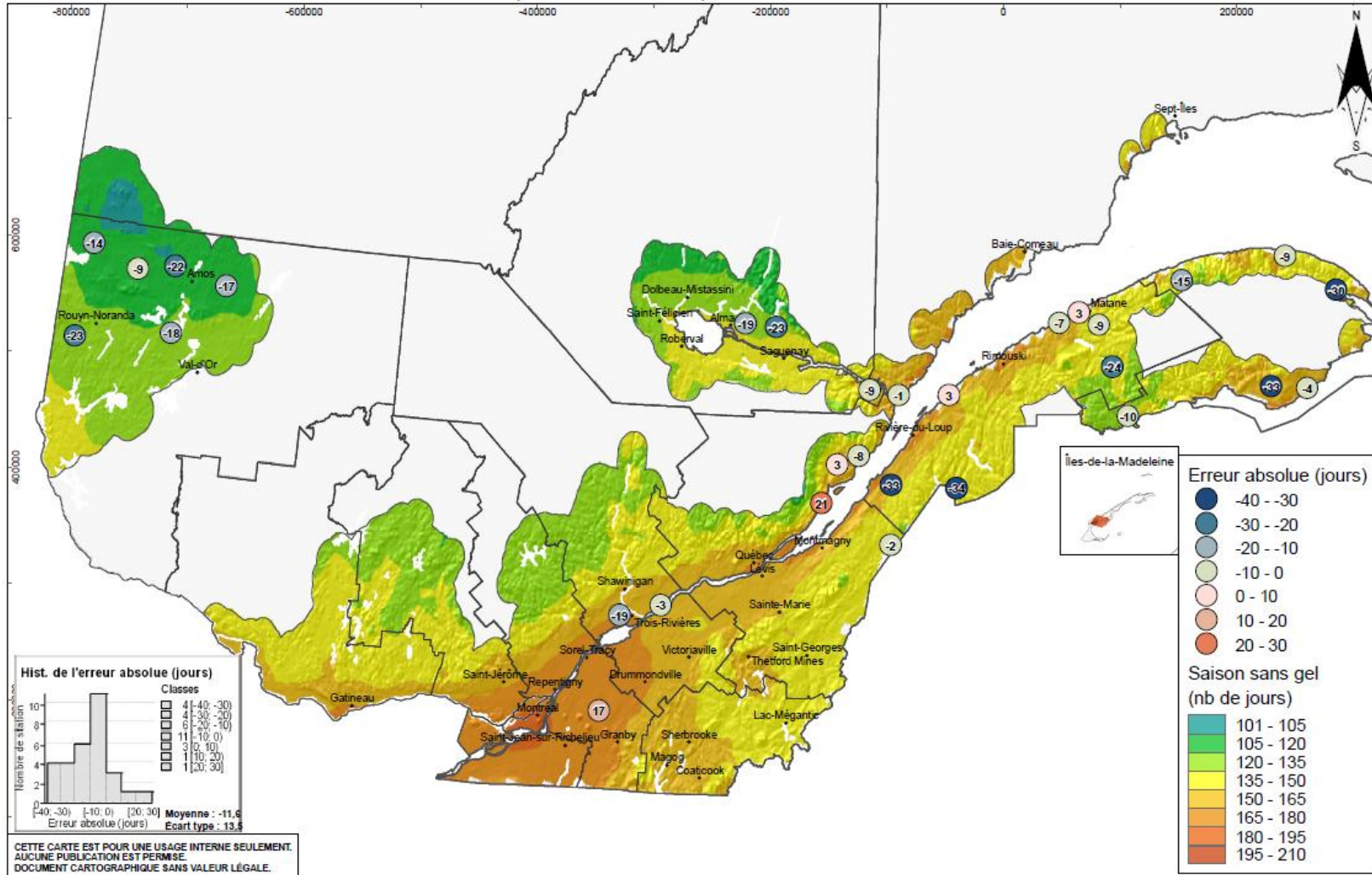


Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada

Moyenne de la saison sans gel Validation avec les données du MDDEP (erreur absolue)

Seuil de -2°C
Période de référence : 1979-2008



- Villes principales
- Régions administratives

En collaboration avec :

[Logo] [Logo]

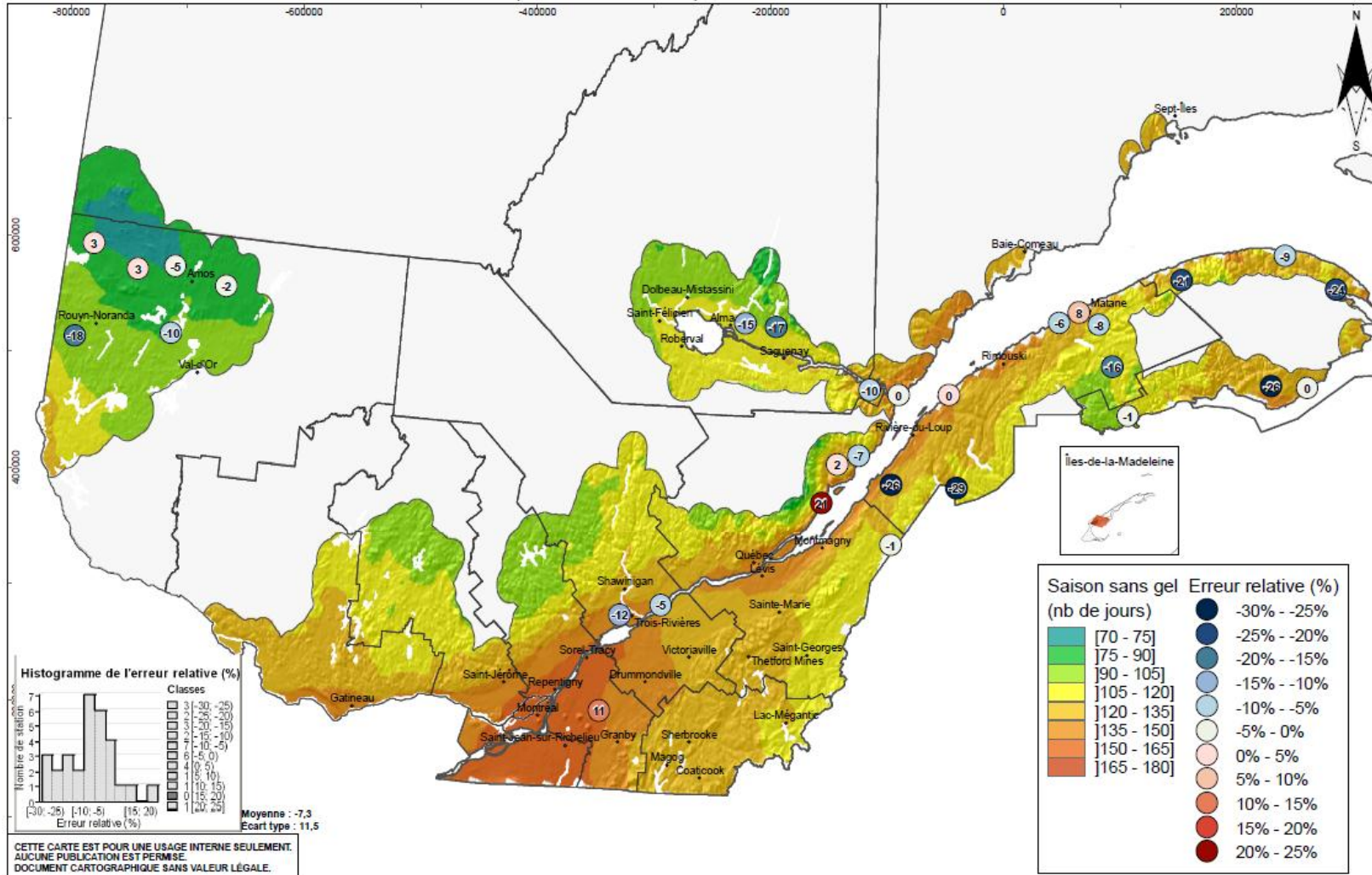


Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada

Moyenne de la saison sans gel Validation avec les données du MDDEP (erreur relative)

Seuil de 0°C
Période de référence : 1979-2008



CETTE CARTE EST POUR UNE USAGE INTERNE SEULEMENT.
AUCUNE PUBLICATION EST PERMISE.
DOCUMENT CARTOGRAPHIQUE SANS VALEUR LÉGALE.

0 50 100 200 Km

• Villes principales
□ Régions administratives

En collaboration avec :

[Logo] [Logo]

- Température minimale annuelle : généralement en deçà de ± 2 °C, mais pouvant atteindre ± 3 à 5 °C, surtout en terrain accidenté, près du fleuve et dans les zones où la densité du réseau est moindre :

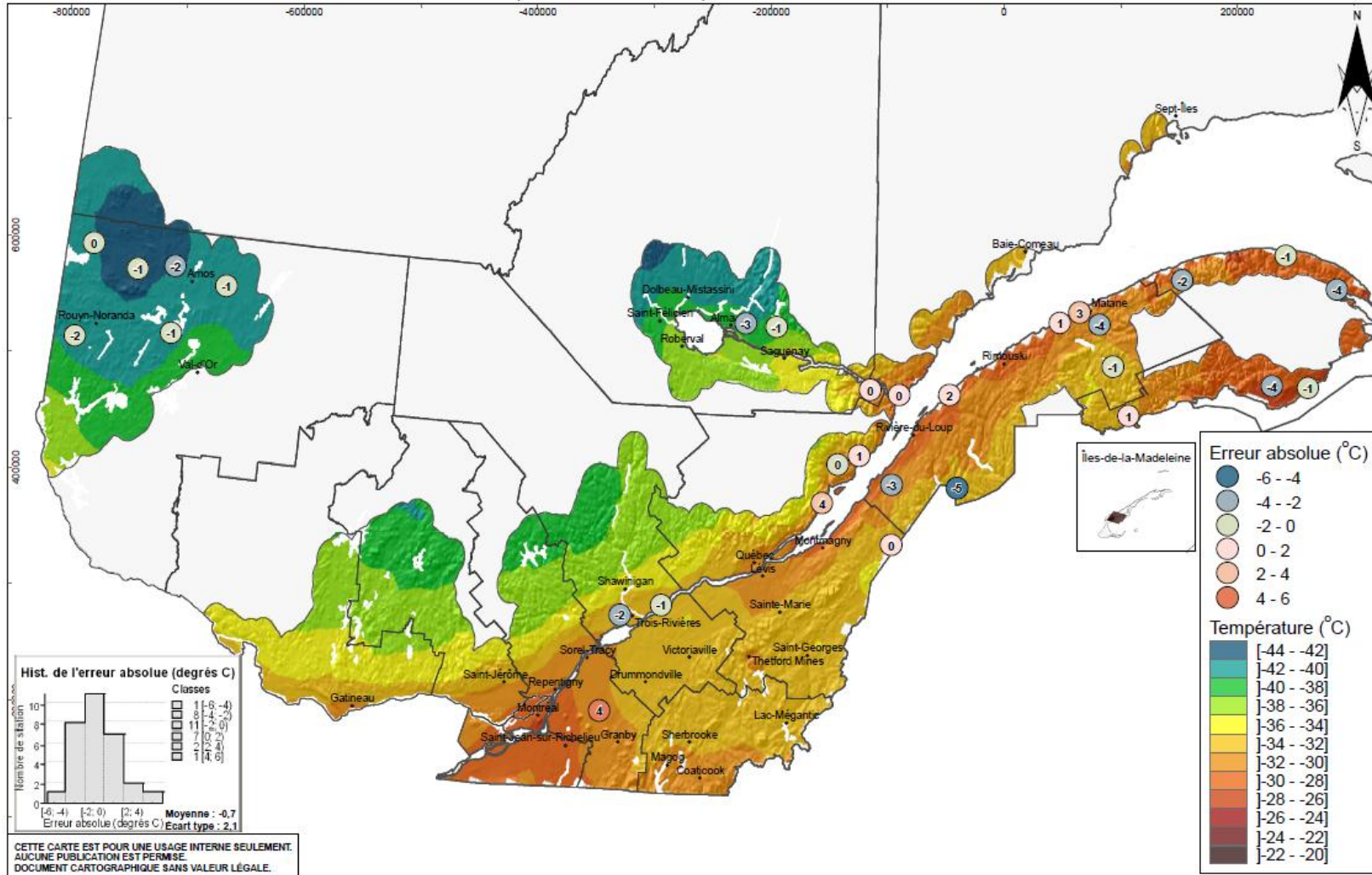


Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada

Moyenne de la température minimale annuelle Validation avec les données du MDDEP (erreur absolue)

Période de référence : 1979-2008



CETTE CARTE EST POUR UNE USAGE INTERNE SEULEMENT.
AUCUNE PUBLICATION EST PERMISE.
DOCUMENT CARTOGRAPHIQUE SANS VALEUR LÉGALE.

Source des données :
Données de base : Données climatiques
quotidiennes maillées au 10 km (ANUSPLIN)
Données de référence : © Le ministère des Ressources
naturelles Canada et le ministère des Ressources
naturelles et de la Faune du Québec

0 50 100 200 Km

Projection : Lambert Conique Conforme du Québec (m)
Datum : Nord Américain 1983

- Villes principales
- Régions administratives

En collaboration avec :

[Logo]

[Logo]

- Fréquence des températures maximales $> 30\text{ °C}$: généralement en deçà de ± 2 jours :

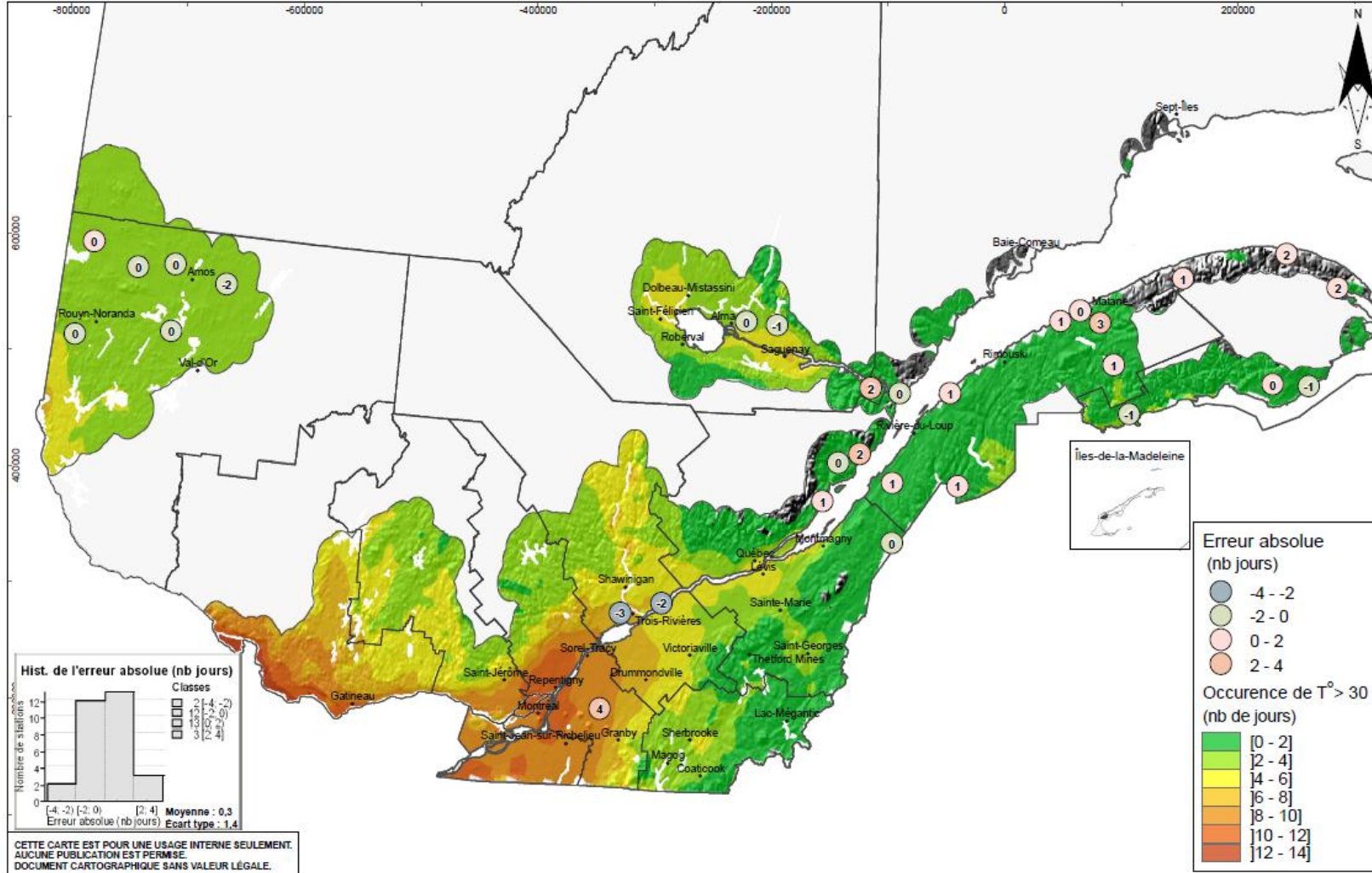


Agriculture et Agroalimentaire Canada

Agriculture and Agri-Food Canada

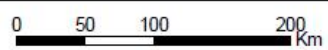
Moyenne de l'occurrence annuelle de température supérieure à 30 °C Validation avec les données du MDDEP (erreur absolue)

Période de référence : 1979-2008



CETTE CARTE EST POUR UNE USAGE INTERNE SEULEMENT.
AUCUNE PUBLICATION EST PERMISE.
DOCUMENT CARTOGRAPHIQUE SANS VALEUR LÉGALE.

Source des données :
Données de base : Données climatiques quotidiennes maillées au 10 km (ANUSPLIN)
Données de référence : © Le ministère des Ressources naturelles Canada et le ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec



Projection : Lambert Conique Conforme du Québec (m)
Datum : Nord Américain 1983

- Villes principales
- Régions administratives

En collaboration avec :



Annexe 4

Bilan des travaux du Groupe de travail sur les UTM

Réunion sur le « Calcul des unités thermiques maïs (UTM) pour le Québec » Atlas agroclimatique du Québec

CÉROM, Saint-Mathieu-de-Beloeil, QC
30 septembre 2010, de 10 h à 13 h

Participant(e)s :

René Audet, Lise Bélanger, Gaétan Bourgeois, Isabelle Duchesne, Pierre Fillion, Bertrand Leclerc, Gilles Tremblay

Ordre du jour

- 1) Introduction
- 2) Présentation des participants
- 3) Approbation de l'ordre du jour
- 4) Rapport rapide sur les UTM lors des dernières réunions/rencontres
 - a. Réunion Commission Agrométéo (9-12-2008)
 - b. Initiatives « Changements climatiques (automne 2009) »
 - c. Rencontre « Atlas agroclimatique » (10-06-2010)
 - d. Rencontre G. Tremblay et G. Bourgeois (29-07-2010)
 - e. Appel conférence comité de travail UTM (29-07-2010)
 - f. Rencontre A. Bootsma (9-09-2010)
- 5) Objectifs visés par le calcul des UTM
 - a. Caractérisation climatique régionale des potentialités variétales
 - b. Suivi phénologique de la culture et prédiction de la maturité
- 6) Éléments liés au calcul des UTM pour chacun des objectifs au Québec
 - a. Date de début des calculs
 - b. Méthode de calcul
 - c. Date de fin des calculs
- 7) Impacts pour les utilisateurs des UTM
 - a. Programmes d'assurance récolte (collective, individuelle)
 - b. Classification des hybrides disponibles
- 8) Varia

Réunion du sous-comité UTM
Atlas agroclimatique du Québec

CÉROM, Saint-Mathieu-de-Beloeil, QC
24 novembre 2011, de 9 h à 12 h

Participant(e)s :

René Audet, Lise Bélanger, Gaétan Bourgeois, Bertrand Leclerc, Gilles Tremblay

Ordre du jour

- 1) Objectifs de la rencontre :
 - a. faire le point sur le dossier de la mise à jour des UTM, notamment, discuter de la comparaison des résultats obtenus par Bootsma vs Anusplin
 - b. statuer sur la diffusion des résultats
- 2) Bref rappel des approches Bootsma et Anusplin
- 3) Résultats obtenus
 - a. Bootsma 1971-2000
Comparaison avec 1961-1990
 - b. Anusplin
- 4) Comparaison Bootsma (analyse basée sur normales mensuelles 1971-2000) vs Anusplin 1971-2000 (analyse d'Ouranos)
- 5) Comparaison Bootsma (analyse basées sur données quotidiennes 1978-2007) vs Anusplin 1979-2008 (analyse d'AAC)
- 6) Implications de ces résultats pour le guide des normes de La Financière agricole du Québec
- 7) Discussion
- 8) Prochaines étapes

Analyse comparative des méthodes de calcul des unités thermiques maïs

(Version 24 novembre 2011)

A. ANALYSE DES DONNÉES MENSUELLES

1. Carte des UTM de Bootsma pour la période 1961-1990

Une première carte des UTM réalisée par Bootsma a été publiée à partir des données disponibles pour la période 1961-1990 (carte 1). Elle présente le cumul des UTM pour un niveau de probabilité de 80%.

2. Carte des UTM de Bootsma pour la période 1971 - 2000

Bootsma a produit une mise à jour du cumul des UTM à partir des données mensuelles de 299 stations pour la période de 1971 à 2000. Ces informations ont permis de générer par interpolation (méthode IDW) une carte de distribution de la moyenne des UTM pour cette période (carte 2).

La comparaison de la carte originale couvrant la période 1961-1990 avec celle générée à partir des données de la période 1971-2000 permet de réaliser qu'il existe, malgré le fait que les cartes ne présentent pas exactement la même statistique, des différences importantes entre les résultats obtenus. Entre autres, dans les régions plus chaudes du sud et du sud-est de Montréal, la présence d'un couloir plus frais dans l'axe Sainte-Madeleine – Laprairie – Hemmingford avait été notée durant la période 1961-1990 alors que cette tendance n'apparaît plus pour la période 1971-2000 (carte 3).

3. Comparaison entre les données de Bootsma et d'Ouranos pour la période 1971 - 2000

Ouranos a produit des cartes matricielles de distribution des unités thermiques maïs (UTM) pour la période 1971-2000 à l'aide de grilles aux 10 km générées par AAC à partir des données de 299 stations météorologiques et du modèle AnuSpln (**carte 4**).

Il est possible de faire des comparaisons station par station entre les valeurs obtenues par Ouranos et celles obtenues par Bootsma pour 251 de ces 299 stations. Le tableau 1 présente des statistiques relatives à ces différences.

On constate ainsi qu'en moyenne, les UTM calculées par Bootsma sont annuellement inférieures de 278 UTM à celles calculées par Ouranos. Cette différence s'explique entre autres par une date de début du cumul plus tardive (± 9 jours) et une date de fin plus tôt en saison (-14 jours).

On a interpolé les résultats ponctuels obtenus pour les 251 stations afin d'apprécier la distribution géographique des différences. Les résultats sont illustrés à la **carte 5**.

Tableau 1
 Comparaison des données obtenues par Bootsma et Ouranos pour la période
 1971-2000 à partir de données mensuelles

1.0 Différences entre les valeurs de Bootsma et les Grids d'Ouranos

| UTM | Moyenne | Min | Max | ET |
|---------------|---------|-------|------|-----|
| Bootsma | 2194 | 975 | 3607 | 523 |
| Différence | -278 | -857 | 274 | 162 |
| <hr/> | | | | |
| Date de début | Moyenne | Min | Max | ET |
| Bootsma | 147 | 128 | 180 | 9,9 |
| Différence | 9,1 | 2,1 | 21,3 | 3,3 |
| <hr/> | | | | |
| Date de fin | Moyenne | Min | Max | ET |
| Bootsma | 263 | 234 | 297 | 9,4 |
| Différence | -13,8 | -35,9 | 0,83 | 5,8 |

2.0 Ratios ((Bootsma - Ouranos)/Bootsma)

| | Moyenne | Min | Max | ET |
|--------------|---------|-------|------|------|
| UTM | -0,14 | -0,81 | 0,08 | 0,11 |
| Date - début | 0,06 | 0,01 | 0,13 | 0,02 |
| Date - fin | -0,02 | -0,15 | 0,00 | 0,02 |

En moyenne, les UTM calculées par Bootsma sont inférieures de 278 unités à celles calculées par Ouranos.

