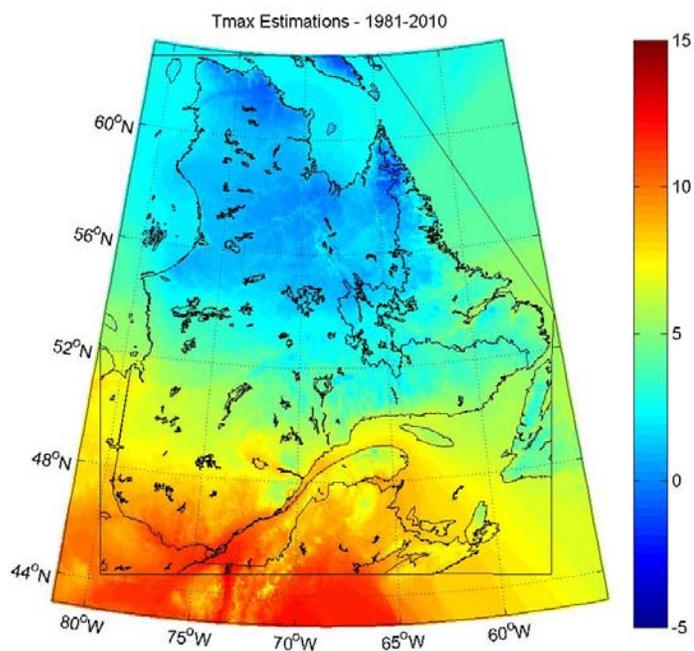


Guide d'utilisation (2016)
**Grilles climatiques quotidiennes
du Programme de surveillance
du climat du Québec**

Version 1.2



Coordination et rédaction

Cette publication a été réalisée sous la coordination de la Direction du suivi de l'état de l'environnement du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC).

Renseignements

Pour tout renseignement, vous pouvez communiquer avec le service Info-Climat.

Téléphone : 418 521-3820, poste 4579

Télécopieur : 418 643-9591

Courriel : Info-Climat@mdelcc.gouv.qc.ca

Internet : www.mdelcc.gouv.qc.ca

Courrier : Service Info-Climat

Service de l'information sur le milieu atmosphérique
Direction du suivi de l'état de l'environnement
Ministère du Développement durable, de l'Environnement
et de la Lutte contre les changements climatiques
675, boulevard René-Lévesque Est, 7^e étage
Québec (Québec) G1R 5V7

Référence à citer :

BERGERON, Onil (2016). Guide d'utilisation 2016 - *Grilles climatiques quotidiennes du Programme de surveillance du climat du Québec, version 1.2*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN xxxxxxxx (PDF), 33 p.

Dépôt légal – 2016

Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2016

ISBN xxxxxxxxxxxx (PDF)

© Gouvernement du Québec, 2016

RÉALISATION

Rédaction

Onil Bergeron, Ph. D.
Direction du suivi de l'état de l'environnement, MDDELCC

Collaboration spéciale

Simon Lachance-Cloutier – Soutien technique et scientifique
Direction de l'expertise hydrique, MDDELCC

Révision scientifique

Bernard Caron
Pierre-Yves St-Louis
Éric Larrivée
Direction du suivi de l'état de l'environnement, MDDELCC

Images de la page couverture

MDDELCC

Mots-clés

Climat, température, précipitation, Programme de surveillance du climat, Québec, interpolation, krigeage, données sur grille, base de données NetCDF, variance d'interpolation, validation croisée.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	1
Données sources	1
Interpolation	2
Domaine spatio-temporel.....	2
Interpolation	2
Transformation et valeurs nulles.....	3
Autres traitements.....	3
Qualité des estimations.....	4
Validation croisée	4
Limites d'utilisation.....	5
Base de données NetCDF	6
Références.....	7

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Instruments de mesure et priorité des définitions de données utilisées par phénomène.	8
Tableau 2 Domaine spatio-temporel d'interpolation et résolution.	8
Tableau 3 Paramètres servant à l'estimation des variogrammes.	8
Tableau 4 Critères de validation.	9
Tableau 5 Description des champs de la base de données NetCDF.....	10

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Carte de la localisation des stations pour la période 1961-1970 pour les précipitations totales (PT) et les températures minimale (Tmin) et maximale (Tmax). L'échelle de couleurs représente la proportion de la période pour laquelle des données valides de la station ont été utilisées.	11
Figure 2	Carte de la localisation des stations pour la période 1971-1980 pour les précipitations totales (PT) et les températures minimale (Tmin) et maximale (Tmax). L'échelle de couleurs représente la proportion de la période pour laquelle des données valides de la station ont été utilisées.	12
Figure 3	Carte de la localisation des stations pour la période 1981-1990 pour les précipitations totales (PT) et les températures minimale (Tmin) et maximal (Tmax). L'échelle de couleurs représente la proportion de la période pour laquelle des données valides de la station ont été utilisées.	13
Figure 4	Carte de la localisation des stations pour la période 1991-2000 pour les précipitations totales (PT) et les températures minimale (Tmin) et maximale (Tmax). L'échelle de couleurs représente la proportion de la période pour laquelle des données valides de la station ont été utilisées.	14
Figure 5	Carte de la localisation des stations pour la période 2001-2010 pour les précipitations totales (PT) et les températures minimale (Tmin) et maximale (Tmax). L'échelle de couleurs représente la proportion de la période pour laquelle des données valides de la station ont été utilisées.	15
Figure 6	Carte de la localisation des stations pour la période 2011-2014 pour les précipitations totales (PT) et les températures minimale (Tmin) et maximale (Tmax). L'échelle de couleurs représente la proportion de la période pour laquelle des données valides de la station ont été utilisées.	16
Figure 7	Diagramme en boîte des critères de validation pour les précipitations totales quotidiennes estimées aux stations au sud du 50 ^e parallèle pour les années 1961, 1971, 1981, 1991, 2001 et 2011. La boîte est délimitée par les 1 ^{er} et 3 ^e quartiles et contient la valeur médiane en rouge. Les moustaches s'étendent de 1,5 fois l'écart interquartile depuis le quartile le plus près tandis qu'au-delà, les valeurs extrêmes sont indiquées en rouge. Les valeurs extrêmes au-delà des pointillés ont été rapportées dans cet intervalle aux fins de représentation visuelle.	17

Figure 8	Diagramme en boîte des critères de validation pour la température minimale totale quotidienne estimée aux stations au sud du 50° parallèle pour les années 1961, 1971, 1981, 1991, 2001 et 2011. Voir la figure 1 pour la définition des symboles.	18
Figure 9	Diagramme en boîte des critères de validation pour la température maximale totale quotidienne estimée aux stations au sud du 50° parallèle pour les années 1961, 1971, 1981, 1991, 2001 et 2011. Voir la figure 1 pour la définition des symboles.	19
Figure 10	Diagramme en boîte des critères de validation pour les précipitations totales quotidiennes estimées aux stations au nord du 50° parallèle pour les années 1961, 1971, 1981, 1991, 2001 et 2011. Voir la figure 1 pour la définition des symboles.	20
Figure 11	Diagramme en boîte des critères de validation pour la température minimale totale quotidienne estimée aux stations au nord du 50° parallèle pour les années 1961, 1971, 1981, 1991, 2001 et 2011. Voir la figure 1 pour la définition des symboles.	21
Figure 12	Diagramme en boîte des critères de validation pour la température minimale totale quotidienne estimée aux stations au nord du 50° parallèle pour les années 1961, 1971, 1981, 1991, 2001 et 2011. Voir la figure 1 pour la définition des symboles.	22
Figure 13	Carte des trois régions du domaine spatial : les points de grille à l'intérieur du Québec au sud du 50° parallèle (Sud) et au nord du 50° parallèle (Nord) et ceux hors Québec (HorsQc).	23
Figure 14	Diagramme en boîte du 5 ^e centile, de la médiane et du 95 ^e centile par année pour les mois d'été (juin, juillet et août) de la variance d'interpolation des précipitations totales (colonne de gauche) et des températures minimale (centre) et maximale (droite) pour les trois régions de la figure 7. Voir la figure 1 pour la définition des symboles.	24
Figure 15	Diagramme en boîte du 5 ^e centile, de la médiane et du 95 ^e centile par année pour les mois d'hiver (janvier, février et mars) de la variance d'interpolation des précipitations totales (colonne de gauche) et des températures minimale (centre) et maximale (droite) pour les trois régions de la figure 7. Voir la figure 1 pour la définition des symboles.	25

