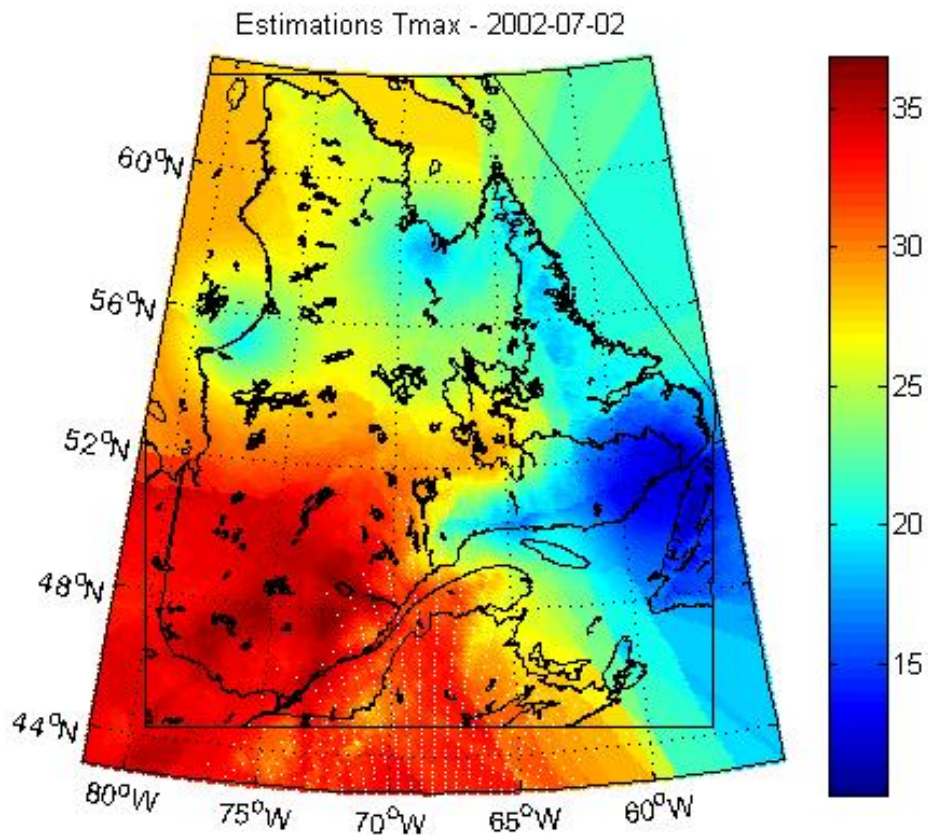


Guide d'utilisation

# Grilles climatiques quotidiennes du Réseau de surveillance du climat du Québec

Version 2



2017

### **Coordination et rédaction**

Cette publication a été réalisée sous la coordination de la Direction générale 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](mailto:Info-Climat@mdelcc.gouv.qc.ca)

Internet : [www.mdelcc.gouv.qc.ca](http://www.mdelcc.gouv.qc.ca)

Adresse : Service Info-Climat

Direction de l'information sur le milieu atmosphérique

Direction générale 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<sup>e</sup> étage

Québec (Québec) G1R 5V7

Référence à citer :

BERGERON, Onil (2017). *Grilles climatiques quotidiennes du Réseau de surveillance du climat du Québec, Version 2 - Guide d'utilisation*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction de l'information sur le milieu atmosphérique, ISBN 978-2-550-77885-1 (PDF), 27 p.

Dépôt légal – 2017

Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2017

ISBN 978-2-550-77885-1 (PDF)

© Gouvernement du Québec, 2017

## **RÉALISATION**

### Rédaction

Onil Bergeron, Ph. D.  
Direction de l'information sur le milieu atmosphérique, MDDELCC

### Révision scientifique

Bernard Caron  
Pierre-Yves St-Louis  
Éric Larrivée  
Direction de l'information sur le milieu atmosphérique, MDDELCC

### Images de la page couverture

MDDELCC

### Mots-clés

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

## 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 utilisés par phénomènes .....	8
Tableau 2 : Domaine spatio-temporel d'interpolation et résolution .....	9
Tableau 3 : Paramètres servant à l'estimation des variogrammes .....	9
Tableau 4 : Critères de validation .....	10
Tableau 5 : Description des champs de la base de données NetCDF.....	11

## LISTE DES 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.....	12
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.....	13
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.....	14
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.....	15
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.....	16
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 2011-2016 (jusqu'au 30 août 2016 inclusivement). L'échelle de couleurs représente la proportion de la période durant laquelle des données valides de la station ont été utilisées. ....	17
Figure 7	Diagramme en boîte des critères de validation pour les précipitations totales quotidiennes estimées aux stations au sud du 52 <sup>e</sup> parallèle pour les années 1961, 1971, 1981, 1991, 2001 et 2011. La boîte est délimitée par les 1 <sup>er</sup> et 3 <sup>e</sup> 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. ....	18

Figure 8	Diagramme en boîte des critères de validation pour la température minimale totale quotidienne estimée aux stations au sud du 52° parallèle pour les années 1961, 1971, 1981, 1991, 2001 et 2011. Voir la figure 7 pour la définition des symboles.....	19
Figure 9	Diagramme en boîte des critères de validation pour la température maximale totale quotidienne estimée aux stations au sud du 52° parallèle pour les années 1961, 1971, 1981, 1991, 2001 et 2011. Voir la figure 7 pour la définition des symboles.....	20
Figure 10	Diagramme en boîte des critères de validation pour les précipitations totales quotidiennes estimées aux stations au nord du 52° parallèle pour les années 1961, 1971, 1981, 1991, 2001 et 2011. Voir la figure 7 pour la définition des symboles.....	21
Figure 11	Diagramme en boîte des critères de validation pour la température minimale totale quotidienne estimée aux stations au nord du 52° parallèle pour les années 1961, 1971, 1981, 1991, 2001 et 2011. Voir la figure 7 pour la définition des symboles.....	22
Figure 12	Diagramme en boîte des critères de validation pour la température maximale totale quotidienne estimée aux stations au nord du 52° parallèle pour les années 1961, 1971, 1981, 1991, 2001 et 2011. Voir la figure 7 pour la définition des symboles.....	23
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 52° parallèle (Nord) et hors Québec (HorsQc). .....	24
Figure 14	Diagramme en boîte du 5 <sup>e</sup> centile, de la médiane et du 95 <sup>e</sup> centile par année (de 1961 à 2015 inclusivement) 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 13. Voir la figure 7 pour la définition des symboles.....	25
Figure 15	Diagramme en boîte du 5 <sup>e</sup> centile, de la médiane et du 95 <sup>e</sup> centile par année (de 1961 à 2015 inclusivement) 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 13. Voir la figure 7 pour la définition des symboles.....	26

## Introduction

La Direction de l'information sur le milieu atmosphérique (DIMAT) de la Direction générale du suivi de l'état de l'environnement (DGSEE) du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) gère le Réseau de surveillance du climat du Québec<sup>1</sup> (RSCQ), qui assure la collecte, le traitement, la validation, l'archivage et la diffusion de données climatologiques. Depuis 2015, la DIMAT produit des données climatologiques sur grille, c'est-à-dire l'estimation par interpolation aux nœuds d'un quadrillage fixe de valeurs de certains phénomènes climatologiques. Ces données climatologiques sur grille servent principalement comme intrants de modèles météorologiques.

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 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 RSCQ ainsi qu'aux stations du Réseau météorologique coopératif du Québec (RMCQ)<sup>2</sup> 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 détaillés dans le tableau 1. Les valeurs quotidiennes font référence à la journée climatologique telle que définie par le RSCQ<sup>3</sup>, à l'exception des définitions de données se terminant par 900Q, qui sont plutôt basées sur la journée civile (heure normale de l'Est). Aucune correction n'est appliquée à ces données, mais celles-ci sont soumises au contrôle de qualité décrit plus loin. Les stations utilisées par décennies sont illustrées aux figures 1 à 6.