En moyenne, les dates de début (du cumul des UTM) de Bootsma arrivent 9 jours plus tard que celles calculées par Ouranos.

En moyenne, les dates de fin (du cumul des UTM) de Bootsma arrivent 14 jours plus tôt que celles calculées par Ouranos.

B. ANALYSE DES DONNÉES QUOTIDIENNES

4. Données de Bootsma pour la période 1978-2007

Bootsma a utilisé des données quotidiennes de 73 stations du Québec afin de générer des calculs d'UTM pour la période 1978-2007. Ces valeurs ont été comparées avec celles obtenues pour les mêmes stations et presque la même période (1979-2008) à l'aide de la méthode AnuSpln.

5. Données d'AnuSpln pour la période 1979-2008

À titre indicatif, des cartes matricielles de la moyenne annuelle des unités thermiques maïs (UTM) et des valeurs annuelles pour un niveau de probabilité de 80% ont été produites pour la période 1979-2008 à l'aide de la méthode AnuSpln (**cartes 6 et 7**)

6. Comparaison entre les données de Bootsma et d'AnuSpln pour la période 1979 - 2008

Le tableau 2 présente des statistiques générales entre les valeurs obtenues par Bootsma et AnuSpln pour la période 1979-2008. Comme dans le cas des analyses mensuelles, les valeurs obtenues par Bootsma sont inférieures à celles obtenues avec AnuSpln. Les différences sont toutefois beaucoup moins marquées que précédemment.

Les différences ponctuelles ont été interpolées afin d'analyser les patrons géographiques de distribution des différences. Les cartes **8 et 9** présentent respectivement les différences absolues et relatives pour la moyenne annuelle des UTM et le cumul des UTM pour un niveau de probabilité de 80%.

Les cartes **10 et 11** présentent par ailleurs les différences absolues et relatives pour les dates de début et les dates de fin du cumul des UTM.

Tableau 2

Comparaison des données obtenues par Bootsma et AnuSpln pour la période 1979-2008 à partir des données quotidiennes de 73 stations (68 comparaisons possibles)

1.0 Différences entre les valeurs de Bootsma et les Grids d'AnuSpln

| UTM | Moyenne | Min | Max | ET |
|---------------|---------|------|------|------|
| Bootsma | 2550 | 932 | 3259 | 463 |
| Différence | -66,1 | -665 | 172 | 142 |
| <hr/> | | | | |
| UTM - 80% | Moyenne | Min | Max | ET |
| Bootsma | 2388 | 592 | 3098 | 467 |
| Différence | -58,7 | -830 | 192 | 160 |
| <hr/> | | | | |
| Date de début | Moyenne | Min | Max | ET |
| Bootsma | 145 | 128 | 184 | 10,6 |
| Différence | 2,7 | -2,9 | 18 | 4,2 |
| <hr/> | | | | |
| Date de fin | Moyenne | Min | Max | ET |
| Bootsma | 278 | 235 | 296 | 9,1 |
| Différence | -3,8 | -25 | 7 | 5,1 |

2.0 Ratios ((Bootsma - AnuSpln)/Bootsma)

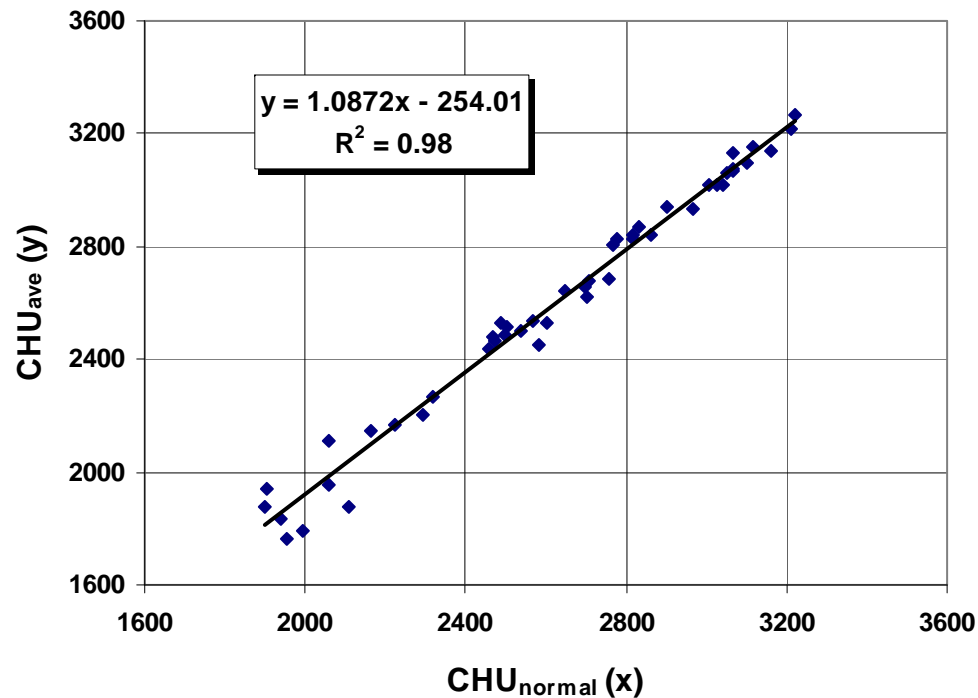
| | Moyenne | Min | Max | ET |
|-----------|---------|-------|------|------|
| UTM | -0,037 | -0,71 | 0,06 | 0,10 |
| UTM - 80% | -0,046 | -1,40 | 0,07 | 0,18 |
| Début | 0,017 | -0,02 | 0,10 | 0,03 |
| Fin | 0,014 | -0,11 | 0,02 | 0,02 |

En moyenne, les UTM calculées par Bootsma sont inférieures de 66 unités à celles calculées par la méthode AnuSpln. Cet écart est de 59 UTM pour la valeur minimale des UTM 8 années sur 10 (UTM - 80%).

En moyenne, les dates de début (du cumul des UTM) de Bootsma arrivent 3 jours plus tard que celles calculées par AnuSpln.

En moyenne, les dates de fin (du cumul des UTM) de Bootsma arrivent 4 jours plus tôt que celles calculées par AnuSpln.

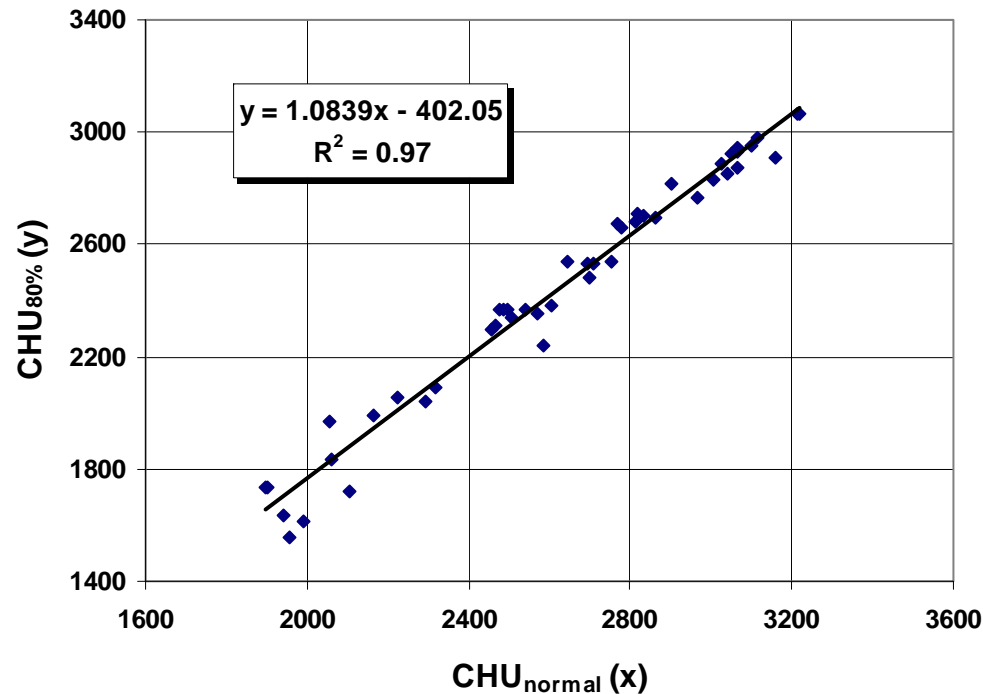
Bootsma – Estimation à partir des normales mensuelles



$$\text{CHU}_{\text{ave}} = -254.01 + 1.0872 (\text{CHU}_{\text{normal}})$$

$$(R^2 = 0.98 \quad \text{S.E.E.} = 57.0 \text{ CHU})$$

Bootsma – Estimation à partir des normales mensuelles



$$CHU_{80\%} = -402.05 + 1.0839 (CHU_{normal})$$

$$(R^2 = 0.97 \quad S.E.E. = 69.2 \text{ CHU})$$

Préparé par :



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada

En collaboration avec :

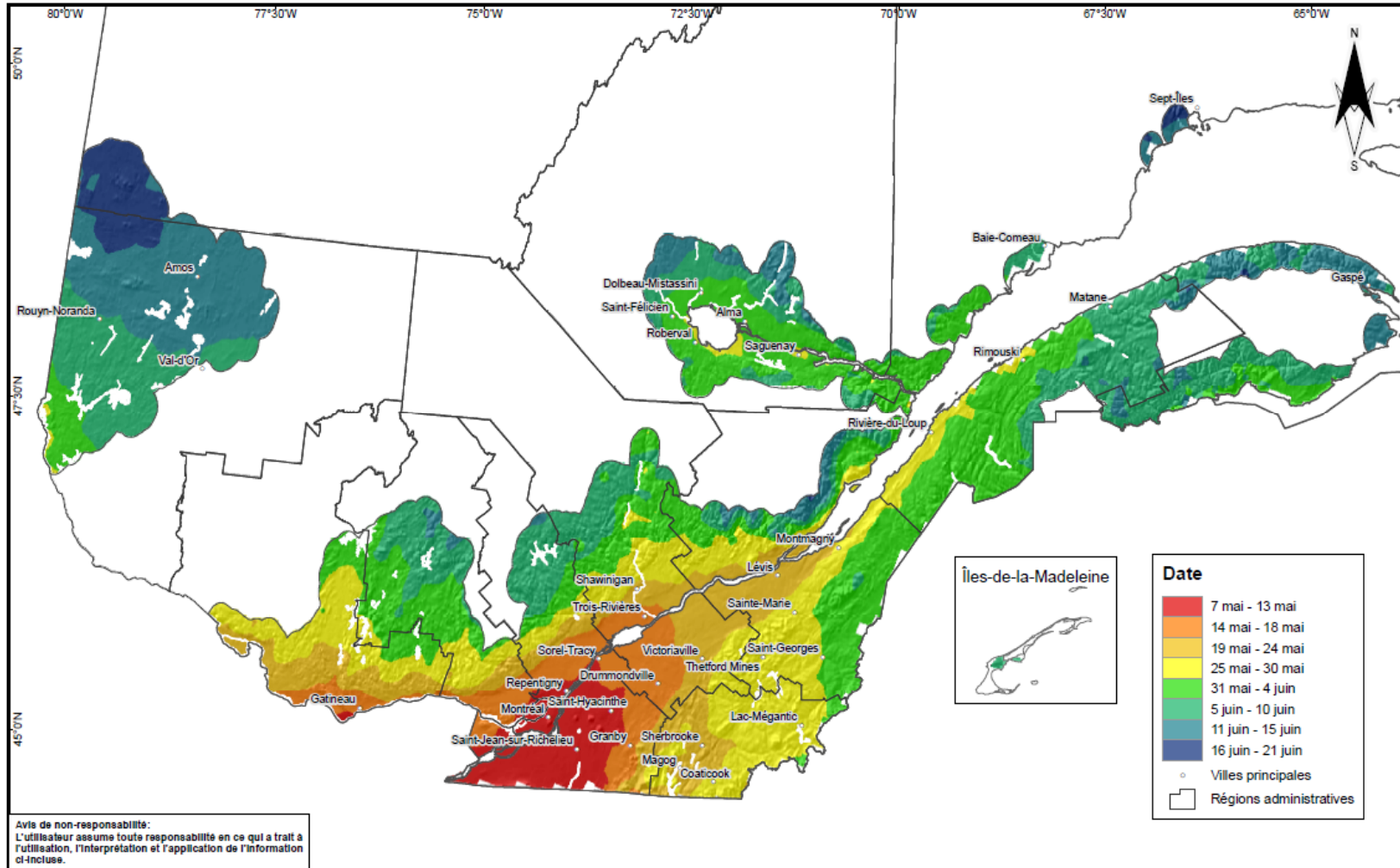


Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Moyenne de la date de début du cumul des unités thermiques maïs (UTM)

Période de référence : 1979-2008



Avis de non-responsabilité:
L'utilisateur assume toute responsabilité en ce qui a trait à l'utilisation, l'interprétation et l'application de l'information ci-incluse.

Sources :
Données climatiques quotidiennes maillées au 10 km
© Gouvernement du Canada, Agriculture et Agroalimentaire Canada

Données de référence :
© Le ministère des Ressources naturelles Canada
© Le ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec

0 50 100 200
Km

Projection : Lambert Conique Conforme du Québec (m)
Datum : Nord Américain 1983

Préparé par :



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada

En collaboration avec :

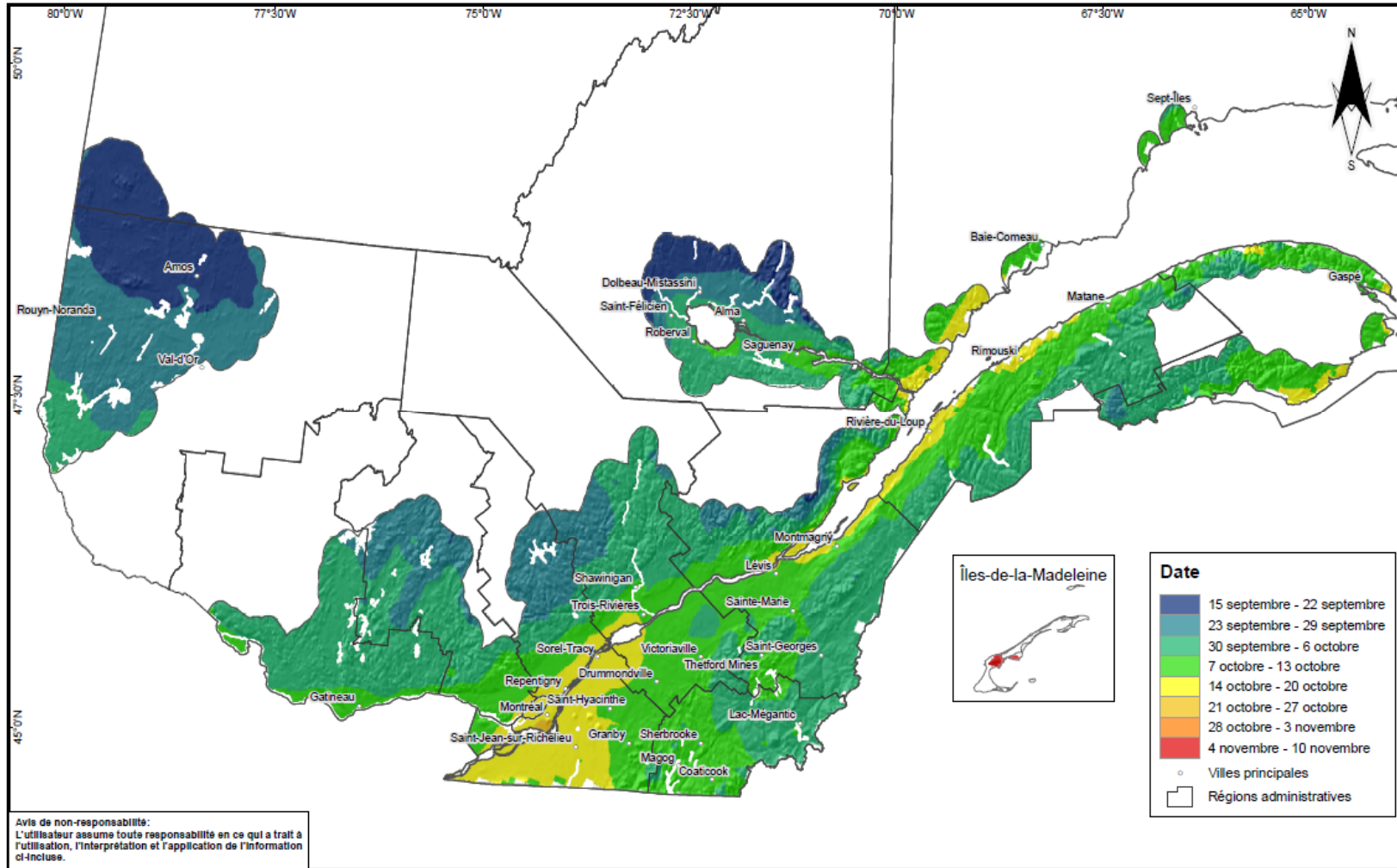


Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Moyenne de la date de fin du cumul des unités thermiques maïs (UTM)

Période de référence : 1979-2008



Avis de non-responsabilité:
L'utilisateur assume toute responsabilité en ce qui a trait à l'utilisation, l'interprétation et l'application de l'information ci-incluse.

Sources :
Données climatiques quotidiennes maillées au 10 km
© Gouvernement du Canada, Agriculture et Agroalimentaire Canada

Données de référence :
© Le ministère des Ressources naturelles Canada
© Le ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec

Préparé par :



Agriculture et Agroalimentaire Canada

Agriculture and Agri-Food Canada

En collaboration avec :

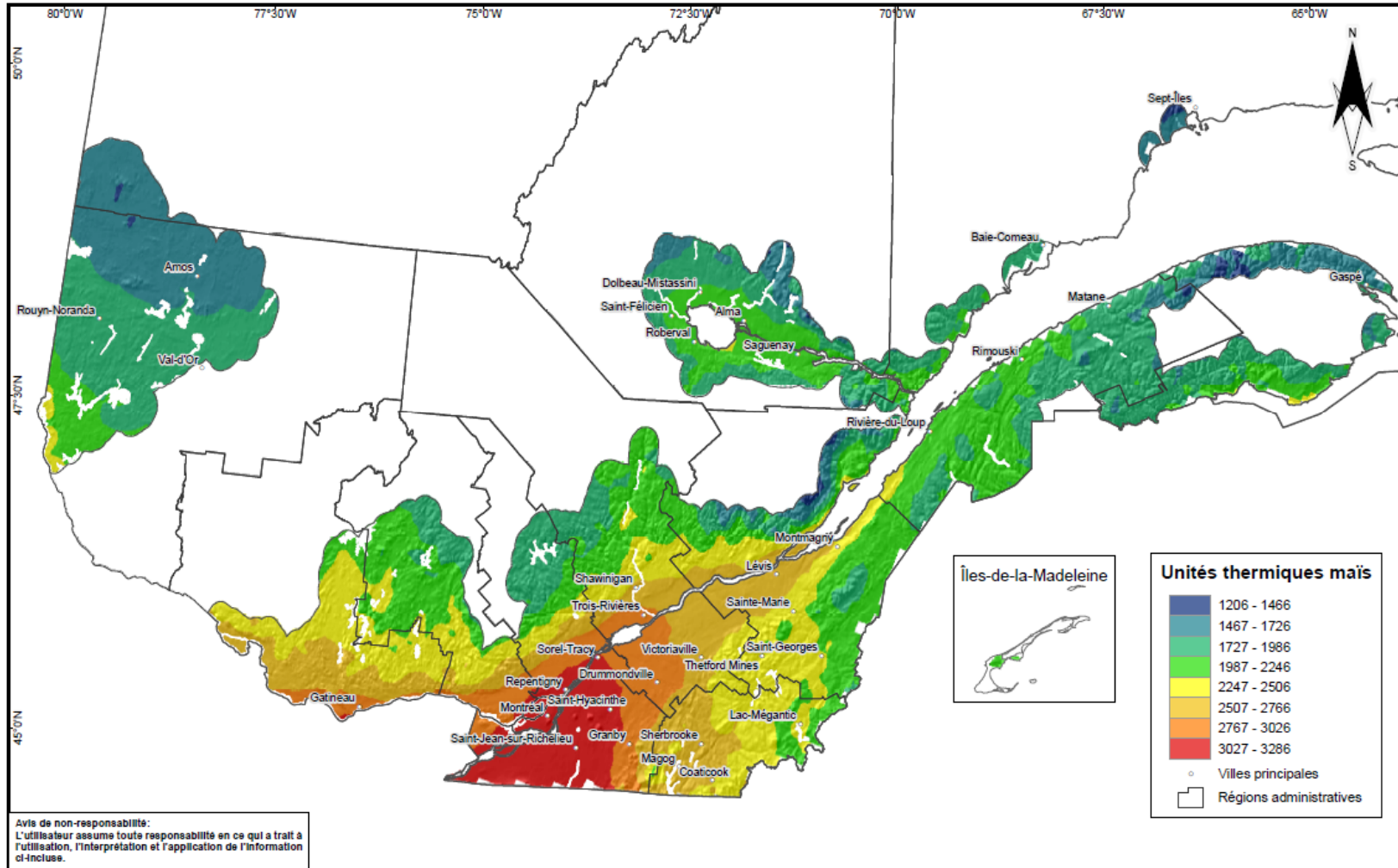


Ressources naturelles Canada

Natural Resources Canada

Moyenne du cumul des unités thermiques maïs (UTM)

Période de référence : 1979-2008



Avis de non-responsabilité:
L'utilisateur assume toute responsabilité en ce qui a trait à l'utilisation, l'interprétation et l'application de l'information ci-incluse.