Introduction

Le Service de l'information sur le milieu atmosphérique (SIMAT) de la Direction du suivi de l'état de l'environnement (DSEE) du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) gère le Programme de surveillance du climat du Québec¹ (PSC), qui assure la collecte, le traitement, la validation, l'archivage et la diffusion de données climatologiques. La production de données sur grille, c'est-à-dire l'estimation de valeurs par interpolation aux nœuds d'un quadrillage fixe, est un nouveau produit que le SIMAT a créé pour répondre à la demande de sa clientèle. Le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) a collaboré à la création de ce produit afin de répondre à ses besoins de modélisation hydrologique.

Le présent document, qui accompagne la base de données sur grille, est un guide qui permettra une utilisation éclairée de ce produit. Il précise la méthodologie adoptée pour l'estimation des données par interpolation et les paramètres de la base de données NetCDF.

La version 1.2 des données sur grille concerne les précipitations totales quotidiennes (solides et liquides), les températures minimale et maximale quotidiennes et la variance d'interpolation associée à chacun de ces trois phénomènes.

Données sources

Les mesures prises aux stations avec observateurs et aux stations automatiques du PSC ont servi de données d'observation pour l'interpolation. Les valeurs quotidiennes correspondent à la valeur de la définition de données prioritaire disponible à chaque pas de temps. Les définitions de données par phénomènes et leur niveau de priorité sont détaillées au tableau 1. Les valeurs quotidiennes réfèrent à la journée climatologique telle que définie par le PSC². Les stations utilisées par décennies sont illustrées aux figures 1 à 6.

Le contrôle de qualité de ces données se fait par un processus en deux étapes. La première étape, nommée « prévalidation », consiste en la détection automatique de valeurs douteuses en fonction de plusieurs critères : plage de valeurs raisonnables, séquence de valeurs constantes, différence attendue entre valeurs successives, entre deux instruments à une même station ou entre stations voisines. À la seconde étape, l'équipe technique de validation atteste la vraisemblance des données jugées douteuses par une analyse graphique et cartographique des définitions de données en cause ou de leurs parents, c'est-à-dire les définitions de données servant au calcul des valeurs quotidiennes. Pour plus de détails, on peut consulter le *Manuel d'instruction pour la validation de données météorologiques* (MDDELCC 2013).

À ces stations du PSC, on a ajouté 41 stations d'Environnement Canada³ situées au nord du 49^e parallèle afin d'assurer une couverture spatiale minimale du Nord du Québec (figures 1 à 6). Les données quotidiennes issues de ces stations sont basées

¹ <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/climat/surveillance/index.asp>

² <http://www.mddep.gouv.qc.ca/climat/surveillance/sommaire-donnees.htm#journee>

³ http://climate.weather.gc.ca/index_f.html#access

sur la journée civile plutôt que sur la journée climatologique, et ce, pour l'ensemble de ces stations avant 2010 et pour quelques-unes seulement par la suite.

Interpolation

Domaine spatio-temporel

Le domaine spatial couvre tout le Québec, y compris les portions hors Québec des bassins versants de la rivière des Outaouais et de la rivière Richelieu. Le domaine temporel total correspond à la période qui s'étend du 1^{er} janvier 1961 à ce jour. Il englobe trois périodes climatologiques (1961-1990, 1971-2000 et 1981-2010) ainsi que la période la plus récente. De façon générale, les données récentes sont ajoutées mensuellement. Les détails sont fournis au tableau 2.

Interpolation

Pour fournir une estimation de la variance d'interpolation à chaque point de grille, il est nécessaire d'employer une méthode probabiliste. Le krigeage a été choisi, car cette méthode fournit les meilleures estimations non biaisées (Wackernagel 2010). Plus spécifiquement, c'est le krigeage ordinaire qui est utilisé, car il ne requiert pas de connaître la moyenne de l'ensemble du domaine spatial ni de présumer de sa stationnarité. Il permet de tenir compte d'une moyenne locale en utilisant un voisinage d'interpolation restreint et il est relativement facile à implanter en termes de traitement informatique (Li et Heap 2014).

Le krigeage correspond à une moyenne pondérée des valeurs mesurées dans le voisinage du point à estimer. Les poids sont déterminés par le modèle variographique théorique utilisé pour représenter la structure spatiale des observations. Les variogrammes peuvent être construits pour une période d'intégration plus ou moins longue (jour, mois, année, etc.) selon les objectifs et la stabilité des résultats. De même, la distance de séparation maximale entre des paires de points doit être définie en fonction du domaine spatial échantillonné et de la nature des phénomènes en cause.

Des tests préalables menés sur un sous-ensemble de données ont permis de préciser ces différents paramètres d'interpolation en évaluant la qualité des estimations et des variances d'interpolation par validation croisée et par appréciation visuelle des résultats (Bergeron 2014). Ces paramètres sont présentés au tableau 3. En somme, pour construire le variogramme, la distance maximale de séparation entre paires de points a été limitée à 200 kilomètres, étant donné que cette distance produit les résultats les plus satisfaisants et que les précipitations et la température au pas de temps quotidien montrent une cohérence spatiale plus marquée sur une étendue inférieure à l'échelle synoptique (Schuurmans et coll. 2007). Le modèle sphérique a été retenu pour caractériser le variogramme observé puisqu'il est abondamment utilisé dans la littérature et que le choix du modèle variographique théorique affecte peu les valeurs finales estimées et leur variance d'interpolation. Le variogramme est construit pour chaque journée séparément, de façon à ce que les valeurs finales estimées et leur variance reflètent les conditions propres à la journée estimée. Enfin, le voisinage est défini comme les 10 points dont la distance euclidienne par rapport au point à estimer sont les plus faibles, indépendamment de la direction. Pour simplifier l'opérationnalisation de

cette méthodologie, les mêmes paramètres d'interpolation sont utilisés pour les précipitations totales et pour les températures minimale et maximale quotidiennes.

Les paramètres variographiques (effet de pépité, pallier et portée) ont été estimés par la méthode de moindre carré grâce à la fonction `variogramfit`⁴ pour Matlab (R2011a, The Mathworks, Natick, MA, États-Unis). Cette méthode permet l'utilisation de poids attribués en fonction de la semi-variance et de la distance de séparation, de manière à accroître l'influence des points pour de faibles distances de séparation (Webster et Oliver 2007, p. 104-105). Toutefois, la méthode sans pondération a été retenue, car elle produit les résultats les plus stables pour une utilisation automatisée.

Les calculs d'interpolation sont faits par l'application `gstat` version 2.5.1 (Pebesma 2014) appelée par Matlab à l'aide des fonctions de l'ensemble `mGstat` version 0.991 (Hansen 2011). L'option *average* de `gstat` est ajustée à 1, de façon à ce que les points très rapprochés (environ 100 mètres) soient considérés comme un seul point et que leur valeur moyenne soit utilisée.

