



# Analyse spatio-temporelle des températures pour un meilleur suivi du climat dans le nord du Québec

**Rapport final**

Octobre 2007

Luc Cournoyer (Centre d'études nordiques)

Abderrahmane Yagouti (Centre d'études nordiques)

Yves Bégin (Centre d'études nordiques, Université Laval (au moment des travaux de recherche)

Nouvelle adresse : Centre Eau, terre et Environnement de l'INRS)

Luc Vescovi (Ouranos)

Gilles Boulet (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs)

## Avant-propos

Cette recherche a été réalisée avec le soutien scientifique et financier du Consortium québécois sur le changement climatique, Ouranos et le Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG). Le ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du gouvernement du Québec, le Centre d'études nordiques de l'Université Laval, de même qu'Hydro-Québec, ont fourni les données de base pour la réalisation de ce projet. Les auteurs remercient les chercheurs d'Ouranos pour l'aide apportée dans le traitement des données, notamment MM. René Roy, George Desrochers et Dominique Tapsoba. La localité de Radisson de la Municipalité de la Baie James a aussi permis d'accueillir les chercheurs dans le Nord. Enfin, ce projet a été réalisé au sein du réseau ArcticNet.



# Table des matières

Table des matières .....	i
Liste des figures .....	iii
Liste des tableaux.....	v
<b>1. Introduction générale .....</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUCTION.....	1
1.2 PROBLÉMATIQUE .....	1
1.3 LE MANDAT.....	2
<b>2. Acquisition et analyse</b>	
<b>préliminaire des données.....</b>	<b>5</b>
2.1 AIRE D'ÉTUDE ET VARIABLE CLIMATIQUE RETENUE.....	5
2.2 BASE DE DONNÉES DU CENTRE D'ÉTUDES NORDIQUES.....	6
2.3 BASE DE DONNÉES D'HYDRO-QUÉBEC .....	8
2.4 BASE DE DONNÉES DU MDDEP (PROJET PARDE).....	12
2.5 BASE DE DONNÉES D'ENVIRONNEMENT CANADA.....	15
2.6 CONCLUSION .....	17
<b>3. Validation des données de températures .....</b>	<b>19</b>
3.1 VALIDATION INTRA-STATION .....	19
3.1.1 Comparaison de Tmin avec Tmax .....	19
3.1.2 Identification des valeurs nulles.....	19
3.1.3 Comparaison de Tmin et de Tmax à Tmoy.....	20
3.2 VALIDATION INTER-STATION.....	20
<b>4. Mise en forme des données .....</b>	<b>23</b>
4.1 INTRODUCTION.....	23
4.2 INFRASTRUCTURE ET STRUCTURE DE LA BASE DE DONNÉES.....	23
4.3 IMPORTATION ET HOMOGENÉISATION DE LA NOMENCLATURE DES STATIONS .....	24
<b>5. Estimation des valeurs manquantes.....</b>	<b>27</b>
5.1 CHOIX DES STATIONS VOISINES .....	27
5.2 MODÈLE STATISTIQUE DE L'ESTIMATION DES VALEURS MANQUANTES .....	28
5.3 ESTIMATION DES DONNÉES QUOTIDIENNES MANQUANTES.....	29
5.4 CONCLUSION .....	33

---

---

6. Portrait climatique du Nord du Québec .....	35
6.1 INTRODUCTION .....	35
6.2 MÉTHODES ET PRÉSENTATION DES RÉSULTATS.....	35
6.3 TEMPÉRATURES QUOTIDIENNES.....	36
6.3.1 Amplitude journalière.....	36
6.3.2 Degrés-jour .....	37
6.3.3 Période de gel .....	39
6.3.3.1 Dernier jour de gel .....	39
6.3.3.2 Premier jour de gel.....	39
6.3.3.3 Période de dégel .....	40
6.3.3.4 Proportion de jours sans gel.....	40
6.3.4 Écart de température entre les stations .....	40
6.3.4.1 Méthode de calcul.....	40
6.3.4.2 Résultat .....	41
6.3.5 Corrélation entre les stations .....	43
6.3.5.1 Méthode de calcul.....	43
6.3.5.2 Résultat .....	44
6.4 TEMPÉRATURES MENSUELLES .....	47
6.4.1 Température minimale moyenne .....	47
6.4.2 Température moyenne.....	50
6.4.3 Température maximale moyenne .....	50
6.5 TEMPÉRATURES ANNUELLES.....	52
6.5.1 Température minimale moyenne .....	52
6.5.2 Température moyenne.....	52
6.5.3 Température maximale moyenne .....	52
6.5.4 Moyenne des températures minimales annuelles.....	52
6.5.5 Moyenne des températures maximales annuelles.....	53
6.6 TENDANCE DES TEMPÉRATURES .....	53
6.6.1 Méthode de calcul.....	53
6.6.2 Résultats.....	54
6.7 CONCLUSION.....	55

---

---

7. Proposition de réseau.....	57
7.1. INTRODUCTION.....	57
7.2 PROPOSITION DE RÉSEAU.....	57
7.2.1 Bilan des stations en service.....	57
7.2.2 Méthodes et paramètres .....	58
7.2.2.1 Emplacement des stations.....	58
7.2.2.2 Variance de l'interpolation.....	59
7.2.2.3 Zones climatiques homogènes.....	60
7.2.3 Analyse et résultats.....	61
7.2.3.1 Variance de l'interpolation.....	61
7.2.4 Proposition de réseau.....	62
8. Conclusion et recommandations.....	67
8.1 RECOMMANDATIONS.....	68
8.1.1 Réseau optimal .....	68
8.1.2 Recommandations scientifiques.....	68
9. Bibliographie .....	69
Annexe 1 : Statistiques des propositions de réseau.....	71

---

## Liste des figures

<b>Figure 1 :</b>	Représentation de l'aire de l'étude.....	5
<b>Figure 2 :</b>	Localisation géographique des différents groupes de stations constitués à partir du réseau du CEN .....	9
<b>Figure 3 :</b>	Localisation des stations d'HQ et identification de leur période d'observation.....	12
<b>Figure 4 :</b>	Identification des groupes de stations jugées voisines. ....	15
<b>Figure 5 :</b>	Localisation des stations PARDE.....	16
<b>Figure 6 :</b>	Localisation des stations d'Environnement Canada.....	18
<b>Figure 7 :</b>	Processus de validation des données.....	21
<b>Figure 8 :</b>	Structure de la base de données mise ne place pour le stockage des données.....	23
<b>Figure 9 :</b>	Période de mesures des stations et proportion de données présentes.....	34
<b>Figure 10 :</b>	Distribution spatiale de l'amplitude journalière mensuelle moyenne.....	38
<b>Figure 11 :</b>	Distribution spatiale des degrés-jour .....	38
<b>Figure 12 :</b>	Distribution spatiale du dernier jour de gel pour la période mai-juillet (en jour julien).....	39
<b>Figure 13 :</b>	Distribution spatiale du premier jour de gel pour la période août-septembre (en jour julien).....	39
<b>Figure 14 :</b>	Distribution spatiale de la période de dégel pour la période mai-septembre (en nombre de jours) .....	40
<b>Figure 15 :</b>	Distribution spatiale de la proportion de jours sans gel pour la période mai-septembre.....	41
<b>Figure 16 :</b>	Écart moyen des températures quotidiennes en fonction de la distance entre les stations .....	42
<b>Figure 17 :</b>	Distance estimée pour atteindre un écart moyen des températures quotidiennes de a) 1°C, b) 2°C et c) 3° C en fonction des mois de l'année .....	43
<b>Figure 18 :</b>	Distribution spatiale des écarts moyens des températures quotidiennes avec les stations situées à moins de 100 km .....	44
<b>Figure 19 :</b>	Coefficient de corrélation moyen des températures quotidiennes en fonction de la distance entre les stations.....	45
<b>Figure 20 :</b>	Distance estimée pour atteindre un coefficient corrélation moyen des températures quotidiennes de a) 0.95, b) 0.90, c) 0.80 et d) 0.70 en fonction des mois de l'année .....	46
<b>Figure 21 :</b>	Distribution spatiale de la température minimale moyenne pour chaque mois de l'année.....	48
<b>Figure 22 :</b>	Distribution spatiale de la température moyenne pour chaque mois de l'année .....	49
<b>Figure 23 :</b>	Distribution spatiale de la température maximale moyenne pour chaque mois de l'année.....	51

## Liste des figures (suite)

<b>Figure 24 :</b>	Distribution spatiale de la température minimale annuelle moyenne .....	51
<b>Figure 25 :</b>	Distribution spatiale de la température annuelle moyenne .....	52
<b>Figure 26 :</b>	Distribution spatiale de la température maximale annuelle moyenne ....	53
<b>Figure 27 :</b>	Distribution spatiale de la température minimale annuelle .....	53
<b>Figure 28 :</b>	Distribution spatiale de la température maximale annuelle .....	54
<b>Figure 29 :</b>	Distribution spatiale des tendances de la température moyenne pour chaque mois de l'année.....	55
<b>Figure 30 :</b>	Localisation des stations en service en 2007 .....	57
<b>Figure 31 :</b>	Étapes nécessaires à la sélection des station retenues pour chacune des propositions.....	59
<b>Figure 32 :</b>	Points d'échantillonnage de la proposition 8 sur l'interpolation par krigeage de température moyenne annuelle. ....	60
<b>Figure 33 :</b>	Zones climatiques homogènes et zone côtière pour la région d'étude. La zone 1 est la valeur la plus faible et la zone 9 est la valeur la plus élevée.....	62
<b>Figure 34 :</b>	Température moyenne annuelle obtenue par krigeage simple à l'aide a) des données réelles des stations en service (1986-2004) et b) des données estimées pour les stations de la proposition 8 .....	63
<b>Figure 35 :</b>	Variance de l'interpolation de la température moyenne annuelle obtenue par krigeage simple à l'aide a) des données réelles des stations en service (1986-2004) et b) des données estimées pour les stations de la proposition 8 .....	63
<b>Figure 36 :</b>	a) Variance de l'interpolation de la température moyenne annuelle et nombre de stations totale pour chacune des propositions b) Rapport variance moyenne / nombre de station de la température moyenne et maximum moyenne annuelle pour chacune des propositions .....	64
<b>Figure 37 :</b>	Exemple de fiche statistiques de la proposition 8 .....	65

---

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1 :</b>	Stations de la base de données du CEN .....	7
<b>Tableau 2 :</b>	Contenu de la base de données du CEN.....	7
<b>Tableau 3 :</b>	Stations du CEN retenues selon la position géographique (29 stations) .....	8
<b>Tableau 4 :</b>	Stations climatiques du réseau d'HQ .....	10
<b>Tableau 5 :</b>	Nombre d'observations valides, manquantes, fausses, biaisées et erronées de température à chacune des stations du bassin de La Grande.....	13
<b>Tableau 6 :</b>	Stations du réseau d'HQ retenues (entre 1992 et 2004) .....	14
<b>Tableau 7 :</b>	Liste des stations PARDE situées dans le Nord du Québec .....	16
<b>Tableau 8 :</b>	Stations de la mesure des températures quotidiennes de EC.....	17
<b>Tableau 9 :</b>	Exemple de comparaison inter-station à partir des stations du CEN.....	22
<b>Tableau 10 :</b>	Liste des stations importées dans la base de données .....	24
<b>Tableau 11 :</b>	Groupes de stations tels que définis par l'analyse de groupement hiérarchique .....	28
<b>Tableau 12 :</b>	Coefficient de détermination et écart moyen de température entre les valeurs mesurées et les valeurs estimées par régression .....	30
<b>Tableau 13 :</b>	Nombre de valeurs estimées manquantes suite au processus d'estimation des valeurs manquants par régression.....	31
<b>Tableau 14 :</b>	Amplitude journalière moyenne, minimum et maximum mensuelle .....	37
<b>Tableau 15 :</b>	Valeur minimum, moyenne et maximum de la température minimale moyenne de toutes les stations pour chaque mois de l'année.....	48
<b>Tableau 16 :</b>	Valeur minimum, moyenne et maximum de la température moyenne de toutes les stations pour chaque mois de l'année.....	49
<b>Tableau 17 :</b>	Valeur minimum, moyenne et maximum de la température maximale moyenne de toutes les stations pour chaque mois de l'année .....	50
<b>Tableau 18 :</b>	Caractéristiques de la grille de base des propositions de réseau.....	58

---





# 1. Introduction générale

## 1.1 INTRODUCTION

---

Les changements climatiques appréhendés pour le nord du Québec (au-delà du 50<sup>e</sup> parallèle) pourraient avoir des impacts majeurs sur les ressources de cette région, ainsi que sur les populations qui y vivent. Selon les modèles de projection du climat, les changements climatiques qui surviendront dans le nord du Québec au cours du prochain siècle seront parmi les plus prononcés qui se produiront sur l'ensemble de la province. Selon le rapport de l'Arctic Climate Impact Assessment (2005), les modèles mondiaux du climat suggèrent pour la fin du siècle une augmentation moyenne des températures de 4 à 5°C en hiver et de 2 à 3°C en été pour le nord du Québec. Pour la même région, les précipitations pourraient augmenter de 5 à 10% en été et de 10 à 25% en hiver. De plus, ces changements des conditions climatiques moyennes s'accompagneront probablement de changements de la variabilité et également des extrêmes du climat. L'impact potentiel de ces changements climatiques sur les vastes réservoirs hydroélectriques et les grandes exploitations forestières du nord revêt une importance économique majeure non seulement pour le nord de la province mais également pour le Québec tout entier.