Sources :
Données climatiques quotidiennes maillées au 10 km
© Gouvernement du Canada, Agriculture et Agroalimentaire Canada
Données de référence :
© Le ministère des Ressources naturelles Canada
© Le ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec

Préparé par :



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada

En collaboration avec :

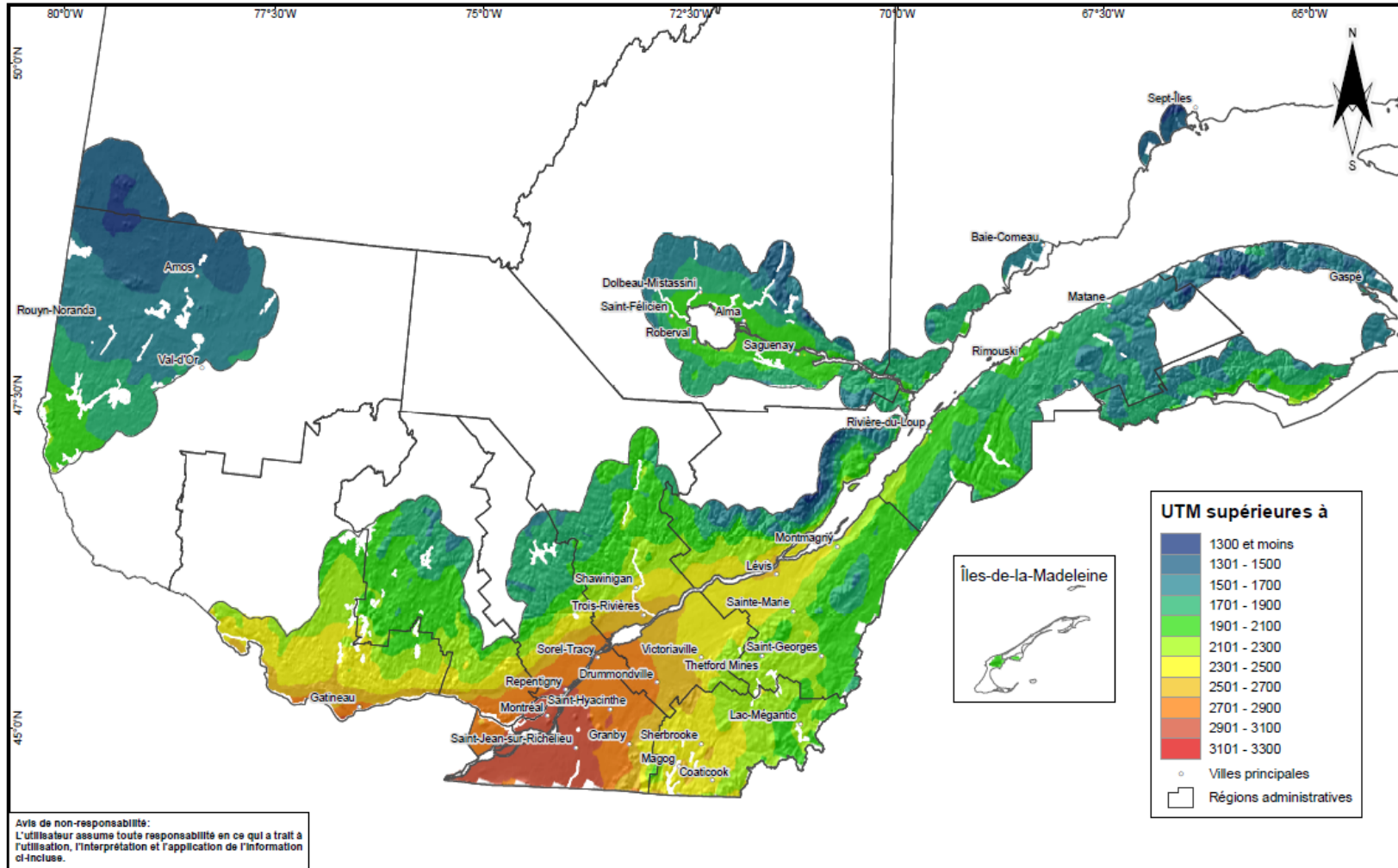


Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Cumul des unités thermiques maïs (UTM): probabilité de 8 années sur 10

Période de référence : 1979-2008



Sources :
Données climatiques quotidiennes maillées au 10 km
© Gouvernement du Canada, Agriculture et Agroalimentaire Canada

Données de référence :
© Le ministère des Ressources naturelles Canada
© Le ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec

0 50 100 200
Km

Projection : Lambert Conique Conforme du Québec (m)
Datum : Nord Américain 1983



Agriculture et Agroalimentaire Canada

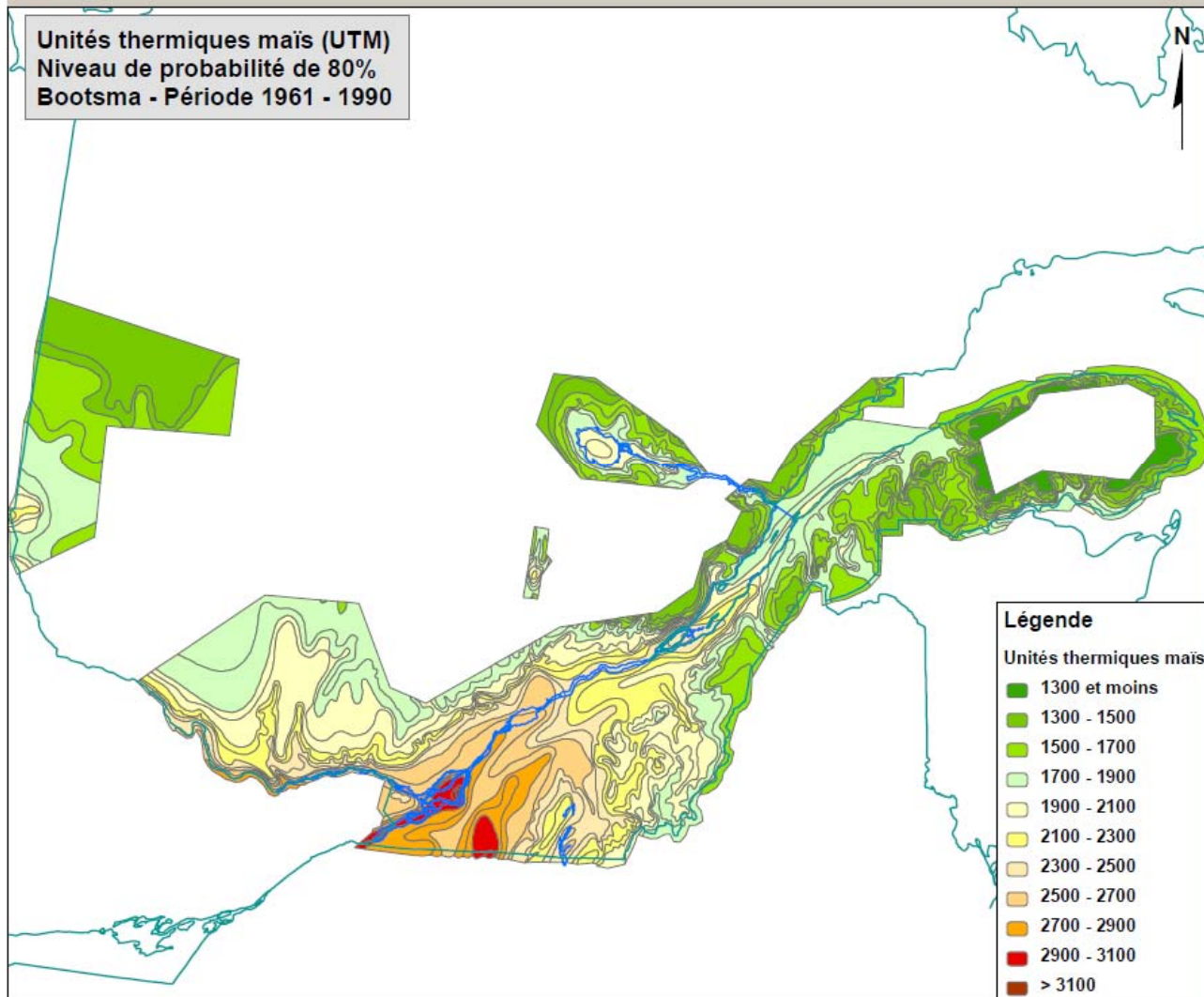
Agriculture and Agri-Food Canada

Carte 1



UTM
Numéro de carte [75A84713-97ba-40c1-bb48-f678751384fc]
Division

Unités thermiques maïs (UTM)
Niveau de probabilité de 80%
Bootsma - Période 1961 - 1990



Légende

Unités thermiques maïs

- 1300 et moins
- 1300 - 1500
- 1500 - 1700
- 1700 - 1900
- 1900 - 2100
- 2100 - 2300
- 2300 - 2500
- 2500 - 2700
- 2700 - 2900
- 2900 - 3100
- > 3100

1:5,600,000
(lorsque imprimé sur du papier de format 8 1/2" x 11")

0 50 100 150 200
Kilomètres

Projection:
Projection conique conforme de Lambert
Méridien Central: -85,00
Standard parallèle 1: 49,00
Standard parallèle 2: 77,00

Données:
SCG - Données nord-américaines de 1983

Sources:
Entrer les sources des données ici

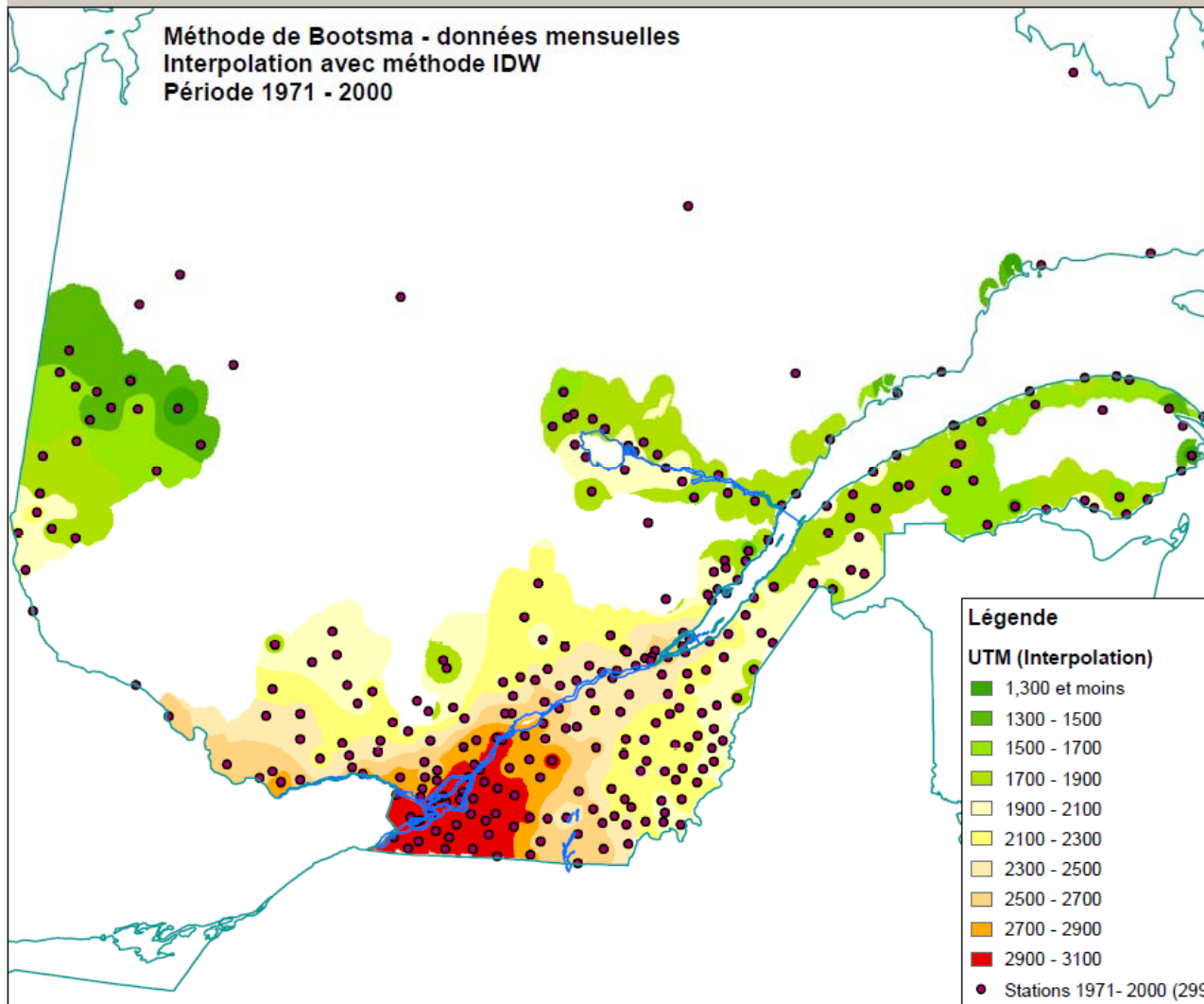
Avis de non-responsabilité:
L'utilisateur assume toute responsabilité en ce qui a trait à l'utilisation, l'interprétation





[[titre]]
Numéro de carte [75A84713-97ba-40c1-bb48-f678751384fc]
Révision

Méthode de Bootsma - données mensuelles Interpolation avec méthode IDW Période 1971 - 2000



Légende

UTM (Interpolation)

- 1,300 et moins
- 1300 - 1500
- 1500 - 1700
- 1700 - 1900
- 1900 - 2100
- 2100 - 2300
- 2300 - 2500
- 2500 - 2700
- 2700 - 2900
- 2900 - 3100
- Stations 1971- 2000 (299)

1:5,600,000
(lorsque imprimé sur du papier de format 8 1/2" x 11")

0 50 100 150 200
Kilomètres

Projection:
Projection conique conforme de Lambert
Méridien Central: -95,00
Standard parallèle 1: 49,00
Standard parallèle 2: 77,00

Données:
SCG - Données nord-américaines de 1983

Sources:
Entrer les sources des données ici

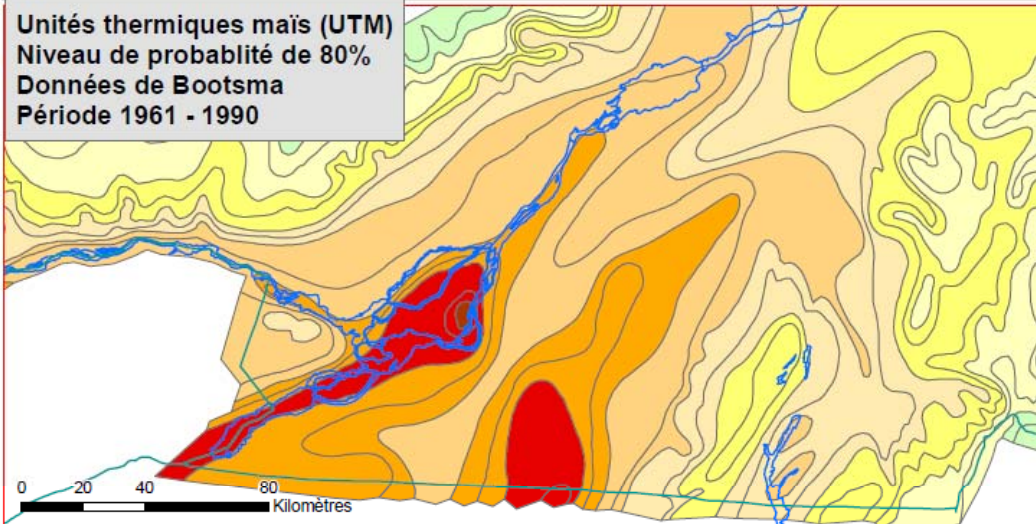
Avis de non-responsabilité:
L'utilisateur assume toute responsabilité en ce qui a trait à l'utilisation, l'interprétation





UTM (80%)
 Numéro de carte (7726672-8000-4091-9712-18064887583)
 Québec

Unités thermiques maïs (UTM)
Niveau de probabilité de 80%
Données de Bootsma
Période 1961 - 1990



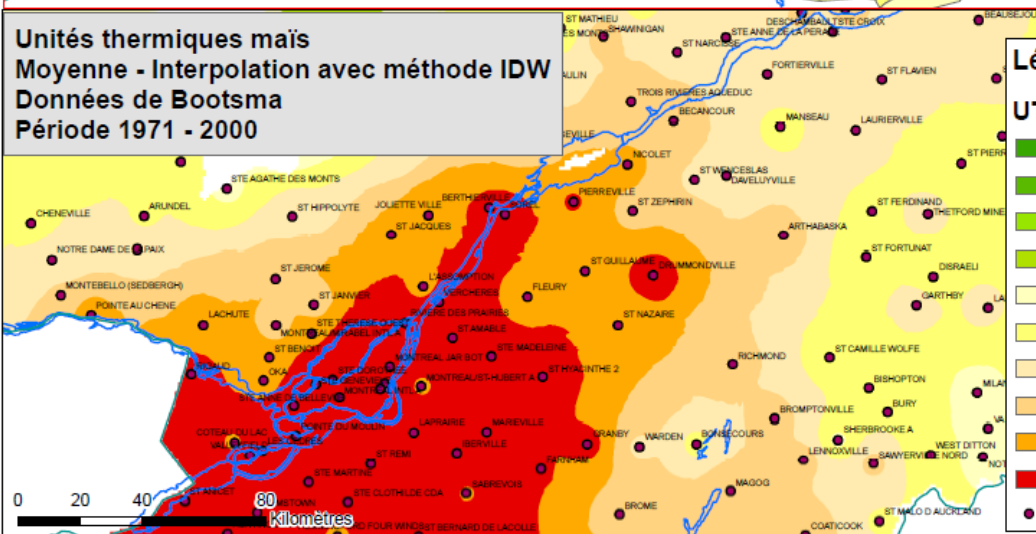
Légende

- UTM (80%)**
- 1300 et moins
 - 1300 - 1500
 - 1500 - 1700
 - 1700 - 1900
 - 1900 - 2100
 - 2100 - 2300
 - 2300 - 2500
 - 2500 - 2700
 - 2700 - 2900
 - 2900 - 3100
 - > 3100

1:2,000,000
 (lorsque imprimé sur du papier de format 8 1/2" x 11")

Projection:
 Projection conique conforme de Lambert
 Méridien Central: -95,00
 Standard parallèle 1: 49,00
 Standard parallèle 2: 77,00
 Données:
 SCG - Données nord-américaines de 1983

Unités thermiques maïs
Moyenne - Interpolation avec méthode IDW
Données de Bootsma
Période 1971 - 2000



Légende

- UTM (moyenne)**
- 1,300 et moins
 - 1300 - 1500
 - 1500 - 1700
 - 1700 - 1900
 - 1900 - 2100
 - 2100 - 2300
 - 2300 - 2500
 - 2500 - 2700
 - 2700 - 2900
 - 2900 - 3100
 - Stations 1971-2000 (299)

Sources:

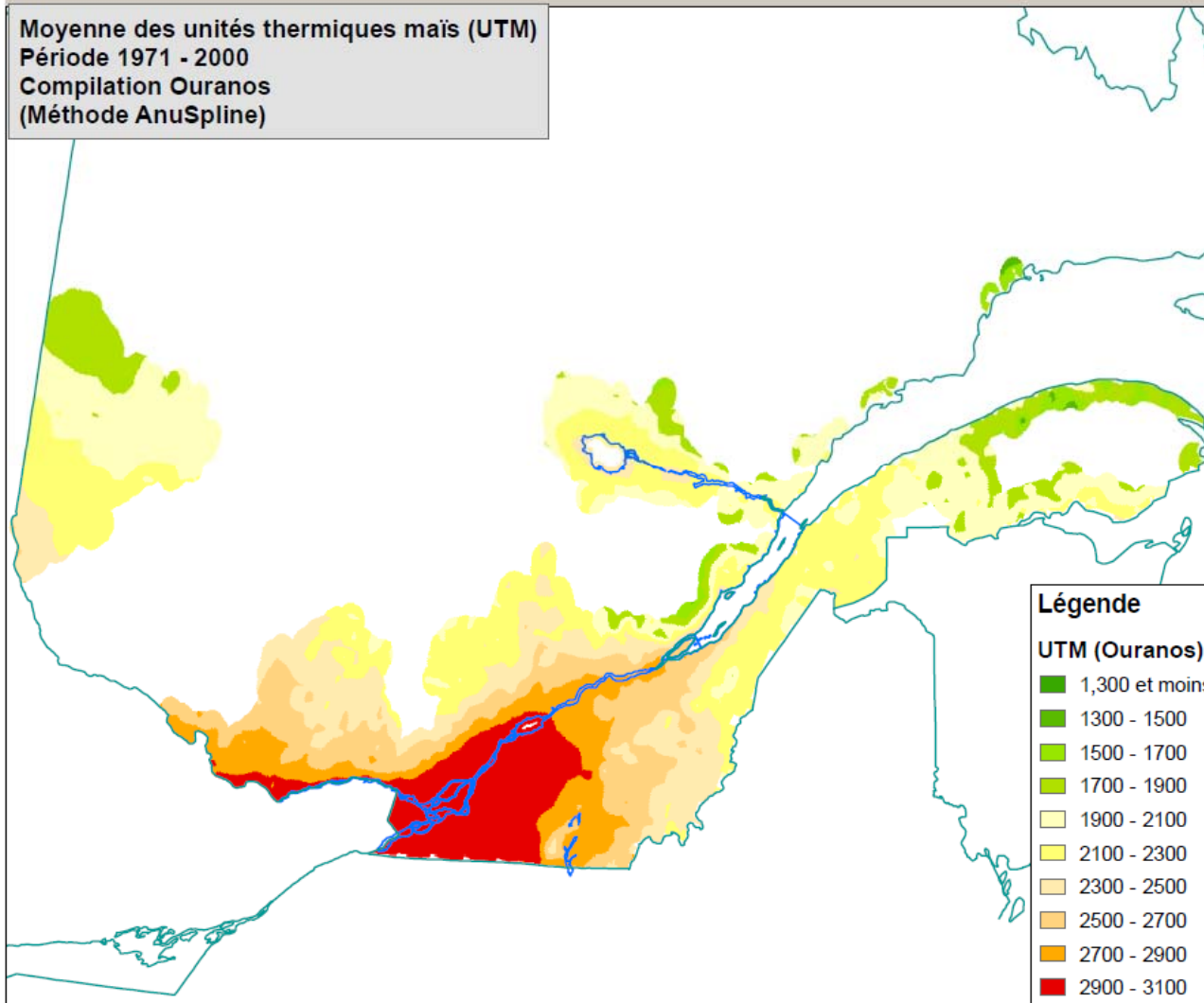
Avis de non-responsabilité:
 L'utilisateur assume toute responsabilité en ce qui a trait à l'utilisation, l'interprétation





Titre de la carte (7726672-8000-4091-9712-58064887583)
Niveau

Moyenne des unités thermiques maïs (UTM) Période 1971 - 2000 Compilation Ouranos (Méthode AnuSpline)



Légende

UTM (Ouranos)

- 1,300 et moins
- 1300 - 1500
- 1500 - 1700
- 1700 - 1900
- 1900 - 2100
- 2100 - 2300
- 2300 - 2500
- 2500 - 2700
- 2700 - 2900
- 2900 - 3100

1:5,600,000
(lorsque imprimé sur du papier de format 8 1/2" x 11")

0 30 60 120
Kilomètres

Projection:
Projection conique conforme de Lambert
Méridien Central: -95,00
Standard parallèle 1: 49,00
Standard parallèle 2: 77,00
Données:
SCG - Données nord-américaines de 1983

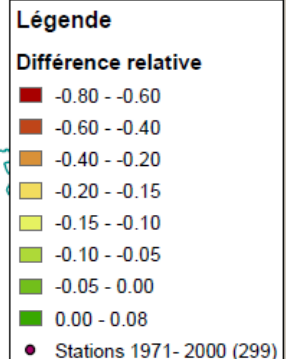
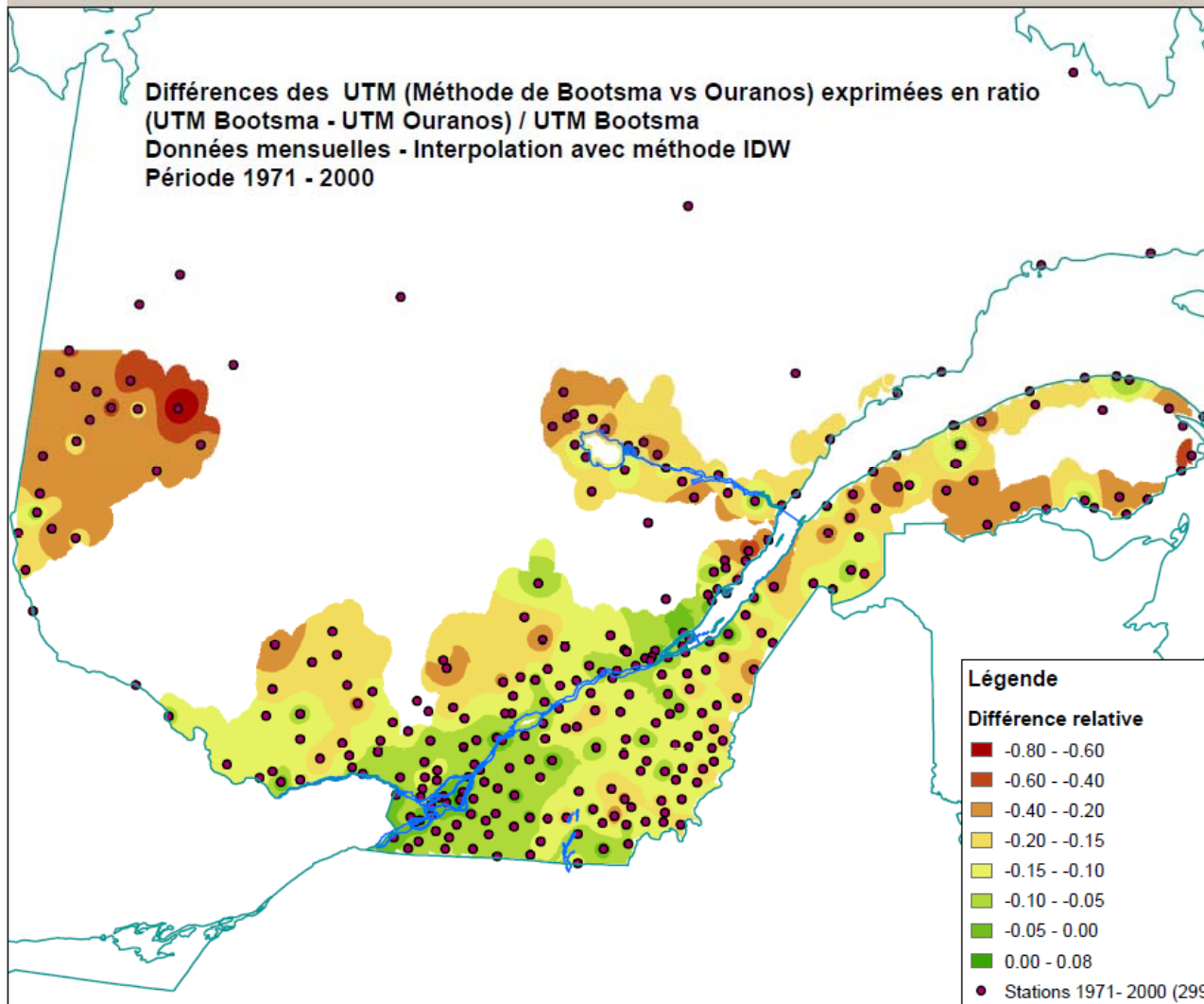
Sources:

Avis de non-responsabilité:
L'utilisateur assume toute responsabilité en ce qui a trait à l'utilisation, l'interprétation





Titre (titre) :
Numéro de carte (AFFR92B-60AA-4207-86A2-06F65390868)
Révision :



1:5,600,000
(lorsque imprimé sur du papier de format 8 1/2" x 11")

Kilomètres

Projection:
Projection conique conforme de Lambert
Méridien Central: -95,00
Standard parallèle 1: 49,00
Standard parallèle 2: 77,00

Données:
SCG - Données nord-américaines de 1983

Sources:
Entrer les sources des données ici

Avis de non-responsabilité:
L'utilisateur assume toute responsabilité en ce qui a trait à l'utilisation, l'interprétation





Agriculture et
Agroalimentaire Canada

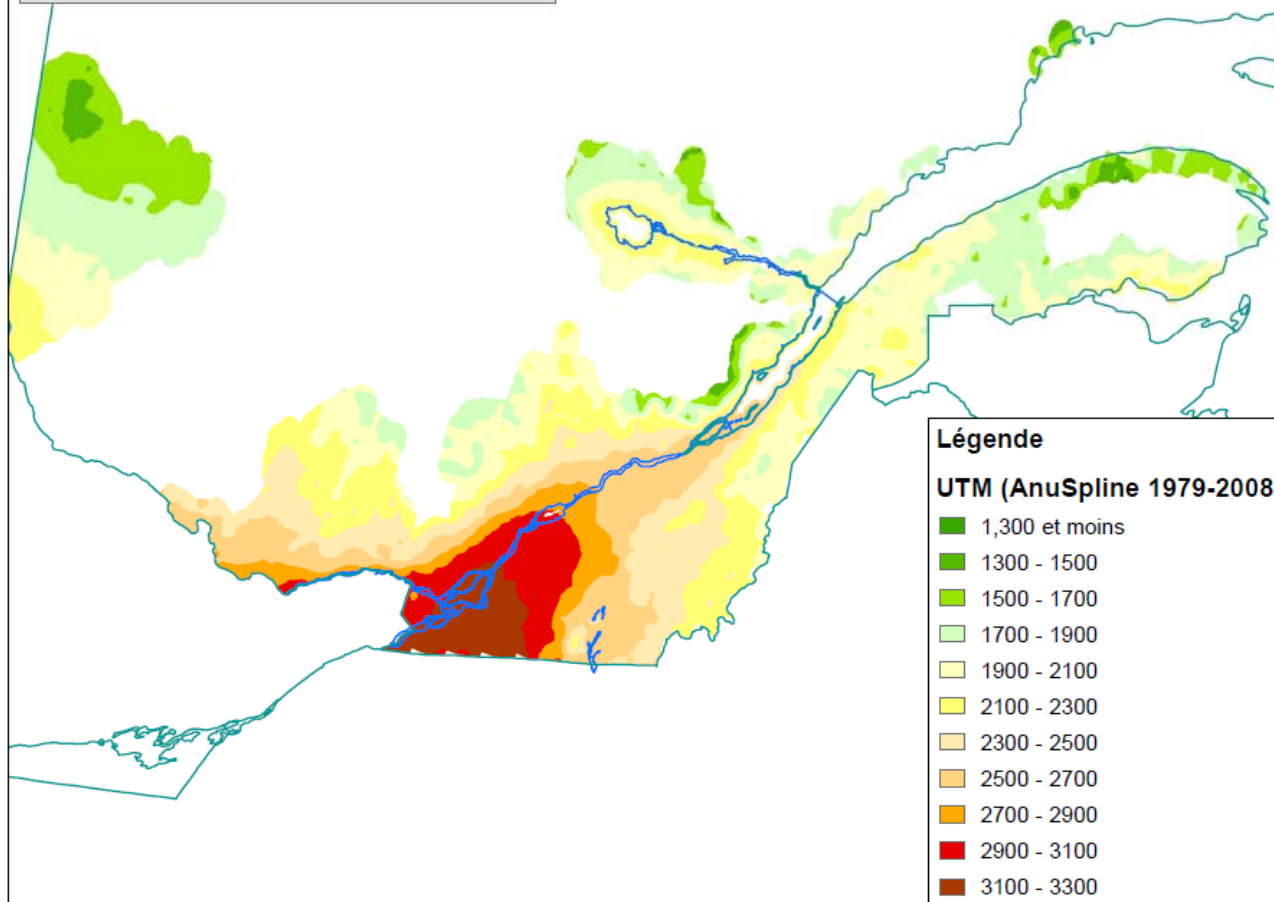
Agriculture and
Agri-Food Canada

Carte 6



UTM (AnuSpline)
Nombre de carte (492x38x-A23D-41E8-8856-8430E33656A)
Version

**Calcul des unités thermiques maïs (UTM)
Moyenne annuelle
Méthode AnuSpline
Période de 1979 - 2008**



Légende

UTM (AnuSpline 1979-2008)

- 1,300 et moins
- 1300 - 1500
- 1500 - 1700
- 1700 - 1900
- 1900 - 2100
- 2100 - 2300
- 2300 - 2500
- 2500 - 2700
- 2700 - 2900
- 2900 - 3100
- 3100 - 3300

1:5,600,000
(lorsque imprimé sur du papier
de format 8 1/2" x 11")

0 50 100 150 200

Kilomètres

Projection:
Projection conique conforme de
Lambert
Méridien Central: -95,00
Standard parallèle 1: 49,00
Standard parallèle 2: 77,00
Données:
SCG - Données nord-américaines
de 1983

Sources:
Entrer les sources des données ici

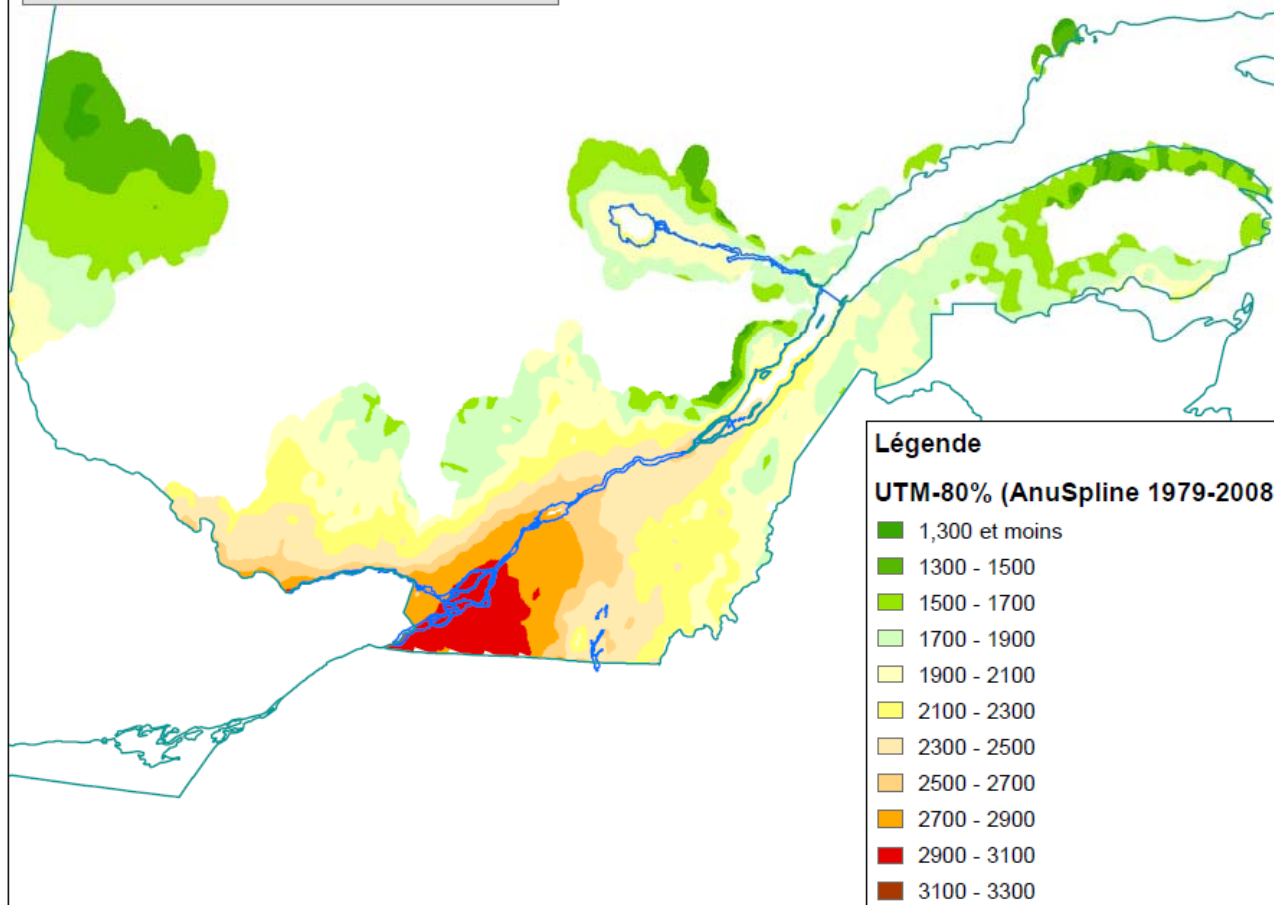
Avis de non-responsabilité:
L'utilisateur assume toute
responsabilité en ce qui a trait à
l'utilisation, l'interprétation





UTM-80%
Numéro de carte (492638A-A29D-41E8-B856-B430E33656A)
Version

**Calcul des unités thermiques maïs (UTM)
Probabilité de 8 années sur 10
Méthode AnuSpline
Période de 1979 - 2008**



1:5,600,000
(lorsque imprimé sur du papier de format 8 1/2" x 11")

0 50 100 150 200

Kilomètres

Projection:
Projection conique conforme de Lambert
Méridien Central: -95,00
Standard parallèle 1: 49,00
Standard parallèle 2: 77,00
Données:
SCG - Données nord-américaines de 1983

Sources:
Entrer les sources des données ici

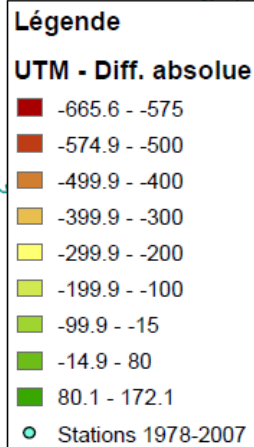
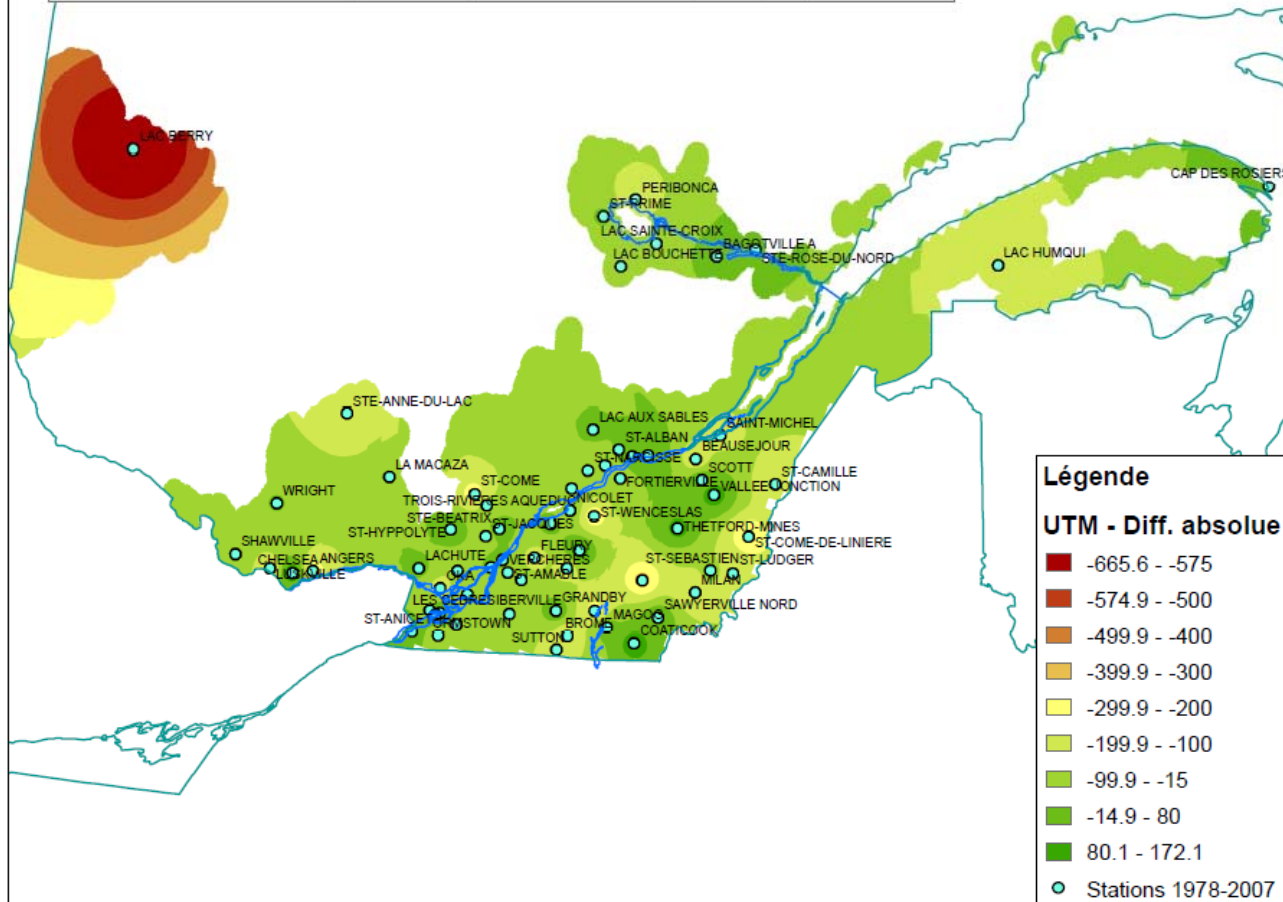
Avis de non-responsabilité:
L'utilisateur assume toute responsabilité en ce qui a trait à l'utilisation, l'interprétation





(jtrrr/aaa)
Numéro de carte [E5P67A94-ACAA-4D7F-AB3D-305D95031532]
Québec

Différence absolue des UTM
Méthode de Bootsma vs AnuSpln
Données quotidiennes de 73 stations - Interpolation avec méthode IDW
Période de 1978 - 2007 (Bootsma) et de 1979-2008 (AnuSpln)



1:5,600,000
(lorsque imprimé sur du papier de format 8 1/2" x 11")

0 50 100 150 200
Kilomètres

Projection:
Projection conique conforme de Lambert
Méridien Central: -95,00
Standard parallèle 1: 49,00
Standard parallèle 2: 77,00

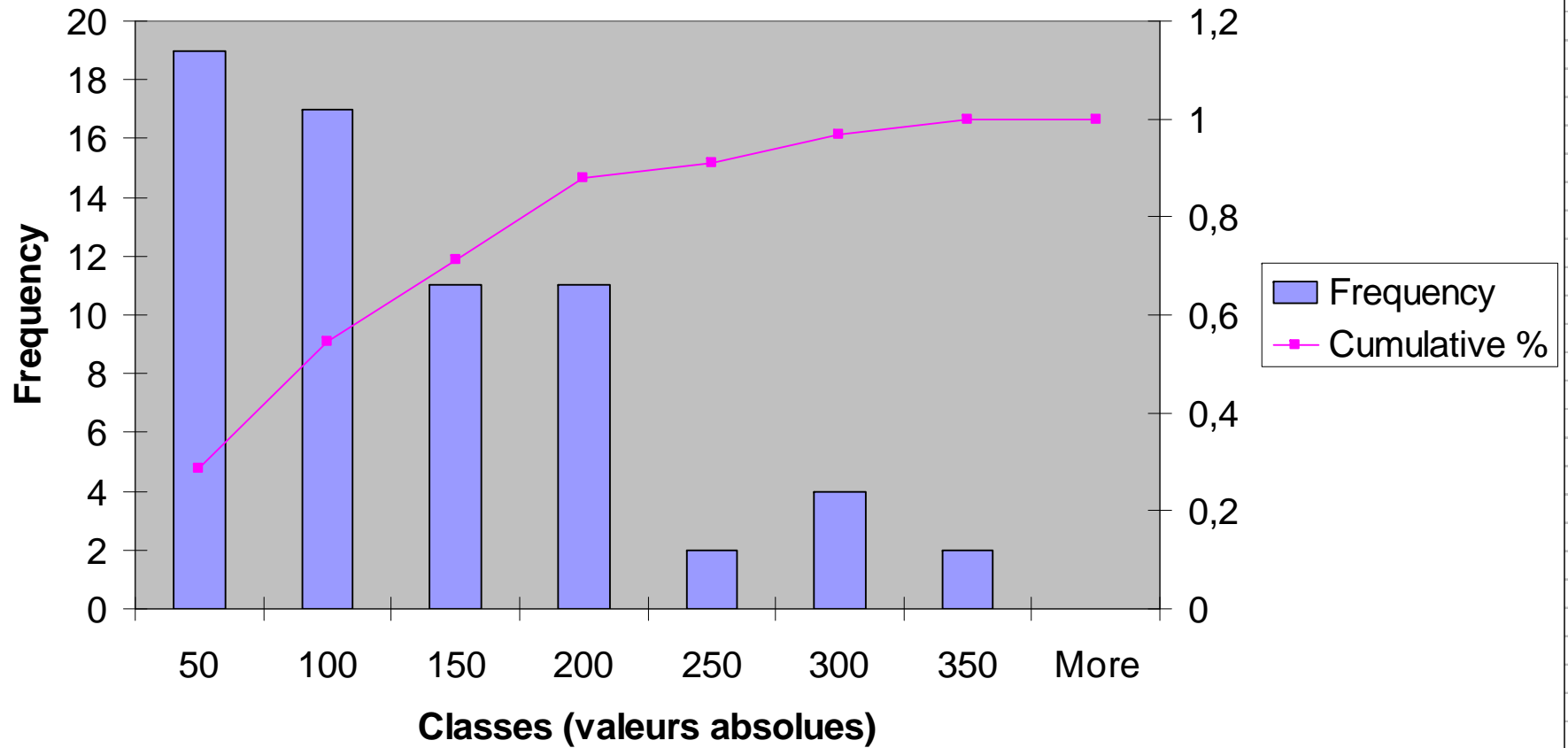
Données:
SCG - Données nord-américaines de 1983

Sources:
Entrer les sources des données ici

Avis de non-responsabilité:
L'utilisateur assume toute responsabilité en ce qui a trait à l'utilisation, l'interprétation



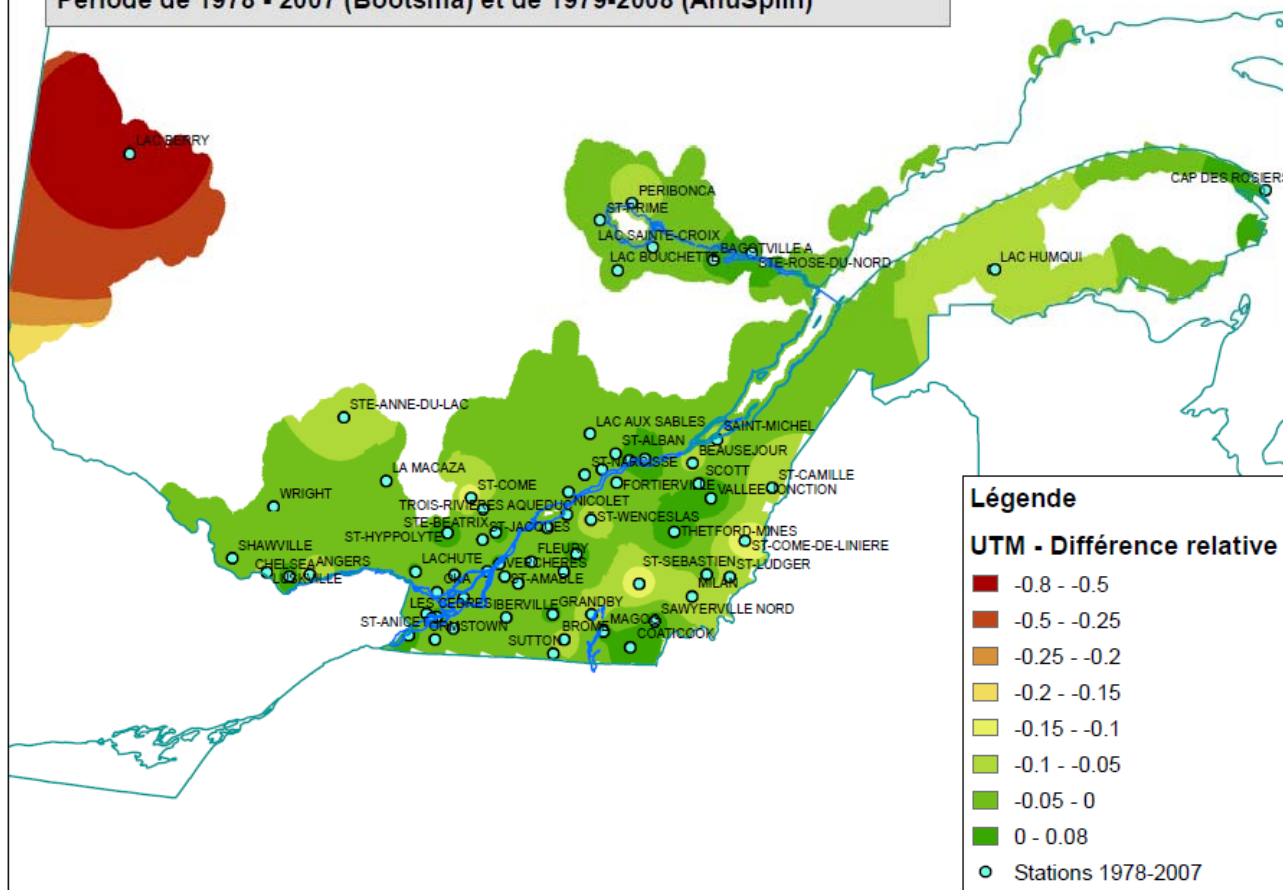
Écart du cumul moyen des UTM: Bootsma (quot) vs Anusplin 1979-2008