Transformation et valeurs nulles

Bien que la distribution normale des données ne soit pas nécessaire et qu'elle puisse être présumée, l'interpolation de valeurs de précipitations peut représenter un cas particulier où la distribution est susceptible d'être fortement asymétrique à droite. Pour faire face à cette situation, les valeurs nulles peuvent être retirées, une transformation transgaussienne peut être utilisée ou une combinaison de ces deux méthodes peut être appliquée (Schuurmans et coll. 2007, Verworn et Haberlandt 2011, Erdin et coll. 2012). Une approche par double krigeage a également été élaborée pour déterminer les régions sans précipitations et les quantités de précipitations reçues ailleurs (Teo et Grimes 2007). Étant donné qu'aucun consensus ne se dégage de la littérature consultée, aucune transformation n'est appliquée et les valeurs nulles de précipitations sont utilisées.

Les coordonnées des stations sont projetées avant l'interpolation, de façon à ce que les distances linéaires puissent être utilisées pour la construction du variogramme. On applique la projection conique conforme de Lambert en utilisant des parallèles de référence à 46 et à 60° et une longitude centrale à 68,5° O ainsi que l'ellipsoïde GRS80. L'ensemble `m_map1.4` pour Matlab⁵ a servi à calculer les projections.

Autres traitements

Pour les températures minimale et maximale, l'interpolation est faite sur la température normalisée au niveau des mers. Pour ce faire, un gradient thermique correspondant à 0,5 °C par 100 mètres d'altitude est soustrait aux valeurs observées avant l'interpolation et additionné aux estimations après l'interpolation. L'altitude des observations est tirée des métadonnées des stations telles qu'enregistrées dans la base de données du PSC. L'altitude des points de grille correspond à une moyenne spatiale sur une cellule de 0,1° X 0,1° du modèle numérique d'élévation à 1 : 250 000 de la cartothèque du Ministère.

⁴ <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/25948-variogramfit/content/variogramfit.m>

⁵ <http://www.eos.ubc.ca/~rich/map.html>

En post-traitement, deux modifications peuvent être apportées aux estimations d'interpolation. La première consiste à forcer les estimations de la température maximale à une valeur égale à la température minimale pour les points où la température maximale est inférieure à la température minimale. La seconde concerne les précipitations totales et consiste à forcer à zéro toute valeur inférieure à zéro.

Dans les cas où aucune précipitation n'est enregistrée pour l'ensemble des points d'observation d'une journée donnée, toutes les estimations sont ajustées à zéro. Il en est de même lorsque l'estimation des paramètres du variogramme produit un palier égal à zéro, ce qui correspond à une journée où seulement un ou quelques points d'observation montrent des valeurs non nulles, mais très faibles (< 1 mm).

Qualité des estimations

Validation croisée

Afin de quantifier la justesse et la précision des estimations et des variances d'interpolation, des critères de qualité issus d'une validation croisée ont été calculés pour les années 1961, 1971, 1981, 1991, 2001 et 2011. Les critères de validation sont définis au tableau 4.

Pour les précipitations totales mesurées aux stations sous le 50^e parallèle (figure 7), les estimations montrent une erreur moyenne (ME) inférieure à $\pm 0,1$ millimètre dans presque tous les cas. La racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) est généralement inférieure à 4 millimètres (3^e quartile < 4 mm). Quant à la variance d'interpolation (SEavg), elle est généralement inférieure à 4 millimètres (3^e quartile < 4 mm) et elle est légèrement surestimée (RMSSE médiane > 1).

Pour la température minimale mesurée aux stations sous le 50^e parallèle (figure 8), les estimations montrent une erreur moyenne (ME) inférieure à $\pm 0,1$ °C dans presque tous les cas. La racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) est généralement inférieure à 3 °C (3^e quartile < 3 °C). Quant à la variance d'interpolation (SEavg), elle est généralement inférieure à 3 °C (3^e quartile < 3 °C) et elle est légèrement surestimée (RMSSE médiane > 1).

Pour la température maximale mesurée aux stations sous le 50^e parallèle (figure 9), les estimations montrent une erreur moyenne (ME) inférieure à $\pm 0,1$ °C dans presque tous les cas. La racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) est généralement inférieure à 2 °C (3^e quartile < 2 °C, sauf en 1961). Quant à la variance d'interpolation (SEavg), elle est généralement inférieure à 2 °C (3^e quartile < 2 °C) et elle est légèrement surestimée (RMSSE médiane > 1). L'erreur quadratique moyenne (RMSE) et la variance d'interpolation (SEavg) sont plus faibles pour la température maximale que pour la température minimale.

Ces estimations de la justesse et de la précision des estimations au sud du 50^e parallèle représentent une limite supérieure, car elles tiennent compte des estimations dans le golfe du Saint-Laurent (la partie comprise dans les limites administratives de la province), là où le réseau de stations est presque inexistant. Ainsi, les estimations sont plus justes et précises autour du fleuve Saint-Laurent en général, et dans les basses

terres du Saint-Laurent en particulier, étant donné la haute densité du réseau d'observation.

La validation croisée aux stations au nord du 50^e parallèle montre que les estimations sont beaucoup moins justes et précises. En général, les critères de validation offrent une plus grande dispersion autour de leur valeur cible, en raison de la faible densité de stations dans le Nord du Québec (figures 1 à 6).

Limites d'utilisation

En tenant compte de la distribution des stations d'observation sur le territoire, des résultats de validation croisée et de la méthode d'interpolation utilisée, trois régions du domaine spatial ont été définies en fonction du niveau de qualité des estimations (figure 13).

La première région correspond au territoire québécois au sud du 50^e parallèle, où les estimations sont de meilleure qualité étant donné la forte densité du réseau de stations. La principale raison d'être du présent jeu de données sur grille est de couvrir la partie terrestre de cette région et de fournir des estimations pour lesquelles l'incertitude est minimisée.

La deuxième région comprend le territoire québécois au nord du 50^e parallèle, où les estimations sont de qualité moyenne puisque les stations y sont très dispersées. L'utilisation du présent jeu de données sur grille pour cette région est également possible, mais l'utilisateur doit être conscient que l'incertitude des estimations peut être relativement élevée dans les secteurs où les stations d'observation sont éloignées (> 100-200 km).

Enfin, la troisième région se situe en dehors des limites du territoire québécois, où les estimations sont de faible qualité. Comme cette région est située en dehors du domaine échantillonné, les estimations sont extrapolées au point de grille, ce qui excède les capacités de toute méthode d'interpolation. L'utilisation du jeu de données sur grille pour cette région est déconseillée dans sa version actuelle. Une version ultérieure incorporant des stations limitrophes du Québec sera élaborée pour pallier cette situation.

Pour illustrer le niveau de qualité des estimations par régions, les figures 14 et 15 présentent respectivement la variabilité des variances d'estimation en été et en hiver. Les 5^e et 95^e centiles ainsi que la médiane de tous les points d'une région et d'une année (été ou hiver) ont été compilés afin de montrer les valeurs typiques que peut prendre la variance d'estimation dans chacune des régions en fonction de la saison, et ce, pour les trois phénomènes séparément. Pour les précipitations totales, la variance d'estimation est généralement plus faible en hiver qu'en été. L'inverse est observé avec les températures maximale et minimale. La variance d'estimation est généralement plus faible pour la température maximale que pour la température minimale. Pour toutes les saisons et tous les phénomènes, la variance d'estimation est la plus faible au sud du Québec et la plus élevée en dehors du territoire québécois.

Par ailleurs, les grilles climatiques quotidiennes ont été produites pour une utilisation au pas de temps correspondant, c'est-à-dire le pas de temps quotidien. L'agrégation temporelle de ces grilles à des pas de temps supérieurs (mensuel, saisonnier, annuel ou

Commenté [BJ1]: Début nouveau texte

pluriannuel) n'est pas recommandée, car l'erreur d'interpolation est additive. Une telle erreur est minimisée lorsque l'interpolation est appliquée sur des données d'observation préalablement agrégées au pas de temps voulu. Pour obtenir des données à des pas de temps autres que quotidien, l'utilisateur devrait communiquer avec le service Info-Climat.

Commenté [BJ2]: Fin nouveau texte.