## 1.2 PROBLÉMATIQUE

---

Dans le contexte des changements climatiques observés dans le nord du Québec, on comprendra aisément que la surveillance du climat dans cette région revêt une grande importance. Or, les réseaux nordiques d'observations climatologiques ont toujours été et demeurent encore de nos jours très fragmentaires. Leur couverture spatiale et temporelle, de même que la liste des paramètres climatologiques ayant fait l'objet d'une surveillance, ont toujours été partielles. En fait, l'inventaire des données climatiques disponibles pour le nord du Québec est relativement simple. Les premières stations ont été installées par Environnement Canada (EC) au cours des années 1930 dans les régions côtières et quelques unes à l'intérieur des terres (8 stations, dont une a été fermée en 1969, Fort George, et une autre, Nitchequon, en 1985). Depuis les années 1960, une cinquantaine de stations climatologiques ont été en opération de façon plus ou moins continue et

---

pendant des périodes très variables. Ces stations ont été opérées par le ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), Hydro-Québec (HQ), la Société d'Énergie de la Baie de James (SEBJ), la Société pour la protection des forêts contre le feu (SOPFEU) et par le Centre d'études nordiques (CEN). Pour diverses raisons, bon nombre de stations ont été fermées vers la fin des années 80. Au début des années 90, le CEN et HQ ont installé quelques stations dans différentes régions du territoire nordique. L'objectif principal de l'installation de ces stations était de répondre à des besoins spécifiques propres aux deux organismes.

Ce projet s'inscrit dans le cadre d'un projet plus général dont l'objectif est la reconstitution des conditions hydro-climatiques passées au moyen de la dendrochronologie. Cette dernière technique repose inévitablement sur les données instrumentales disponibles. En d'autres mots, avant d'établir la variabilité des conditions ayant prévalu au cours des derniers siècles, il importe d'obtenir une image cohérente des conditions entourant la période instrumentale. Une analyse de la variabilité spatio-temporelle des séries instrumentales, ainsi qu'un travail menant à la régionalisation des mêmes séries, est donc une étape incontournable. Ainsi, dans le cadre de ce projet, nous proposons de réaliser ce type d'analyse dans un cadre plus général qui permettra d'établir les bases scientifiques d'un éventuel réseau climatologique nordique.

### **1.3 LE MANDAT**

---

L'objectif principal de cette étude consiste à éclairer les bases scientifiques permettant l'élaboration d'un réseau d'observation optimal du climat dans le nord du Québec. Ces bases scientifiques découleront de l'analyse locale et régionale de la variabilité spatio-temporelle des séries de températures et de l'analyse des sorties du modèle climatique régional (MRC). Ainsi, nous nous sommes fixés les **objectifs spécifiques** suivant :

1. Constituer une seule base de données représentant l'aire de l'étude et développer un protocole de validation pour s'assurer de la qualité des données
  2. Développer ou adapter une technique d'estimation des valeurs manquantes
  3. Élaborer un portrait du climat dans l'aire d'étude pour la période 1986 à 2005 à l'aide des données instrumentales disponibles
  4. Évaluer le niveau de représentativité spatio-temporelle de chaque site de mesure pour lequel on dispose de données pour la période 1986 à 2005
-

5. Proposer un réseau optimal d'observation permettant de reproduire avec une précision définie le climat qui a prévalu entre les années 1986 et 2005
  6. Évaluer la performance du réseau défini précédemment, à l'aide des résultats du MRC pour les périodes 2010-2030, 2040-2060 et 2090-2110, afin de reproduire le climat pour chacune des trois périodes retenues. Il serait également intéressant de proposer d'autres configurations du réseau de mesure (en variant le nombre et l'emplacement des stations) afin d'être en mesure de suivre l'évolution du climat au cours des cent prochaines années
  7. Quantifier le niveau de représentation spatio-temporelle de chaque point de mesure pour les différentes configurations de réseau proposées
-



## 2. Acquisition et analyse préliminaire des données

La première étape à réaliser dans ce projet est l'acquisition des données des différents organismes et l'établissement de quelques statistiques pour décrire le contenu des bases de données. Nous utilisons dans ce projet les données observées par le CEN, HQ, EC et le MDDEP.

### 2.1 AIRE D'ÉTUDE ET VARIABLE CLIMATIQUE RETENUE

La densité spatiale du réseau climatologique nordique a toujours été relativement faible. En effet, l'espacement entre les stations nordiques a varié, en moyenne, entre quelques centaines et plusieurs centaines de kilomètres. Or, la densité « la plus élevée » des stations s'est retrouvée à l'intérieur d'un quadrilatère s'étendant approximativement entre les latitudes 52 et 56°N et les longitudes 68 et 78°O (Figure 1).

Nous concentrerons donc notre étude sur cette aire. Cette dernière couvre un vaste territoire de plus de 480 000 km<sup>2</sup> au sein duquel se retrouvent notamment des réservoirs hydroélectriques de grande importance. À l'intérieur de ce quadrilatère, une cinquantaine de stations enregistrant les températures ont opéré depuis 1940. Par l'étude des données de température disponibles sur une partie du territoire, nous souhaitons développer une méthodologie qui pourra être transposée plus tard, dans le cadre d'un autre travail, à l'ensemble du Québec

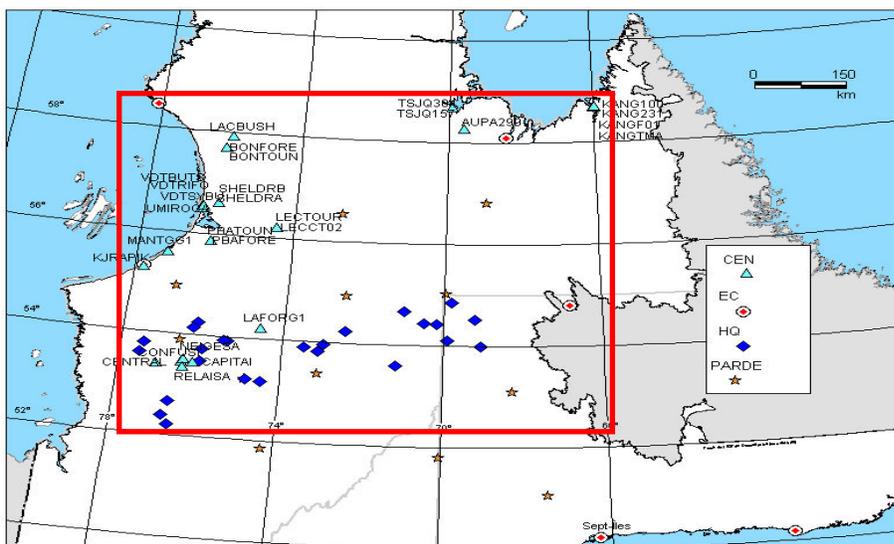


Figure 1 : Représentation de l'aire de l'étude.

nordique et qui pourrait porter aussi bien sur la température que sur d'autres variables climatiques comme les précipitations.

Notons qu'il est possible que nous utilisions des stations situées à l'extérieur de l'aire de l'étude, si on le juge pertinent. Ainsi, nous retenons dans une première étape toutes les stations obtenues à partir des différents organismes, même celles qui ne se situent pas dans l'aire de l'étude.

## **2.2 BASE DE DONNÉES DU CENTRE D'ÉTUDES NORDIQUES**

---

La base de données obtenue par le Centre d'études nordiques (CEN) est constituée de 45 stations climatiques (Tableau 1). La période d'observation de ces stations débute vers la fin des années 80 et s'étale jusqu'en 2005. On note la présence d'un important taux de valeurs manquantes dans plusieurs stations de ce réseau.

Le tableau 2 indique les différents types d'informations disponibles dans la base de données du CEN. La majeure partie des données sont mesurées à un pas de temps horaires (85,6% des données). Toutefois, il y a huit autres types de mesures de la température selon des pas de temps variant de 5 minutes à 24 heures. Notons que le CEN ne retient généralement que les valeurs moyennes sur les pas de temps indiqués au tableau 2. À titre d'illustration, la mesure relevée à 8h00 est la moyenne des températures mesurées entre 7h00 et 8h00. Il est important de mentionner que la totalité des données archivées dans la base de données du CEN sont observées selon l'heure normale de l'Est.

Il existe également pour certaines stations des observations maximales et minimales mesurées sur les différentes périodes indiquées au tableau 2.

Nous avons finalement retenu 29 stations appartenant à 7 groupes (Tableau 3). Ces groupes ont été formés en tenant compte de la localisation des stations et de leur altitude (Figure 2). Ce regroupement de stations servira éventuellement à la validation des données et également pour l'estimation des valeurs manquantes. Nous soupçonnons que l'altitude de la station KANGF01 est erronée et que sa valeur doit être proche de KANG100 et KANG231.

Un processus de validation développé par le CEN est appliqué aux données des stations retenues. Ce processus est principalement basé sur l'information intra

---

No	Code	Nb d'observations	Début	Fin
1	AKUL162	2824	23/06/2004	19/10/2004
2	AUPA299	8747	14/06/2004	14/06/2005
3	BLSB267	104351	18/08/1990	23/10/2002
4	BONFORE	100313	05/04/1988	08/07/2005
5	BONTOUN	104422	06/04/1988	08/07/2005
6	BYLCAMP	96721	09/08/1993	24/07/2005
7	BYLGOEL.1	1511	09/07/1992	16/07/1996
8	BYLGOEL.100_CM	411	09/07/1992	12/07/1993
9	BYLGOEL.2	1510	09/07/1992	16/07/1996
10	BYLGOEL.3	1510	09/07/1992	16/07/1996
11	BYLGOEL.4	1510	09/07/1992	16/07/1996
12	BYLJACK.	26463	19/07/2001	26/07/2004
13	CAPITAL	52743	19/06/1997	12/09/2003
14	CENTRAL.	68301	14/06/1996	03/09/2004
15	CONFUSI	26791	15/06/1996	11/09/2003
16	KANG100	12046	20/06/1999	29/06/2003
17	KANG231	57743	29/10/1992	05/02/2005
18	KANGF01	98769	18/08/1991	09/12/2003
19	KANGTMA	53661	04/07/1988	17/06/1999
20	KJRAPIK	49611	24/06/1996	09/03/2003
21	LACBUSH	52373	28/08/1988	10/07/2004
22	LAFORG1.4.6_M	62822	02/10/1995	20/06/2004
23	LAFORG1.7.6_M	66456	02/10/1995	20/06/2004
24	LECTOUR	50181	04/10/1986	02/07/2004
25	LG2ASIL.	10001	12/09/2003	02/11/2004
26	LG2BSIL.	3963	21/05/2004	02/11/2004
27	MANTGG1	27003	09/03/1988	21/12/1995
28	NEIGESA	50230	20/06/1997	11/09/2003
29	PBAFORE	60332	31/07/1993	05/07/2004
30	PBATOUN.207	51262	01/08/1993	05/07/2004
31	PBATOUN.HMP	26074	07/07/2000	05/07/2004
32	QUAQ156	8814	18/06/2004	20/06/2005
33	RELAISA	18996	25/06/1997	05/06/2000
34	SALT165	689	13/07/1989	08/09/1991
35	SALTAER	19468	28/07/2002	16/10/2004
36	SALTSIL	21393	04/08/2002	11/01/2005
37	SALTTIK	19462	29/07/2002	17/10/2004
38	SHELDRA	71328	23/10/1986	30/06/2004
39	SHELDRB	12584	04/08/1998	18/06/2001
40	TSJQ157	29281	16/06/2002	18/10/2005
41	TSJQ304	11826	12/06/2004	18/10/2005
42	UMIROCA	46522	04/10/1997	26/06/2004
43	VDTBUTS	32452	10/10/2000	29/06/2004
44	VDTRIFO	14368	11/07/1992	11/06/1997
45	VDTSYBU	17172	08/07/2000	30/06/2002

Tableau 1 : Stations de la base de données du CEN

Code	Type de mesure	Nb d'observations	Pourcentage
1	Moyenne de la période de 15 minutes	1 273	0,08%
2	Moyenne de la période de 1 heure	1 416 760	85,60%
3	Moyenne de la période de 3 heures	72 950	4,41%
4	Moyenne de la période de 24 heures	12 014	0,73%
8	Moyenne de la période de 2 heures	147 880	8,94%
9	Moyenne de la période de 4 heures	2 240	0,14%
12	Moyenne de la période de 12 heures	430	0,03%
15	Moyenne de la période de 5 minutes	1 373	0,08%
17	Moyenne de la période de 10 minutes	90	0,01%
	<b>Total</b>	<b>1 655 010</b>	<b>100,00%</b>

Tableau 2 : Contenu de la base de données du CEN

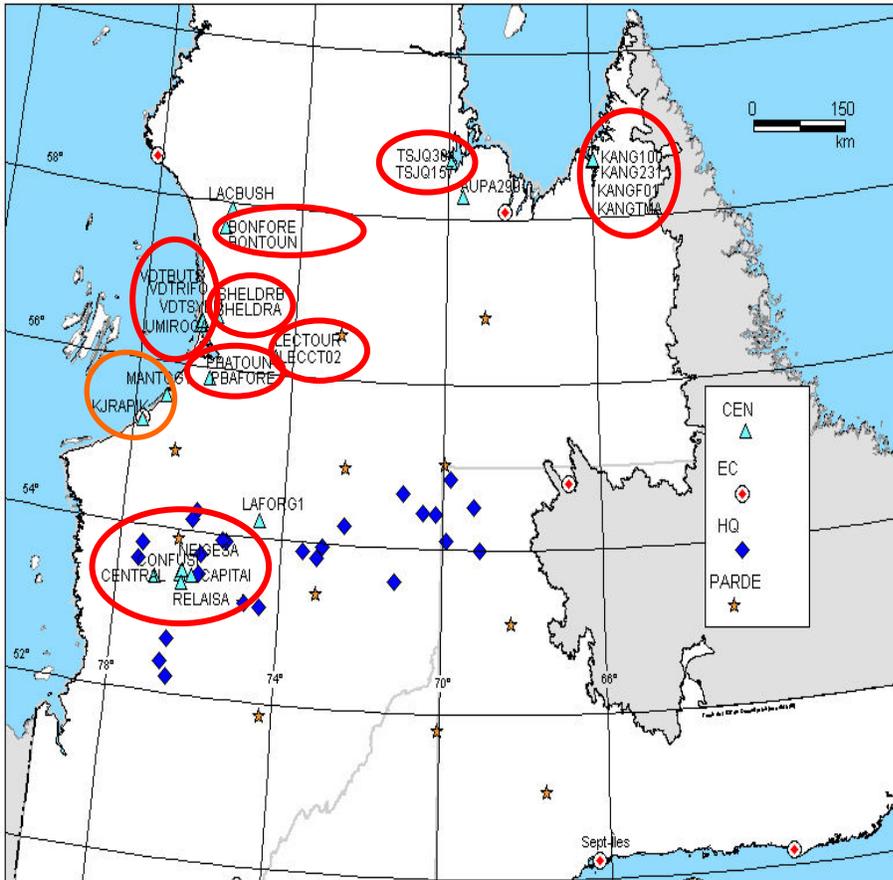
station. Il ne fait pas appel à la validation inter-stations, où on utilise l'information des stations voisines