UTM (Bootsma)
Numéro de carte (CS07C641-8861-4627-95P0-F1CF83282E2A)
Québec

Différence relative des UTM
Méthode de Bootsma vs AnuSplin
(UTM Bootsma - UTM AnuSplin) / (UTM Bootsma)
Données quotidiennes de 73 stations - Interpolation avec méthode IDW
Période de 1978 - 2007 (Bootsma) et de 1979-2008 (AnuSplin)



1:5,600,000
(lorsque imprimé sur du papier de format 8 1/2" x 11")

0 50 100 150 200
Kilomètres

Projection:
Projection conique conforme de Lambert
Méridien Central: -95,00
Standard parallèle 1: 49,00
Standard parallèle 2: 77,00
Données:
SCG - Données nord-américaines de 1983

Sources:
Entrer les sources des données ici

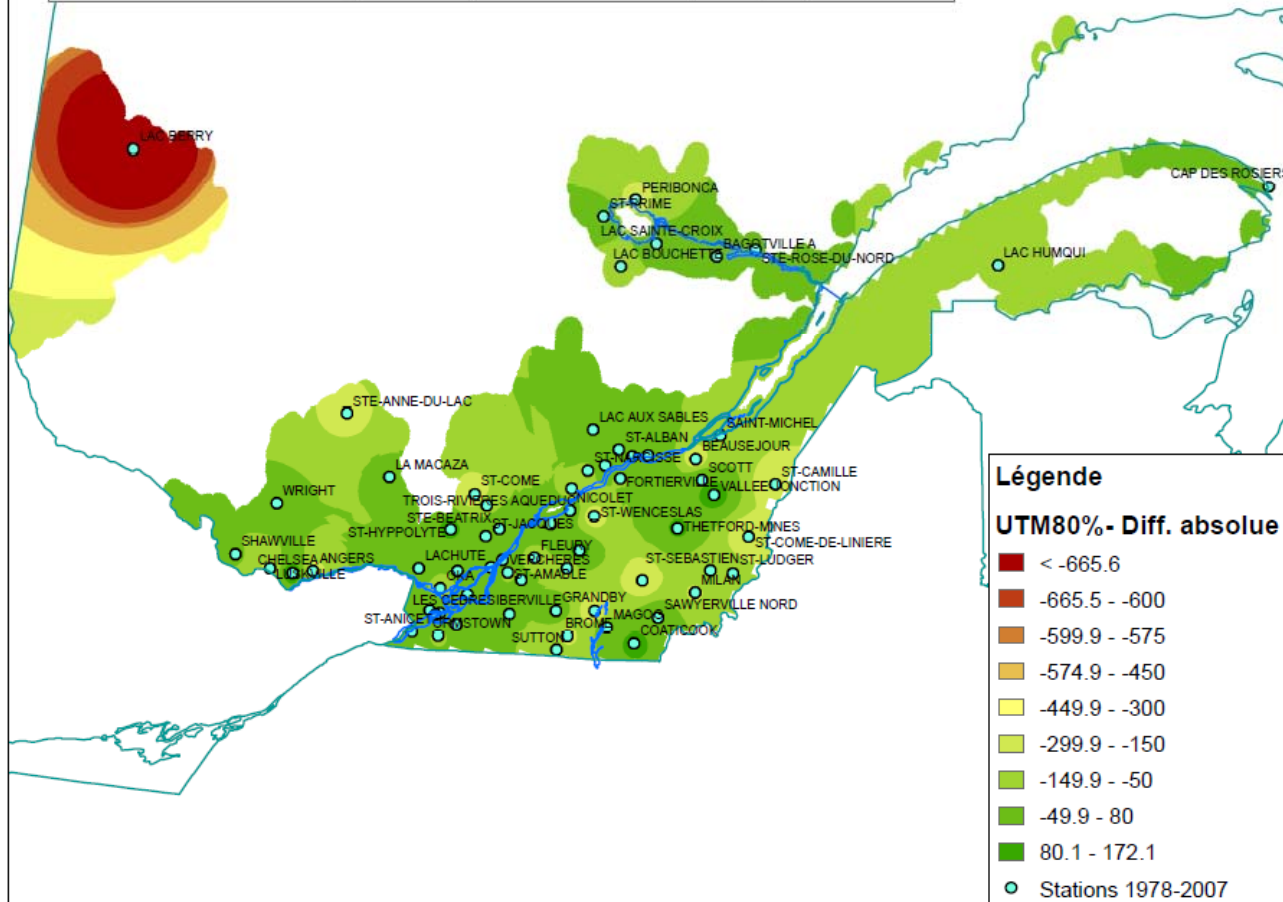
Avis de non-responsabilité:
L'utilisateur assume toute responsabilité en ce qui a trait à l'utilisation, l'interprétation





UTM80%
Numéro de carte (ACF464AC-79DE-492F-9B75-2b0c806246F0)
Québec

Différence absolue des UTM - Probabilité de 80%
Méthode de Bootsma vs AnuSplin
Données quotidiennes de 73 stations - Interpolation avec méthode IDW
Période de 1978 - 2007 (Bootsma) et de 1979-2008 (AnuSplin)



Légende

UTM80%- Diff. absolue

- < -665.6
- 665.5 - -600
- 599.9 - -575
- 574.9 - -450
- 449.9 - -300
- 299.9 - -150
- 149.9 - -50
- 49.9 - 80
- 80.1 - 172.1
- Stations 1978-2007

1:5,600,000
(lorsque imprimé sur du papier de format 8 1/2" x 11")

0 50 100 150 200
Kilomètres

Projection:
Projection conique conforme de Lambert
Méridien Central: -95,00
Standard parallèle 1: 49,00
Standard parallèle 2: 77,00

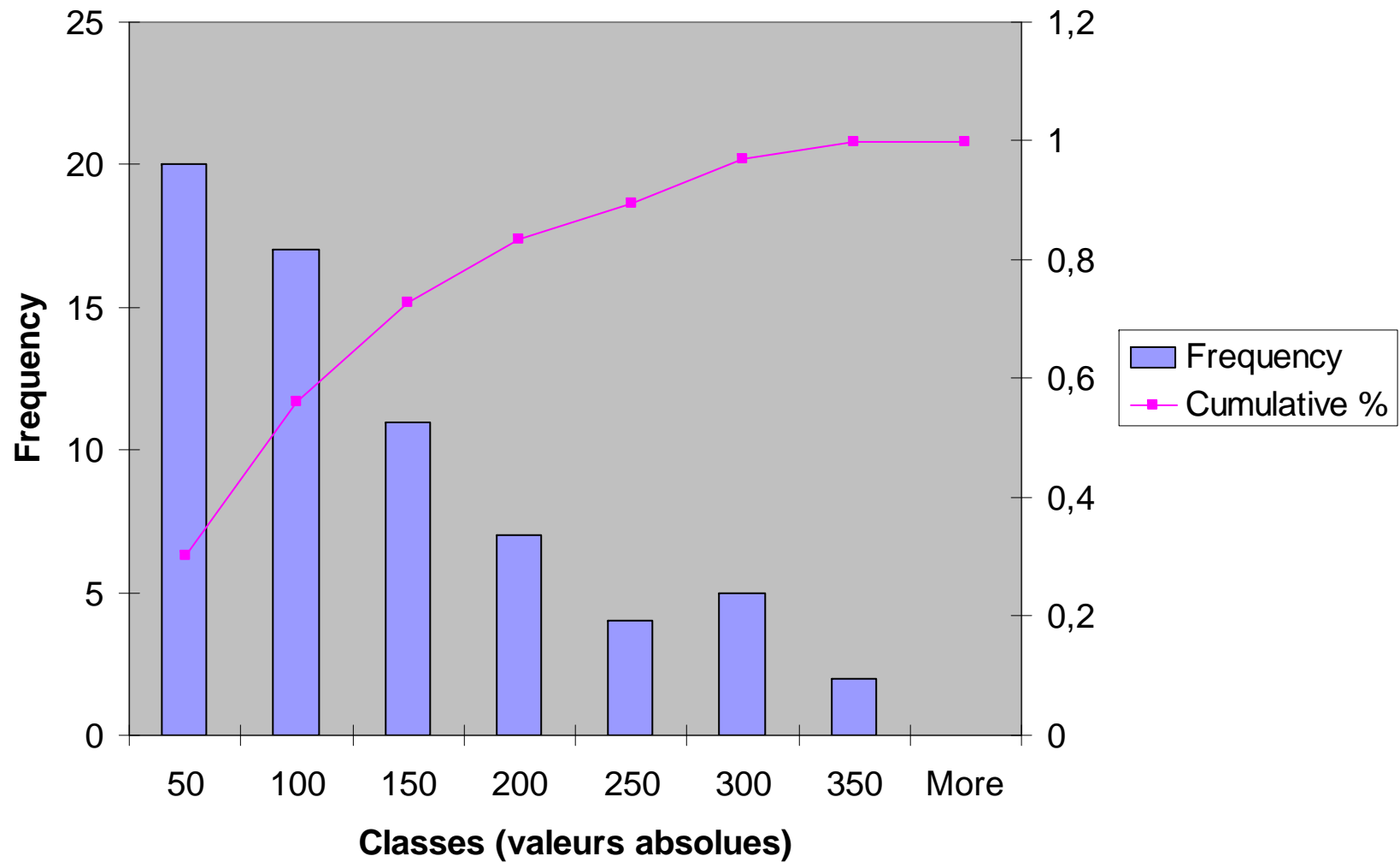
Données:
SCG - Données nord-américaines de 1983

Sources:
Entrer les sources des données ici

Avis de non-responsabilité:
L'utilisateur assume toute responsabilité en ce qui a trait à l'utilisation, l'interprétation



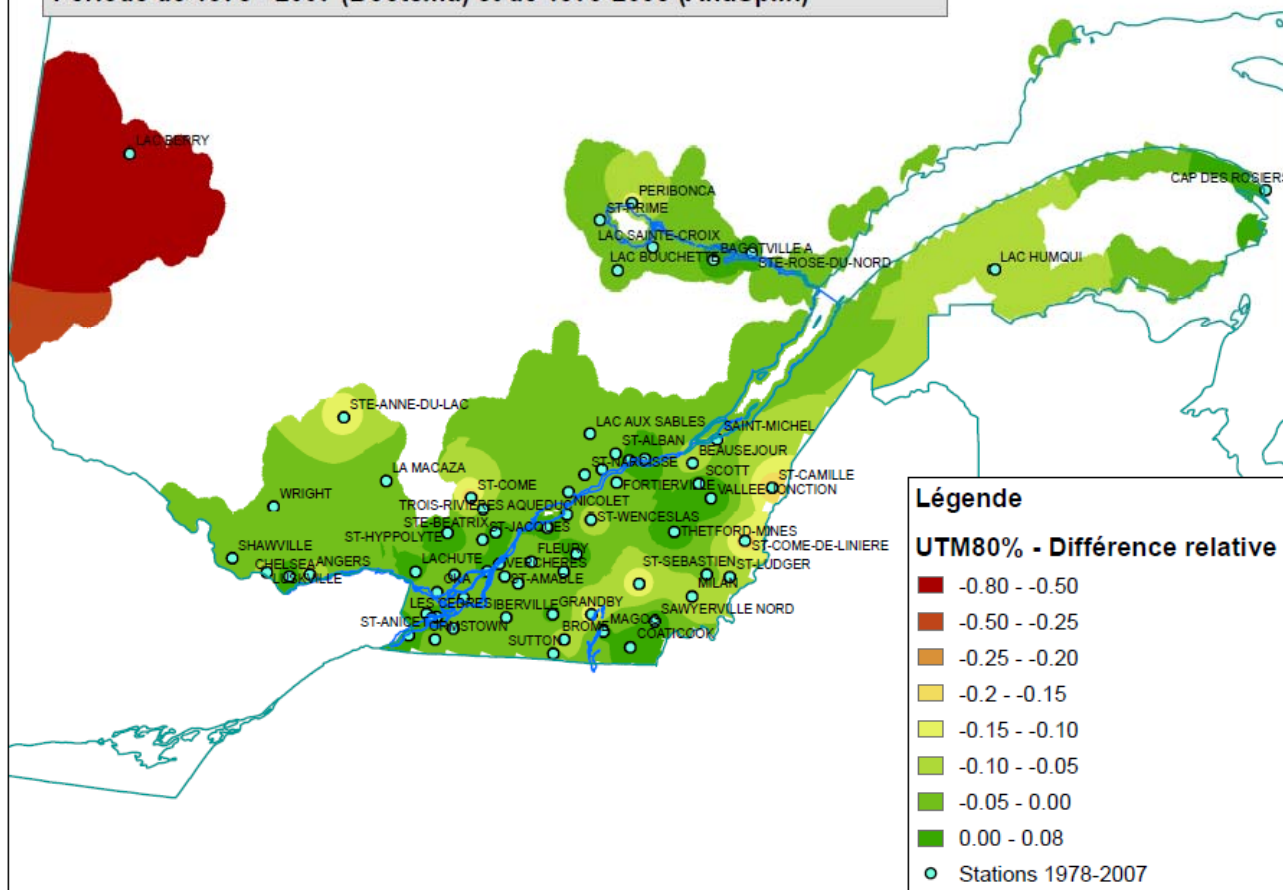
Écart du cumul UTM 8 années sur 10: Bootsma (quot) vs Anusplin 1979-2008





(jtrr/ksaa)
Nombre de carte (CS07C641-8861-4627-95P0-F1CF83282E2A)
Division

Différence relative des UTM - Probabilité de 80%
Méthode de Bootsma vs AnuSplin
(UTM Bootsma - UTM AnuSplin) / (UTM Bootsma)
Données quotidiennes de 73 stations - Interpolation avec méthode IDW
Période de 1978 - 2007 (Bootsma) et de 1979-2008 (AnuSplin)



Légende

UTM80% - Différence relative

- 0.80 - -0.50
- 0.50 - -0.25
- 0.25 - -0.20
- 0.2 - -0.15
- 0.15 - -0.10
- 0.10 - -0.05
- 0.05 - 0.00
- 0.00 - 0.08
- Stations 1978-2007

1:5,600,000
 (lorsque imprimé sur du papier de format 8 1/2" x 11")

0 50 100 150 200
 Kilomètres

Projection:
 Projection conique conforme de Lambert
 Méridien Central: -95,00
 Standard parallèle 1: 49,00
 Standard parallèle 2: 77,00

Données:
 SCG - Données nord-américaines de 1983

Sources:
Entrer les sources des données ici

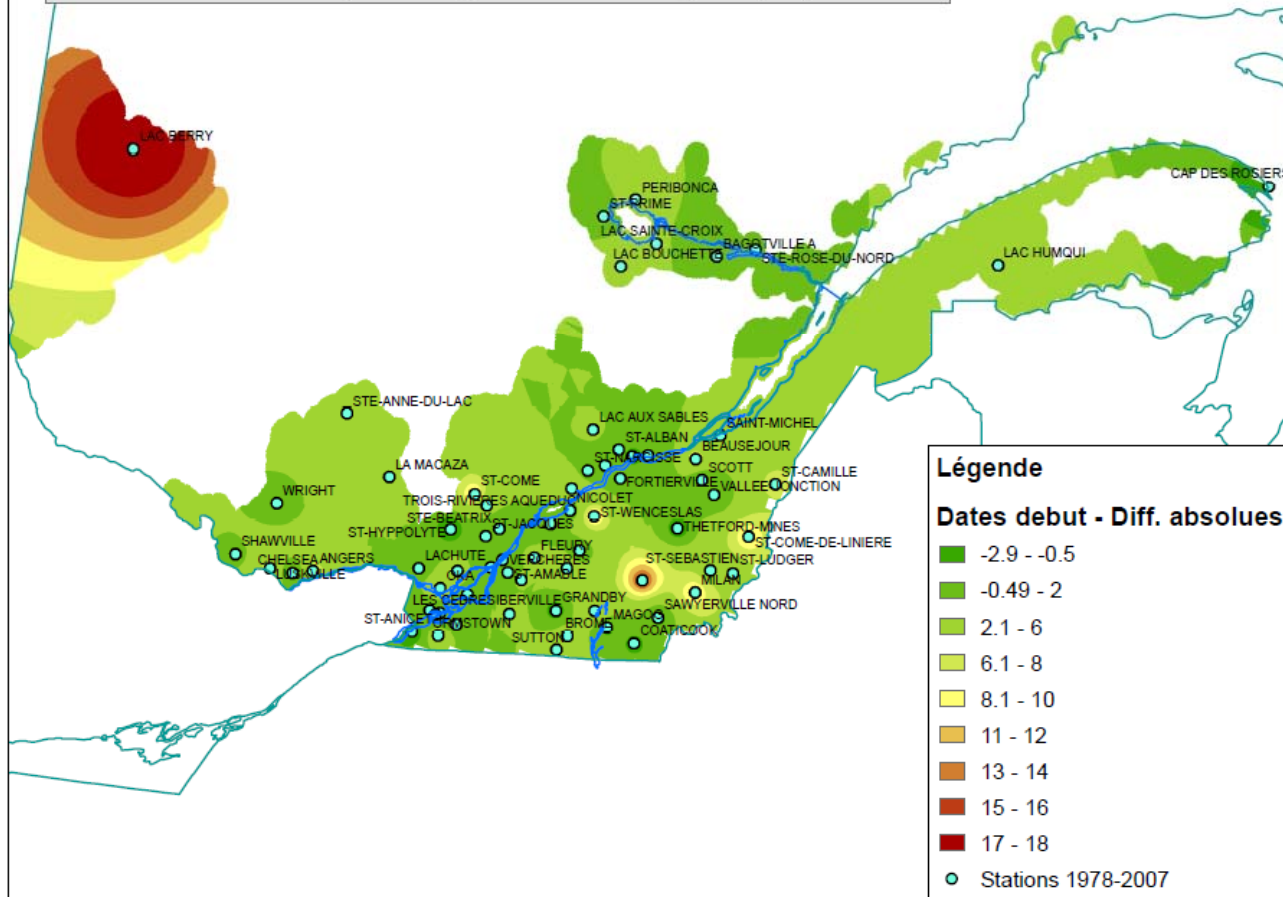
Avis de non-responsabilité:
L'utilisateur assume toute responsabilité en ce qui a trait à l'utilisation, l'interprétation





(jtrr/ksaa)
Nombre de carte (CS07C641-8861-4627-95P0-F1CF83282E2A)
Division

Différence absolue des dates de début
Méthode de Bootsma vs AnuSpln
Données quotidiennes de 73 stations - Interpolation avec méthode IDW
Période de 1978 - 2007 (Bootsma) et de 1979-2008 (AnuSpln)



1:5,600,000
(lorsque imprimé sur du papier de format 8 1/2" x 11")

0 50 100 150 200
Kilomètres

Projection:
Projection conique conforme de Lambert
Méridien Central: -95,00
Standard parallèle 1: 49,00
Standard parallèle 2: 77,00

Données:
SCG - Données nord-américaines de 1983

Légende

Dates debut - Diff. absolues

- 2.9 - -0.5
- 0.49 - 2
- 2.1 - 6
- 6.1 - 8
- 8.1 - 10
- 11 - 12
- 13 - 14
- 15 - 16
- 17 - 18
- Stations 1978-2007

Sources:
Entrer les sources des données ici

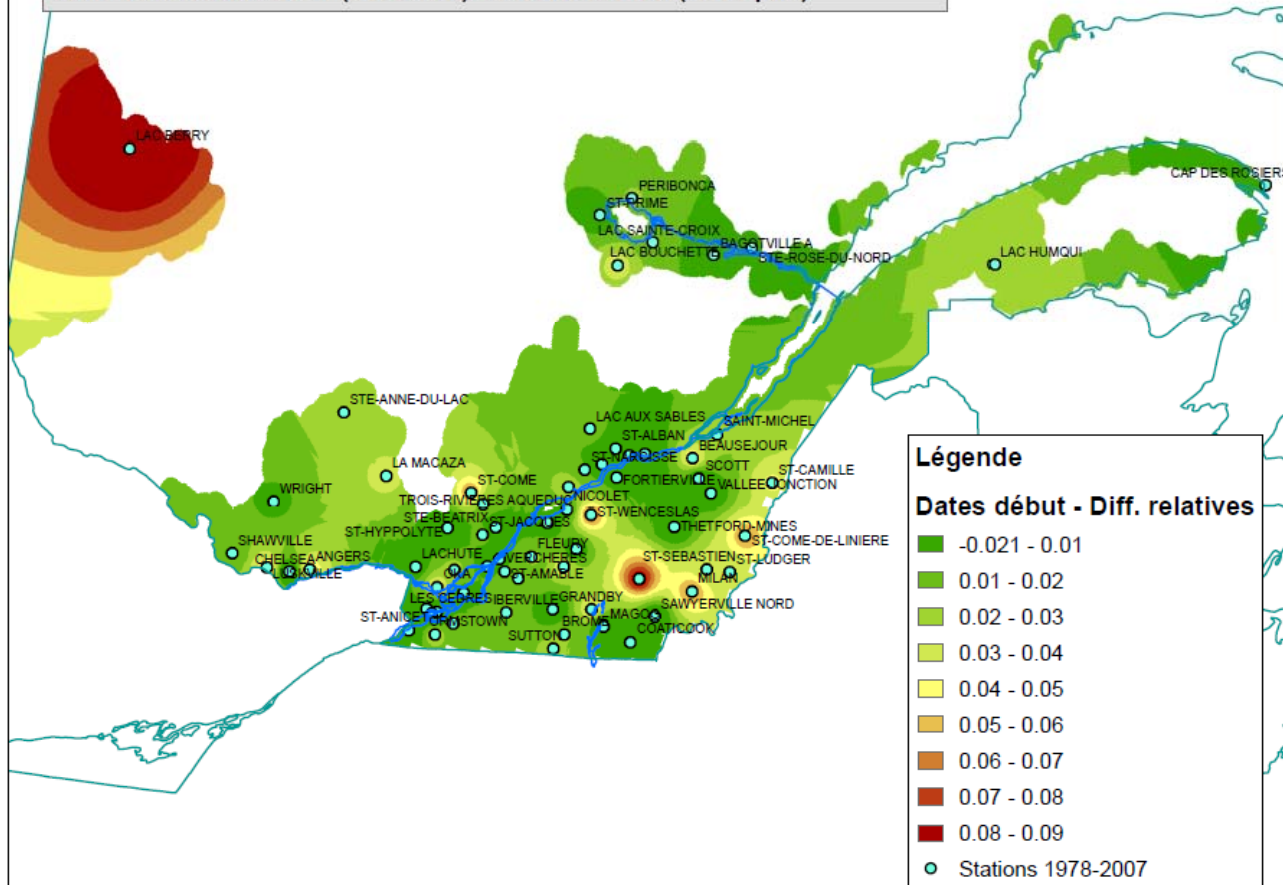
Avis de non-responsabilité:
L'utilisateur assume toute responsabilité en ce qui a trait à l'utilisation, l'interprétation





(jtrr/ksaa)
Nombre de carte (CS07C641-8861-4627-95P0-F1CF83282E2A)
Division

Différence relative des dates de début
Méthode de Bootsma vs AnuSplin
Dates de début (Bootsma - AnuSplin) / Bootsma
Données quotidiennes de 73 stations - Interpolation avec méthode IDW
Période de 1978 - 2007 (Bootsma) et de 1979-2008 (AnuSplin)



Légende

Dates début - Diff. relatives

- -0.021 - 0.01
- 0.01 - 0.02
- 0.02 - 0.03
- 0.03 - 0.04
- 0.04 - 0.05
- 0.05 - 0.06
- 0.06 - 0.07
- 0.07 - 0.08
- 0.08 - 0.09
- Stations 1978-2007