Base de données NetCDF

Le NetCDF (Network Common Data Form) « est constitué, d'une part, d'un ensemble de bibliothèques logicielles et d'autre part, d'un format de données "auto-documenté", indépendant de l'architecture matérielle qui permet la création, l'accès et le partage de données scientifiques stockées sous la forme de tableaux »⁶. La documentation pertinente se trouve sur le site web de l'Unidata Program Center⁷.

La base de données est scindée en deux fichiers .nc contenant chacun jusqu'à 30 ans de données. La base de données regroupe trois variables climatologiques et trois variables statistiques listées au tableau 5. La convention CF version 1.6⁸ a servi de base pour le nom des variables, mais les unités retenues ne sont pas celles qui sont recommandées. L'étiquette de temps réfère au nombre de jours écoulés depuis la date de référence, soit le 1^{er} janvier 1900, à minuit Heure normale de l'Est (UTC – 5 h).

L'ensemble SNCTOOLS pour Matlab⁹ a servi pour la création, l'écriture et la lecture de fichiers .nc.

Selon la demande de l'utilisateur, le fichier .nc fourni est une extraction des fichiers principaux.

⁶ <http://fr.wikipedia.org/wiki/NetCDF>

⁷ <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>

⁸ <http://cfconventions.org/Data/cf-conventions/cf-conventions-1.6/build/cf-conventions.html>

⁹ <http://mexcdf.sourceforge.net/>

Références

- BERGERON, O., 2014. *Données climatiques sur grille version 1.1 - Choix de la méthode d'interpolation.*
- ERDIN, R., C. FREI ET H. R. KÜNSCH, 2012. *Data Transformation and Uncertainty in Geostatistical Combination of Radar and Rain Gauges. Journal of Hydrometeorology*, 13:1332-1346.
- HANSEN, T. M., 2011. *mGstat.*
- LI, J. ET A. D. HEAP, 2014. *Spatial interpolation methods applied in the environmental sciences: A review. Environmental Modelling & Software*, 53:173-189.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS, 2013. *Manuel d'instructions pour la validation de données météorologiques.*
- PEBESMA, E. J., 2014. *gstat user's manual.*
- SCHUURMANS, J. M., M. F. P. BIERKENS, E. J. PEBESMA ET R. UIJLENHOET, 2007. *Automatic Prediction of High-Resolution Daily Rainfall Fields for Multiple Extents: The Potential of Operational Radar. Journal of Hydrometeorology*, 8:1204-1224.
- TEO, C.-K. ET D. I. F. GRIMES, 2007. *Stochastic modelling of rainfall from satellite data. Journal of Hydrology*, 346:33-50.
- VERWORN, A. ET U. HABERLANDT, 2011. *Spatial interpolation of hourly rainfall - effect of additional information, variogram inference and storm properties. Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15:569-584.
- WACKERNAGEL, H., 2010. *Multivariate geostatistics: an introduction with applications. 3rd edition. Springer-Verlag, Berlin*, 387 p.
- WEBSTER, R. ET M. A. OLIVER, 2007. *Geostatistics for Environmental Scientists. John Wiley & Sons, Ltd*, 330 p.

Tableaux

Tableau 1 : Instruments de mesure et priorité des définitions de données utilisés par phénomènes.

Définition de données	Instrument de mesure	Priorité
<i>Précipitations totales quotidiennes</i>		
PT000Q	Pluviomètre standard et table à neige	1
PT010Q	Nivomètre à écran de Nipher	2
PT050Q	Pluviomètre à pesée	3
PT020Q	Pluviomètre à pesée RMCQ	4
PT060Q	Pluviomètre à pesée à encodeur	5
PT090Q	Jauge de précipitation à lamelles	6
PL300Q	Pluviomètre à augets ^a	7
PL400Q	Pluviomètre à augets ^a	7 ^b
<i>Température minimale quotidienne</i>		
TAn030Q	Thermomètre à minimum ^c	1
TAn000Q	Thermistance ^d	2
TAn001Q	Thermistance ^c	3
<i>Température maximale quotidienne</i>		
TAx030Q	Thermomètre à maximum ^c	1
TAx000Q	Thermistance ^d	2
TAx001Q	Thermistance ^c	3

^a D'avril à octobre inclusivement

^b Succède au PL300Q

^c Sous abri Stevenson

^d Sous abri Gill

Tableau 2 : Domaine spatio-temporel d'interpolation et résolution.

Domaine	Minimum	Maximum	Résolution
Spatial	-81,5 ° longitude	-55 ° longitude	0,1 °
	43 ° latitude	63 ° latitude	0,1 °
Temporel	1961	présent	1 journée

Tableau 3 : Paramètres servant à l'estimation des variogrammes

Paramètre	Valeur
Distance maximale pour l'estimation du variogramme	200 km
Modèle variographique	Sphérique
Temps d'intégration variographique	Quotidien
Nombre de points de voisinage	10 stations
Poids pour l'estimation des paramètres variographiques	Aucun

Tableau 4 : Critères de validation.

Critère	Description	Définition	Cible
ME	Moyenne des erreurs	$\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Z}(s_i) - z(s_i))}{n}$	0
RMSE	Racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (<i>root mean squared error</i>)	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Z}(s_i) - z(s_i))^2}{n}}$	0
SEavg	Moyenne de l'erreur type (<i>mean kriging standard error</i>)	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \hat{\sigma}^2(s_i)}{n}}$	0
RMSSE	Racine carrée de l'erreur quadratique moyenne standardisée (<i>root mean squared standardized error</i>)	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(\hat{Z}(s_i) - z(s_i)) / \hat{\sigma}(s_i)]^2}{n}}$	1

$\hat{Z}(s_i)$: estimation; $z(s_i)$: observation; $\hat{\sigma}^2(s_i)$: variance d'interpolation; n : nombre d'observations.

Tableau 5 : Description des champs de la base de données NetCDF.

Phénomène	standard_name	cell_methods	long_name	units
<i>Variables climatologiques</i>				
Précipitations totales	precipitation	time: sum	Interval total precipitation (solid and liquid)	mm
Température minimale	air_temperature	time: min	Interval minimum surface (2m) air temperature	°C
Température maximale	air_temperature	time: max	Interval maximum surface (2m) air temperature	°C
<i>Variables statistiques</i>				
Variance d'interpolation des précipitations totales	precipitation variance	time: sum	Interval total precipitation (solid and liquid) kriging variance	mm ²
Variance d'interpolation de la température minimale	air_temperature variance	time: min	Interval minimum surface (2m) air temperature kriging variance	°C ²
Variance d'interpolation de la température maximale	air_temperature variance	time: max	Interval maximum surface (2m) air temperature kriging variance	°C ²

Figures

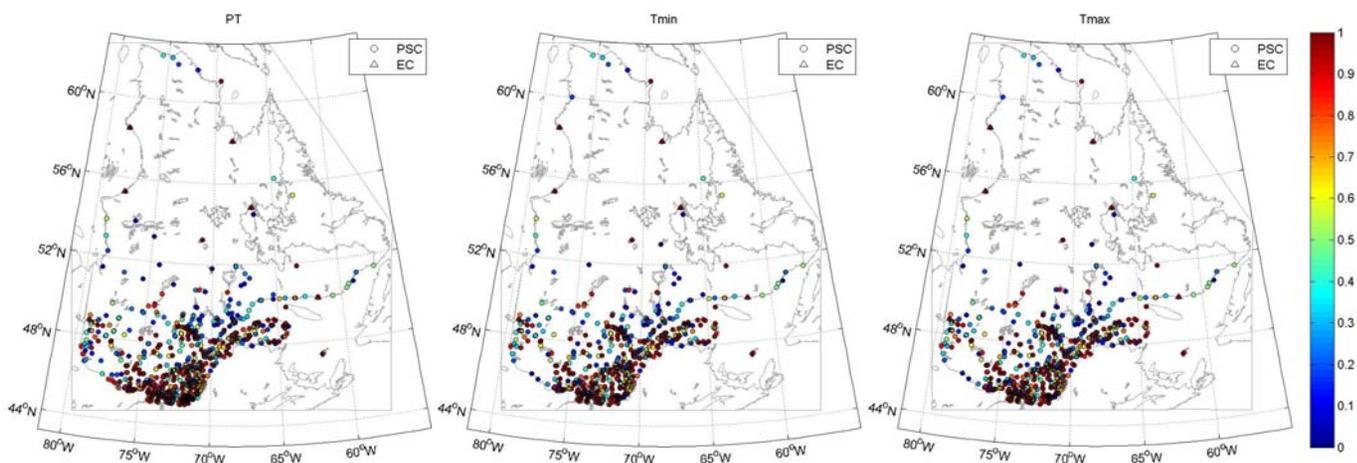


Figure 1 Localisation des stations utilisées pour la mesure des précipitations totales (PT) et des températures minimale (Tmin) et maximale (Tmax) au cours de la période 1961-1970. L'échelle de couleurs représente la proportion de la période durant laquelle des données valides de la station ont été utilisées.