### 2.3 BASE DE DONNÉES D'HYDRO-QUÉBEC

Hydro-Québec (HQ) dispose d'un réseau constitué de 25 stations climatiques situées dans le bassin La Grande (Tableau 4). Les données sont mesurées à

**Tableau 3 :** Stations du CEN retenues selon la position géographique (29 stations)

Groupe	No	Stations	Altitude (m)	Début	Fin
<b>I (4)</b>	1	KANG100	113.0	20/06/1999	29/06/2003
	2	KANG231	107.2	29/10/1992	05/02/2005
	3	KANGF01	3.0	18/08/1991	09/12/2003
	4	KANGTMA	60.0	04/07/1988	17/06/1999
<b>II (3)</b>	1	TSJQ157	45.0	16/06/2002	18/10/2005
	2	TSJQ304	30.0	12/06/2004	18/10/2005
	3	AUPA299	27.0	14/06/2004	14/06/2005
	1	LACBUSH	120.0	28/08/1988	10/07/2004
	2	BONFORE	153.2	05/04/1988	08/07/2005
	3	BONTOUN	131.6	06/04/1988	08/07/2005
<b>IV (2)</b>	1	SHELDRA	186.5	23/10/1986	30/06/2004
	2	SHELDRB	186.5	04/08/1998	18/06/2001
<b>V (4)</b>	1	UMIROCA	58.7	04/10/1997	26/06/2004
	2	VDTBUTS	130.4	10/10/2000	29/06/2004
	3	VDTRIFO	44.3	11/07/1992	11/06/1997
	4	VDTSYBU	44.3	08/07/2000	30/06/2002
<b>VI (4)</b>	1	PBAFORE	240.4	31/07/1993	05/07/2004
	2	PBATOUN.207	237.9	01/08/1993	05/07/2004
	3	PBATOUN.HMP	237.9	07/07/2000	05/07/2004
	4	LECTOUR	240.1	04/10/1986	02/07/2004
<b>VII (7)</b>	1	CAPITAI	229.0	19/06/1997	12/09/2003
	2	CENTRAL.	229.0	14/06/1996	03/09/2004
	3	CONFUSI	229.0	15/06/1996	11/09/2003
	4	RELAISA	305.0	25/06/1997	05/06/2000
	5	NEIGESA	229.0	20/06/1997	11/09/2003
	6	LAFORG1.4.6_M	400.0	02/10/1995	20/06/2004
	7	LAFORG1.7.6_M	400.0	02/10/1995	20/06/2004
<b>VIII (2)</b>	1	KJRAPIK.	30.0	24/06/1996	09/03/2003
	2	MANTGG1	3.0	09/03/1988	21/12/1995



**Figure 2 :** Localisation géographique des différents groupes de stations constitués à partir du réseau du CEN

un pas de temps horaire et c'est l'observation instantanée horaire qui est archivée. Par exemple, la mesure relevée à 8h00 est la température instantanée observée à 8h00. HQ a procédé en 2005 à l'installation d'un nouveau réseau de stations, qui a est fonctionnel à l'été 2006. Les données observées par ce nouveau réseau ne seront pas considérées dans le cadre de ce travail. Cependant, nous tiendrons en considération la répartition spatiale des stations de ce réseau plus tard au cours de la réalisation de ce projet.

Les données du réseau d'HQ ont été acquises selon deux périodes: les données mesurées avant le 1<sup>er</sup> juillet 2002 et celles mesurées à partir de cette date. Ces dernières données n'ont été soumises à aucun processus de validation, alors que les données mesurées avant le 1<sup>er</sup> juillet 2002 ont été validées. Ce processus de validation attribue seulement des codes de qualité à chaque observation horaire et ne permet pas de corriger les valeurs jugées douteuses. Ces valeurs seront considérées comme manquantes dans notre étude.

**Tableau 4 :** Stations climatiques du réseau d'HQ

Nom de la station	Code	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Brisay Amont	CQBR	54,43667	-70,51667	539
Caniapiscau NE	CQCQ	54,51833	-69,22278	540
Caniapiscau NO	CQCN	54,42750	-70,17778	544
Caniapiscau Sud	CQCS	54,11250	-69,92583	539
LA2 KD-04	CQDK	54,66389	-71,01833	n/d
Duncan Amont	CQDC	53,59083	-77,50444	178
Duplanter Amont	CQDP	54,84667	-69,81000	537
Eastmain Météo	CQEA	52,20972	-76,58750	216
Riv. Kanaaupscow	CQRK	54,24500	-76,16806	175
Sarcelle Météo	CQLS	52,66750	-76,63528	219
Lac Chastrier	CQLC	53,99167	-69,08056	671
Lac Frégate	CQLF	53,20389	-74,83611	317
Lac Puisseaux	CQPU	53,59944	-71,19333	472
LG3 Amont Météo	CQXM	53,72500	-75,98333	260
LG3 TA10	CQXI	53,92556	-75,38667	256
LG3 TA12	CQXJ	53,92500	-75,46528	n/d
LG3 TA32	CQXK	53,48361	-76,00972	n/d
LG4 Amont	CQXA	53,88583	-73,46361	n/d
LG4 Est	CQXE	53,95917	-73,00250	378
LG4 Sud	CQXS	53,82639	-73,11361	382
LG2 Amont	CQXP	53,79028	-77,44167	176
LG2 NE	CQXN	54,14667	-76,25833	179
Petit Opinaca	CQPO	52,37250	-76,75667	222
Riv. de Pontois	CQRP	53,16750	-74,47306	366
Vincelotte	CQVI	54,24028	-72,46667	442

Entre le 1er janvier 1992 et le 30 juin 2002, les données sont colligées en utilisant l'heure normale de l'Est du dernier dimanche d'octobre au premier dimanche d'avril et l'heure avancée de l'Est en dehors de cette période. Lors du passage à l'heure avancée, le premier dimanche d'avril, une donnée devient alors manquante. Le passage s'effectue à 3h00 et les données sont manquantes à toutes les stations les premiers dimanches d'avril de 1992 à 2002. Le dernier dimanche d'octobre, lors du retour à l'heure normale, une donnée est perdue et il y a un décalage réel de deux heures entre les données prises au moment du changement. L'utilisation de l'heure avancée doit être considérée lors de la constitution de la base de données nordique.

---

Entre le 1<sup>er</sup> juillet 2002 et le 31 décembre 2004, les données sont entreposées en utilisant le temps universel coordonné (UTC, *Universal Time Coordinated*). Pour le Nord du Québec, il y a un décalage de cinq heures par rapport à l'heure normale de l'Est. Notons que l'utilisation des observations mesurées à partir du 1<sup>er</sup> juillet 2002 risque de compromettre la qualité des résultats obtenus. Ainsi, il est primordial de développer un processus de validation pour s'assurer de la qualité de ces données.

L'analyse préliminaire des stations du réseau d'HQ est réalisée sur la base des résultats obtenus après l'application du processus de validation des données mesurées avant le 1<sup>er</sup> juillet 2002. Ce processus de validation, réalisé par la firme ENVIROMET, a permis d'identifier le pourcentage de valeurs de bonne qualité, les valeurs manquantes et les valeurs douteuses (Tableau 5). Ces dernières valeurs ont été regroupées en trois catégories : biaisée (données ayant un biais par rapport à une station voisine), fautive (données faussement égale à 0), et erronée (données ne représentant pas la température observée). On constate que le pourcentage des valeurs jugées valides est supérieur à 80% dans 18 stations du réseau d'HQ. À l'exception des stations de Caniapiscau NE, Lac Frégate et Rivière Pontois, le pourcentage des valeurs manquantes dans chacune des stations est inférieur à 10%.

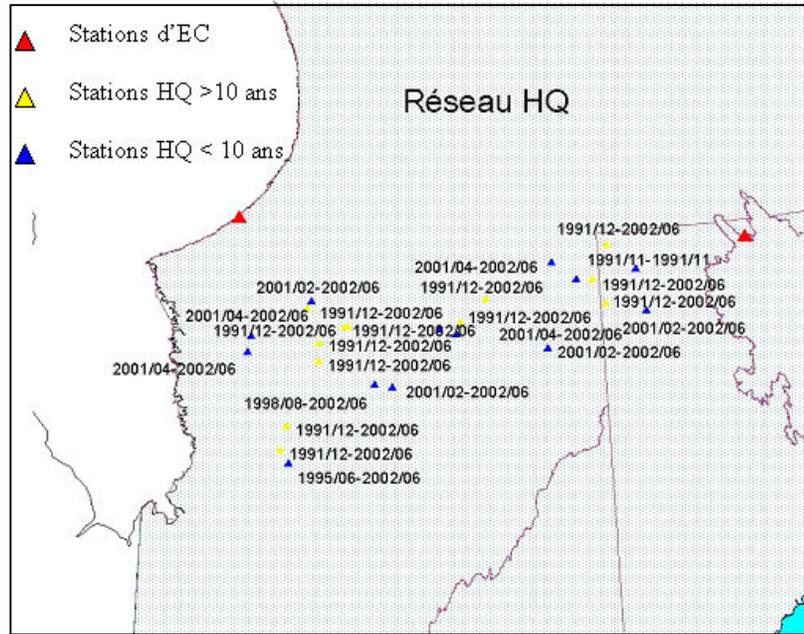
Nous représentons à la figure 3, les périodes d'observation des différentes stations du réseau d'HQ, où les données ont été validées. On constate que seulement 12 stations ont des observations couvrant la période comprise entre 1992 et 2002. Parmi ces stations, onze possèdent un pourcentage de valeurs jugées valides supérieur à 80% (Tableau 5).

Sachant qu'on s'intéresse à la période 1986 à 2005, nous retiendrons ces stations pour l'analyse spatio-temporelle du climat dans le Nord du Québec (Tableau 6). Les autres stations pourront être utilisées lors de l'estimation des valeurs manquantes.

Nous présentons au tableau 6, la liste des stations retenues, des pourcentages de données validées (V), de données invalides (I), de données non validées (N) et de données manquantes (M). Ainsi, durant la période de 1992 à 2004, le pourcentage des valeurs validées varie entre 68,1 et 75,1%. Le pourcentage des données invalides varie entre 0,3% et 3,5%, alors que le pourcentage des données non

---

**Figure 3 :** Localisation des stations d'HQ et identification de leur période d'observation



validées varie entre 16,6 et 22,3%. Enfin, le pourcentage des données manquantes varie entre 2,5 et 13,1%. Rappelons que les données jugées invalides seront considérées dans cette étude comme des données manquantes.

Pour des fins de validation ou d'estimation des valeurs manquantes, nous avons identifié quatre groupes de stations qui peuvent être considérées comme voisines (Figure 4). Cette classification est réalisée sur la base des altitudes des stations et de leur localisation.

#### **2.4 BASE DE DONNÉES DU MDDEP (PROJET PARDE)**

La base de données du MDDEP, notée PARDE, a été constituée à la suite d'un travail réalisé conjointement entre le CEN et le MDDEP (Barrette *et al.* 2004). Cette base de données comprend différents types d'informations et couvre différentes régions du Québec septentrional à partir du 50<sup>e</sup> parallèle. Nous présentons au tableau 7 les stations appartenant à la région d'étude.

On constate que ces stations ne couvrent que partiellement la période d'observation fixée pour cette étude (1986 à 2005). Toutefois, nous jugeons intéressant de garder ces données pour les étapes ultérieures de ce projet. La base de données PARDE est constituée principalement de deux types d'informations. Les

**Tableau 5 :** Nombre d'observations valides, manquantes, fausses, biaisées et erronées de température à chacune des stations du bassin de La Grande.