Pour les données issues du RSCQ, le contrôle de qualité se fait par un processus en deux étapes intégré à la base de données *Climatologie*. La première étape, nommée « prévalidation », consiste en la détection automatique de valeurs douteuses en fonction de plusieurs critères appelés bornes bleues : plage de valeurs raisonnables, séquence de valeurs constantes, différence attendue entre valeurs successives, entre deux instruments à une même station. À cela s'ajoute la validation interstations, qui consiste à comparer la valeur observée à une station à une valeur estimée par interpolation à partir des 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,

---

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

<sup>2</sup> <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/climat/surveillance/clientele.htm>

<sup>3</sup> <http://www.mddep.gouv.qc.ca/climat/surveillance/sommaire-donnees.htm#journee>.

on peut consulter le *Manuel d'instruction pour la validation de données météorologiques* (MDDELCC, 2013).

Un contrôle de la qualité analogue à la prévalidation est appliqué à la suite de l'extraction des données de la base de données *Climatologie*. Ce contrôle de la qualité permet d'appliquer la prévalidation à toutes les données, dont les données n'ayant subi aucun contrôle de la qualité, comme c'est le cas pour la majorité des données du RMCQ. De plus, les données incomplètes et celles jugées douteuses par les bornes bleues sont acceptées si elles passent avec succès la validation interstations.

## 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<sup>er</sup> 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 dans le 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 matière 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 dans le 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 est 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 pépite, palier et portée) ont été estimés par la méthode de moindre carré grâce à la fonction `variogramfit`<sup>4</sup> pour Matlab (R2012a, 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 Matlab<sup>5</sup> 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

---

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

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

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 RSCQ. L'altitude des points de grille correspond à une moyenne spatiale sur une cellule de 0,1° X 0,1° du modèle numérique d'élevation à 1 : 250 000 de la cartothèque du Ministère.

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 dans le tableau 4.

Pour les précipitations totales mesurées aux stations sous le 52<sup>e</sup> 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 3 millimètres (3<sup>e</sup> quartile < 3 mm). Quant à la variance d'interpolation (SEavg), elle est généralement inférieure à 3 millimètres (3<sup>e</sup> quartile < 3 mm) et elle est légèrement sous-estimée (RMSSE médiane > 1).

Pour la température minimale mesurée aux stations sous le 52<sup>e</sup> parallèle (figure 8), les estimations montrent une erreur moyenne (ME) inférieure à  $\pm 0,1$  °C dans presque tous les cas, avec un léger biais négatif inférieur à 0,5 °C (médiane > -0,5 °C). La racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) est généralement inférieure à 2,5 °C (3<sup>e</sup> quartile < 2,5 °C). Quant à la variance d'interpolation (SEavg), elle est généralement inférieure à 2,5 °C (3<sup>e</sup> quartile < 2,5 °C) et elle est légèrement sous-estimée (RMSSE médiane > 1).

Pour la température maximale mesurée aux stations sous le 52<sup>e</sup> 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 1,5 °C (3<sup>e</sup> quartile < 1,5 °C, sauf en 1961) qui diminue dans le temps. Quant à la variance d'interpolation (SEavg), elle est généralement inférieure à 1,5 °C (3<sup>e</sup> quartile < 1,5 °C, sauf en 1961) et elle est légèrement sous-estimée (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.

La validation croisée aux stations au nord du 52<sup>e</sup> parallèle montre que les estimations sont beaucoup moins justes et précises (figures 10 à 12). 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).

Dans l'ensemble, l'ajout des stations des partenaires améliore l'estimation par interpolation des valeurs aux points de grille sur le territoire du Québec par rapport à la version 1.2 de ces grilles, qui se basait uniquement sur les stations du MDDELCC.

### ***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 52<sup>e</sup> 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 réduite au minimum. L'utilisation des stations partenaires a permis d'étendre cette région du 50<sup>e</sup> au 52<sup>e</sup> parallèle.

La deuxième région comprend le territoire québécois au nord du 52<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> et 95<sup>e</sup> 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.

Ces estimations de la justesse et de la précision des estimations au sud du 52<sup>e</sup> 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.

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 pluriannuel) n'est pas recommandée, car l'erreur d'interpolation est additive. Une telle erreur est réduite au minimum 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 autre que quotidien, l'utilisateur devrait communiquer avec le service Info-Climat.

## 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 "autodocumenté", indépendant de l'architecture matérielle qui permet la création, l'accès et le partage de données scientifiques stockées sous la forme de tableaux »<sup>6</sup>. La documentation pertinente se trouve sur le site Web de l'Unidata Program Center<sup>7</sup>.

La base de données est scindée en fichiers .nc annuels. La base de données regroupe trois variables climatologiques et trois variables statistiques présentées dans le tableau 5. La convention CF version 1.6<sup>8</sup> a servi de base pour le nom des variables, mais les unités retenues ne sont pas celles qui sont recommandées. L'étiquette de temps fait référence au nombre de jours écoulés depuis la date de référence, soit le 1<sup>er</sup> janvier 1900, à minuit heure normale de l'Est (UTC – 5 h).

L'ensemble SNCTOOLS pour Matlab<sup>9</sup> 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.

---

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

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

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

<sup>9</sup> <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. 3<sup>rd</sup> 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
PT130Q	Pluviomètre à augets avec glycol	5
PT131Q	Pluviomètre à augets chauffant	6
PT060Q	Pluviomètre à pesée à encodeur	7
PT070Q	Pluviomètre à pesée à lamelles	8
PT080Q	Pluviomètre à pesée à lamelles	9
PT090Q	Pluviomètre à pesée à lamelles	10
PT900Q	Données historiques du gouv. du Canada <sup>c</sup>	11
PL000Q	Pluviomètre standard	12
PL010Q	Nivomètre à écran de Nipher	13
PL050Q	Pluviomètre à pesée	14
PL020Q	Pluviomètre à pesée RMCQ	15
PL040Q	Pluviomètre à augets <sup>a</sup>	16
PL400Q	Pluviomètre à augets <sup>a</sup>	17 <sup>b</sup>
PL004Q	Vaisala WXT520	18
PL060Q	Pluviomètre à pesée à encodeur	19
PL070Q	Pluviomètre à pesée à lamelles	20
PL080Q	Pluviomètre à pesée à lamelles	21
PL090Q	Pluviomètre à pesée à lamelles	22
PL300Q	Pluviomètre à augets <sup>a</sup>	23
<i>Température minimale quotidienne</i>		
TAn030Q	Thermomètre à minimum	1
TAn000Q	Thermistance	2
TAn001Q	Thermistance	3
TAn004Q	Vaisala WXT520	4
TAn010Q	Thermistance	5
TAn040Q	Thermographe Foxboro	6
TAn900Q	Données historiques du gouv. du Canada <sup>c</sup>	7
<i>Température maximale quotidienne</i>		
TAx030Q	Thermomètre à maximum	1
TAx000Q	Thermistance	2
TAx001Q	Thermistance	3
TAx004Q	Vaisala WXT520	4
TAx010Q	Thermistance	5
TAx040Q	Thermographe Foxboro	6
TAx900Q	Données historiques du gouv. du Canada <sup>c</sup>	7

<sup>a</sup> D'avril à octobre inclusivement.

<sup>b</sup> Succède au PL300Q.

<sup>c</sup> Voir [http://climat.meteo.gc.ca/historical\\_data/search\\_historic\\_data\\_f.html](http://climat.meteo.gc.ca/historical_data/search_historic_data_f.html).