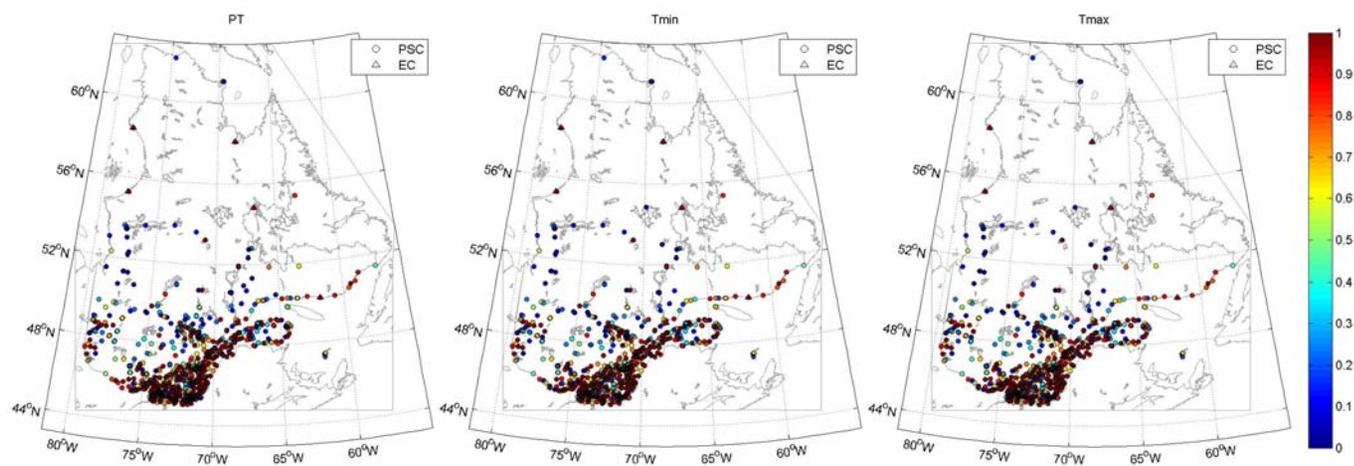


Figure 2 Localisation des stations utilisées pour la mesure des précipitations totales (PT) et des températures minimale (Tmin) et maximale (Tmax) au cours de la période 1971-1980. L'échelle de couleurs représente la proportion de la période durant laquelle des données valides de la station ont été utilisées.

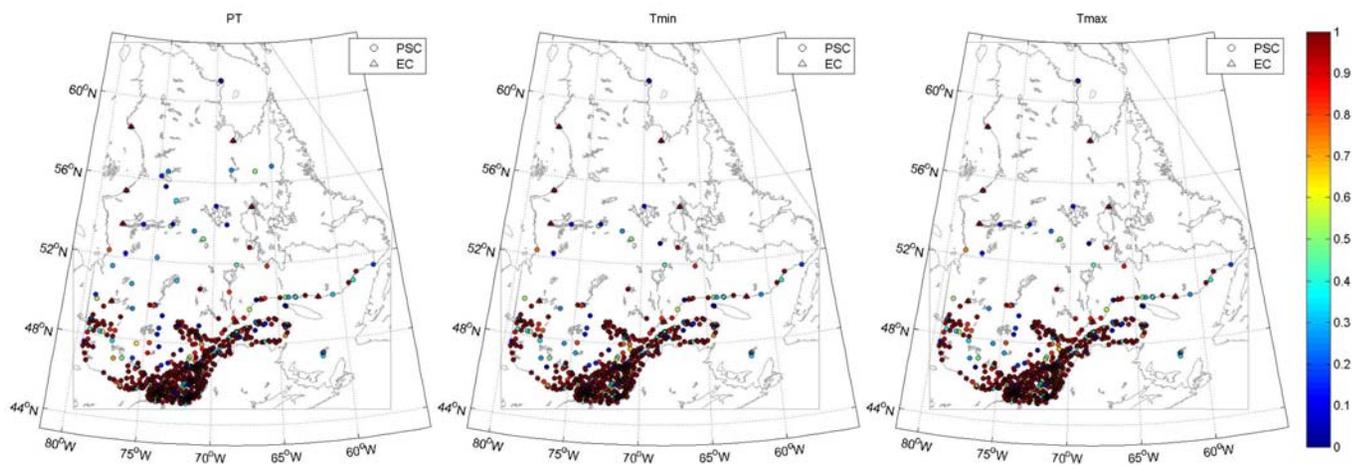


Figure 3 Localisation des stations utilisées pour la mesure des précipitations totales (PT) et des températures minimale (Tmin) et maximale (Tmax) au cours de la période 1981-1990. L'échelle de couleurs représente la proportion de la période durant laquelle des données valides de la station ont été utilisées.

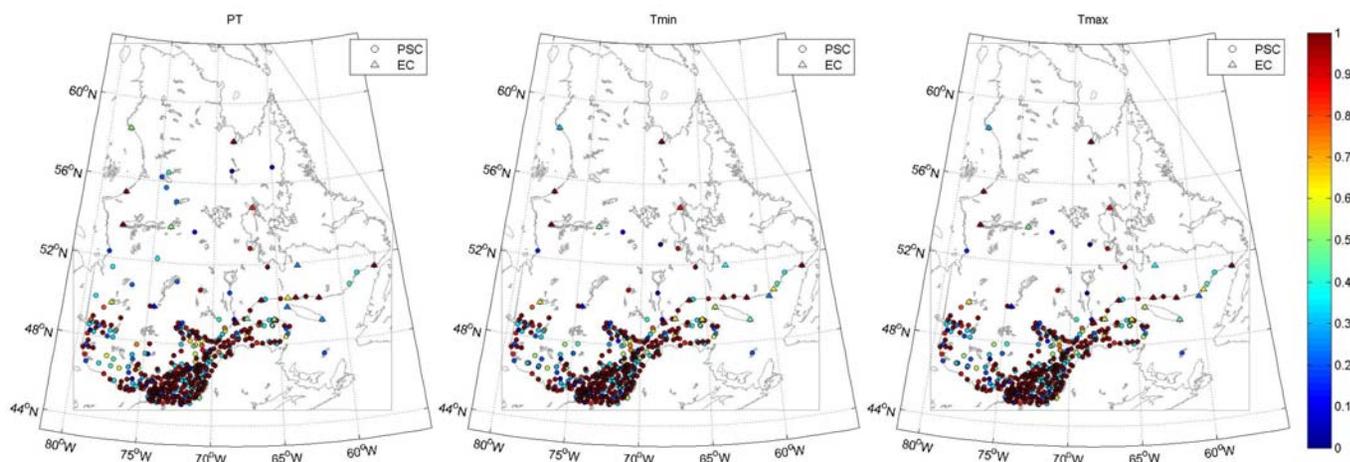


Figure 4 Localisation des stations utilisées pour la mesure des précipitations totales (PT) et des températures minimale (Tmin) et maximale (Tmax) au cours de la période 1991-2000. L'échelle de couleurs représente la proportion de la période durant laquelle des données valides de la station ont été utilisées.