Station	Valide	Manquante	Fausse	Biaisée	Erronée	Totale	% valide	% manquante
Caniapiscou NE	0	2	0	0	2	4	0,0%	50,0%
Caniapiscou NO	89 422	2 845	356	0	3	92 626	96,5%	3,1%
Caniapiscou Sud	84 743	7 397	365	0	124	92 629	91,5%	8,0%
LA2 KD-04	10 412	50	49	0	0	10 511	99,1%	0,5%
Duncan Amont	10 512	59	88	0	50	10 709	98,2%	0,6%
Duplanter Amont	70 522	5 591	863	14 913	118	92 007	76,6%	6,1%
Eastmain Météo	57 881	3 204	385	0	233	61 703	93,8%	5,2%
Riv. Kanaaupscow	0	27	21	11 597	377	12 022	0,0%	0,2%
Sarcelle Météo	86 368	4 423	636	0	1 199	92 626	93,2%	4,8%
Lac Chastrier	11 017	995	11	0	0	12 023	91,6%	8,3%
Lac Frégate	24 856	8 635	224	284	89	34 088	72,9%	25,3%
Lac Puisseaux	11 161	851	12	0	0	12 024	92,8%	7,1%
LG3 Amont Météo	84 032	7 254	1 045	0	114	92 445	90,9%	7,8%
LG3 TA10	82 686	5 746	950	2 962	283	92 627	89,3%	6,2%
LG3 TA12	84 355	7 163	780	0	328	92 626	91,1%	7,7%
LG3 TA32	84 113	5 675	630	1 805	386	92 609	90,8%	6,1%
LG4 Amont	8 999	263	48	1 384	14	10 708	84,0%	2,5%
LG4 Est	88 106	2 504	486	0	1 252	92 348	95,4%	2,7%
LG2 Amont	10 068	368	31	0	23	10 490	96,0%	3,5%
LG2 NE	89 629	2 142	791	0	66	92 628	96,8%	2,3%
Petit Opinaca	81 120	7 437	442	0	3 630	92 629	87,6%	8,0%
Riv. de Pontois	6 555	5 430	28	0	5	12 018	54,5%	45,2%
Vincelotte	82 090	8 725	1 718	0	95	92 628	88,6%	9,4%
Total	1 158 647	86 786	9 959	32 945	8 391	1 296 728	89,4%	6,7%

**Tableau 6 :** Stations du réseau d'HQ retenues (entre 1992 et 2004)

\* V = donnée valide  
I = donnée invalide  
N = la donnée n'a pas été validé  
M = valeur manquante

Code	Nom	FLAG*	Observations	Pourcentage
CQCN	CANIAPISCAU NO	363	I	0,3%
		2924	M	2,5%
		26394	N	22,3%
		88836	V	75,0%
CQCS	CANIAPISCAU SU	490	I	0,4%
		8935	M	7,5%
		24925	N	21,0%
		84161	V	71,0%
CQLS	SARCELLE METEO	1828	I	1,5%
		5087	M	4,3%
		25867	N	21,8%
		85875	V	72,4%
CQPO	PETIT OPINACA	4069	I	3,4%
		8592	M	7,3%
		25046	N	21,2%
		80566	V	68,1%
CQVI	VINCELOTTE	1810	I	1,5%
		15551	M	13,1%
		19741	N	16,6%
		81542	V	68,7%
CQXE	LG 4 EST	2018	I	1,7%
		3440	M	2,9%
		25501	N	21,5%
		87526	V	73,9%
CQXI	LG 3 TA10	4195	I	3,5%
		6614	M	5,6%
		25571	N	21,6%
		82107	V	69,3%
CQXJ	LG 3 TA12	1113	I	0,9%
		7395	M	6,2%
		26229	N	22,1%
		83772	V	70,7%
CQXK	LG 3 TA32	2842	I	2,4%
		8538	M	7,2%
		23468	N	19,8%
		83529	V	70,6%
CQXM	LG 3 AMONT METEO	1279	I	1,1%
		11909	M	10,1%
		21285	N	18,0%
		83547	V	70,8%
CQXN	LG 2 NORD-EST	858	I	0,7%
		3558	M	3,0%
		25045	N	21,1%
		89050	V	75,1%

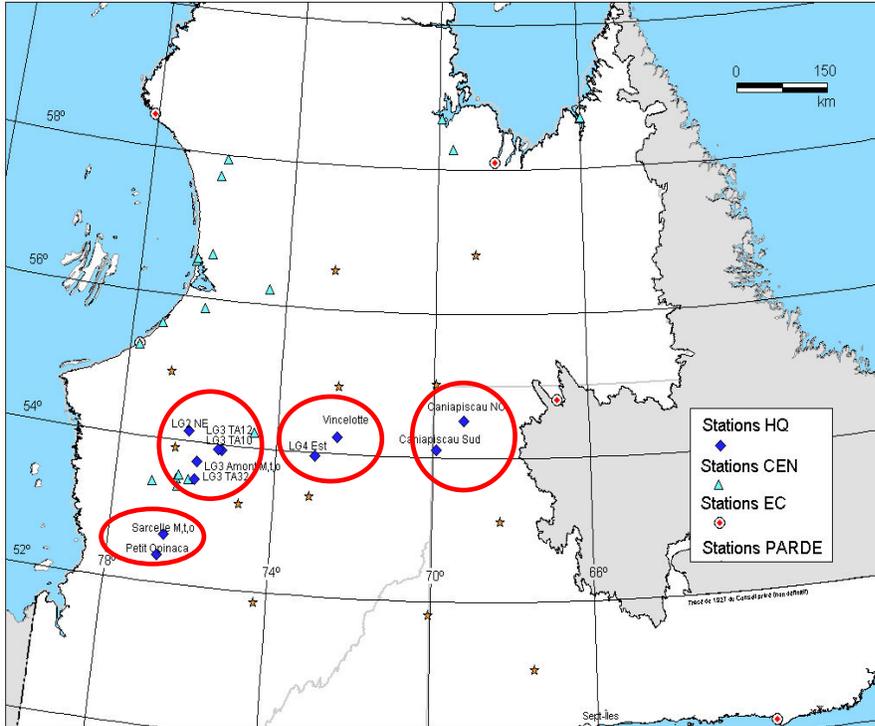


Figure 4 : Identification des groupes de stations jugées voisines.

mesures des températures maximales, minimales et moyennes horaires dites de type 72 et les mesures des températures maximales et minimales quotidiennes dites de type Fox. Selon Barrette *et al.* (2004), 90% des données type Fox (min et max quotidiennes) ont été validées alors que seulement 66,7% des données de type 72 l'ont été. Les données classées douteuses sont réputées manquantes. Notons que les données type 72 sont des données observées aux 15 minutes et que la moyenne horaire a été calculée sur la base d'au moins trois valeurs. La figure 5 illustre la répartition des stations de la base de données PARDE.

## 2.5 BASE DE DONNÉES D'ENVIRONNEMENT CANADA

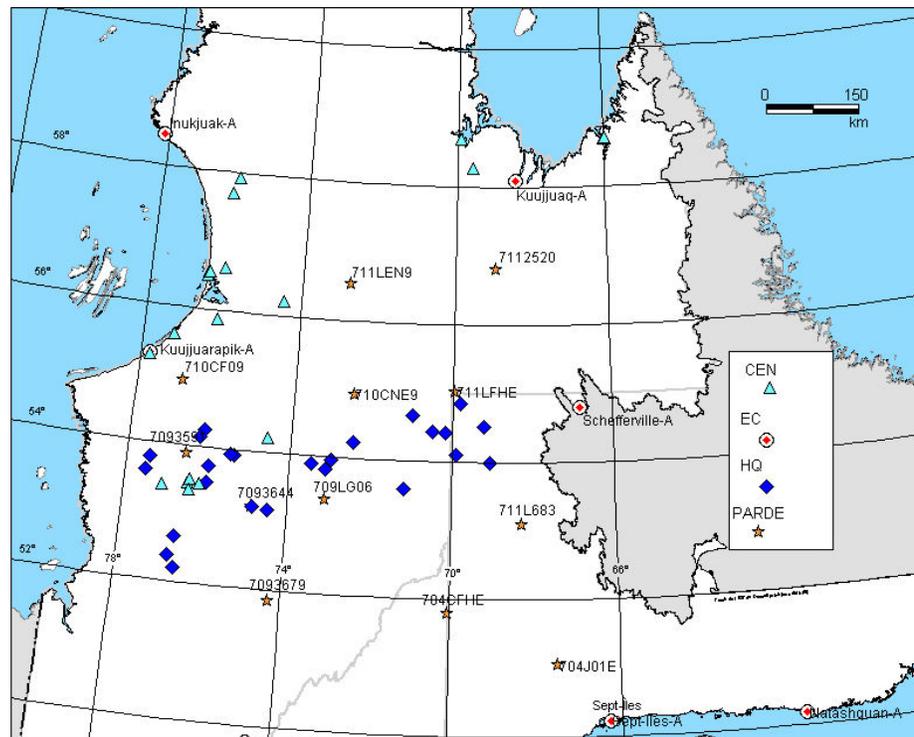
Les stations de d'Environnement Canada (EC) installées dans le Nord du Québec sont principalement localisées en région côtière. Elles ont été installées au début des années 1930. Le tableau 8 présente la liste des stations de EC retenues pour cette étude. Notons que EC a automatisé ses stations au début des années 1990.

EC collige deux types de données, les données horaires moyennes sur la dernière minute de l'heure de mesure (données type 078) et les données maximales

**Tableau 7 :** Liste des stations PARDE situées dans le Nord du Québec

No	Station	Nom	Début	Fin
1	704CFHE	Lac-Carbillet	1973	1991
2	704J01E	Lac-Frégate	1975	1978
3	7093591	Lac-Neoskwescau	1967	1979
4	7093644	Fort-Mckenzie	1972	1982
5	7093679	Lac-Pletipi	1966	1993
6	709LG06	Lac-Sauvolles	1967	1993
7	710CF09	Lac-Denys	1968	1969
8	710CNE9	Lac-Bienville	1972	1985
9	7112520	Lac-Opiscoteo	1974	1986
10	711L683	Lac-Bolem	1972	1991
11	711LEN9	Lac-Roman	1973	1984
12	711LFHE	Lac-Carbillet	1972	1991

**Figure 5 :** Localisation des stations PARDE



et minimales quotidiennes. Ces deux dernières données sont obtenues à partir d'une journée climatologique débutant à 1h00 du jour  $j$  et finissant à 1h00 du jour  $j+1$ . Dans cette étude, nous utiliserons ces derniers types de données pour l'analyse du climat nordique. Toutefois, les données de type 078 peuvent être utilisées

pour la comparaison avec les données des températures quotidiennes. En fait, le CEN et HQ ne gardent pas les températures minimales et maximales dans leurs bases de données et nous devons estimer ces températures à partir des données horaires moyennes ou instantanées. Cette façon de faire risque de sous-estimer ou surestimer les températures minimales et maximales réelles. Ainsi, nous avons besoin d'évaluer l'incertitude liée à ces estimations. Les mesures de type 078 combinées aux températures maximales et les minimales quotidiennes permettent d'évaluer cette incertitude.

La localisation des stations climatiques de EC est illustrée à la figure 6. On constate qu'il serait également possible d'utiliser ces stations pour des fins de validation des mesures observées dans les réseaux d'HQ et du CEN.

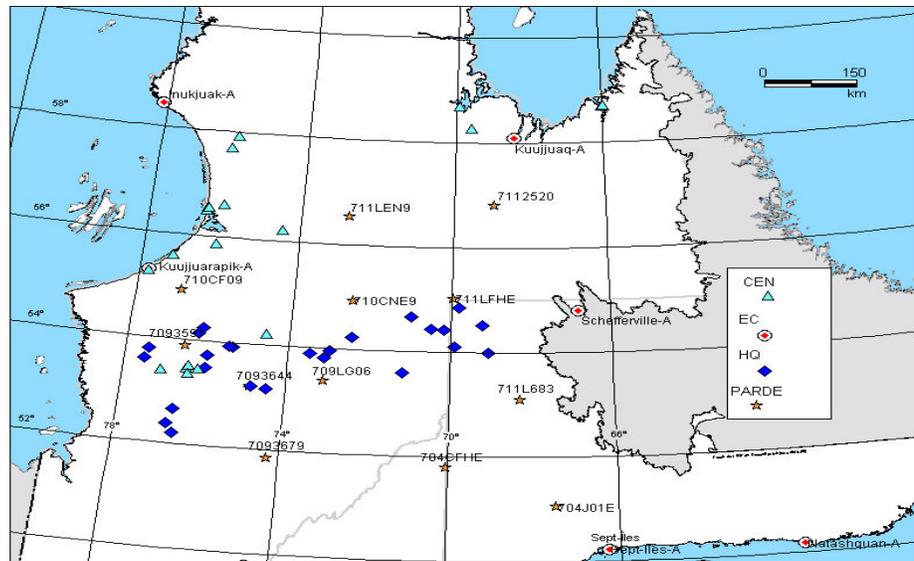
## 2.6 CONCLUSION

Nous projetons constituer une base de données nordique en regroupant les données de quatre banques présentées (CEN, HQ, MDDEP, EC). L'information contenue dans ces bases de données n'est pas toujours uniforme et nous aurons à définir certains critères pour pouvoir les regrouper. A titre d'exemple, la base de données du CEN comprend des mesures de la température horaire moyenne, alors que celle d'HQ comprend des mesures de la température horaire instantanée. Nous avons constaté que les données d'HQ mesurées à partir du 1er juillet 2002 n'ont été soumises à aucune validation. Avant cette période, les données ont été validées. Toutefois, les données douteuses n'ont pas été corrigées et elles sont considérées comme valeurs manquantes dans cette étude. Les données du CEN sont soumises à un processus de validation, qui utilise l'information intra-station.

Nom de la station	Numéro	Altitude (m)	Manuelles		Automatiques	
			Début	Fin	Début	Fin
Inukjuak-A	7103282	25.0	1921	1994	1993	1996
Inukjuak-A	7103283	25.0	-	-	1994	2006
Kuujuarapik-A	7103536	10.4	1925	2005	1992	2006
Kuujuuaq-A	7113534	39.3	1947	2005	1992	2006
Schefferville-A	7117825		1948	1993	1993	2006

**Tableau 8 :** Stations de la mesure des températures quotidiennes d'EC

**Figure 6 :** Localisation des stations d'Environnement Canada



Ainsi, le CEN ne soumet pas ses données à une validation inter-station. La base de données PARDE a été validée en partie (66,7% des données horaires et 90% des données quotidiennes ont été validées). Notons que les stations de cette base de données ne couvrent que partiellement la période 1986-2005 choisie pour notre étude. Enfin, les données d'EC retenues pour cette étude sont des températures quotidiennes. Généralement, ces données sont soumises à un processus de validation complet. C'est pour cette raison qu'on les considère comme des données de référence. À la suite de ces constats, nous avons jugé important de développer un processus de validation des données.

## 3. Validation des données de températures

Le processus de validation développé dans cette étude tient compte de deux types d'informations: l'information intrinsèque, propre à la station (validation intra-station) et l'information voisine, tirée des stations voisines (validation inter-stations). Le processus de validation vise principalement les données des bases d'HQ et du CEN. En ce qui concerne les données de la base du MDDEP, il est possible qu'on ne puisse pas appliquer le deuxième type de validation en raison de leur période d'observation.

La validation des séries de températures est effectuée à partir des données de températures maximales (Tmax), minimales quotidiennes (Tmin) et moyennes quotidiennes (Tmoy). Toutefois, lorsqu'une valeur est jugée douteuse, nous consultons les données prises à l'échelle horaire.

### 3.1 VALIDATION INTRA-STATION

---

La validation intra-station est réalisée en trois étapes : la comparaison de Tmin avec Tmax, l'identification des valeurs nulles et la comparaison de Tmin et de Tmax avec Tmoy.