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

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

**Tableau 3 : Paramètres servant à l'estimation des variogrammes**

<b>Paramètre</b>	<b>Valeur</b>
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**

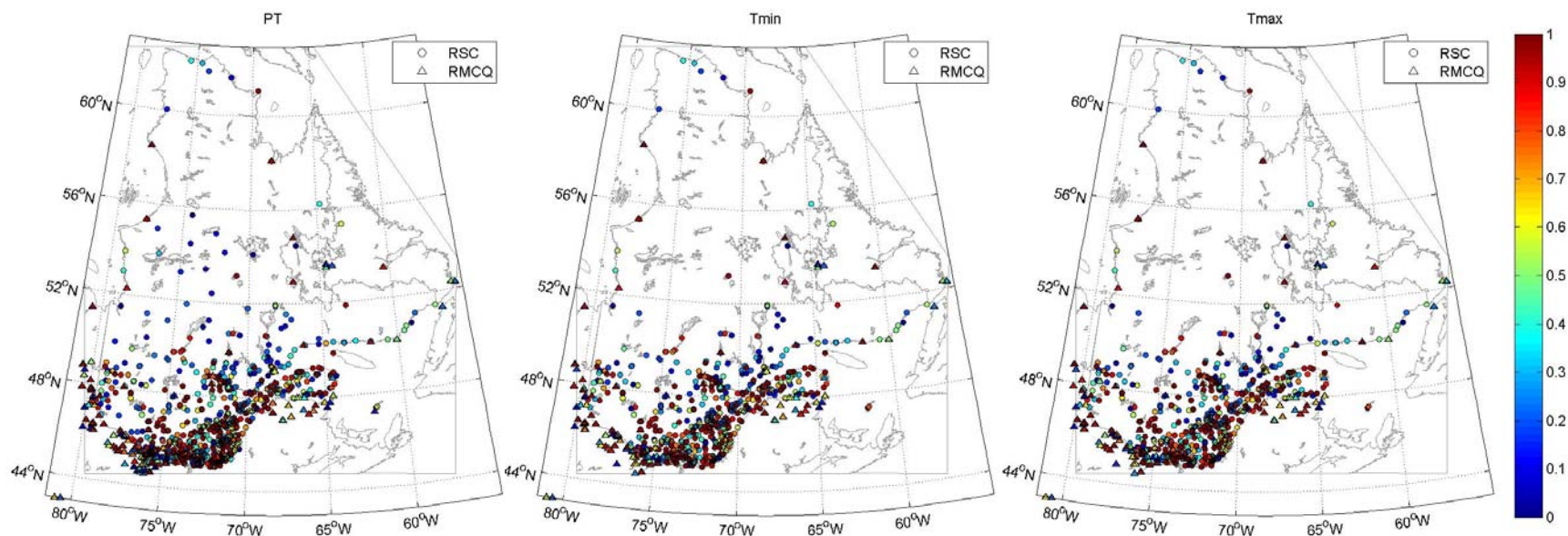
<b>Critère</b>	<b>Description</b>	<b>Définition</b>	<b>Cible</b>
ME	Moyenne des erreurs	$\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Z}(s_i) - z(s_i))}{n}$	0
RMSE	Racine carrée de l'erreur quadratique moyenne ( <i>root mean squared error</i> )	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Z}(s_i) - z(s_i))^2}{n}}$	0
SEavg	Moyenne de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

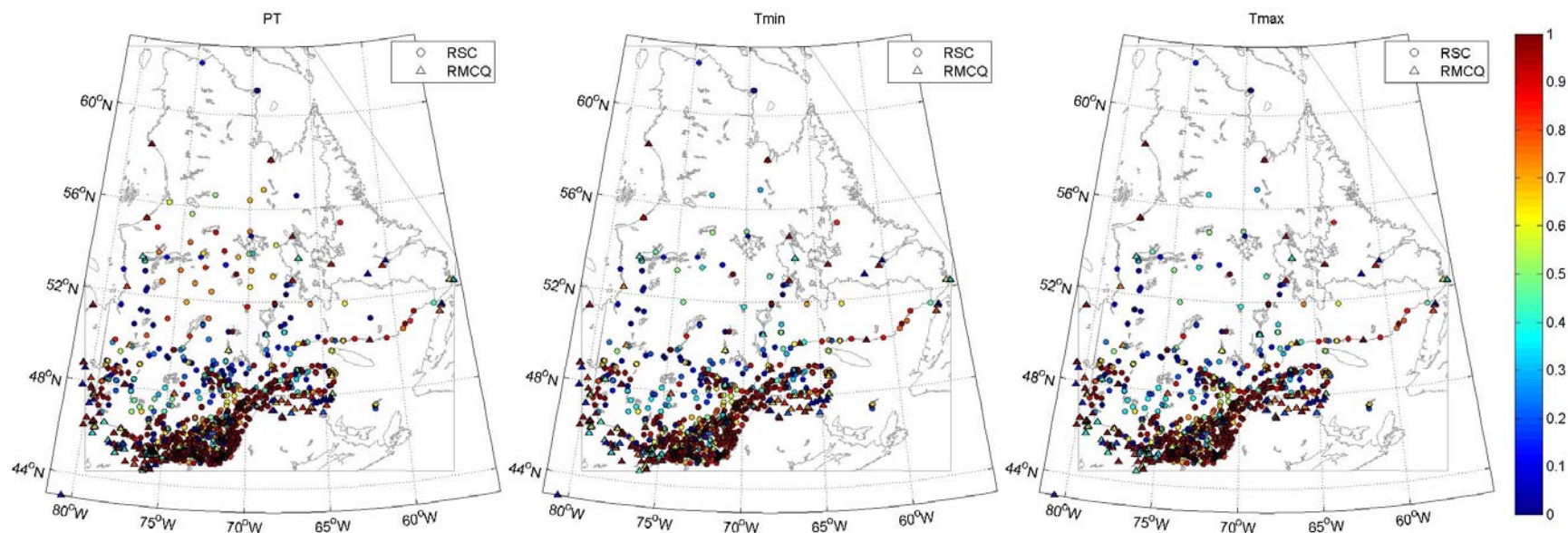
**Tableau 5 : Description des champs de la base de données NetCDF**

<b>Phénomène</b>	<b>standard_name</b>	<b>cell_methods</b>	<b>long_name</b>	<b>units</b>
<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 <sup>2</sup>
Variance d'interpolation de la température minimale	air_temperature variance	time: min	Interval minimum surface (2m) air temperature kriging variance	°C <sup>2</sup>
Variance d'interpolation de la température maximale	air_temperature variance	time: max	Interval maximum surface (2m) air temperature kriging variance	°C <sup>2</sup>