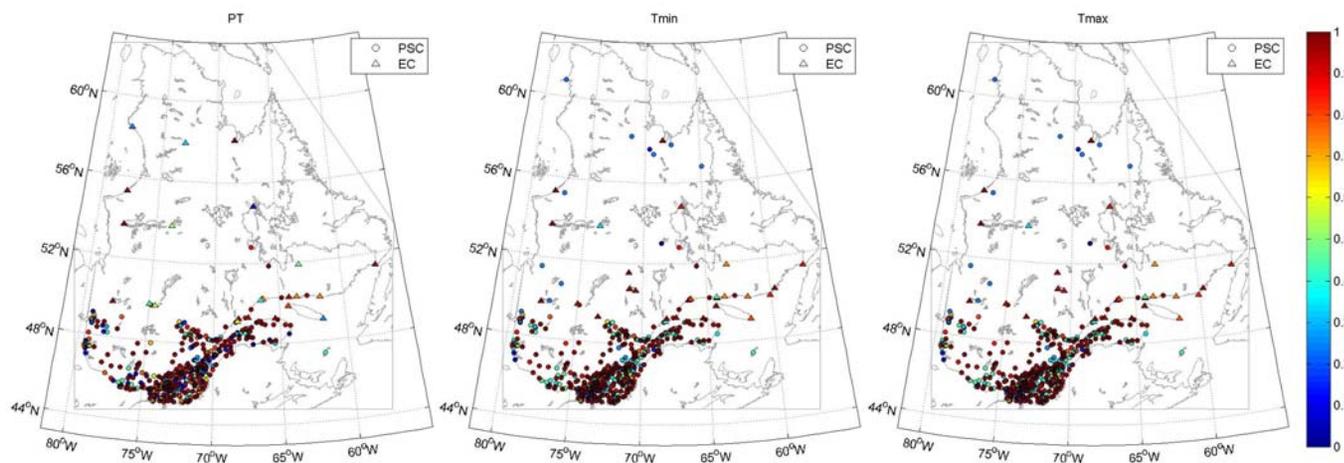


Figure 5 Localisation des stations utilisées pour la mesure des précipitations totales (PT) et des températures minimale (Tmin) et maximale (Tmax) au cours de la période 2001-2010. L'échelle de couleurs représente la proportion de la période durant laquelle des données valides de la station ont été utilisées.

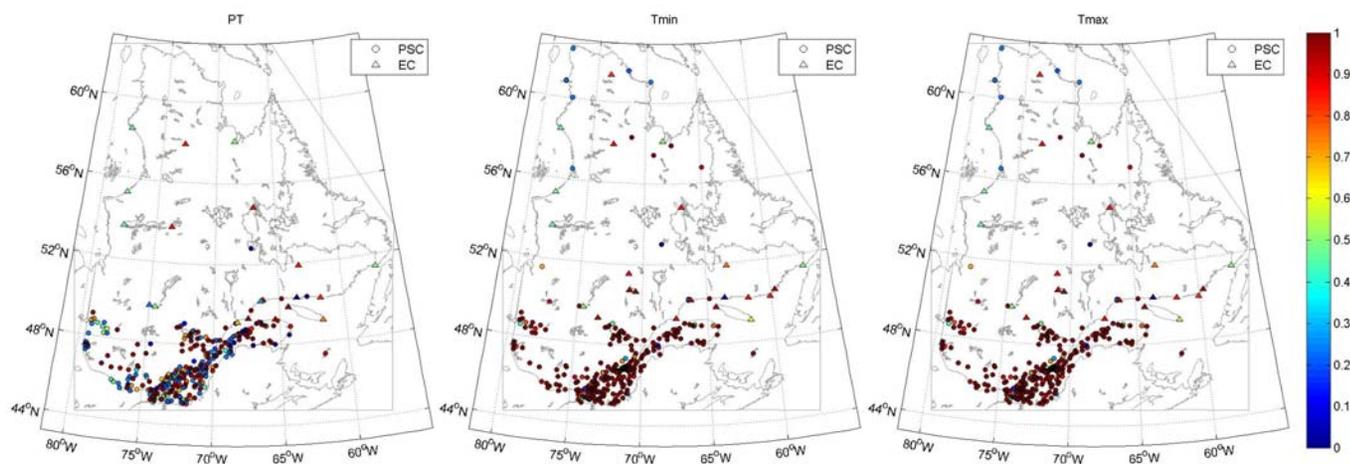


Figure 6 Localisation des stations utilisées pour la mesure des précipitations totales (PT) et des températures minimale (Tmin) et maximale (Tmax) au cours de la période 2011-2014. L'échelle de couleurs représente la proportion de la période durant laquelle des données valides de la station ont été utilisées.

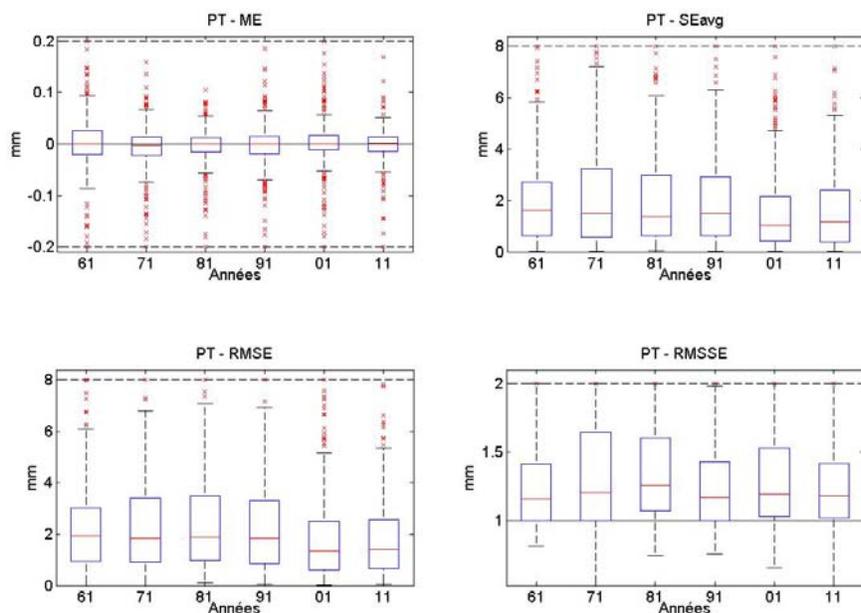


Figure 7 Diagramme en boîte des critères de validation pour les précipitations totales quotidiennes estimées aux stations au sud du 50^e parallèle pour les années 1961, 1971, 1981, 1991, 2001 et 2011. La boîte est délimitée par les 1^{er} et 3^e quartiles et contient la valeur médiane en rouge. Les moustaches s'étendent de 1,5 fois l'écart interquartile depuis le quartile le plus près tandis qu'au-delà, les valeurs extrêmes sont indiquées en rouge. Les valeurs extrêmes au-delà des pointillés ont été rapportées dans cet intervalle aux fins de représentation visuelle.