#### 3.1.1 Comparaison de Tmin et Tmax

À cette étape, on identifie les mesures de températures quotidiennes où Tmin est supérieure à la Tmax. Les cas relevés sont considérés comme valeurs manquantes.

#### 3.1.2 Identification des valeurs nulles

Il arrive occasionnellement que des problèmes techniques à la station de mesure amènent à considérer comme nulles la majeure partie des observations. À cette étape de validation, nous identifierons les valeurs de température nulle et nous vérifierons leur fiabilité sur une fenêtre de six heures (trois heures d'observation avant et après la mesure nulle). Notons que la base de données d'HQ entre juillet 2002 et décembre 2004 contient d'autres observations climatiques comme les précipitations et le vent. Nous avons constaté que lorsque la station de mesure est en panne, les mesures de précipitations et de température sont simultanément nulles. Dans le cas la base de données d'HQ, il faut identifier ces valeurs au niveau horaire et les considérer comme valeurs manquantes.

---

### 3.1.3 Comparaison de T<sub>min</sub> et de T<sub>max</sub> à T<sub>moy</sub>

Il s'agit de la validation des températures quotidiennes de chaque station. À cette étape, nous identifierons les valeurs aberrantes par rapport à la valeur moyenne. En fait, lorsque les données de la température sont mesurées deux fois par jour (station avec observateur), on fait l'hypothèse que l'écart entre la valeur maximale et la moyenne est égal à celui entre la moyenne et la valeur minimale. Au plan analytique, on écrit :

$$T_{moy} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$$

$$\Leftrightarrow 2T_{moy} = T_{max} + T_{min} \Leftrightarrow T_{moy} - T_{min} = T_{max} - T_{moy}$$

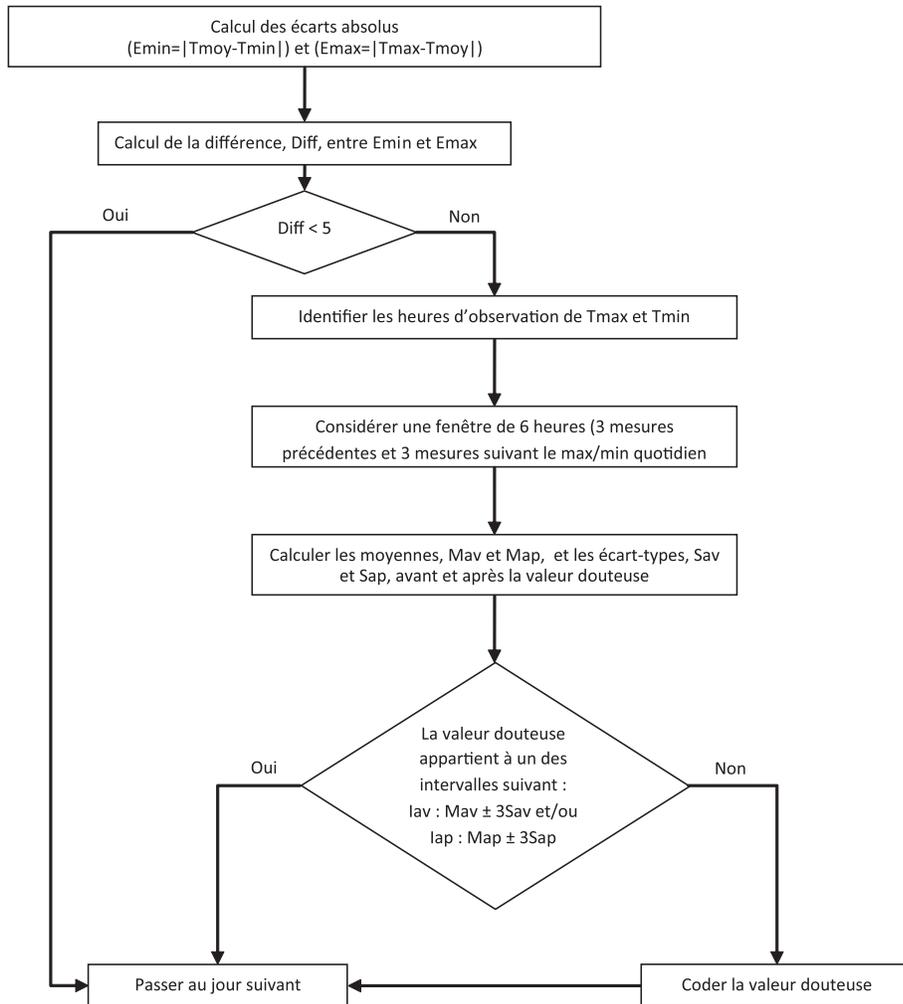
$$\Leftrightarrow E_{min} = E_{max}$$

Cette hypothèse n'est cependant pas toujours exactement vérifiée étant donné la non uniformité des phénomènes climatiques. Alors, on considère un seuil au-dessous duquel, nous considérons que l'hypothèse reste toujours valide. Ainsi, on fixe ce seuil à 3°C. Si la différence  $Diff = E_{min} - E_{max}$  est inférieure ou égale à 3°C, cela signifie que l'hypothèse est vérifiée et la valeur de la température est jugée bonne. Dans le cas où le seuil est supérieur à 3°C, on fixe une fenêtre mobile horaire de 12 heures (on considère les 5 températures horaires qui précèdent la donnée douteuse (maximum ou minimum quotidien) et les 5 températures horaires qui la succèdent). Par la suite, on effectue les étapes suivantes :

- On calcule les moyennes des températures correspondant aux deux groupes de 5 valeurs précédant et succédant la valeur douteuse.
- On calcule les écart-types des températures correspondant aux deux groupes de 5 valeurs précédant et succédant la valeur douteuse.
- La valeur de la température jugée douteuse sera considérée non fiable et par la suite manquante si elle n'est pas comprise dans les intervalles formés par les moyennes et les écart-types avant et après la valeur douteuse (Figure 7).

## 3.2 VALIDATION INTER-STATION

À cette étape, on compare les mesures avec celles des stations voisines. Rappelons que ces dernières stations doivent être identifiées sur la base de critères géographiques, topologiques et climatiques. À titre d'exemple, nous avons constitué huit groupes de stations potentiellement voisines à partir de la base de don-



**Figure 7 :** Processus de validation des données.

nées du CEN (Tableau 3). Ainsi, les températures quotidiennes correspondant aux groupes de stations constituées au tableau 3 ont été mutuellement comparées. En fait, nous avons comparé les températures quotidiennes minimales, maximales et moyennes des deux stations. Par exemple, pour le groupe II qui comprend trois stations, nous avons comparé les différences absolues de températures des stations 1 et 2, 1 et 3 et 2 et 3. Nous avons calculé la moyenne et l'écart-type de ces différences absolues à partir d'un certain nombre d'observations communes. Notons que cette analyse ne concerne pas les stations n'ayant pas de périodes communes d'observation. Nous avons ensuite dressé un «débord» pour identifier les stations similaires et que l'on pourrait éventuellement regrouper (Tableau 9). Ce tableau peut être lu de la façon suivante :

- Lorsque la moyenne ou l'écart-type des différences absolues de températures sont inférieurs à 1 °C, alors les deux stations sont jugées identiques (jugement=☺);
- Lorsque la moyenne ou l'écart-type des différences absolues de températures sont comprises entre 1 et 2 °C, alors les deux stations sont jugées similaires (jugement=☹);
- Lorsque la moyenne ou l'écart-type des différences absolues de températures sont supérieurs ou égaux à 2 °C, alors les deux stations sont jugées différents (jugement=☹);

La variable «Classe» identifie les stations comparées appartenant au même groupe. Au tableau 9, nous avons respecté le classement des stations présentées au tableau 3. Enfin, la colonne « Nobs » représente le nombre d'observations communes entre les deux stations comparées.

**Tableau 9 :** Exemple de comparaison inter-station à partir des stations du CEN

Groupe	Classe	Nobs	Tmin	Tmax	Tmoy
1	1_2	177	☹	☹	☹
1	1_3	425	☹	☹	☹
1	2_3	736	☹	☹	☹
1	3_4	1353	☹	☹	☹
2	1_2	492	☹	☹	☹
2	1_3	364	☹	☹	☹
2	2_3	364	☹	☹	☹
3	1_2	3594	☹	☹	☹
3	1_3	3906	☹	☹	☹
3	2_3	4674	☹	☹	☹

## 4. Mise en forme des données

### 4.1 INTRODUCTION

---

Une fois la validité des données assurée, il est nécessaire de mettre en place un mode de gestion efficace des données. Pour ce faire, nous avons dû faire appel à un système de gestion de base de données (SGBD). Nous avons décidé de réunir les données dans un SGBD dès que les données ont été validées pour trois raisons :

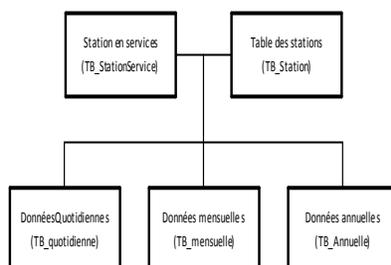
- la manipulation des données sera plus efficace, car nous n'aurons qu'un seul dépôt centralisé de données
- le système d'information géographique (SIG) que nous comptons utiliser pour la portion cartographique et analyse spatiale est capable de se connecter à un SGBD. On évitera l'exportation/importation constante des données dans le SIG et les logiciels de traitement. Par conséquent, il nous permettra de travailler directement sur les données qui seront toujours synchronisées.

### 4.2 INFRASTRUCTURE ET STRUCTURE DE LA BASE DE DONNÉES

---

Le SGBD que nous avons choisi est Microsoft® SQL Server 2005. Ce système a été choisi parce que nous avons déjà toute l'infrastructure et l'expertise nécessaires pour le faire fonctionner. D'une grande souplesse de programmation, il est supporté par défaut par les logiciels de traitement de données et de statistique (SPSS, Excel) et le SIG (ArcGIS) que nous utiliserons. Le SGBD est installé localement, mais il pourrait être éventuellement disponible en réseau, si cela s'avérait nécessaire.

La structure initiale de la base de données est assez simple (Figure 8). Au fur et à mesure que l'analyse avancera, elle pourrait se complexifier. Pour l'instant, elle se résume en cinq tables (station, températures quotidiennes, températures mensuelles, températures annuelles et stations en service).



**Figure 8 :** Structure de la base de données mise en place pour le stockage des données.

### 4.3 IMPORTATION ET HOMOGENÉISATION DE LA NOMENCLATURE DES STATIONS

Les traitements que nous avons faits jusqu'à présent ont été effectués sur une série de fichiers textes qui contenaient les données de chacune des stations. Une fois la structure de la base de données mise en place, nous y avons importé l'ensemble des fichiers textes contenant les données quotidiennes de toutes les stations qui ont été validées lors des étapes précédentes. Aucun choix de données n'a été fait à ce niveau, tout a été importé. Une fois l'importation terminée, nous avons effectué un contrôle de qualité de l'importation. Le calcul de statistiques descriptives (minimum, maximum, nombre de données par mois, nombre de données par année, etc.) nous a permis de détecter les erreurs d'importation.

Dans le but de faciliter la compréhension, le nom des stations a été recodé en utilisant cinq caractères (Tableau 10). Nous avons dû avoir recours à cette manipulation pour les raisons suivantes :

- le nom des stations étant variable en longueur, il était difficile d'avoir une présentation visuelle et cartographique homogène
- nous avons profité du recodage pour inclure la provenance des données en utilisant les premiers et deuxièmes caractères du nom de la station pour indiquer qui était le propriétaire des données. Ainsi, les noms commençant par «C», «HQ», «E» et «P» appartiennent respectivement au Centre d'études nordiques, à Hydro-Québec, à Environnement Canada et au ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec.

**Tableau 10 :** Liste des stations importés dans la base de données

Code	Ancienne codification	Nom de la station	Long.	Lat.	Prop.
CA162	AKUL162	Akulivik HT-162	-78,2	60,8	CEN
CP299	AUPA299	Aupaluk HT-299	-69,6	58,3	CEN
CB267	BLSB267	Blanc-Sablon	-57,1	51,3	CEN
CBFOR	BONFORE	Rivière Boniface, Forêt	-76,1	57,7	CEN
CBTOU	BONTOUN	Rivière Boniface, Toundra	-76,1	57,7	CEN
CBYCA	BYLCAMP	Île Bylot, Lac du camp	-78,5	73,3	CEN
CBY10	BYLGOEL_100	Île Bylot Lac Goélands	-78,5	73,3	CEN
CBYG1	BYLGOEL_1	Île Bylot Lac Goélands Site 1	-78,5	73,3	CEN
CBYG2	BYLGOEL_2	Île Bylot Lac Goélands Site 2	-78,5	73,3	CEN
CBYG3	BYLGOEL_3	Île Bylot Lac Goélands Site 3	-78,5	73,3	CEN
CBYG4	BYLGOEL_4	Île Bylot Lac Goélands Site 4	-78,5	73,3	CEN
CBYJK	BYLJACK	Île Bylot, Montagne à Jack	-78,5	73,3	CEN
CCAPI	CAPITAI	Lac Capitaine	-76,3	53,8	CEN
CCENT	CENTRAL	Île Centrale	-77,1	53,7	CEN
CCONF	CONFUSI	Île de Confusion	-76,8	53,8	CEN
CK100	KANG100	Kangiqualujjuaq, HT-100	-66,0	58,7	CEN
CK231	KANG231	Kangiqualujjuaq, Roc	-66,0	58,7	CEN
CKF01	KANGF01	Kangiqualujjuaq, RF01	-66,0	58,7	CEN
CKTMA	KANGTMA	Kangiqualujjuaq, Terrasse marine	-66,0	58,7	CEN