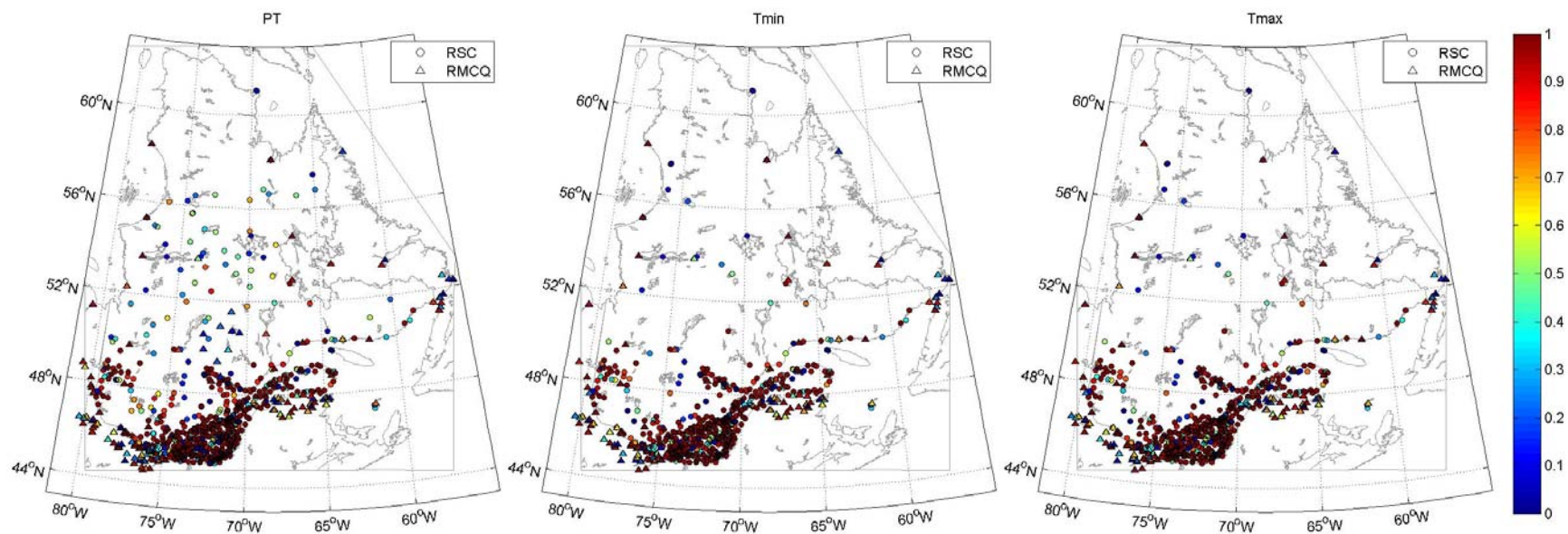
## Figures



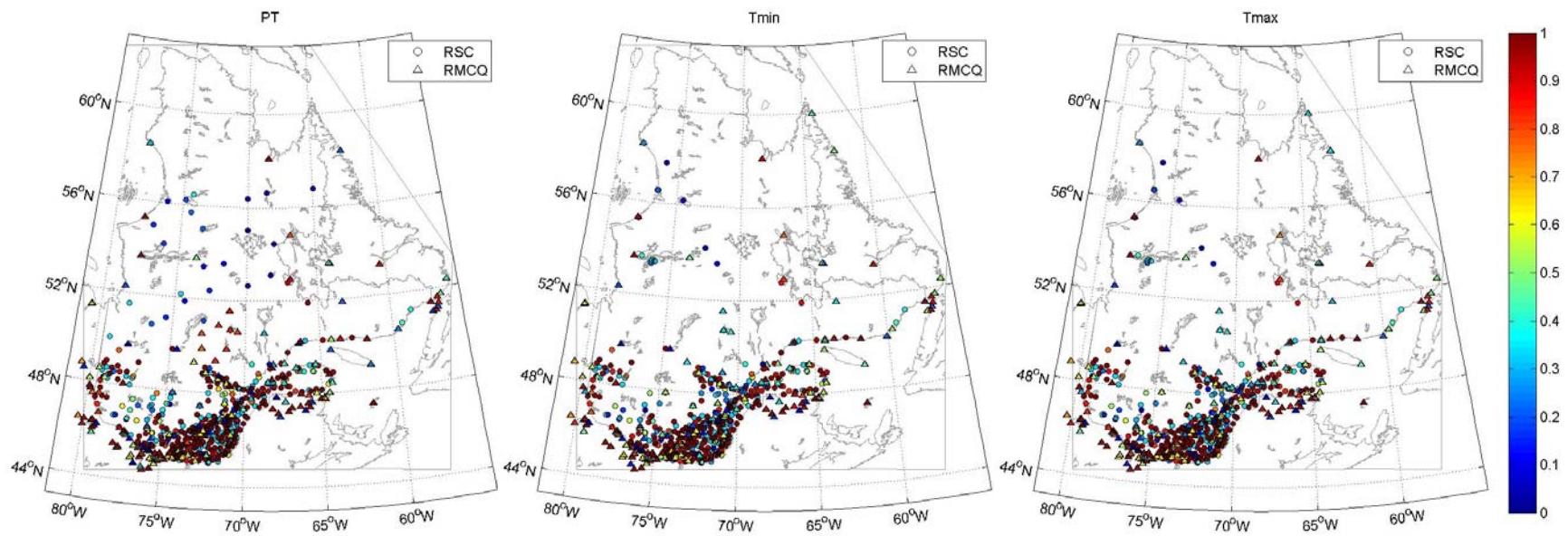
**Figure 1 Localisation des stations utilisées pour la mesure des précipitations totales (PT) et des températures minimale (Tmin) et maximale (Tmax) au cours de la période 1961-1970. L'échelle de couleurs représente la proportion de la période durant laquelle des données valides de la station ont été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



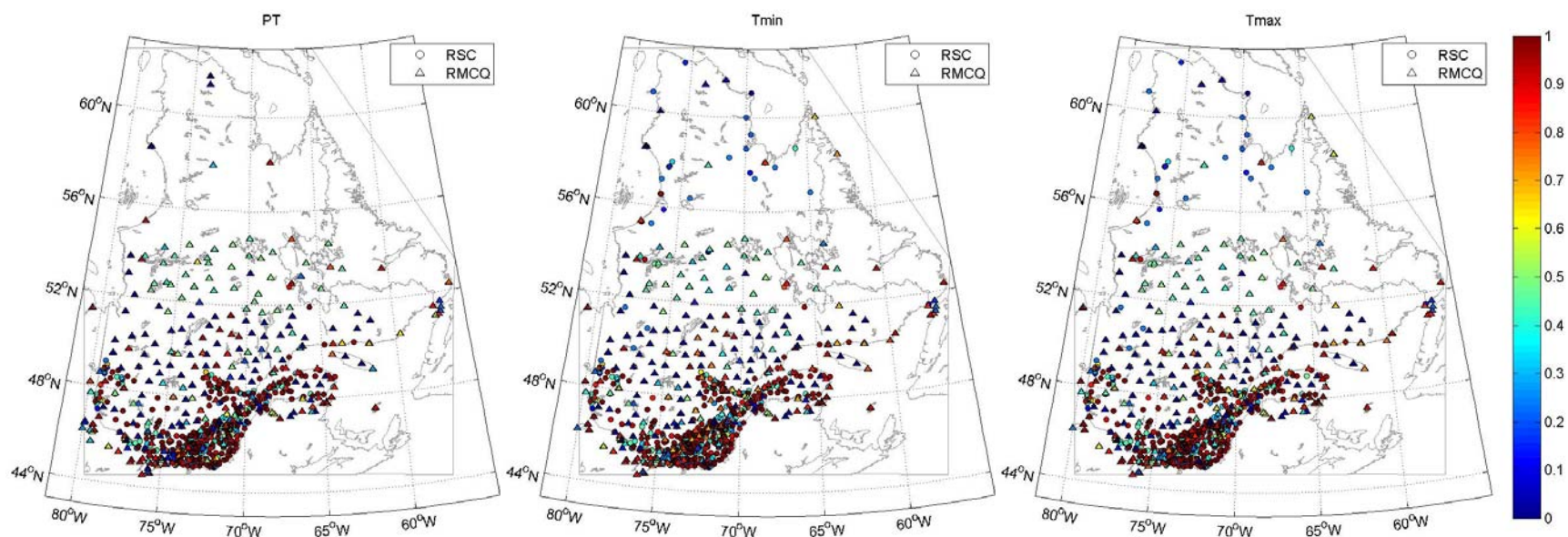
**Figure 2 Localisation des stations utilisées pour la mesure des précipitations totales (PT) et des températures minimale (Tmin) et maximale (Tmax) au cours de la période 1971-1980. L'échelle de couleurs représente la proportion de la période durant laquelle des données valides de la station ont été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