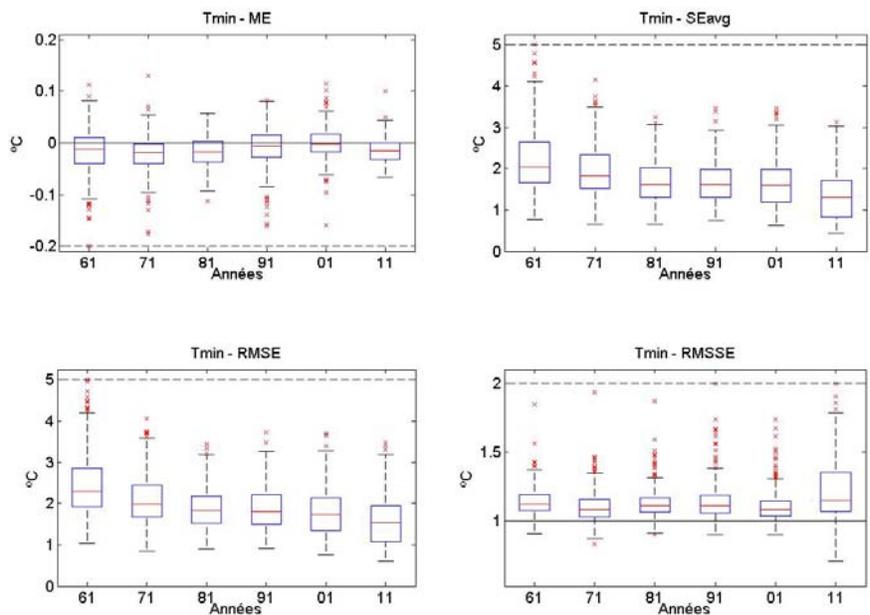


Figure 8 Diagramme en boîte des critères de validation pour la température minimale totale quotidienne estimée aux stations au sud du 50^e parallèle pour les années 1961, 1971, 1981, 1991, 2001 et 2011. Voir la figure 1 pour la définition des symboles.

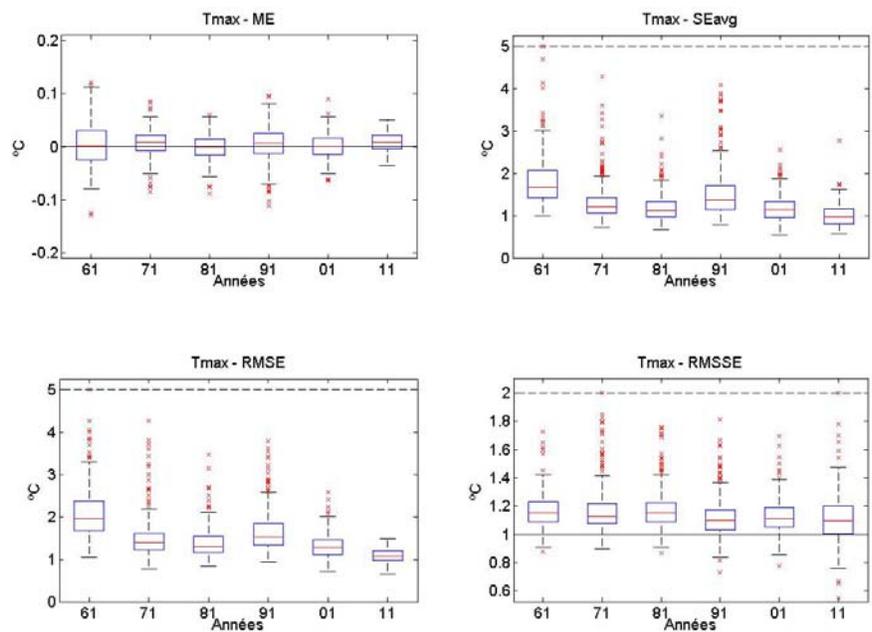


Figure 9 Diagramme en boîte des critères de validation pour la température maximale totale quotidienne estimée aux stations au sud du 50° parallèle pour les années 1961, 1971, 1981, 1991, 2001 et 2011. Voir la figure 1 pour la définition des symboles.

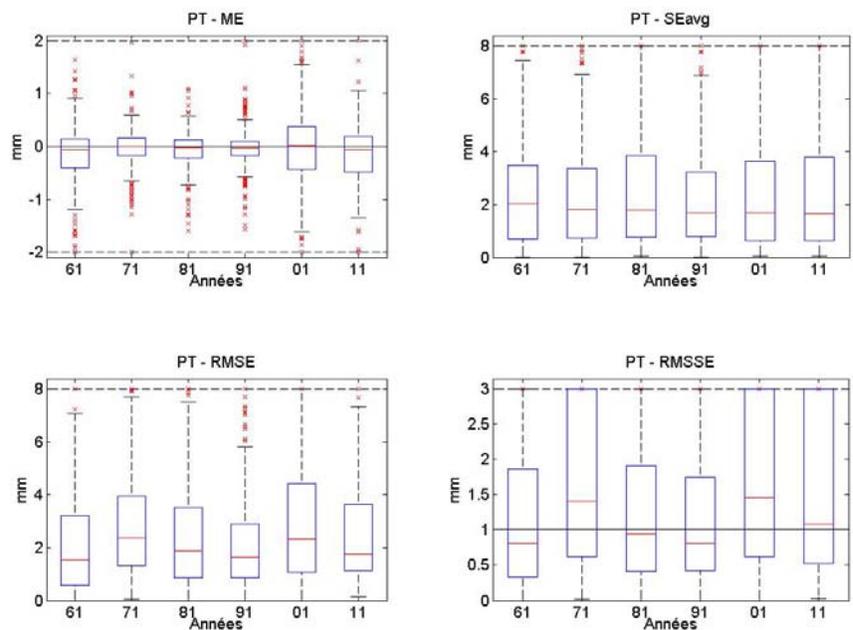


Figure 10 Diagramme en boîte des critères de validation pour les précipitations totales quotidiennes estimées aux stations au nord du 50^e parallèle pour les années 1961, 1971, 1981, 1991, 2001 et 2011. Voir la figure 1 pour la définition des symboles.

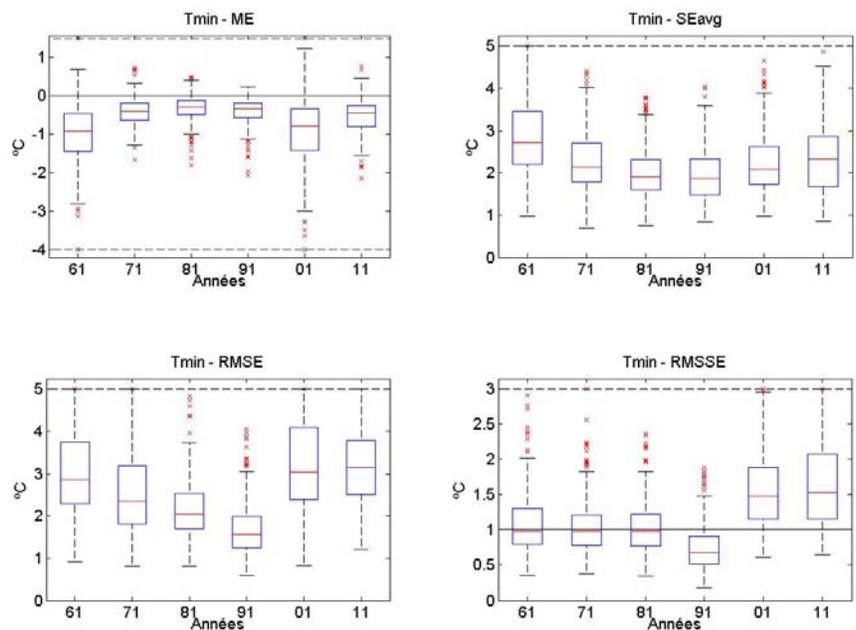


Figure 11 Diagramme en boîte des critères de validation pour la température minimale totale quotidienne estimée aux stations au nord du 50^e parallèle pour les années 1961, 1971, 1981, 1991, 2001 et 2011. Voir la figure 1 pour la définition des symboles.