Code	Ancienne codification	Nom de la station	Long.	Lat.	Prop.
CKJRP	KJRAPIK	Kuujuarapik	-77,7	55,3	CEN
CBUSH	LACBUSH	Lac Bush	-75,9	58,0	CEN
CLAF4	LAFORG1_4	Réservoir Laforge 4,6 M	-72,6	54,2	CEN
CLAF7	LAFORG1_7	Réservoir Laforge 7,6 M	-72,6	54,2	CEN
CLECT	LECTOUR	Lac à l'Eau claire	-74,4	56,2	CEN
CLG2A	LG2ASIL	Rés, R-Bourassa, SILA-Site A	-77,8	53,7	CEN
CLG2B	LG2BSIL	Rés, R-Bourassa, SILA-Site B	-77,8	53,7	CEN
CMANT	MANTGG1	Manitounuk	-77,2	55,6	CEN
CNEIA	NEIGESA	Île aux neiges - Station A	-76,6	53,9	CEN
CPBAF	PBAFORE	Petite Baleine, Forêt	-76,2	55,9	CEN
CPBAT	PBATOUN	Petite Baleine, Toundra	-76,2	55,9	CEN
CPBAH	PBATOUN_HMP	Petite Baleine, ToundraHMP	-76,2	55,9	CEN
CQ156	QUAQ156	Quaqtaq HT-156	-69,6	61,0	CEN
CRELA	RELAISA	Station Relais	-76,7	53,6	CEN
CS165	SALT165	Salluit, Rivière Foucault	-75,6	62,2	CEN
CSAER	SALTAER	Salluit Aéroport	-75,7	62,2	CEN
CSSIL	SALTSIL	Salluit_SILA	-75,6	62,2	CEN
CSTIK	SALTTIK	Salluit Tikiraatsiaq	-75,6	62,2	CEN
CSHEA	SHELDRA	Rivière Sheldrake, Site A	-76,1	56,6	CEN
CSHEB	SHELDRA	Rivière Sheldrake, Site B	-76,1	56,6	CEN
CT157	TSJQ157	Tasiujaq HT-157	-69,9	58,7	CEN
CT304	TSJQ304	Tasiujaq HT-304	-69,9	58,7	CEN
CUMRC	UMIROCA	Umiujaq, Station ROC	-76,5	56,5	CEN
CVTBS	VDTBUTS	Vallée-des-Trois, B sableuse	-76,5	56,6	CEN
CVTRF	VDTRIFO	Vallée-des-Trois, Station RF	-76,5	56,6	CEN
CVTSB	VDTSYBU	Vallée des Trois, Station SB	-76,5	56,6	CEN
P591Y	7093591	Lac-Carbillet	-76,6	53,9	MDDEP
P644Y	7093644	Lac-Frégate	-74,9	53,2	MDDEP
P679Y	7093679	Lac-Neoskwescau	-74,3	51,9	MDDEP
P520Y	7112520	Fort-Mckenzie	-69,0	56,8	MDDEP
PFHEY	704CFHE	Lac-Pletipi	-70,1	51,8	MDDEP
PO1EY	704J01E	Camp-M-107	-67,5	51,1	MDDEP
PG06Y	709L606	Lac-Sauvolles	-73,1	53,4	MDDEP
PF09Y	710CF09	Lac-Denys	-76,9	55,0	MDDEP
PNE9Y	710CNE9	Lac-Bienville	-72,5	55,0	MDDEP
P683Y	711L683	Lac-Opiscoteo	-68,3	53,1	MDDEP
PEN9Y	711LEN9	Lac-Bolem	-72,8	56,6	MDDEP
PLHEY	711LFHE	Lac-Roman	-70,0	55,0	MDDEP
HQCAN	CQCN	Caniapiscau NO	-70,2	54,4	HQ
HQCAS	CQCS	Caniapiscau Sud	-69,9	54,2	HQ
HQSAR	CQLS	Sarcelle Meteo	-76,6	52,7	HQ
HQLAM	CQXM	LG3 Amont Meteo	-76,0	53,7	HQ
HQT10	CQXI	LG3 TA10	-75,4	53,9	HQ
HQT12	CQXJ	LG3 TA12	-75,5	53,9	HQ
HQT32	CQXK	LG3 TA32	-76,0	53,5	HQ
HQLG4	CQXE	LG4 Est	-73,0	54,0	HQ
HQLG2	CQXN	LG2 NE	-76,3	54,2	HQ
HQOPI	CQPO	Petit Opinaca	-76,7	52,4	HQ
HQVIN	CQVI	Vincelotte	-72,5	54,2	HQ
ECKJQ	7113534	Kuujuaq	-68,4	58,1	EC
ECKJP	7103536	Kuujuarapik	-77,8	55,3	EC
ECNIT	7095480	Nitchequon	-70,9	53,2	EC
ECCHI	7092480	Chisasibi	-79,0	53,8	EC
ECSCH	7117825	Schefferville	-66,8	54,8	EC
ECINU	7103283	Inukjuaq	-78,1	58,5	EC
ECLGA	7093715	LG A	-77,7	53,6	EC
ECEAS	7092305	Eastmain	-78,5	52,3	EC
ECUMI	7108568	Umijuaq	-76,5	56,5	EC

**Tableau 10 : Liste des stations importés dans la base de données (suite)**



## 5. Estimation des valeurs manquantes

Les données manquantes constituent un handicap majeur pour les analyses portant sur l'évolution du climat. C'est le cas particulièrement dans le Nord du Québec, où le réseau est généralement fragmentaire et les séries d'observations contiennent des périodes prolongées de valeurs manquantes. Il est donc important de disposer de méthodes fiables, précises et adaptées au contexte des réseaux nordiques pour estimer les valeurs manquantes. Ainsi, les techniques d'estimation doivent prendre en considération la répartition des valeurs manquantes dans la série d'observation. Idéalement, on devrait être en mesure d'estimer aussi bien les valeurs manquantes qui sont distribuées aléatoirement dans la série, que d'estimer de longues séquences de valeurs manquantes.

### 5.1 CHOIX DES STATIONS VOISINES

---

Afin d'estimer les valeurs manquantes dans la série de température d'une station climatique, il faut d'abord identifier ses stations voisines. Les données de ces stations permettent de combler les périodes non observées à la station de base. Elles constituent une source d'information pour expliquer ou corriger le comportement de cette station. Les séries dont les données manquantes seront reconstituées se trouvent dans le quadrilatère entre 52 et 59 degrés de latitude Nord et 66 à 80 degrés de longitude Ouest. Le reste des analyses portera sur ces stations.

Le choix du nombre de stations voisines dépend fortement de la densité du réseau nordique. Sachant sa faible densité, on pourra se contenter d'une seule station voisine pour l'estimation des valeurs manquantes. Il est également possible d'estimer les valeurs manquantes par segment de période d'observation. Par exemple, deux stations voisines pourront être utilisées individuellement pour l'estimation des températures entre 1990 et 1999 et entre 2000 et 2004.

Afin de grouper les stations, nous avons utilisé l'analyse par groupement hiérarchique. Douze groupes sont ressortis de cette analyse (Tableau 11). C'est en se basant sur ces groupes que les régressions multiples ou simples (selon le cas) ont été calculées. Notons que pour certaines stations, il n'y avait pas de période commune assez longue pour permettre l'analyse par groupement. C'est le cas de toutes les stations qui n'apparaissent pas au tableau 11. Par conséquent, le nom-

---

**Tableau 11 :** Groupe de stations tels que définis par l'analyse de groupement hiérarchique

Groupe	Stations	Groupe	Stations
1	CSHEA CSHEB CUMRC	7	HQCAN HQCAS
2	CPBAF CPBAH CPBAT	8	HQOPI HQSAR
3	CBFOR CBTOU CBUSH	9	CCENT HQT10 HQT12
4	CLECT	10	CCAPI CCONF CNEIA CRELA HQLG2
5	HQLAM	11	HQLG4 HQVIN
6	CKJRP ECKJP	12	CLAF4 CLAF7

bre de groupes est largement sous le nombre potentiel. Même chose pour la taille des groupes qui aurait pu être plus grande, si toutes les stations avaient eu de longues périodes communes.

Le choix des stations voisines devait aussi se faire en respectant certaines conditions puisque l'estimation d'une valeur manquante est basée sur les températures observées à ces stations. Nous avons défini trois critères pour identifier une station voisine :

- Une station située au-delà d'une distance de 200 km par rapport à la station de base n'est pas considérée comme voisine;
- La corrélation entre les valeurs des températures des stations de base et ses voisines doit être supérieure à 0.8;
- L'altitude de la station voisine doit être du même ordre que celle de la station de base ( $\pm 20\%$  de cette altitude). Ce critère s'applique principalement aux stations situées dans des régions montagneuses

## 5.2 MODÈLE STATISTIQUE DE L'ESTIMATION DES VALEURS MANQUANTES

La méthode d'estimation par régression est basée sur le modèle de régression multiple, qui est régi par l'équation suivante :

$$T_b = a_1 + a_2 T_{v1} + a_3 T_{v2} + \dots + a_n T_{vn} + \varepsilon \quad (1)$$

Où  $T_b$  : est la variable à expliquer  
 $T_{v1}, \dots, T_{vn}$  : sont les variables explicatives  
 $a_1, \dots, a_n$  : sont des paramètres à estimer  
 $\varepsilon$  : est un terme d'erreur

Ce modèle a été développé pour expliquer le comportement et la variabilité de la variable  $T_b$ . Ce principe a été exploité pour l'estimation d'une valeur manquante de la température quotidienne en considérant que  $T_b$  est la température quotidienne à la station de base et que les variables  $T_{vi}$  représentent les températures quotidiennes aux stations voisines. Selon le nombre de stations voisines, on peut estimer les paramètres du modèle de régression (Équation 1). Par la suite, on utilise l'équation établie pour estimer les valeurs manquantes à la station de base. Cette technique d'estimation des valeurs manquantes exigent de longues séries chronologiques et la disponibilité d'au moins trois stations voisines. Ceci constitue une limite importante du modèle d'estimation si on désire l'appliquer aux stations du réseau nordique. En effet, la densité du réseau d'observation nordique demeure très faible et la majorité de stations ne dépassent pas 15 années d'observation. Notons également que le pourcentage des valeurs manquantes dans ces stations est relativement élevé et qu'il est fréquent d'observer des périodes communes de valeurs manquantes dans les stations voisines. Sur la base de ces constats, nous avons adapté le modèle d'estimation des valeurs manquantes au contexte du réseau d'observation nordique. Par conséquent, nous avons utilisé la régression multiple lorsque nous avons deux stations voisines ou plus, sinon une régression linéaire simple a été utilisée. Dans certains cas, il a été impossible de combler les données manquantes car il n'y avait pas de station voisine ou de période commune.

### **5.3 ESTIMATION DES DONNÉES QUOTIDIENNES MANQUANTES**

Afin de vérifier la validité du modèle de régression qui a été utilisé pour estimer les données quotidiennes manquantes, nous avons comparé les valeurs mesurées aux valeurs estimées par le modèle de régression. Les coefficients de détermination ( $R^2$ ) obtenus suite à ces estimations varient entre 0.9813 et 0.9996 (Tableau 12). Les écarts moyens entre les valeurs mesurées et estimés varient entre 0.000037°C et 2.6701°C. Notons que les écarts moyens sont beaucoup plus élevés pour les températures maximales (entre 0.000037°C et 2.6701°C) que pour les températures moyennes (entre 0.000072°C et 0.60433°C).

L'estimation des données manquantes nous a permis de récupérer 5421 données quotidiennes (Tableau 13). Le nombre de données mensuelles calculées est

Tableau 12 : Coefficient de détermination et écart moyen de température entre les valeurs mesurées et les valeurs estimées par régression

Station	Température moyenne			Température minimale			Température maximale		
	R <sup>2</sup>	Ecart moyen	N	R <sup>2</sup>	Ecart moyen	N	R <sup>2</sup>	Ecart moyen	N
CBFOR	0.9994	-0.0033 ± 0.507	4157	0.9990	0.7138 ± 0.771	4157	0.9928	-2.6702 ± 1.733	3562
CBTOU	0.9996	0.6043 ± 0.385	1444	0.9995	-0.0840 ± 0.450	1596	0.9986	-0.0685 ± 0.776	2304
CCAPI	0.9961	-0.0156 ± 1.197	1125	0.9910	0.0724 ± 1.957	1125	0.9933	0.0660 ± 1.544	1125
CCENT	0.9903	0.1491 ± 1.844	1663	0.9864	0.2070 ± 2.294	1663	0.9834	0.1778 ± 2.356	1663
CCONF	0.9995	-0.0009 ± 0.361	417	0.9988	0.0012 ± 0.563	417	0.9982	-0.0037 ± 0.720	417
CKRFP	0.9971	0.0007 ± 1.022	2054	0.9986	-0.0039 ± 0.729	2054	0.9978	-0.0008 ± 0.894	2054
CBUSH	0.9973	0.1774 ± 1.023	1938	0.9940	0.1912 ± 1.538	2081	0.9925	1.8932 ± 1.729	494
CLAF4	0.9978	0.0007 ± 0.918	2572	0.9983	-0.0017 ± 0.825	2572	0.9966	-0.0007 ± 1.112	2572
CLAF7	0.9978	0.0009 ± 0.927	2572	0.9983	-0.0003 ± 0.827	2572	0.9966	-0.0002 ± 1.126	2572
CNEIA	0.9955	0.0023 ± 1.208	1216	0.9930	0.1586 ± 1.586	1216	0.9908	-0.0056 ± 1.711	1217
CRELA	0.9977	0.0018 ± 0.823	417	0.9920	-0.0006 ± 1.464	417	0.9981	-0.0017 ± 0.781	417
CUMRC	0.9918	-0.0448 ± 1.544	851	0.9813	-0.1152 ± 2.415	1615	0.9935	-0.0288 ± 1.458	1615
HQCAN	0.9982	0.0012 ± 0.849	4088	0.9961	-0.0008 ± 1.310	4088	0.9931	0.0002 ± 1.650	4088
HQCAS	0.9982	0.0012 ± 0.856	4088	0.9961	-0.0044 ± 1.333	4088	0.9931	0.0002 ± 1.650	4088
HQSAR	0.9982	-0.0003 ± 0.831	3801	0.9952	0.0009 ± 1.431	3801	0.9924	-0.0019 ± 1.724	3801
HQT10	0.9973	-0.0300 ± 1.040	3522	0.9959	-0.0394 ± 1.339	3522	0.9882	-0.0465 ± 2.180	3522
HQT12	0.9976	0.0108 ± 0.986	3522	0.9959	0.0094 ± 1.321	3522	0.9910	-0.0309 ± 1.881	3522
HQLG4	0.9946	-0.0009 ± 1.481	3722	0.9923	-0.0015 ± 1.889	3722	0.9875	-0.0005 ± 2.207	3722
HQLG2	0.9962	0.0001 ± 1.169	799	0.9911	-0.2805 ± 1.895	799	0.9905	-0.0920 ± 1.811	800
HQOPI	0.9982	-0.0001 ± 0.835	3801	0.9952	0.0008 ± 1.415	3801	0.9924	0.0000 ± 1.765	3801
HQVIN	0.9946	0.0015 ± 1.481	3722	0.9923	0.0018 ± 1.847	3722	0.9875	-0.0007 ± 2.256	3722