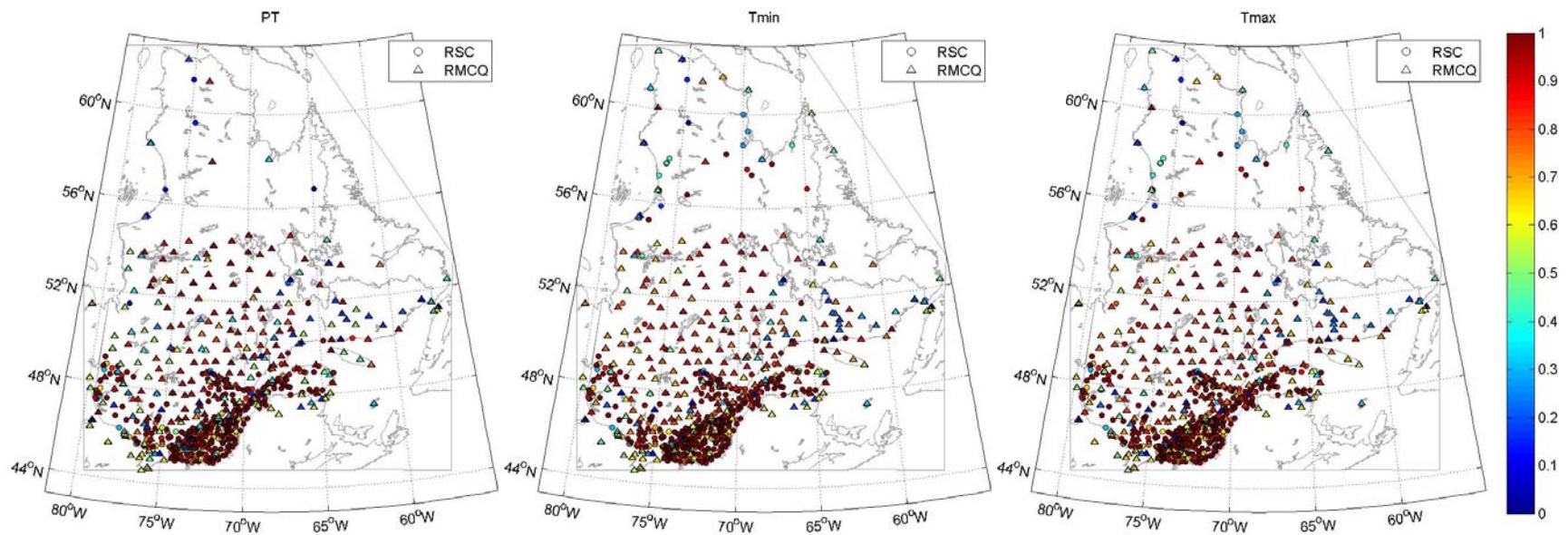
**Figure 3 Localisation des stations utilisées pour la mesure des précipitations totales (PT) et des températures minimale (Tmin) et maximale (Tmax) au cours de la période 1981-1990. L'échelle de couleurs représente la proportion de la période durant laquelle des données valides de la station ont été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



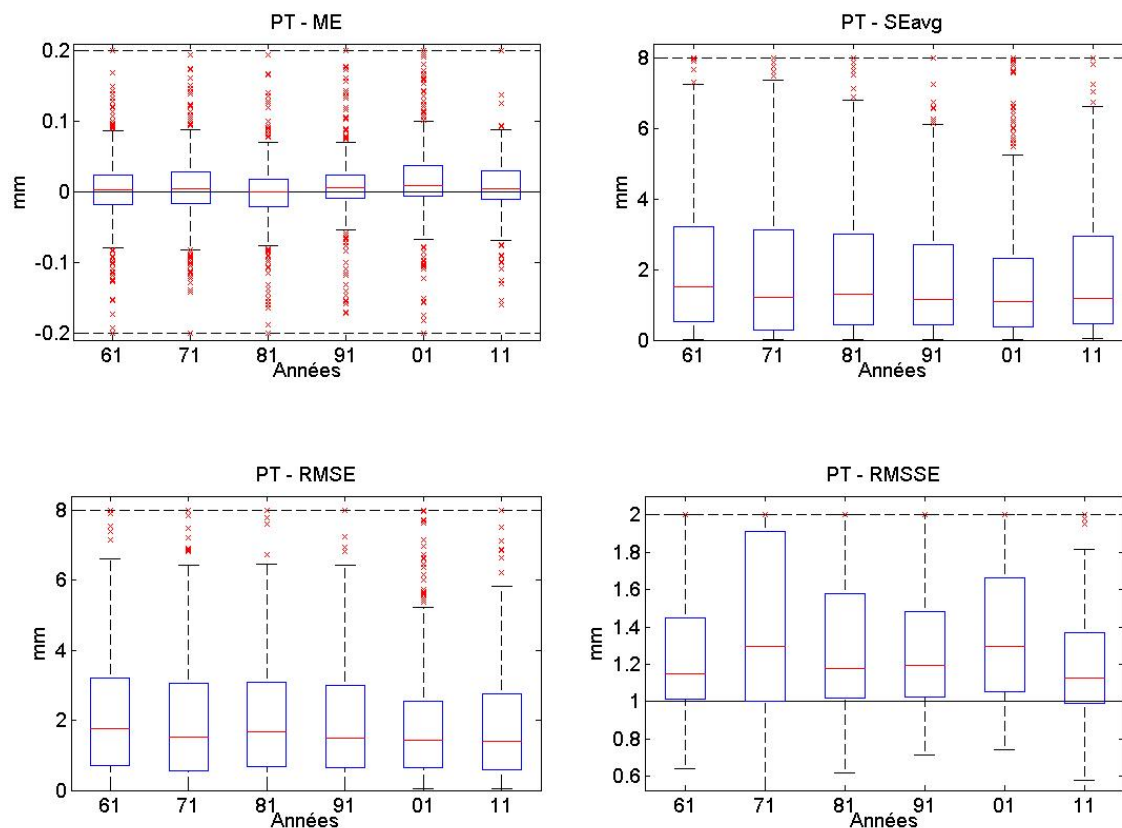
**Figure 4 Localisation des stations utilisées pour la mesure des précipitations totales (PT) et des températures minimale (Tmin) et maximale (Tmax) au cours de la période 1991-2000. L'échelle de couleurs représente la proportion de la période durant laquelle des données valides de la station ont été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



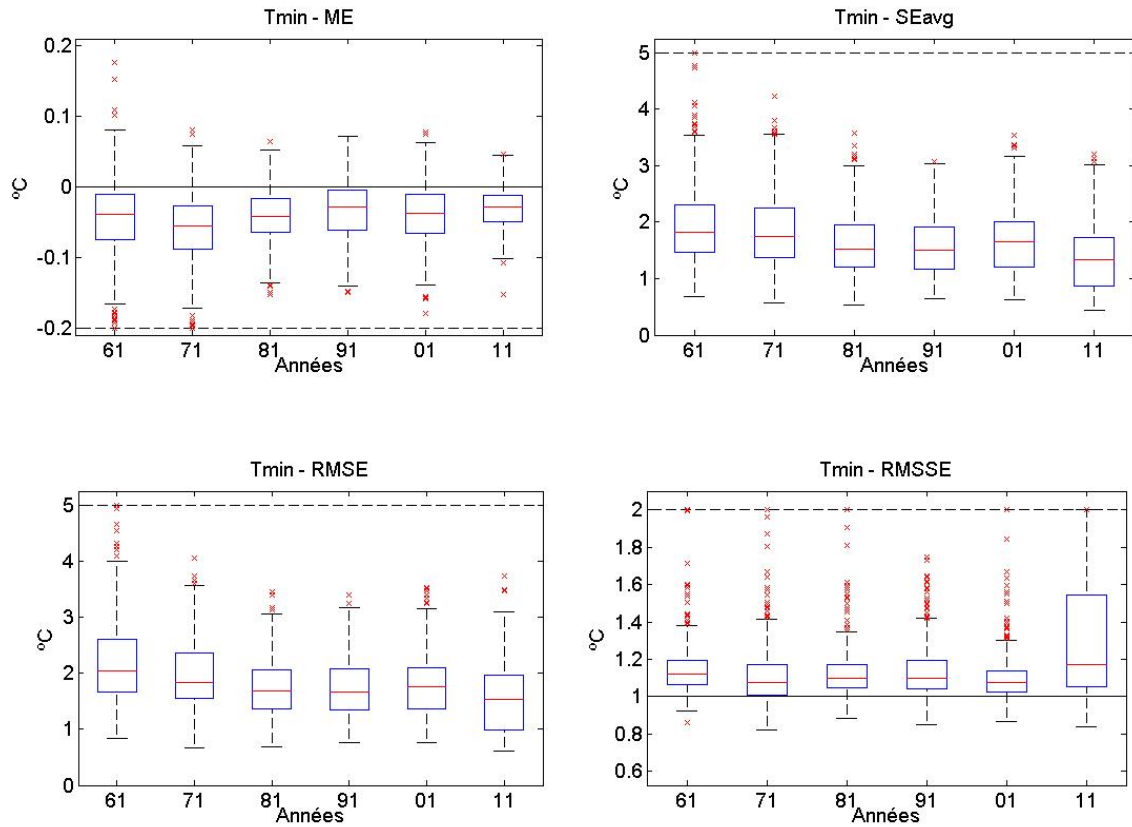
**Figure 5 Localisation des stations utilisées pour la mesure des précipitations totales (PT) et des températures minimale (Tmin) et maximale (Tmax) au cours de la période 2001-2010. L'échelle de couleurs représente la proportion de la période durant laquelle des données valides de la station ont été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