1:5,600,000
(lorsque imprimé sur du papier de format 8 1/2" x 11")

0 50 100 150 200
Kilomètres

Projection:
Projection conique conforme de Lambert
Méridien Central: -95,00
Standard parallèle 1: 49,00
Standard parallèle 2: 77,00

Données:
SCG - Données nord-américaines de 1983

Sources:
Entrer les sources des données ici

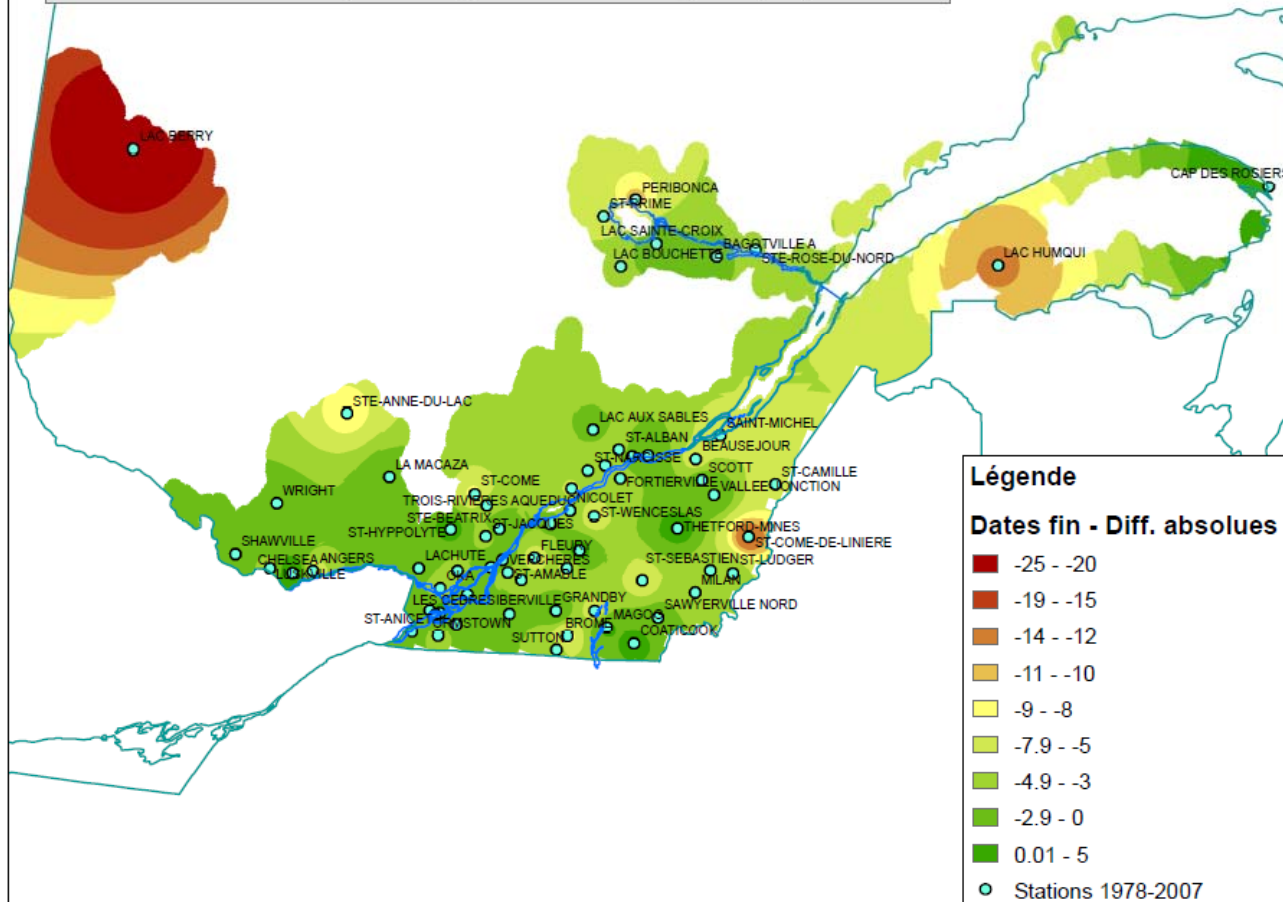
Avis de non-responsabilité:
L'utilisateur assume toute responsabilité en ce qui a trait à l'utilisation, l'interprétation





(111111111)
Nombre de carte (CS07C641-8861-4627-95P0-F1CF83282E2A)
Division

Différence absolue des dates de fin
Méthode de Bootsma vs AnuSpln
Données quotidiennes de 73 stations - Interpolation avec méthode IDW
Période de 1978 - 2007 (Bootsma) et de 1979-2008 (AnuSpln)



1:5,600,000
(lorsque imprimé sur du papier de format 8 1/2" x 11")

0 50 100 150 200
Kilomètres

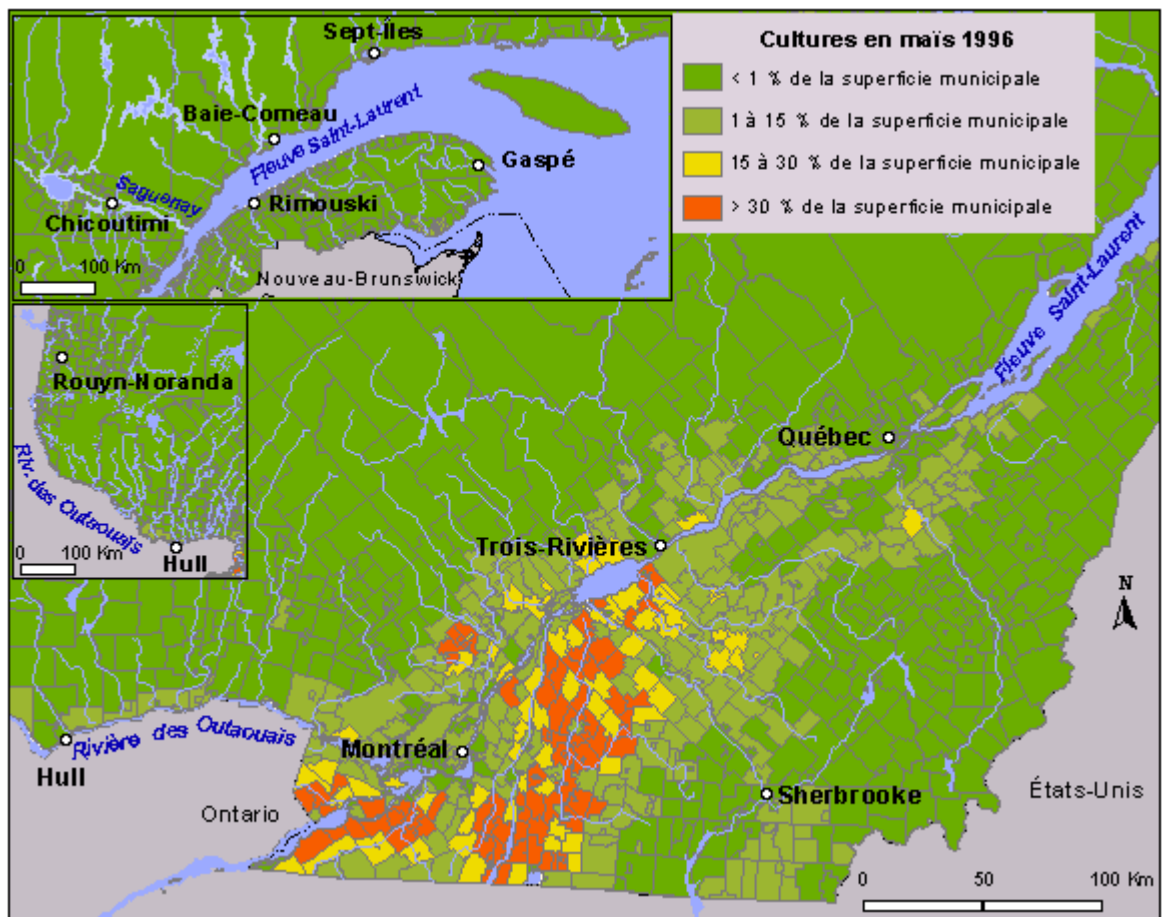
Projection:
Projection conique conforme de Lambert
Méridien Central: -95,00
Standard parallèle 1: 49,00
Standard parallèle 2: 77,00

Données:
SCG - Données nord-américaines de 1983

Sources:
Entrer les sources des données ici

Avis de non-responsabilité:
L'utilisateur assume toute responsabilité en ce qui a trait à l'utilisation, l'interprétation





Annexe 5

Feuillelet d'information

ATLAS AGROCLIMATIQUE DU QUÉBEC

Un outil d'aide à la
décision et
de sensibilisation

La Commission agrométéorologie du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), constituée d'une vingtaine d'experts québécois spécialisés dans ce domaine, a pris en charge l'élaboration d'un nouvel Atlas agroclimatique du Québec qui peut être consulté sur le [site Agrométéo Québec](http://www.agrometeo.org). Il vise à fournir des informations climatiques adaptées qui révèlent l'impact du climat actuel et du climat futur sur les systèmes agricoles afin de mieux orienter les activités du secteur.

Les indices agroclimatiques

Les indices sélectionnés répondent aux besoins exprimés par les usagers consultés et ont volontairement une portée générale. Pour chacun d'eux, des analyses en climat actuel et en climat futur et des tendances du passé récent sont disponibles. Les résultats de ces analyses sont présentés sous forme cartographique pour l'ensemble du Québec agricole.

INDICES THERMIQUES

Risques de gel

5 seuils en fonction du type de culture :
0 °C, -1 °C, -2 °C, -3 °C et -4 °C

Températures extrêmes

Saison de croissance

Degrés-jours

3 températures de base en fonction
des cultures : 0 °C, 5 °C, 10 °C

Unités thermiques maïs (UTM)

Potentiel d'endurcissement

Perte d'endurcissement

Date du dernier gel printanier

Date du premier gel automnal

Longueur de la saison sans gel

Fréquence de températures > 30 °C

Température minimale annuelle

Dates de début et de fin de la saison de croissance

Longueur de la saison de croissance

Cumul d'avril à octobre

Cumuls mensuels d'avril à octobre

Cumul durant la saison de croissance (base 5 °C)

Dates de début et de fin de cumul des UTM

Cumul des UTM

Cumul des degrés-froid (< 5 °C) durant la période
d'endurcissement

Cumul des degrés-jours (base 0 °C) au cours de la
période froide

INDICES HYDRIQUES

Précipitations

Précipitations – Évapotranspiration (P – ETP)

Cumul d'avril à octobre

Cumul pendant la saison de croissance

Cumuls mensuels d'avril à octobre

Cumul de mai à octobre

Cumul pendant la saison de croissance

COURBES INTENSITÉ – DURÉE – FRÉQUENCE (IDF) DE PRÉCIPITATIONS

UN ATLAS AGROCLIMATIQUE EST PARTICULIÈREMENT UTILE POUR...

- Gérer les risques climatiques
- Choisir les cultures et les cultivars les mieux adaptés aux conditions climatiques
- Planifier l'adoption de pratiques culturales pertinentes
- Localiser les lieux d'implantation d'un réseau d'essais
- Obtenir des références historiques pour divers paramètres agroclimatiques de la saison courante
- Aider à la prise de décision en lien avec la planification des entreprises agricoles et du secteur agricole dans son ensemble (analyses en climat passé et en climat futur)
- Sensibiliser les acteurs du secteur agricole aux changements climatiques et à leurs impacts
- Diffuser des informations pertinentes à des projets relatifs au secteur agricole dans un contexte de changements climatiques
- Appuyer l'enseignement et la recherche en agroclimatologie

L'ATLAS AGROCLIMATIQUE EN IMAGES

Accéder à l'atlas

Choisir « Atlas agroclimatique »

The screenshot shows the Agrométéo Québec website interface. At the top, there is a navigation bar with the following menu items: Observations et prévisions, Météo agricole, and Atlas agroclimatique. The 'Atlas agroclimatique' item is circled in orange. Below the navigation bar, there is a sidebar on the left with various categories like 'Indices thermiques' and 'Indices hydriques'. The main content area displays the title 'Atlas agroclimatique du Québec' and a description of the tool's purpose. Logos of partner organizations like CRAAQ, INRS, and UPA are visible at the bottom.

Choix des indices agroclimatiques

Pour en savoir plus

Un exemple : les degrés-jours

Analyse en climat actuel

Choisir « Climat actuel »

Choisir une température de base

Choisir l'indice

Indices thermiques

- Risques de gel
- Températures extrêmes
- Saison de croissance
- Degrés-jours**
- Unités thermiques maïs
- Potentiel d'endurcissement
- Perte d'endurcissement

Indices hydriques

- Précipitations (P)
- P-ETP

Courbes IDF

Aide et documentation

Si les données téléchargées sont intégrées dans un document, veuillez citer la source : Atlas agroclimatique du Québec, 2012.

Degrés-jours (base 0°C)

Climat actuel Tendances du passé récent Climat futur

Climat actuel (1979-2008)

Cumul Avril - Octobre

Moyenne des degrés-jours (base 0°C) du 1er avril au 31 octobre

Degrés-jours (base 0°C) du 1er avril au 31 octobre, probabilité de 8 années sur 10

Degrés-jours (base 0°C) du 1er avril au 31 octobre, probabilité de 1 année sur 2

Probabilité de 8 années sur 10

Probabilité d'une année sur 2

Probabilité de 2 années sur 10

Brève explication de la carte ?

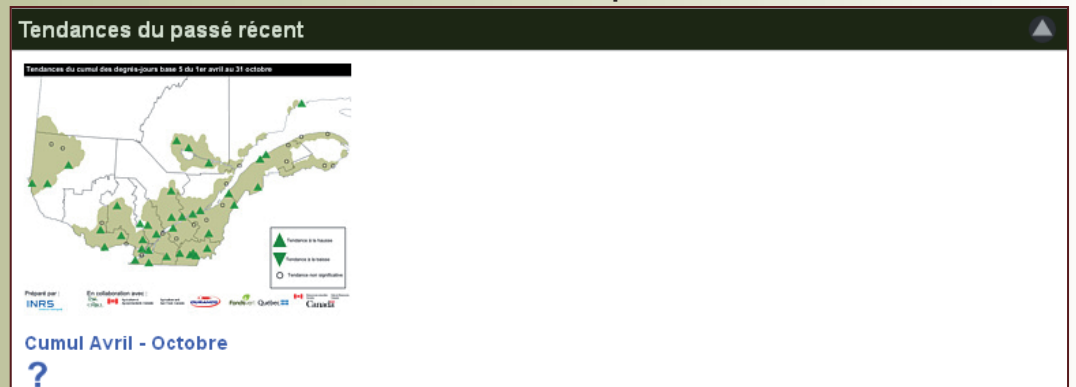
Accès aux cartes interactives

Téléchargement de la carte (format pdf)

Analyse des tendances du passé récent

Choisir « Tendances du passé récent »

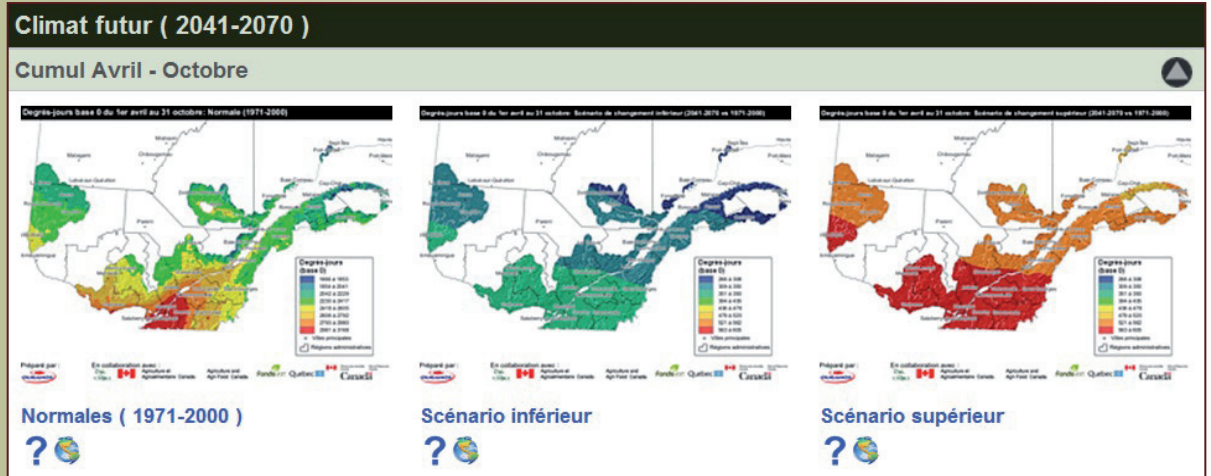
Les stations météorologiques du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) et d'Environnement Canada, ayant fait l'objet d'une analyse, sont localisées sur une carte du Québec.



Pour chaque station, il est précisé si on a observé une tendance significative à la hausse ou à la baisse ou encore aucune tendance significative au cours du passé récent. La longueur de la série d'observations pour chacune des stations est également indiquée.

Analyse en climat futur

Choisir
« Climat futur »



Une première carte indique la valeur normale observée sur la période 1971-2000.

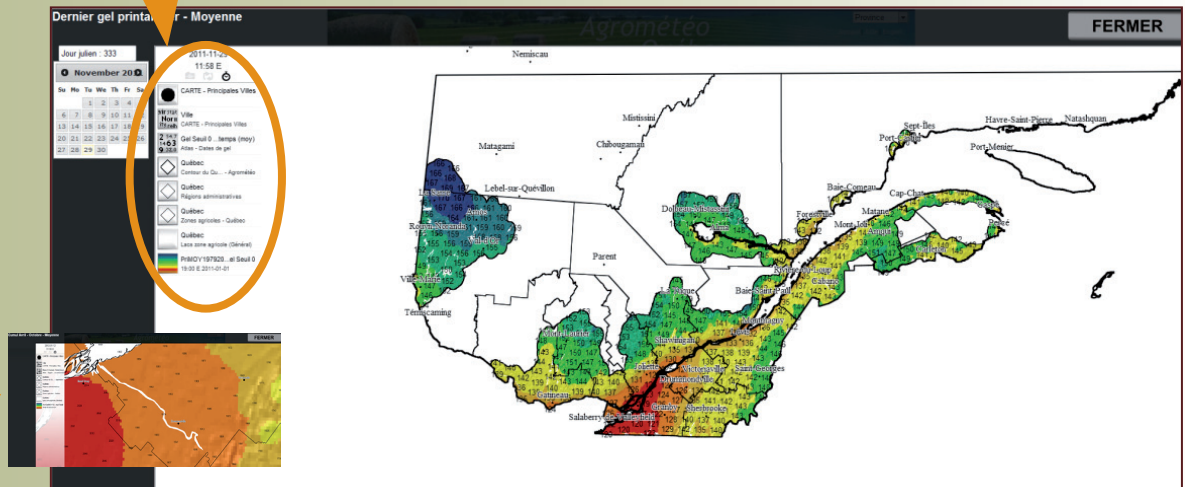
Deux cartes, issues de 15 simulations climatiques, permettent d'évaluer une plage des changements attendus pour la période 2041-2070 : 80 % des changements climatiques projetés sont compris entre le « Scénario inférieur » et le « Scénario supérieur ».

Des cartes interactives pour les analyses en climat actuel et en climat futur

Plusieurs possibilités :

- sélectionner les couches d'information d'intérêt
- adapter la légende
- afficher des valeurs estimées aux 10 km
- se déplacer sur la carte
- agrandir la carte
- etc.

Cliquer sur l'icône



En partenariat avec :



- La Financière agricole
- Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs



Annexe 6

Affiche

Atlas agroclimatique du Québec (www.agrometeo.org/atlas)

Évaluation des opportunités et des risques agroclimatiques dans un climat en évolution

R. Audet¹, M. Beaudoin¹, T. Thibault², A. Mailhot², L. Bourdages³, P. Brouillette⁴, C. Savard⁵, D. Chaumont³, G. Bourgeois¹ et D. Bachand⁶ (¹AAC, ²INRS-ETE, ³Ouranos, ⁴SOPFIM, ⁵MDDEP, ⁶CRAAQ)

INTRODUCTION

Le secteur agricole a besoin d'informations agroclimatiques adaptées, capables de traduire l'impact du climat actuel et futur sur les systèmes agricoles. Au Québec, de telles informations étaient soit désuètes ou encore difficilement accessibles⁽¹⁾. Afin de répondre à ces lacunes et aux attentes du milieu agricole québécois, un atlas agroclimatique a été développé, intégrant des informations sur divers indices agroclimatiques (IA) basées sur le climat actuel, sa variabilité et son évolution future. Les usagers ont fortement orienté le développement de l'outil et ont reçu une formation quant à son utilisation. L'Atlas agroclimatique du Québec est le fruit de cette collaboration étroite entre les usagers et les concepteurs.



Figure 1. Site Internet de l'Atlas agroclimatique du Québec

OBJECTIFS

- Mettre à jour un ensemble d'indices agroclimatiques.
- Évaluer les tendances historiques de ces indices.
- Développer des scénarios climatiques futurs et dresser le portrait des changements attendus.
- Intégrer et diffuser l'ensemble de ces informations par le biais d'un site Internet.
- Informer et sensibiliser les intervenants agricoles sur l'existence et les applications d'un tel outil.

MÉTHODOLOGIE

Choix des indices agroclimatiques⁽²⁾

Sélection des IA basée sur les critères suivants :

- Besoins des usagers.
- Portée générale.
- Disponibilité des données.
- État des connaissances.

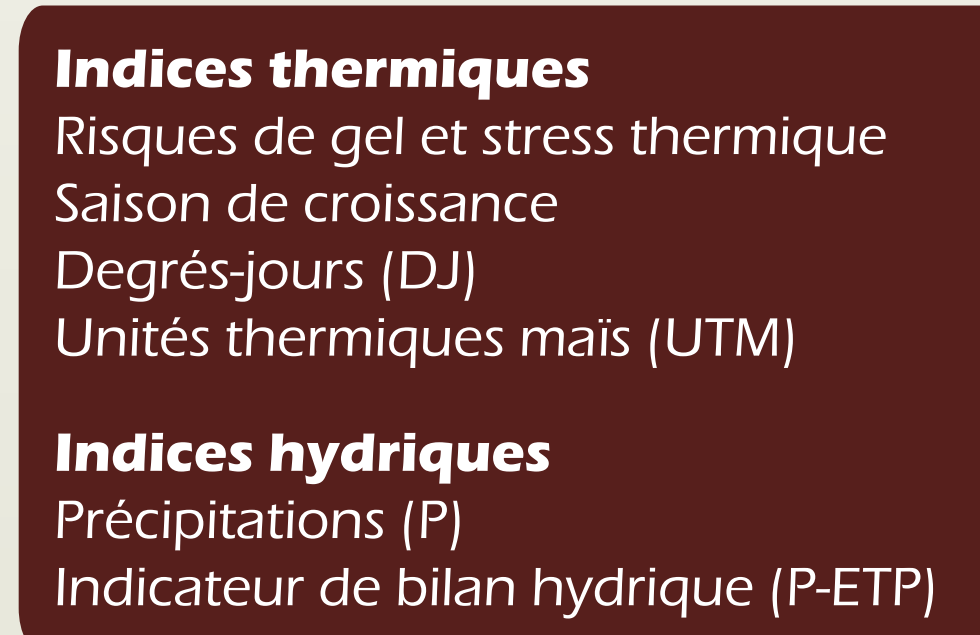


Figure 2. Indices agroclimatiques retenus

Représentation spatio-temporelle des indices en climat actuel

- Calculs statistiques : moyennes, centiles (20^e, 50^e et 80^e).
- Utilisation d'un jeu de données climatiques quotidiennes (températures et précipitations) provenant de stations d'EC et du MDDEP interpolées avec le modèle ANUSPLIN V4.3 sur une grille de 10 km x 10 km (période 1979-2008) (figure 3)⁽³⁾.
- Validation des résultats en comparant avec les IA obtenus à des stations du MDDEP n'ayant pas servi à la création de la grille.