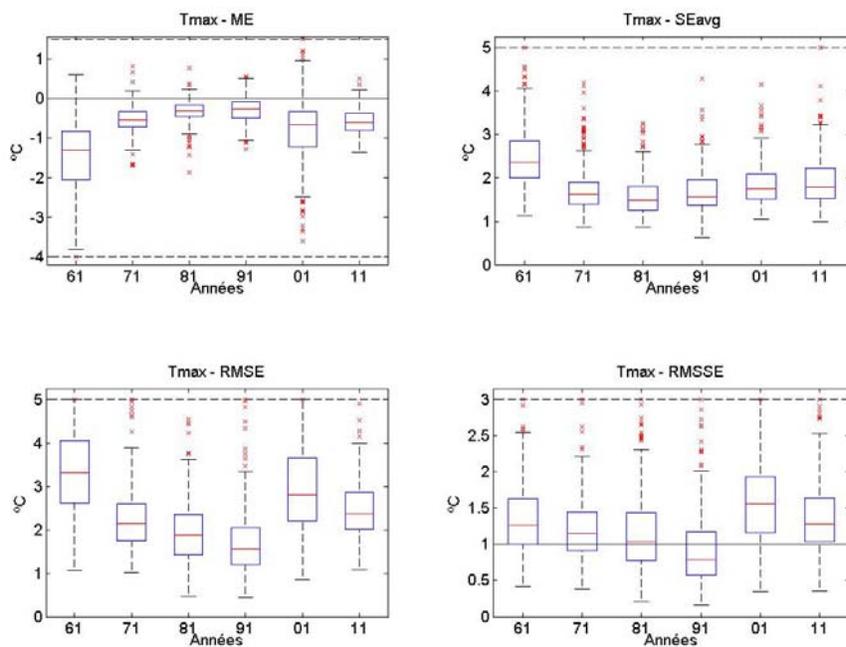


Figure 12 Diagramme en boîte des critères de validation pour la température minimale totale quotidienne estimée aux stations au nord du 50° parallèle pour les années 1961, 1971, 1981, 1991, 2001 et 2011. Voir la figure 1 pour la définition des symboles.

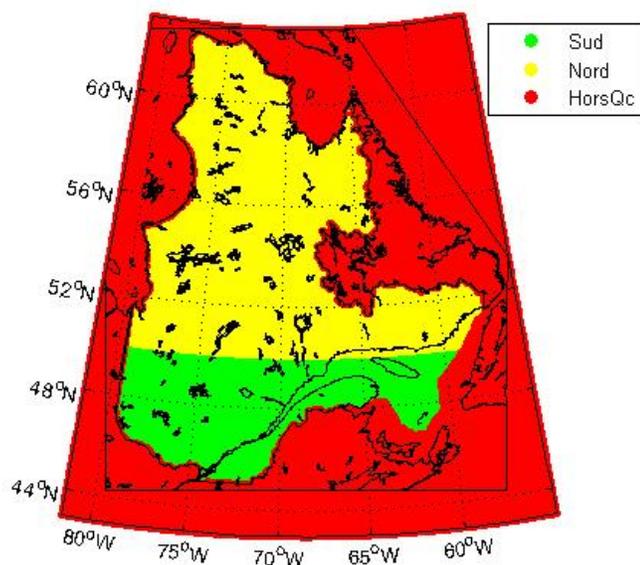


Figure 13 Carte des trois régions du domaine spatial : points de grille à l'intérieur du Québec au sud du 50° parallèle (Sud), à l'intérieur du Québec au nord du 50° parallèle (Nord) et hors Québec (HorsQc).

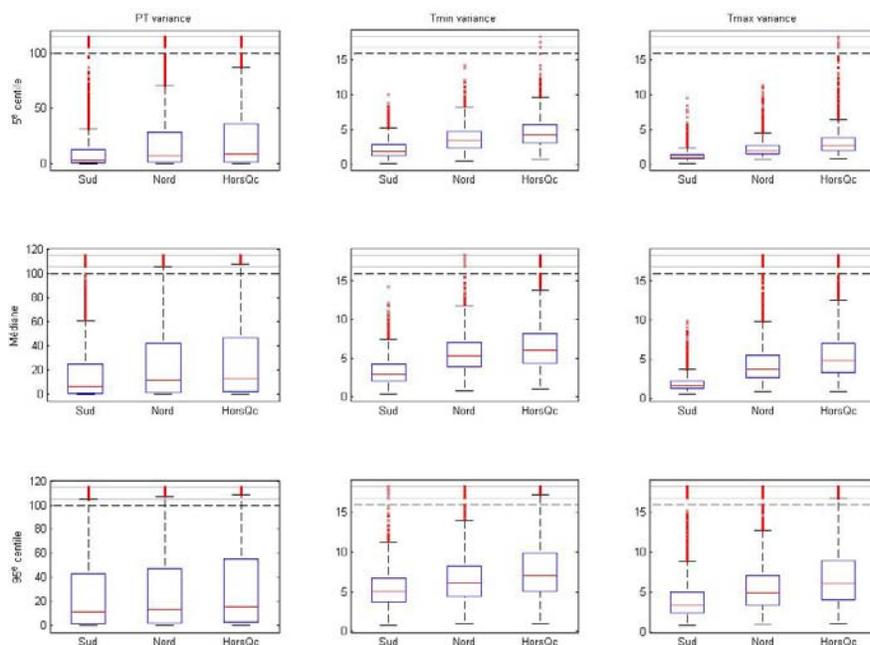


Figure 14 Diagramme en boîte du 5^e centile, de la médiane et du 95^e centile par année pour les mois d'été (juin, juillet et août) de la variance d'interpolation des précipitations totales (colonne de gauche) et des températures minimale (centre) et maximale (droite) pour les trois régions de la figure 7. Voir la figure 1 pour la définition des symboles.

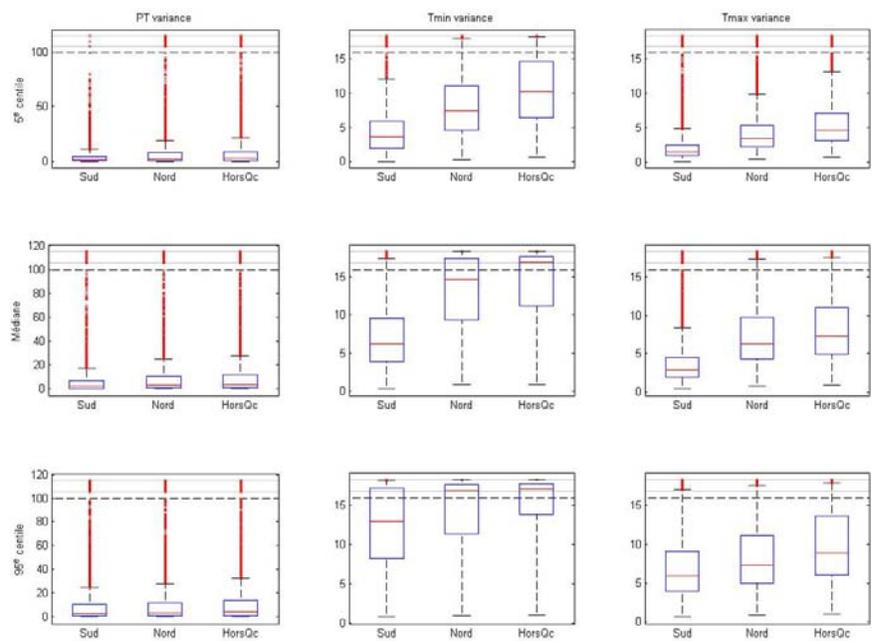


Figure 15 Diagramme en boîte du 5^e centile, de la médiane et du 95^e centile par année pour les mois d’hiver (janvier, février et mars) de la variance d’interpolation des précipitations totales (colonne de gauche) et des températures minimale (centre) et maximale (droite) pour les trois régions de la figure 7. Voir la figure 1 pour la définition des symboles.

**Développement durable,
Environnement et Lutte
contre les changements
climatiques**

Québec 