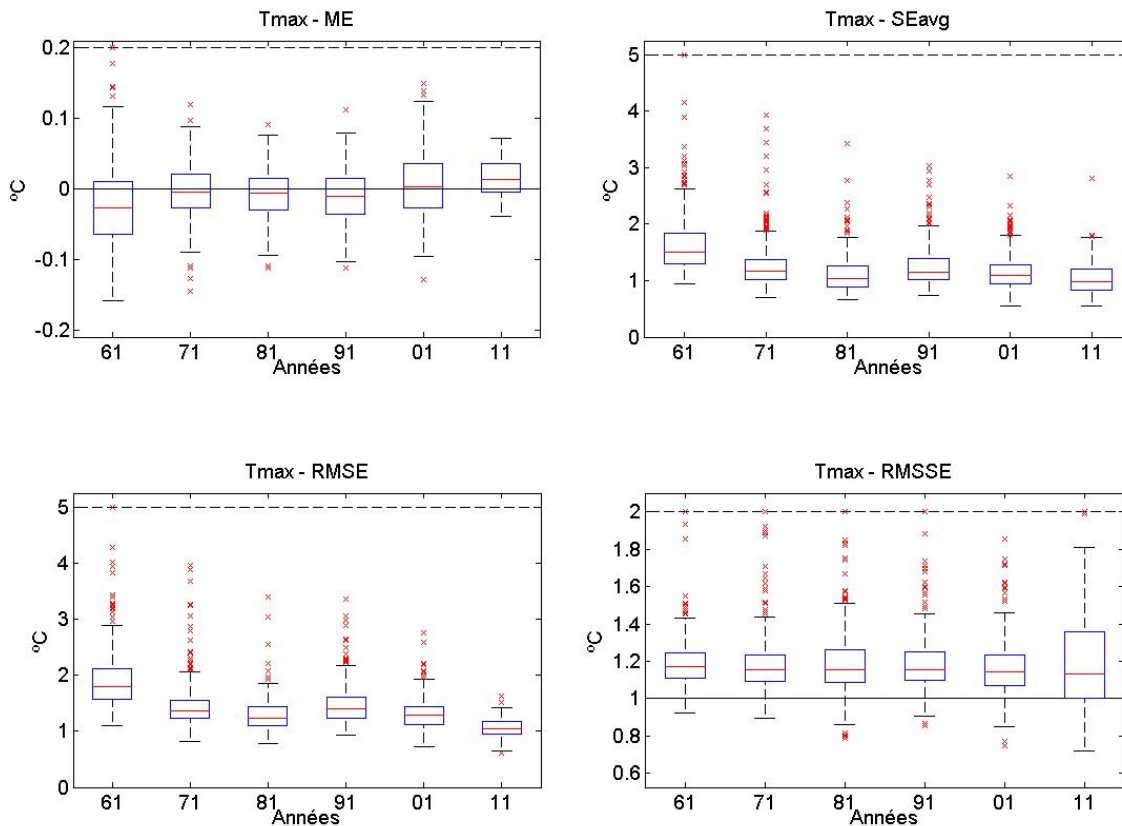
**Figure 6 Localisation des stations utilisées pour la mesure des précipitations totales (PT) et des températures minimale (Tmin) et maximale (Tmax) au cours de la période 2011-2016 (jusqu'au 30 août 2016 inclusivement). L'échelle de couleurs représente la proportion de la période durant laquelle des données valides de la station ont été utilisées.**



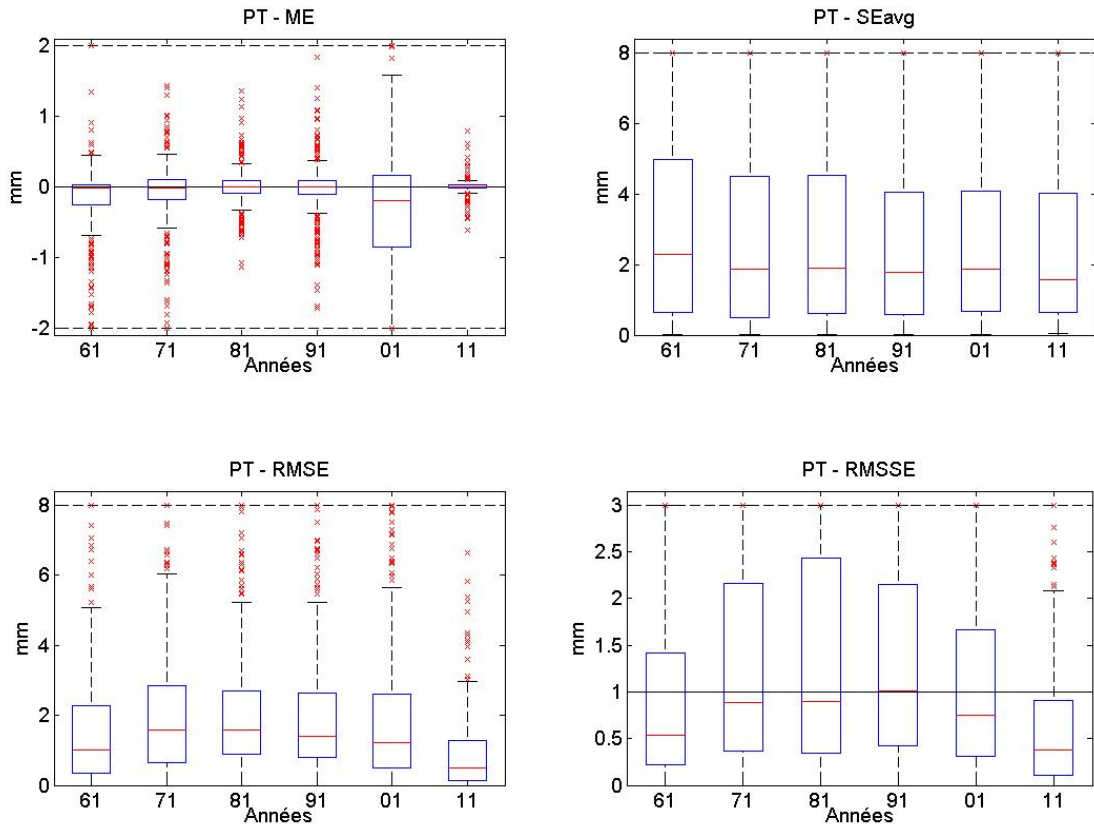
**Figure 7** Diagramme en boîte des critères de validation pour les précipitations totales quotidiennes estimées aux stations au sud du 52° parallèle pour les années 1961, 1971, 1981, 1991, 2001 et 2011. La boîte est délimitée par les 1<sup>er</sup> et 3<sup>e</sup> quartiles et contient la valeur médiane 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.