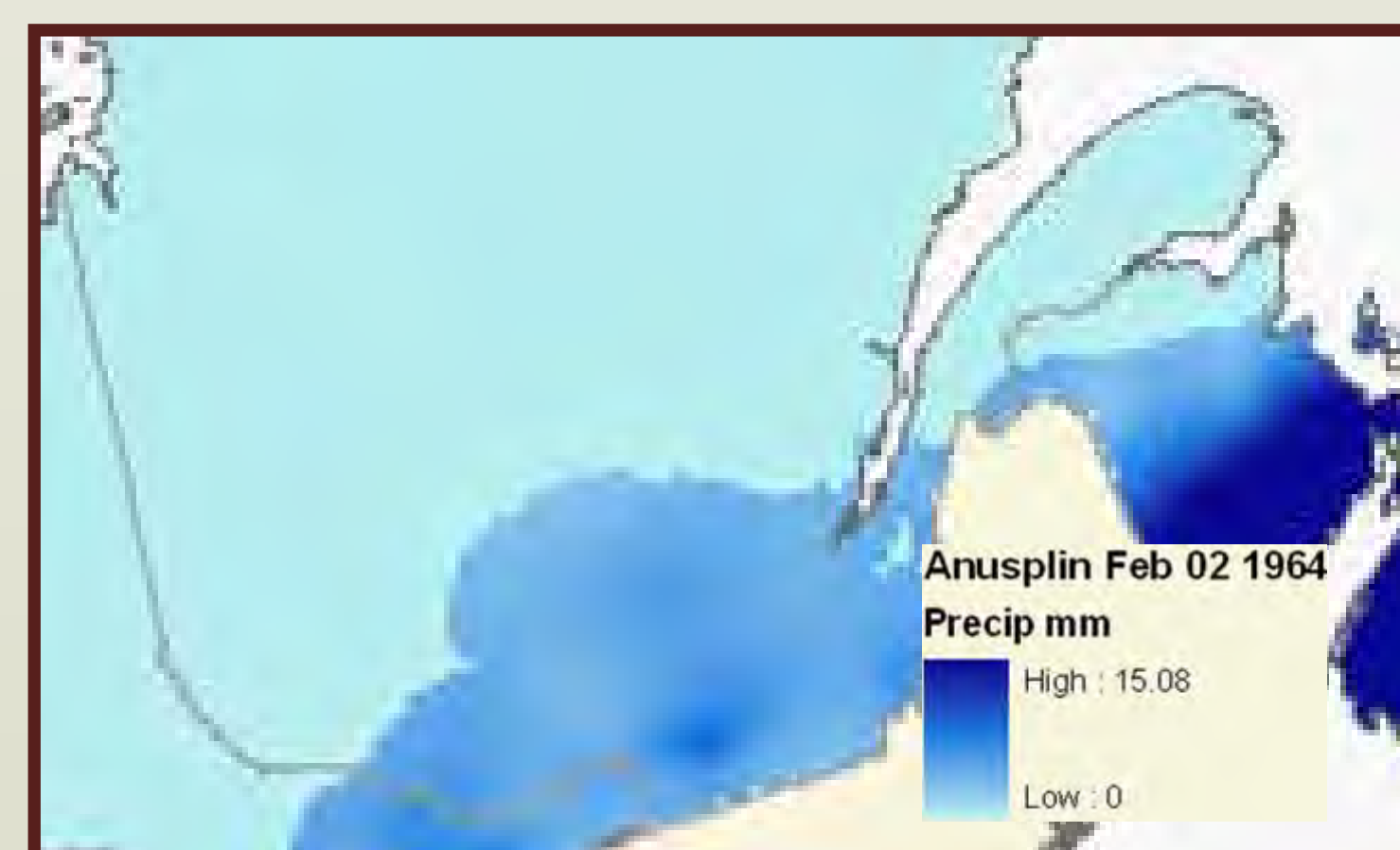


Figure 3. Sortie du modèle ANUSPLIN

Analyse des tendances du passé récent

- Utilisation des données de 74 stations (MDDEP et EC; figure 4).
- 48 séries homogénéisées de températures journalières (MDDEP) : 1960 à 2003.
- 7 séries homogénéisées de températures journalières et 46 de précipitations mensuelles (EC) : début 1870-1951 et fin 2003-2008 selon la station.
- Utilisation des tests statistiques de Mann-Kendall et de Sen⁽⁴⁾.

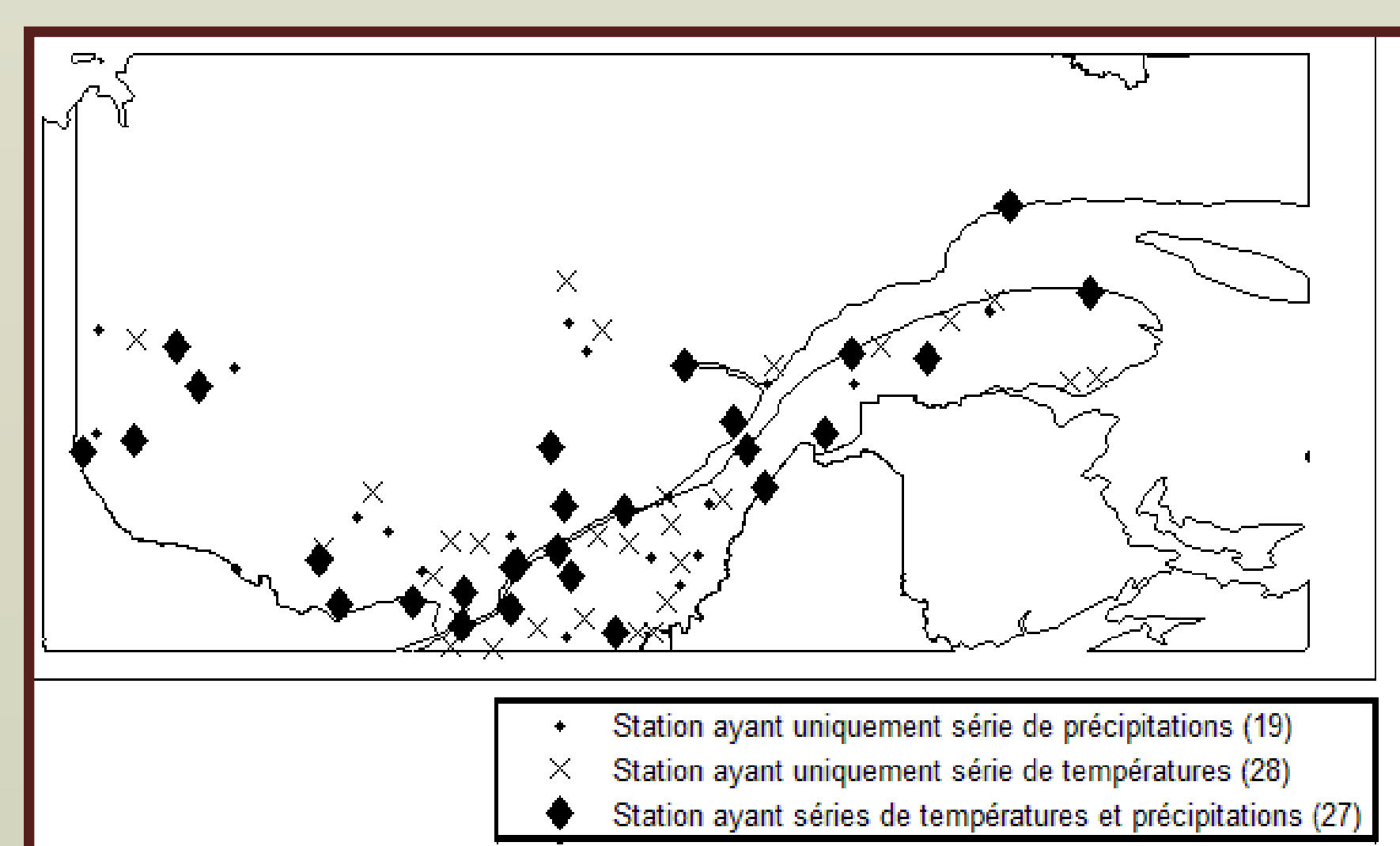


Figure 4. Répartition des stations

Scénarios climatiques

- Sélection d'un ensemble de simulations climatiques régionales produites à Ouranos, complété par celles du projet nord-américain NARCCAP⁽⁵⁾ et par des simulations climatiques globales du PCMDI⁽⁶⁾ générées par différents modèles climatiques pour un total de 15 simulations (figure 5).
- Cette sélection est représentative des principales sources connues d'incertitudes sur le climat futur.
- L'usage d'un ensemble de simulations climatiques permet le calcul de scénarios de changements climatiques inférieur et supérieur pour tous les indices à partir des données journalières simulées (2041-2070 vs 1971-2000).
- Les scénarios inférieur et supérieur aident à cerner le potentiel futur de risques et d'opportunités découlant des changements climatiques anticipés.

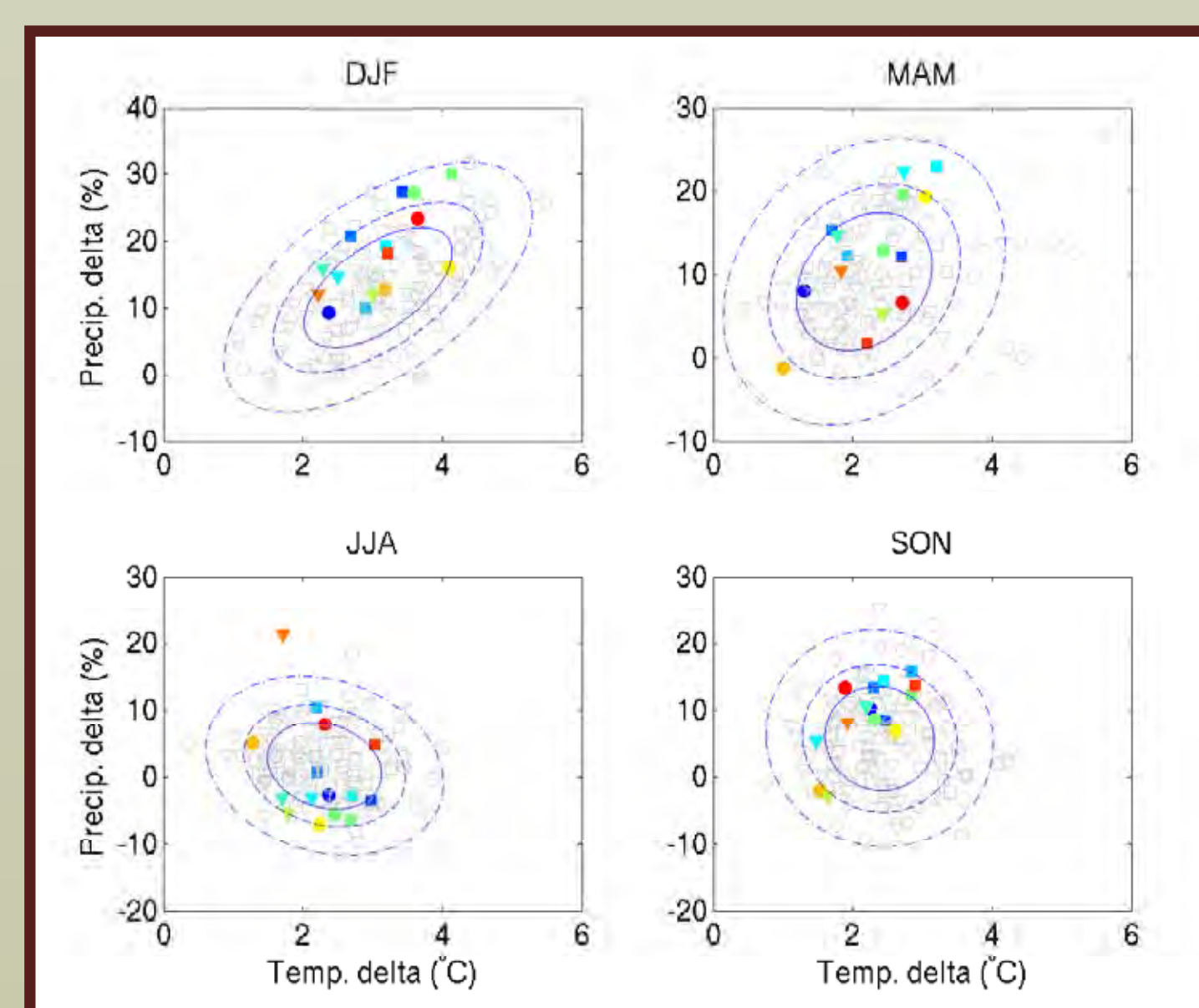


Figure 5. Diagramme de dispersion des changements climatiques saisonniers projetés par les simulations climatiques retenues pour l'atlas

RÉSULTATS

L'agroclimat actuel

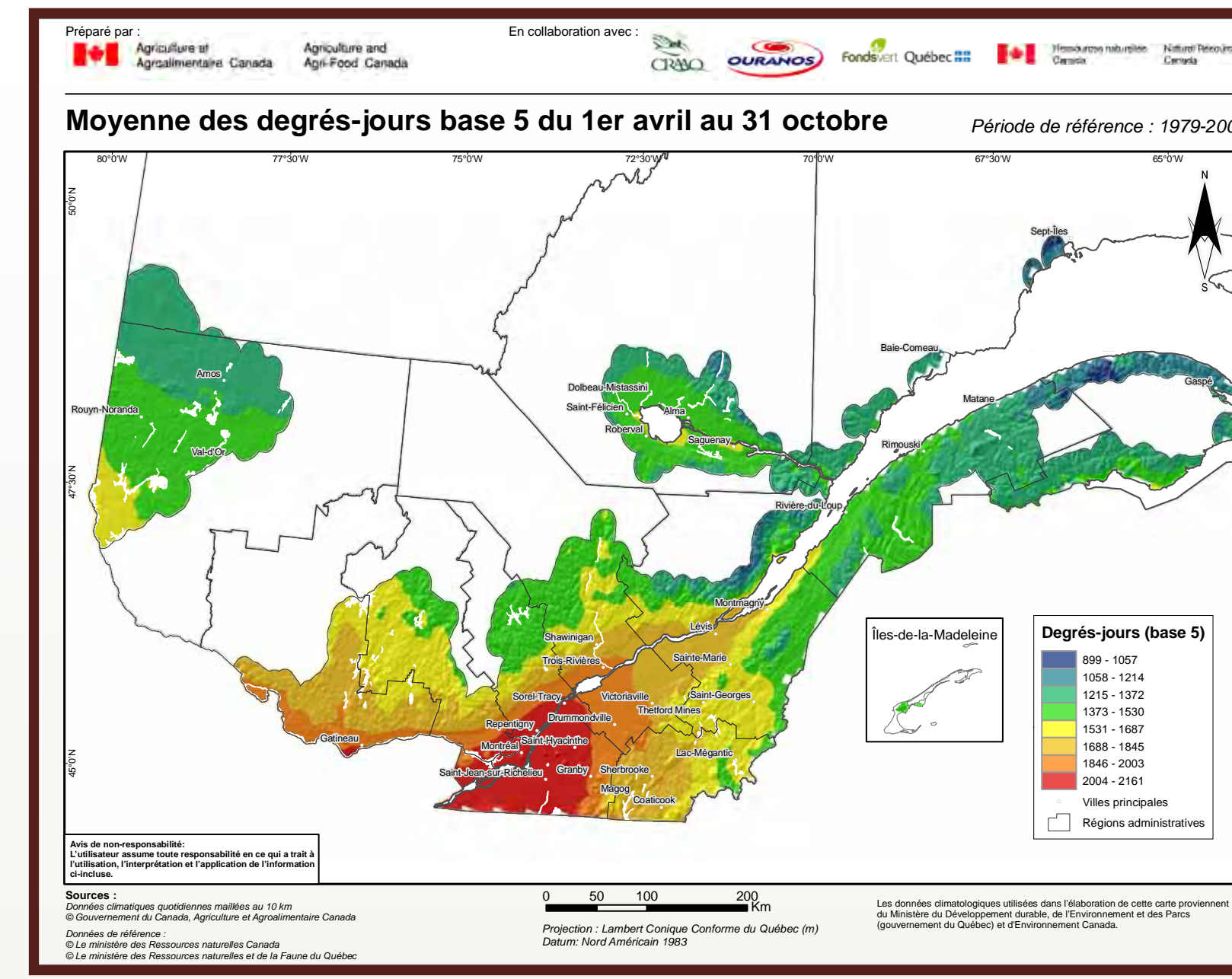


Figure 6. Cumul moyen des degrés-jours entre le 1^{er} avril et le 31 octobre (1979-2008)

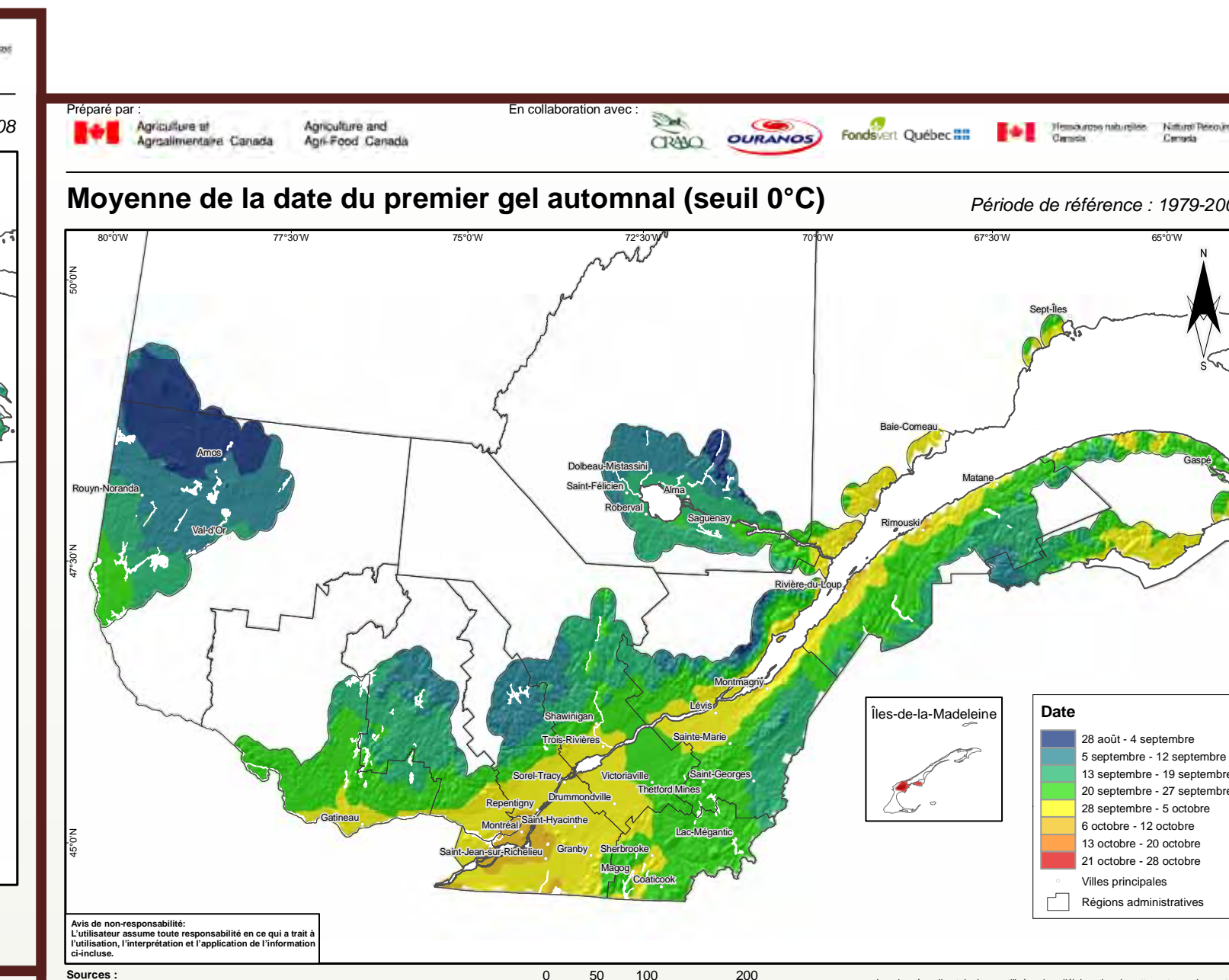


Figure 7. Date moyenne du 1^{er} gel automnal (1979-2008)

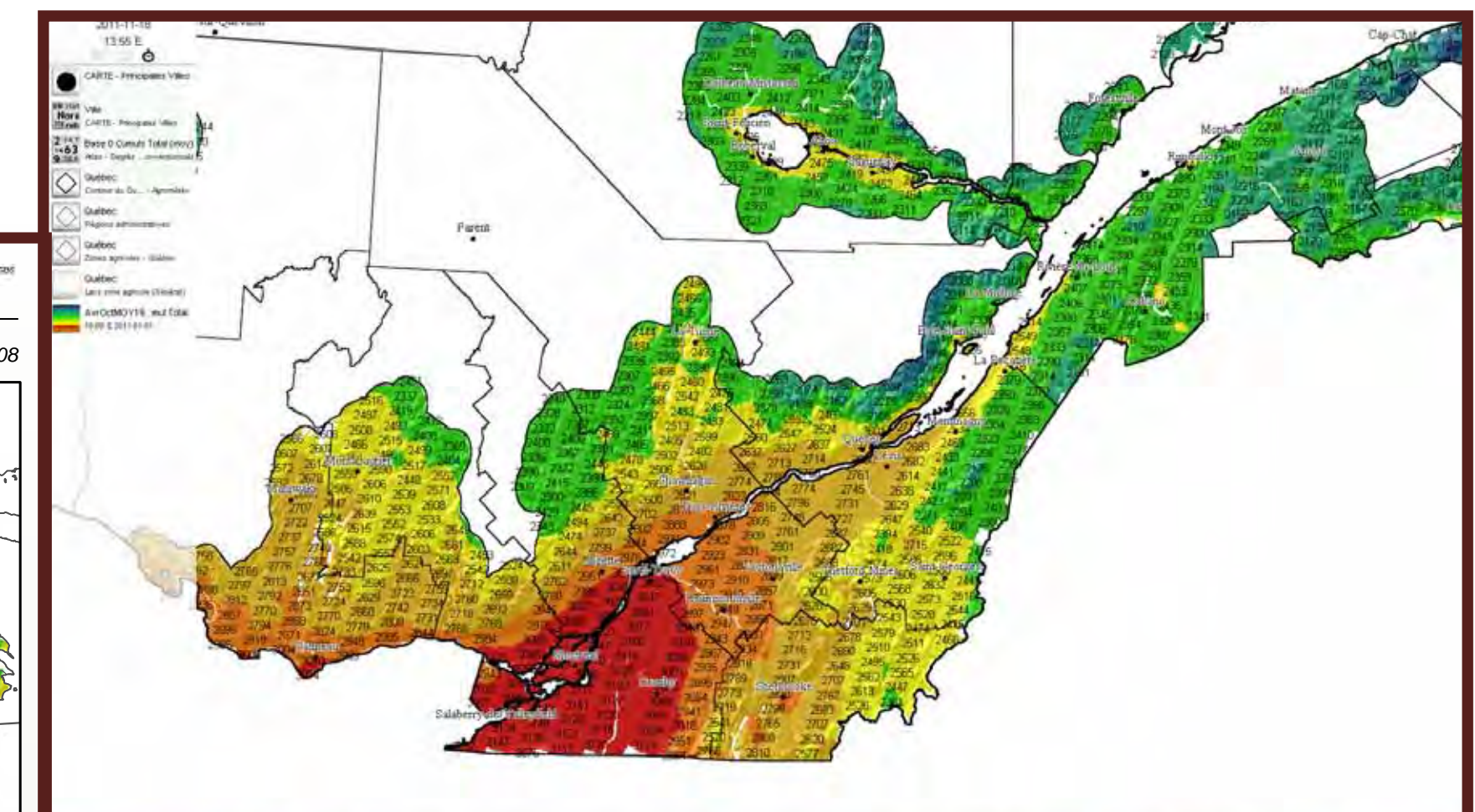


Figure 8. Exemple de carte interactive

Les tendances du passé récent

- Pour les indices UTM et degrés-jours (figure 9) : de 50 à 60 % des stations montrent des tendances à la hausse significatives.
- Pour les précipitations totales d'avril à octobre : 17 des 46 stations (~37 %) montrent des tendances à la hausse.
- Aucune distribution géographique particulière des stations avec tendances n'est observée.
- Lorsque la série d'observations à une station est trop courte, le risque de surestimer les tendances des précipitations devient important.