**Tableau 13 :** Nombre de valeurs estimées manquantes suite au processus d'estimation des valeurs manquants par régression

Station	Début	Fin	Nombre de valeurs			% manquantes		
			Mesurées	Estimées	Total	Avant	Après	Récupérées
CBFOR	24 / 07 / 1989	07 / 07 / 2005	4715	0	5827	19.1%	19.1%	0.0%
CBTOU	29 / 07 / 1989	07 / 07 / 2005	5735	28	5822	1.5%	1.0%	32.2%
CBUSH	20 / 07 / 1992	09 / 07 / 2004	3957	378	4372	9.5%	0.8%	91.1%
CCAPI	20 / 06 / 1997	11 / 09 / 2003	2196	73	2274	3.4%	0.2%	93.6%
CCENT	15 / 06 / 1996	31 / 12 / 2004	2835	280	3121	9.2%	0.2%	97.9%
CCONF	16 / 06 / 1996	04 / 06 / 2000	1113	284	1449	23.2%	3.6%	84.5%
CK100	21 / 06 / 1999	28 / 06 / 2003	495	0	1468	66.3%	66.3%	0.0%
CK231	16 / 09 / 2000	05 / 02 / 2005	1447	0	1603	9.7%	9.7%	0.0%
CKF01	19 / 08 / 1991	08 / 12 / 2003	4110	0	4494	8.5%	8.5%	0.0%
CKJRP	01 / 01 / 1996	08 / 03 / 2003	2062	562	2624	21.4%	0.0%	100.0%
CKTMA	05 / 07 / 1988	16 / 06 / 1999	1935	0	3998	51.6%	51.6%	0.0%
CLAF4	03 / 10 / 1995	19 / 06 / 2004	2598	176	3182	18.4%	12.8%	30.1%
CLAF7	03 / 10 / 1995	19 / 06 / 2004	2748	26	3182	13.6%	12.8%	6.0%
CLECT	06 / 08 / 1998	01 / 07 / 2004	1878	0	2156	12.9%	12.9%	0.0%
CMANT	10 / 03 / 1988	20 / 12 / 1995	847	0	2841	70.2%	70.2%	0.0%
CNEIA	21 / 06 / 1997	10 / 09 / 2003	2078	157	2272	8.5%	1.6%	80.9%
CPBAF	01 / 08 / 1993	04 / 07 / 2004	2506	0	3990	37.2%	37.2%	0.0%
CPBAH	08 / 07 / 2000	04 / 07 / 2004	1085	0	1457	25.5%	25.5%	0.0%
CPBAT	02 / 08 / 1993	06 / 07 / 2000	2133	0	2530	15.7%	15.7%	0.0%
CRELA	25 / 06 / 1997	17 / 05 / 2000	784	230	1057	25.8%	4.1%	84.2%
CSHEA	26 / 07 / 1993	29 / 06 / 2004	3985	0	3991	0.2%	0.2%	0.0%
CSHEB	05 / 08 / 1998	17 / 06 / 2001	1046	0	1047	0.1%	0.1%	0.0%
CT157	17 / 06 / 2002	17 / 10 / 2005	1219	0	1219	0.0%	0.0%	--
CT304	13 / 06 / 2004	17 / 10 / 2005	492	0	492	0.0%	0.0%	--

Station	Début	Fin	Nombre de valeurs		Total	% manquantes		Récupérées
			Mesurées	Estimées		Avant	Après	
CUMRC	05 / 10 / 1997	25 / 06 / 2004	1923	529	2455	21.7%	0.1%	99.4%
CVTBS	11 / 10 / 2000	28 / 06 / 2004	1350	0	1356	0.4%	0.4%	0.0%
CVTSB	09 / 07 / 2000	29 / 06 / 2002	714	0	720	0.8%	0.8%	0.0%
ECINU	30 / 07 / 1994	07 / 10 / 2006	4172	0	4452	6.3%	6.3%	0.0%
ECKIP	02 / 12 / 1992	09 / 10 / 2006	4731	0	5059	6.5%	6.5%	0.0%
ECKIQ	01 / 12 / 1992	09 / 10 / 2006	4684	0	5060	7.4%	7.4%	0.0%
ECSCH	13 / 11 / 1993	08 / 10 / 2006	4294	0	4712	8.9%	8.9%	0.0%
HOCAN	01 / 01 / 1992	31 / 12 / 2004	4406	61	4748	7.2%	5.9%	17.8%
HOCAS	01 / 01 / 1992	31 / 12 / 2004	4149	318	4748	12.6%	5.9%	53.1%
HOLAM	01 / 01 / 1992	31 / 12 / 2004	3984	0	4748	16.1%	16.1%	0.0%
HOLG2	01 / 01 / 1992	31 / 12 / 2004	4365	217	4748	8.1%	3.5%	56.7%
HOLG4	01 / 01 / 1992	31 / 12 / 2004	4297	191	4748	9.5%	5.5%	42.4%
HOOP1	01 / 01 / 1992	31 / 12 / 2004	4007	476	4748	15.6%	5.6%	64.2%
HOSAR	01 / 01 / 1992	31 / 12 / 2004	4277	206	4748	9.9%	5.6%	43.7%
HOT10	01 / 01 / 1992	31 / 12 / 2004	4092	370	4748	13.8%	6.0%	56.4%
HOT12	01 / 01 / 1992	31 / 12 / 2004	4175	284	4748	12.1%	6.1%	49.6%
HOT32	01 / 01 / 1992	31 / 12 / 2004	4060	0	4748	14.5%	14.5%	0.0%
HOVIN	01 / 01 / 1992	31 / 12 / 2004	3913	575	4748	17.6%	5.5%	68.9%
P679Y	01 / 12 / 1967	22 / 07 / 1993	3534	0	9365	62.3%	62.3%	0.0%
P683Y	15 / 08 / 1978	17 / 06 / 1991	3965	0	4689	15.4%	15.4%	0.0%
PFHEY	16 / 08 / 1978	17 / 06 / 1991	3509	0	4688	25.1%	25.1%	0.0%
PG06Y	09 / 08 / 1978	01 / 06 / 1989	1778	0	3949	55.0%	55.0%	0.0%
PLHEY	01 / 01 / 1979	08 / 02 / 1991	339	0	4421	92.3%	92.3%	0.0%

Tableau 13 : Nombre de valeurs  
estimées suite au  
processus d'esti-  
mation des valeurs  
manquants par  
régression

estimées suite au  
processus d'esti-  
mation des valeurs  
manquants par  
régression

---

passé de 5133 à 5447 et le nombre de données annuelles de 174 à 222. Les périodes de données présentes sont résumées à la figure 9.

#### 5.4 CONCLUSION

---

En climatologie, l'estimation des valeurs manquantes est une étape nécessaire et importante pour réaliser une analyse spatio-temporelle des séries de températures. Cependant, cette étape est souvent difficile à réaliser, principalement dans le cas des réseaux climatologiques de faible densité. La technique d'estimation proposée dans ce chapitre a été développée selon le contexte du réseau nordique. Il s'agit d'un réseau de très faible densité spatiale où les données manquantes sont fréquentes et peuvent s'étendre sur de longues périodes de temps. Nous sommes restés prudent dans le processus et nous n'avons pas poussé outre mesure le processus d'estimation. Par exemple, nous n'avons utilisé que des stations très proches et nous n'avons pas cherché à maximiser le nombre de données récupérées en cherchant d'autres techniques qui aurait pu diminuer la fiabilité des estimations. C'est dans cette perspective que nous allons faire une analyse du climat régional du Nord québécois. Nous aurons un portrait de la situation que nous savons incomplet, mais qui nous permettra de jeter les bases d'un réseau qui pourrait nous permettre de mieux définir le climat de cette région.

---



## 6. Portrait climatique du Nord du Québec

### 6.1 INTRODUCTION

---

Les données étant complètement mises en forme, nous pouvons maintenant dresser un portrait du climat du Nord du Québec. Pour ce faire, nous allons analyser les températures à trois échelles temporelles différentes : quotidienne, mensuelle et annuelle.

### 6.2 MÉTHODES ET PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

---

Toutes les stations disponibles pour la période 1986-2005 ont été utilisées sur le territoire délimité par le quadrilatère entre 52 et 59°N de latitude et 66 à 80°O de longitude. C'est dans cette région que la densité des stations est la plus élevée. Sur la base de ce vaste territoire un grand spectre de variables de station pourra être couvert (latitude, longitude, distance à la mer, distance entre les stations, altitude, zone de végétation).

À moins de mention contraire, nous allons travailler avec les températures moyennes. Lors de l'estimation des données manquantes, il est apparu que ce sont ces dernières qui avaient la plus faible marge d'erreur sur les estimations. Par conséquent, il apparaît prudent d'utiliser les températures moyennes pour cette analyse. Cependant, dans certains cas, à une échelle temporelle plus grande (mensuelle et annuelle), l'analyse des données maximales et minimales a été faite. Les implications d'erreurs d'estimation étant moins grandes puisque les données sont regroupées au sein de moyennes mensuelles et annuelles. L'analyse de la distribution spatiale de ces variables apporte un éclairage différent sur le climat de la région.

Les moyennes mensuelles et annuelles ont été calculées selon les normes d'Environnement Canada (Allsopp & Morris, 2004). Seuls les mois ayant un maximum de cinq données manquantes et n'ayant pas plus de trois jours consécutifs sans données ont été retenus pour le calcul des moyennes mensuelles. Les moyennes annuelles résultent du calcul de la moyenne des valeurs mensuelles pour les années ayant douze mois complets.

---

Les calculs des moyennes, minimum et maximum ont été faits pour toutes les données disponibles à chacune des stations. Par conséquent, le nombre de stations et de données varie pour chacune des analyses. Pour certains mois, des stations ne correspondent pas aux critères minimum pour permettre leur utilisation.

À moins de mention contraire, l'interpolation a été faite à l'aide de la méthode du krigeage simple sur toutes les stations ayant des données. Seules les stations ayant servi à l'interpolation sont représentées par un point sur les cartes. La superficie de la zone d'interpolation peut donc varier en fonction des stations disponibles. Lors du krigeage, nous avons aussi calculé la variance de l'interpolation. Cette dernière ne sera pas discutée dans ce chapitre, mais nous y reviendrons lors des chapitres portant sur les régions climatiques et la proposition d'un réseau de stations.

Lorsqu'il y a une représentation cartographique de l'interpolation, les classes peuvent être délimitées de deux façons. La première consiste à utiliser des classes identiques pour toutes les cartes mensuelles. Celle-ci a été utilisée lorsque les données sont comparables d'un mois à l'autre (écarts et corrélations entre stations, par exemple). La deuxième façon consiste à définir des classes réparties également entre la valeur minimale et maximale. Elle a été utilisée lorsque les valeurs absolues ne sont pas similaires, comme c'est le cas des moyennes mensuelles.

## **6.3 TEMPÉRATURES QUOTIDIENNES**

---

L'analyse de températures quotidiennes se fera principalement par le calcul de données dérivées. Quatre aspects seront analysés plus en détail : l'amplitude journalière, les degrés-jour, les périodes de gel et les écarts de température et la corrélation entre les stations.

### **6.3.1 Amplitude journalière**

Après avoir calculé la moyenne mensuelle de l'amplitude journalière de chacune des stations, nous avons calculé la moyenne, le minimum et maximum pour l'ensemble des stations (Tableau 14). L'amplitude journalière moyenne est la plus faible au mois d'octobre (4,7°C) et plus généralement en automne (4,7°C à 6,3°C).

---

Entre février et juin, les amplitudes sont les plus fortes (9,3°C à 12,0°C). Les tendances sont similaires pour les minimum et les maximum.

La cartographie de l'interpolation révèle que lors de la période de juin à octobre, il ne semble pas y avoir de patron spatial net. Le krigeage n'a pas permis de faire ressortir de grandes zones où les amplitudes journalières sont homogènes pour cette période (Figure 10). Par contre, il semble y avoir un gradient latitudinal entre janvier et mai. L'amplitude journalière étant plus accentuée dans les régions situées au sud du territoire. Un gradient longitudinal semble se dessiner en novembre et en décembre.

### 6.3.2 Degrés-jour

Pour chaque station, la moyenne de la somme des degrés-jour de mai à septembre a été calculée. La somme des degrés-jour n'a été calculée que pour les années ayant dix jours et moins de données manquantes. Pour compléter la somme des degrés-jour, lorsqu'il y avait des journées manquantes, la moyenne de toute la période était appliquée à ces journées.