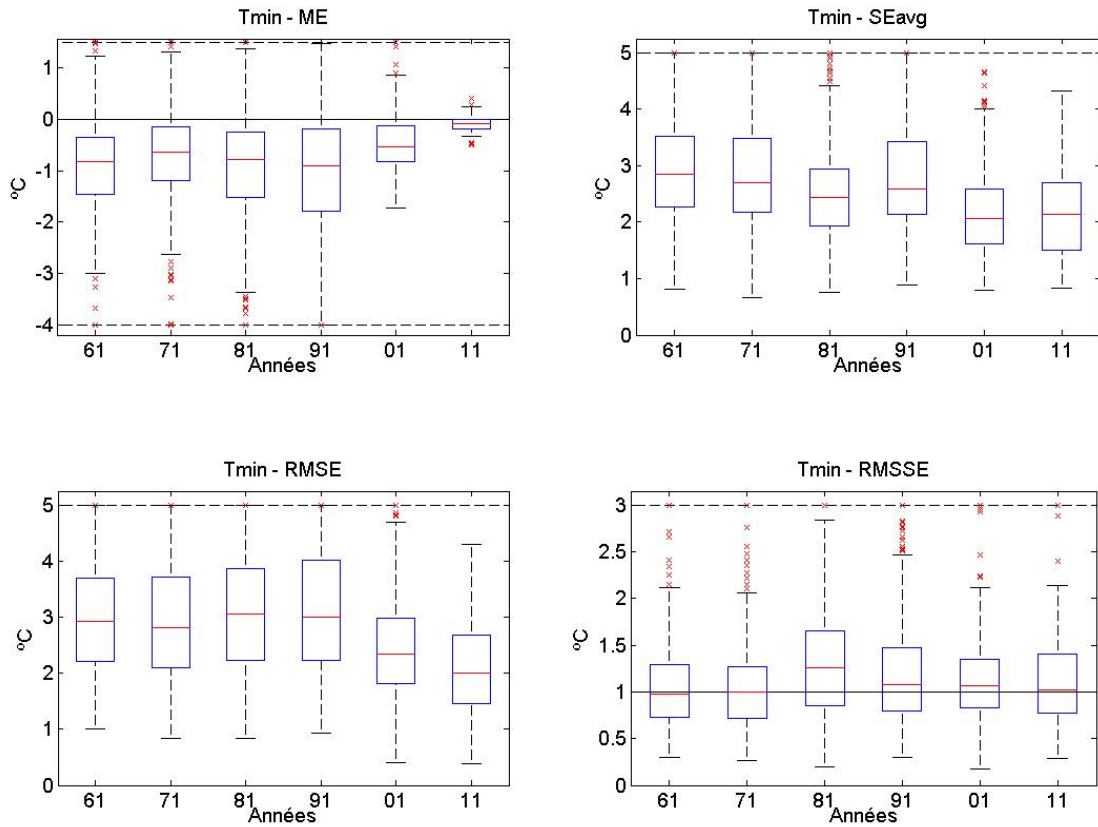
**Figure 8** Diagramme en boîte des critères de validation pour la température minimale totale quotidienne estimée aux stations au sud du 52° parallèle pour les années 1961, 1971, 1981, 1991, 2001 et 2011. Voir la figure 7 pour la définition des symboles.



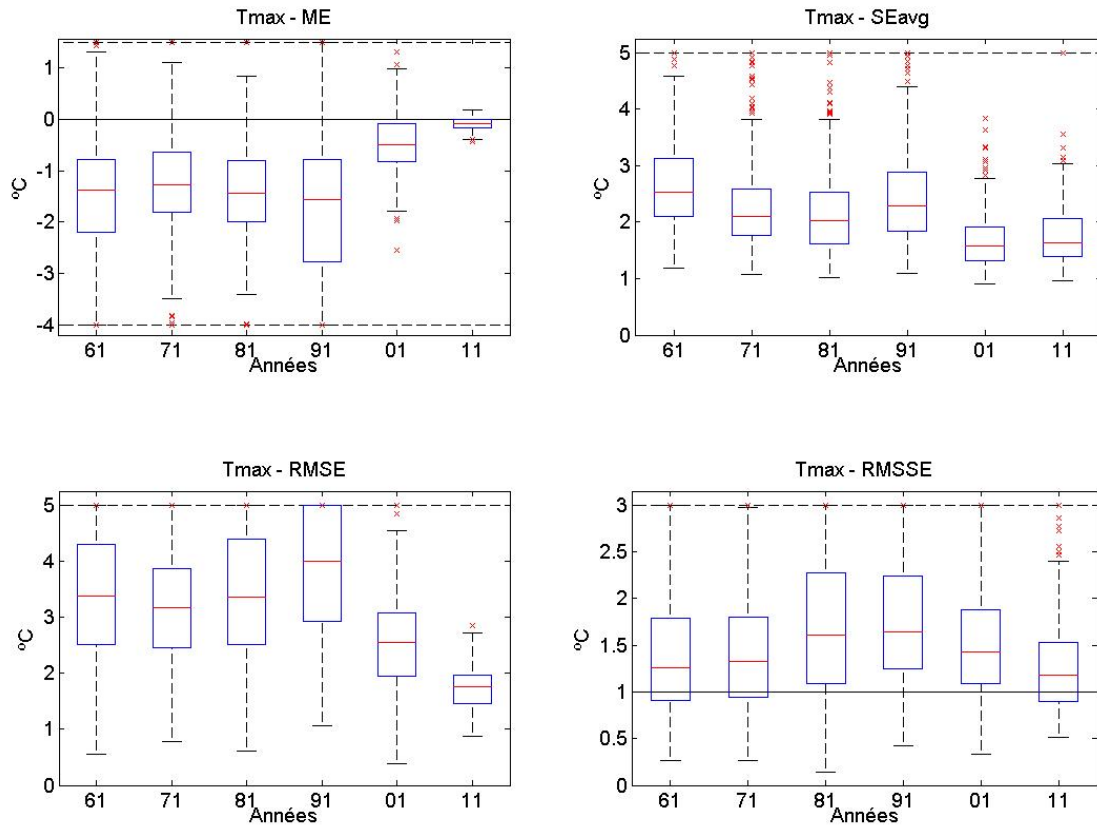
**Figure 9** Diagramme en boîte des critères de validation pour la température maximale totale quotidienne estimée aux stations au sud du 52<sup>e</sup> parallèle pour les années 1961, 1971, 1981, 1991, 2001 et 2011. Voir la figure 7 pour la définition des symboles.



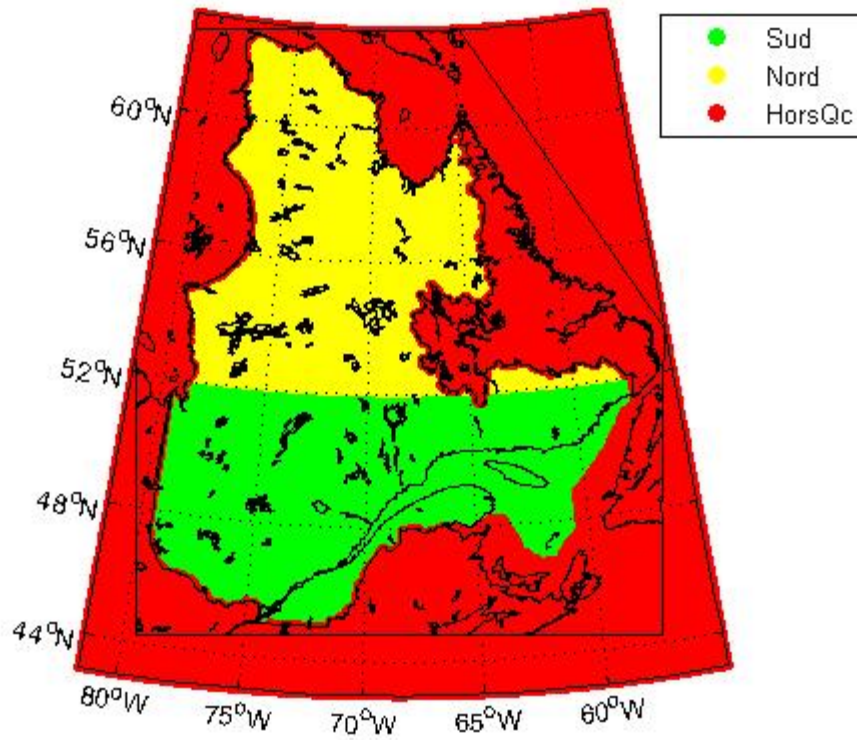
**Figure 10** Diagramme en boîte des critères de validation pour les précipitations totales quotidiennes estimées aux stations au nord du 52<sup>e</sup> parallèle pour les années 1961, 1971, 1981, 1991, 2001 et 2011. Voir la figure 7 pour la définition des symboles.