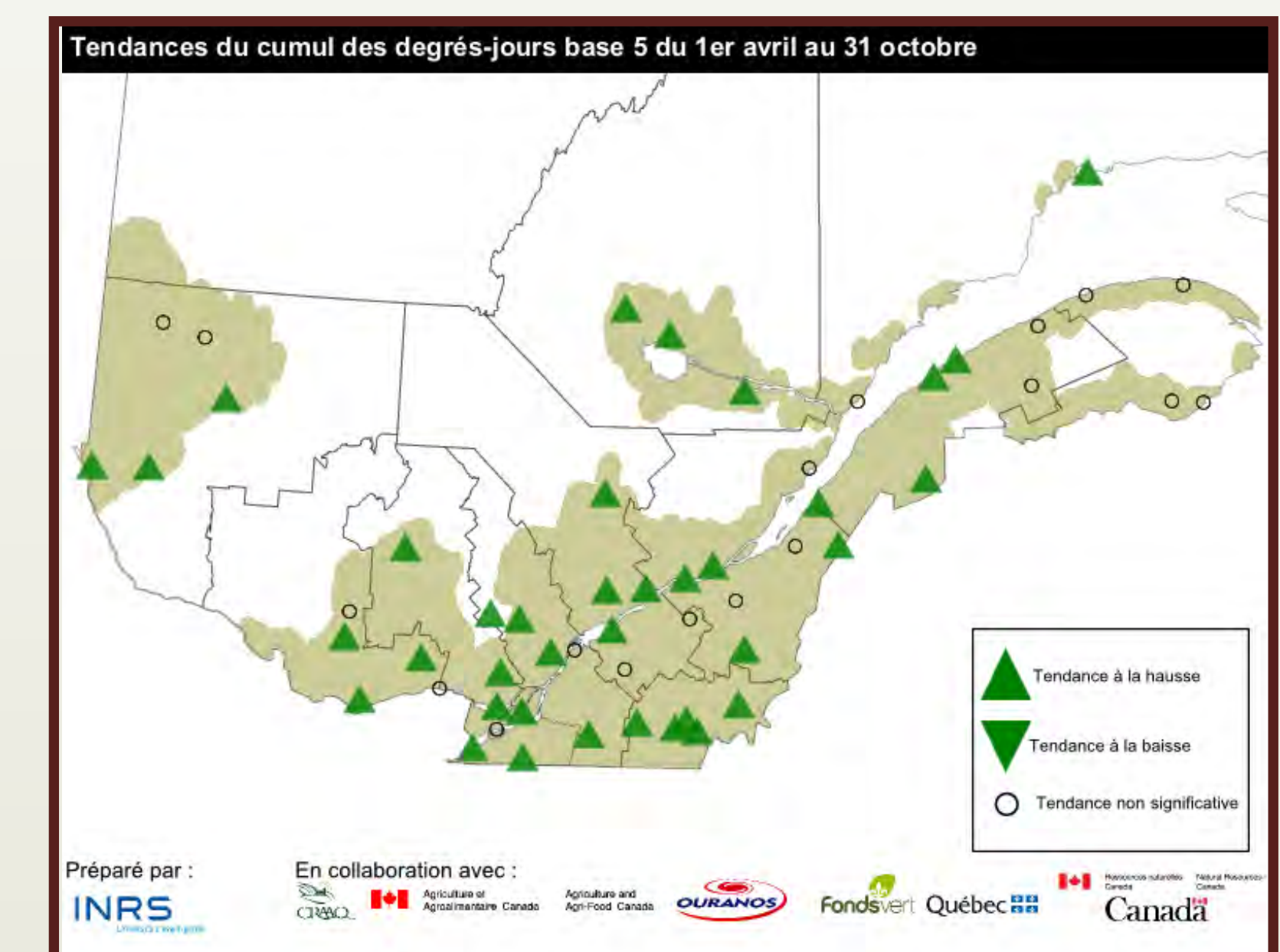


Figure 9. Tendances du cumul des degrés-jours (base 5 °C) du 1^{er} avril au 31 octobre

Que nous réserve l'avenir?

Prenons l'exemple des degrés-jours :

- Les projections pour l'horizon 2041-2070 indiquent une augmentation du cumul sur tout le territoire agricole pour la période du 1^{er} avril au 31 octobre selon un scénario inférieur (figure 10) et un scénario supérieur (figure 11).
- Les augmentations les plus élevées se retrouvent dans le sud-ouest du Québec et deviennent graduellement plus modestes en suivant l'axe de Saint-Laurent.
- Si on prend l'exemple de la Montérégie, la hausse projetée des degrés-jours est de 15 à 25 % lorsque l'on compare les résultats des figures 10 et 11 à la normale 1971-2000 (disponible dans l'atlas)

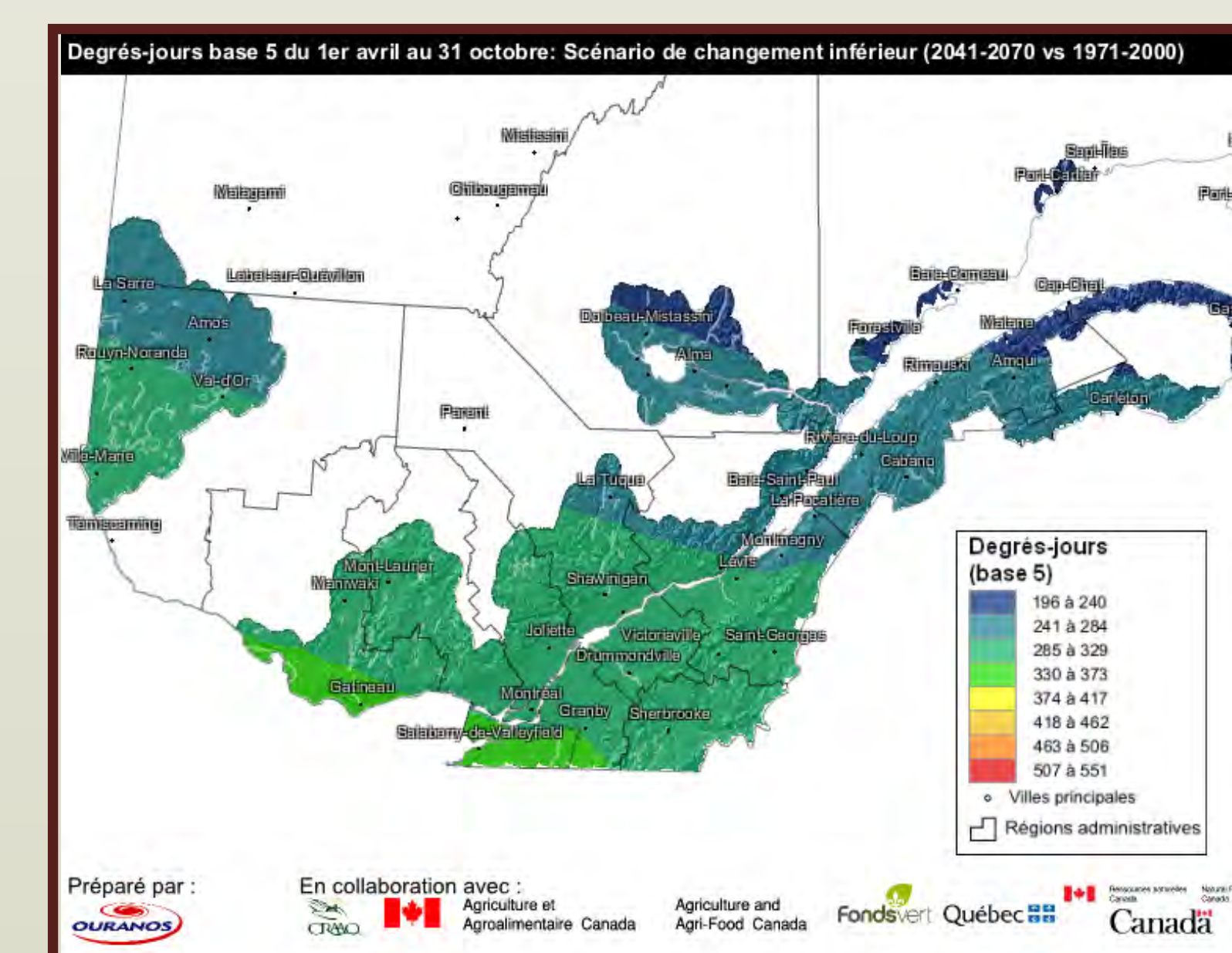


Figure 10. Augmentation projetée du cumul moyen des degrés-jours selon le scénario inférieur

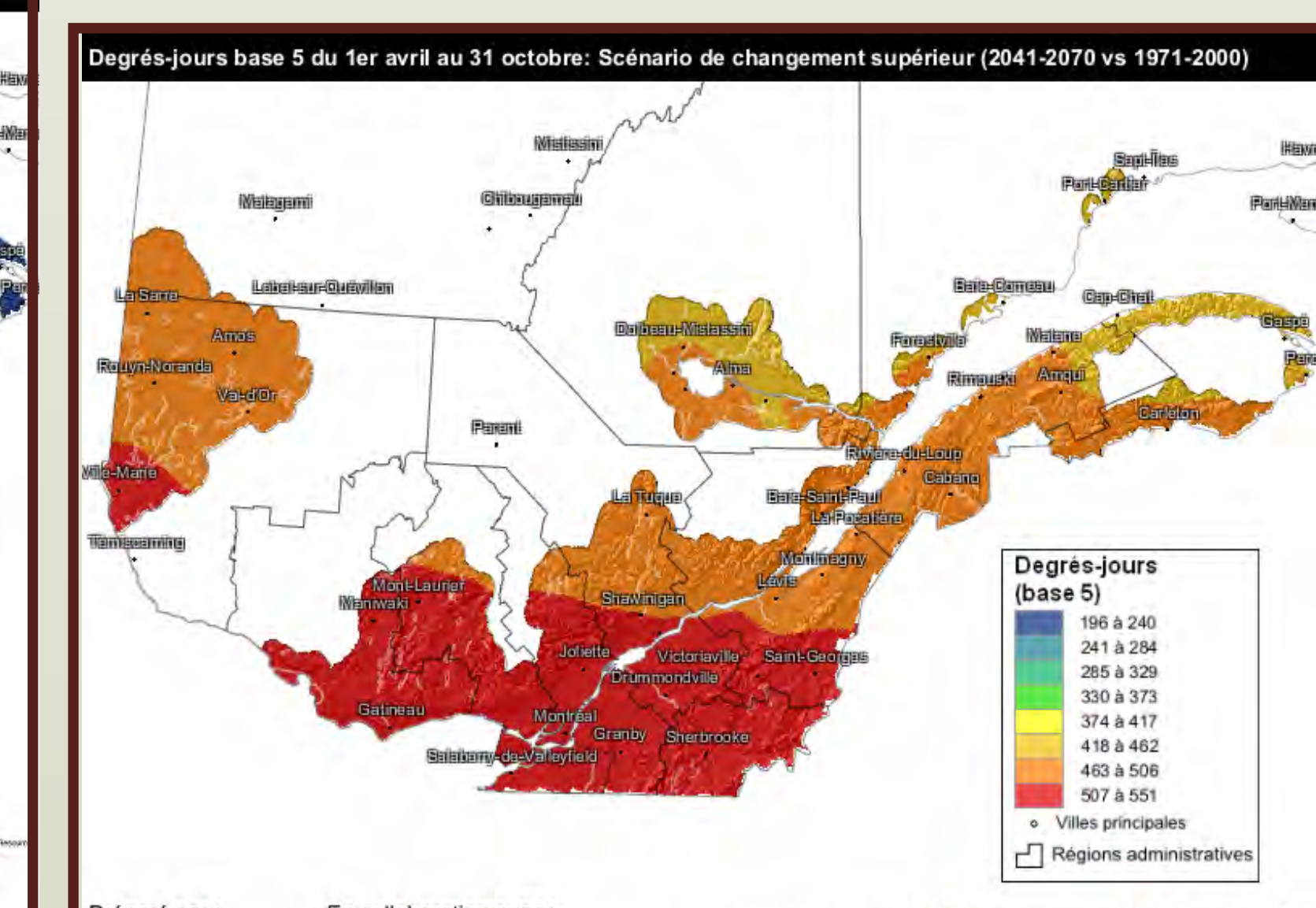


Figure 11. Augmentation projetée du cumul moyen des degrés-jours selon le scénario supérieur

CONCLUSION

Les travaux effectués confirment l'intérêt d'utiliser une base de données interpolées avec le modèle ANUSPLIN pour actualiser la cartographie de divers indices agroclimatiques en climat actuel. L'identification de tendances significatives pour plusieurs de ces indices et les projections dans le futur illustrent également l'importance de mettre à jour ces informations sur une base régulière.

La réalisation de ce projet permet d'offrir au secteur agricole québécois un outil concret, dynamique et convivial pour appuyer son adaptation à la variabilité et aux changements climatiques.

RÉFÉRENCES ET REMERCIEMENTS

⁽¹⁾ Dubé, P.A., J.-E. Chevette et P. Lamb. 1982. Atlas agroclimatique du Québec méridional. Éditeur MAPAQ.
⁽²⁾ Lepage, M.-P., G. Bourgeois et G. Bélanger. 2012. Indices agrométéorologiques pour l'aide à la décision dans un contexte de climat variable et en évolution. CRAAQ (éd.), 11 p.
⁽³⁾ http://www4.agr.gc.ca/AAFC-AAC/display-afficher.do?id=1227620138144&lang=fra
⁽⁴⁾ Yagouti, A., G. Boulet et L. Vescovi. 2006. Homogénéisation des séries de températures et analyse de la variabilité spatio-temporelle de ces séries au Québec méridional, Rapport No. 4, Ouranos, 154 p.
⁽⁵⁾ Music, B. et D. Caya. 2007. Journal of Hydrometeorology, 8(5), 969-988.
⁽⁶⁾ IPCC. 2007. G.A. Meehl, T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver et Z.-C. Zhao. Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, chapter Global Climate Projections. Cambridge University Press Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Signification des sigles :

AAC : Agriculture et Agroalimentaire Canada
 EC : Environnement Canada
 INRS-ETE : Institut national de la recherche scientifique - Centre Eau Terre Environnement
 MDDEP : ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs

NARCCAP : North American Regional Climate Change Assessment Program
 PCMDI : Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison
 SOPFIM : Société de protection des forêts contre les insectes et les maladies

Annexe 7

Compte-rendu de l'atelier de consultation du 10 mars 2011

Atelier de consultation avec les usagers de l'Atlas agroclimatique du Québec

10 mars 2011

Hôtel et Suites Le Dauphin, Drummondville

Résumé des discussions

Commentaires généraux sur l'atelier :

- La formule fonctionne bien : 4 groupes = à conserver. Ajuster le temps en fonction du nombre de personnes.
- Le fait d'être le lendemain du colloque permet aux participants qui étaient présents au colloque d'approfondir leurs questions.
- Belle occasion de consulter « en personne » les gens de terrain et ça permet d'aller plus loin dans les discussions.
- Les participants étaient très intéressés par les sujets.
- Les interventions des conseillers basées sur leur connaissance et leur expérience vont permettre de mieux orienter le projet.
- Les questions générales adressées par les animateurs en début d'atelier représentaient une bonne porte d'entrée avant d'aborder les sujets plus pointus.
- Une phase 2 sera utile pour le développement de nouveaux indices plus appropriés.

Atelier « Indices agroclimatiques » :

Par René Audet et Isabelle Duchesne de Ortiz

L'interprétation et l'utilisation des indices, c'est facile, sauf :

- Degrés-jours non linéaires
- Degrés-jours de froid endurcissement (pour prairies, vivaces, plantes ligneuses).

Pour ces indices, il y aura un appui à faire aux usagers (les informer et les former).

En suivi : la diffusion des degrés-jours non linéaires ne sera pas intégrée dans cette version de l'Atlas. Pour les degrés-jours de froid endurcissement, cet indice sera conservé, puisque c'est la façon d'exprimer la rusticité. Cependant, cet indice nécessitera beaucoup d'explications.

Pour les UTM : bien décrire les indices et leur méthode de calcul (ex. : date de début et de fin).

En suivi : chaque indice sera accompagné d'une fenêtre explicative.

Renommer le terme bilan hydrique par :

- Déficit ou indice hydrique.

ETP = pas utile; à retirer.

Préparé par *Denise Bachand, chargée de projets, CRAAQ*

Indices suggérés pour une phase 2 du projet :

- Bilan hydrique
- Indice d'assèchement (s'assurer de comprendre la définition; indice relié à la coupe des foins)
- Humidité relative
- Date de gel (élaguer dans le négatif et en ajouter au-dessus de « 0 » du style « seuils de mortalité »).

Atelier « Analyse des données historiques » :

Par Catherine Savard et Paul Brouillette

- Les cartes des normales des indices sont ce qu'il y a de plus pertinent dans le matériel présenté aujourd'hui.
- Les cartes sont belles, mais attention aux couleurs foncées.
- On suggère de conserver les cours d'eau en bleu et de ne pas utiliser le bleu sur les cartes (même si on montre des précipitations).
- L'arrière-plan des régions administratives peut être conservé.
- Légende : la graduation optimale est de 50 mm pour les indices hydriques. Choisir 8 niveaux de couleurs et conserver la même gamme de couleur, quel que soit l'indice.
- Pour les niveaux de probabilité, conserver 20 %, 50 % et 80 % et garder la même échelle pour comparer les 3 types de cartes.
- Le niveau de probabilité n'est pas une notion très bien comprise. On suggère d'utiliser plutôt le terme « 8 années sur 10 » accompagné d'une phrase explicative dans le titre.
- Cartes avec les écarts relatifs et absolus : ne pas les mettre, mais juste montrer les cartes (ex. : la région avec les indices de gel). On pourrait mentionner dans une fenêtre que ça peut varier d'un point à un autre.
- La carte de l'ETP n'a pas été jugée utile par les utilisateurs. Ces derniers préféreraient avoir le bilan hydrique qui est un meilleur indice. Ou bien le mettre, mais pas tout seul. Par exemple, mettre « Précipitations » ou « Précipitations moins ETP ».
- Sur le Web : les participants aimeraient avoir le nom des villes, des municipalités, des régions administratives, et les points d'eau. Ils aimeraient aussi que les propriétaires de stations soient identifiés.

Atelier « Analyse des tendances du passé récent » :

Par Alain Mailhot et Anne Blondlot

On constate parmi les participants une perception d'un réchauffement et d'un allongement de la saison de croissance depuis les 20 dernières années. Cette perception est basée sur leurs observations (par exemple : modifications constatées dans les ennemis des cultures au Québec, redoux hivernaux plus fréquents, etc.).

Une seconde perception est ressortie, soit l'augmentation de la variabilité interannuelle et intra-annuelle au cours de cette même période, accompagnée d'extrêmes plus fréquents, mais aussi, pour certains, plus intenses.

En ce qui concerne l'utilité des tendances pour les usagers, il y a consensus autour du fait que, d'un point de vue strictement opérationnel, ce sont les cartes actualisées des normales qui seront les plus utiles pour eux, car ils sont le plus souvent confrontés à des décisions à très court terme du type « quelle variété mettre en place cette année ». L'information sur les

tendances leur semble toutefois intéressante et pertinente dans certaines situations (par exemple : certaines décisions stratégiques d'orientation d'entreprise impliquant des investissements importants) et mérite à ce titre d'être diffusée via l'Atlas agroclimatique. Les usagers souhaitent cependant que les informations sur les tendances diffusées via l'Atlas le soient avec prudence afin d'éviter de mauvaises interprétations et utilisations.

Voici des solutions proposées :

- Présenter les données comme un outil de sensibilisation.
- Diffuser une information qualitative des tendances plutôt que les chiffres des amplitudes observées (tendance significative ou non? Si oui, à la hausse ou à la baisse – représentation graphique et/ou cartographie des résultats).
- Insérer une rubrique d'aide présentant succinctement la démarche utilisée et les limites des résultats obtenus (incluant différents graphiques présentés par Alain Mailhot qui illustrent l'importance de la longueur des séries de données).

Suggestions pour une phase 2 du projet :

- Développement d'indices qui permettent d'étudier les tendances de la variabilité interannuelle mais aussi intra-annuelle pour vérifier si elles ont réellement augmenté, car ces écarts par rapport à la moyenne sont très préjudiciables à l'économie agricole.
- Répartition de cumuls de pluie dans l'année plutôt que des moyennes de pluie; voir si cette répartition a changé au cours du passé récent.
- Développement des indices qui tiennent compte de la phénologie des plantes. Par exemple, faire un lien entre les cumuls de pluie cités précédemment et le développement phénologique de la culture, car la répartition de la pluie dans le cycle de développement de la culture est très important.
- Heures d'ensoleillement pour les cultures en serre, la maturité de certaines cultures, les estimations de rendement.
- Vitesse et direction des vents notamment pour les insectes.
- Couverture de neige au sol en lien avec la survie des insectes en hiver ou encore la survie des plantes pérennes.

Atelier « Scénarios climatiques » :

Par Line Bourdages et Diane Chaumont

- Les opinions sont partagées quant à l'utilité des scénarios climatiques (horizon trop éloigné, pas utile au quotidien, mais utile pour la planification à long terme).
- Du côté terminologique, la distinction entre variabilité naturelle et changement climatique n'est pas bien comprise, tout comme celle entre un scénario de climat futur et un scénario de changement climatique.
- Pour la présentation des résultats, les préférences sont partagées entre la carte du « changement projeté » et celle du « climat futur ».
- Il y a confusion entre les différentes utilisations de la moyenne et de la médiane.
- On suggère de simplifier la terminologie et de limiter le nombre de cartes.

Solution proposée :

Présenter les scénarios inférieur et supérieur de « changement projeté », accompagnés de la carte des normales climatiques.

Annexe 8

Programme des ateliers de formation des 18 et 19 avril 2012



Invitation à un atelier de formation – Le nouveau site Atlas agroclimatique du Québec

| 18 avril 2012 | <u>HORAIRE</u> | 19 avril 2012 |
|----------------|---|----------------|
| 9 h 30 | Mot de bienvenue (René Audet, AAC) et explication du déroulement de l'activité (Julie Drapeau, MDDEP) | 13 h 30 |
| 9 h 35 | Présentation générale du site (René Audet, AAC) | 13 h 35 |
| 9 h 40 | Démonstration des fonctionnalités de l'interface du site avec un indice agroclimatique comme exemple <ul style="list-style-type: none">- Climat actuel (René Audet, AAC)- Tendances (René Audet, AAC)- Climat futur (Hélène Côté, Ouranos) <p>Les participants pourront poser leurs questions après chaque thème</p> | 13 h 40 |
| 10 h 30 | Indices IDF (Anne Blondlot, Ouranos) Période de questions | 14 h 30 |
| 10 h 35 | Cartes interactives du WeatherScope (Paul Brouillette, SOPFIM) Période de questions | 14 h 35 |
| 11 h 05 | Fin de l'activité | 15 h 05 |

INSCRIPTION OBLIGATOIRE

Prière de vous inscrire d'ici le 4 avril 2012.