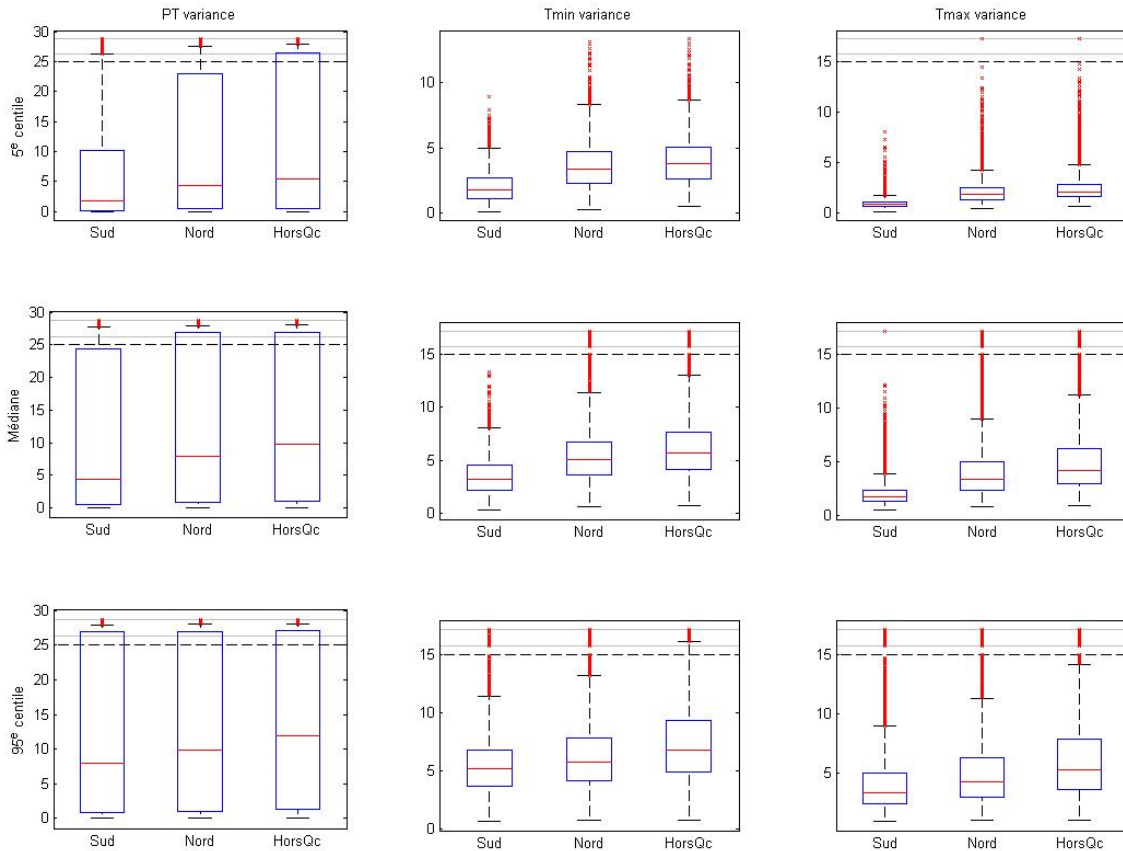
**Figure 11** Diagramme en boîte des critères de validation pour la température minimale totale quotidienne estimée aux stations au nord du 52° parallèle pour les années 1961, 1971, 1981, 1991, 2001 et 2011. Voir la figure 7 pour la définition des symboles.



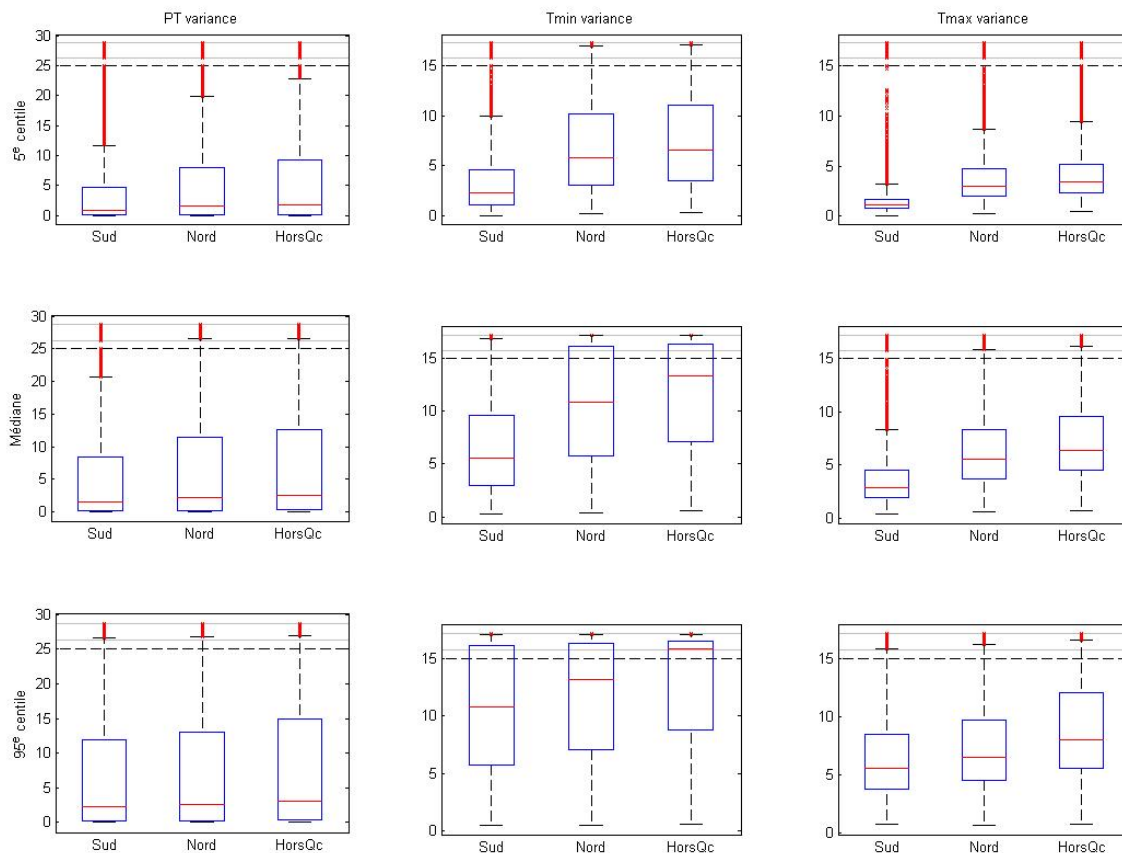
**Figure 12** Diagramme en boîte des critères de validation pour la température maximale totale quotidienne estimée aux stations au nord du 52° parallèle pour les années 1961, 1971, 1981, 1991, 2001 et 2011. Voir la figure 7 pour la définition des symboles.



**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 52° parallèle (Nord) et hors Québec (HorsQc).



**Figure 14** Diagramme en boîte du 5<sup>e</sup> centile, de la médiane et du 95<sup>e</sup> centile par année (de 1961 à 2015 inclusivement) 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 13. Voir la figure 7 pour la définition des symboles.



**Figure 15** Diagramme en boîte du 5<sup>e</sup> centile, de la médiane et du 95<sup>e</sup> centile par année (de 1961 à 2015 inclusivement) 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 13. Voir la figure 7 pour la définition des symboles.

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

**Québec** 