La somme des degrés-jour se situe entre 1162 et 1849 (Figure11). C'est dans la zone située au sud-ouest qu'elle est la plus élevée. Elle semble se distribuer selon un gradient latitudinal sud-ouest/nord-est

Mois	Minimum (°C)	Moyenne (°C)	Maximum (°C)	Nombre de stations
1	4.9	8.8 ± 1.7	12.8	25
2	6.5	11.1 ± 2.1	15.0	26
3	7.8	12.0 ± 2.0	16.0	26
4	7.7	10.9 ± 1.6	13.7	28
5	6.7	9.3 ± 1.5	12.2	28
6	7.5	10.1 ± 1.5	13.3	25
7	6.7	9.1 ± 1.6	12.9	27
8	5.4	7.9 ± 1.4	11.0	26
9	4.6	6.3 ± 1.0	9.1	27
10	3.4	4.7 ± 0.7	6.5	26
11	3.2	5.3 ± 1.0	7.6	26
12	4.9	7.2 ± 1.2	10.9	23

*Tableau 14 : Amplitude journalière moyenne, minimum et maximum mensuelle*

Figure 10 : Distribution spatiale de l'amplitude journalière mensuelle moyenne

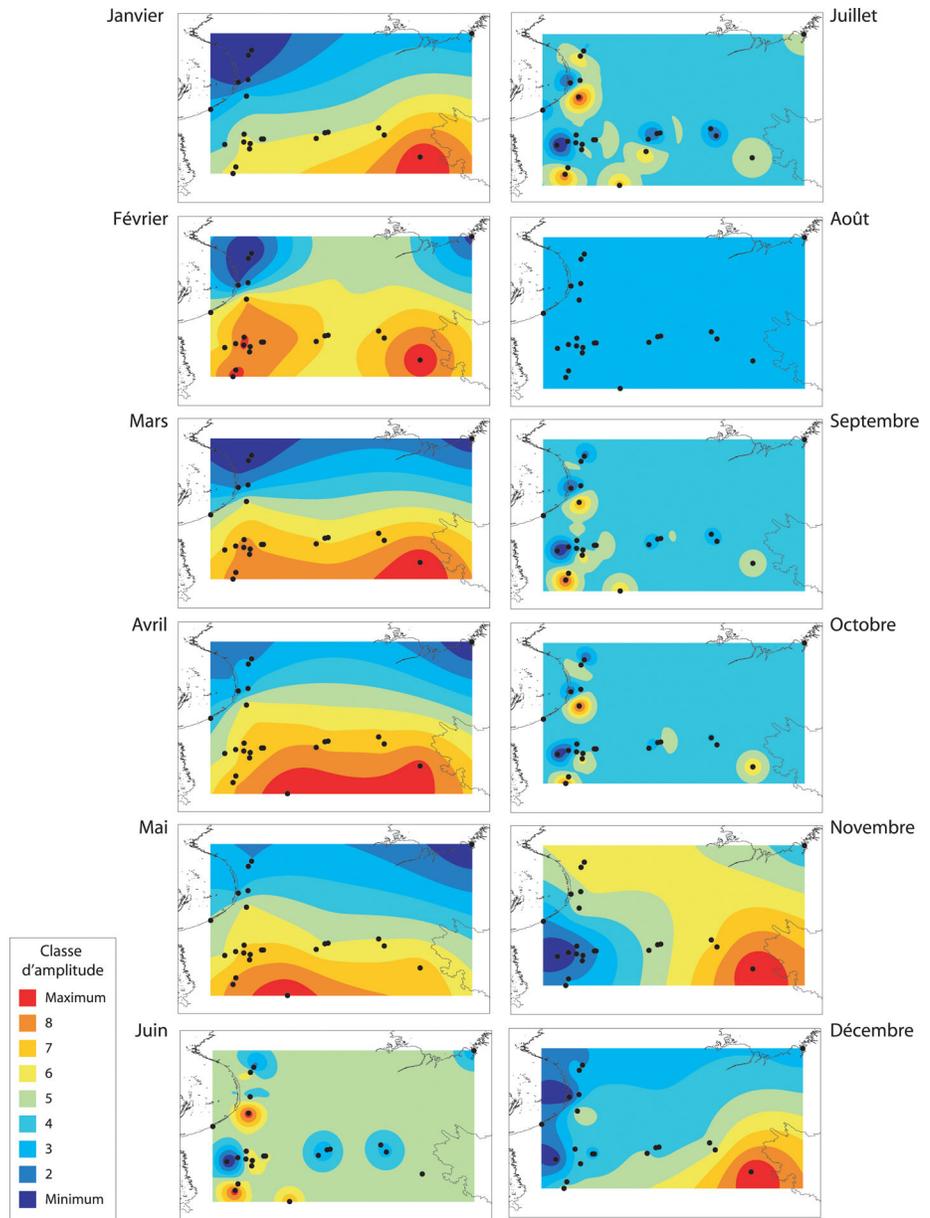
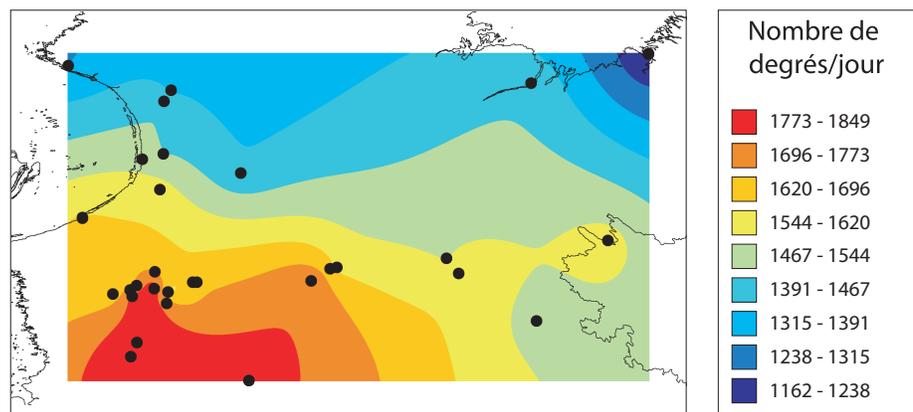


Figure 11 : Distribution spatiale des degrés-jour



### 6.3.3 Période de gel

#### 6.3.3.1 Dernier jour de gel

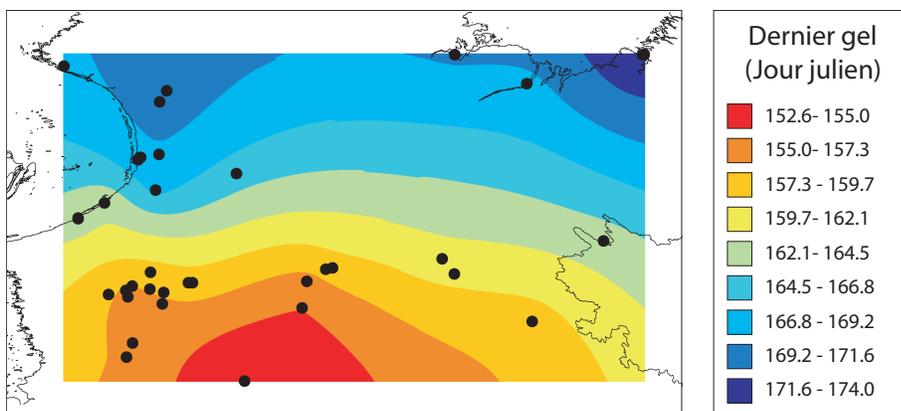
Le dernier jour de gel a été obtenu en calculant le jour Julien du dernier jour où la température minimale est passée sous 0°C durant la période mai-juillet. Ensuite une moyenne pour chacune des stations a été calculée.

Le dernier gel survient entre le jour Julien 152 pour les stations situées au centre-sud et 174 pour les stations situées plus au nord (Figure 12). Le gradient latitudinal est net, bien qu'il semble y avoir un effet de continentalité, puisque la zone où le dernier gel est le plus hâtif (rouge) se concentre au centre du territoire.

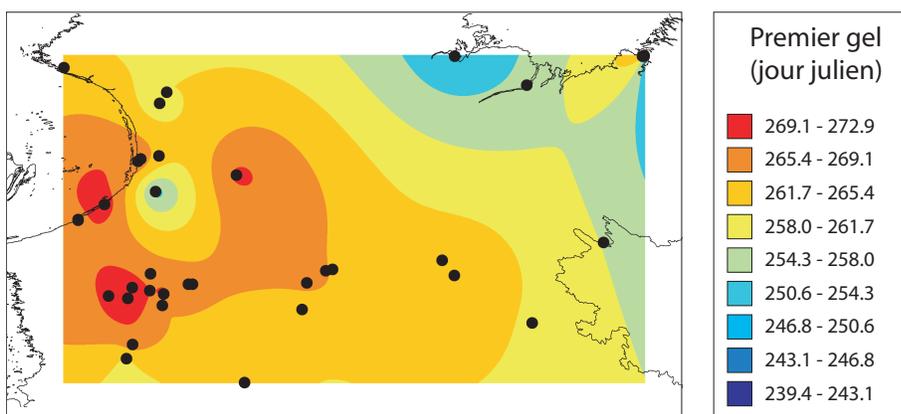
#### 6.3.3.2 Premier jour de gel

Le premier jour de gel a été obtenu en calculant le jour Julien du premier jour où la température minimale est passée sous 0°C pendant la période d'août à septembre. La moyenne de chacune des stations a été calculée.

Le patron de distribution spatiale diffère de celui du dernier jour de gel présenté à la figure 12. On observe que les premiers jours de gel surviennent plus



*Figure 12 : Distribution spatiale du dernier jour de gel pour la période mai-juillet (en jour julien)*



*Figure 13 : Distribution spatiale du premier jour de gel pour la période août-septembre (en jour julien)*

tard aux stations situées près de la côte est de la Baie d’Hudson, alors que le gel est plus hâtif aux stations situées à l’intérieur des terres et plus au nord (Figure 13). Le premier gel survient entre le jour Julien 239 et 272. Les stations CPBAT, CPBAH, CPBAF, situées dans la région de la petite rivière de la Baleine, semblent être une enclave où les premiers gels surviennent plus tôt.

### 6.3.3.3 Période de dégel

Le nombre de jours entre le dernier gel printanier et le premier gel automnal délimite la période de dégel. La longueur de celle-ci est comprise entre 71 et 116 jours (Figure 14). La distribution spatiale s’apparente à celle du dernier jour de gel. Cependant, il y a une différence de 44 jours entre la période la plus courte et la plus longue, ce qui est supérieur à la différence pour le dernier jour de gel (33 jours) et le premier jour de gel (22 jours).

### 6.3.3.4 Proportion de jours sans gel

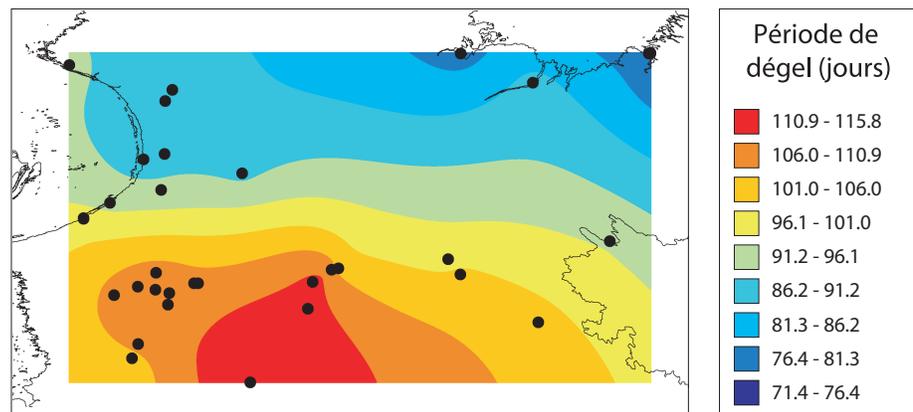
Pour la période de mai à septembre, nous avons calculé la proportion de jours sans gel. Cette dernière correspond au nombre de jours où la température minimale était supérieure à 0°C divisé par le nombre de jours total de la période. Bien que la différence entre les stations ayant le minimum de jour de gel et ceux ayant le maximum n’est que de 10% environ, la distribution spatiale montre un fort gradient sud-ouest /nord-est (Figure 15).

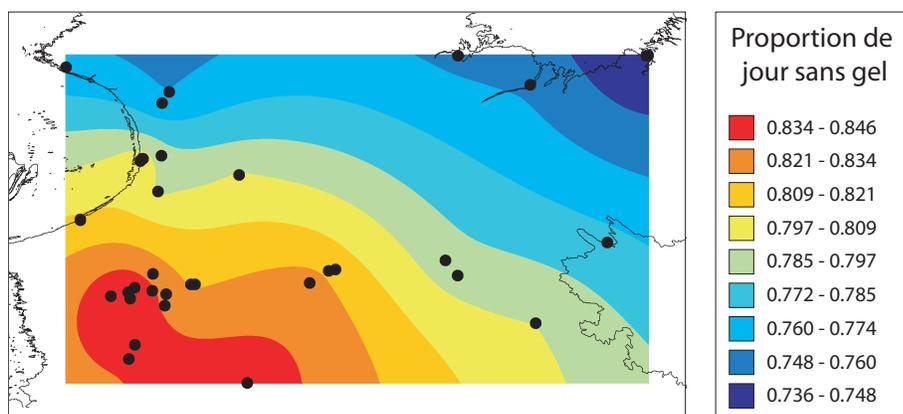
## 6.3.4 Écart de température entre les stations

### 6.3.4.1 Méthode de calcul

Afin de connaître la région d’influence d’une station, nous avons calculé l’écart moyen des températures quotidiennes entre les stations en fonction de la distance qui les séparent.

**Figure 14 :** Distribution spatiale de la période de dégel pour la période mai-septembre (en nombre de jours)





**Figure 15 :** Distribution spatiale de la proportion de jours sans gel pour la période mai-septembre

Nous avons premièrement calculé la distance entre chaque station en utilisant leurs coordonnées géographiques. Nous avons ensuite calculé l'écart des températures moyennes quotidiennes entre chaque station et toutes les autres stations pour chaque journée où des données communes étaient disponibles. Ensuite, pour chaque station, nous avons obtenu un écart mensuel moyen basé sur au moins trente données appariées. Enfin, les données de distance et d'écart de température ont été couplées, afin d'obtenir l'écart mensuel moyen en fonction de la distance. Afin de faciliter l'analyse des résultats, les distances entre les stations ont été regroupées par classe de 100 kilomètres.

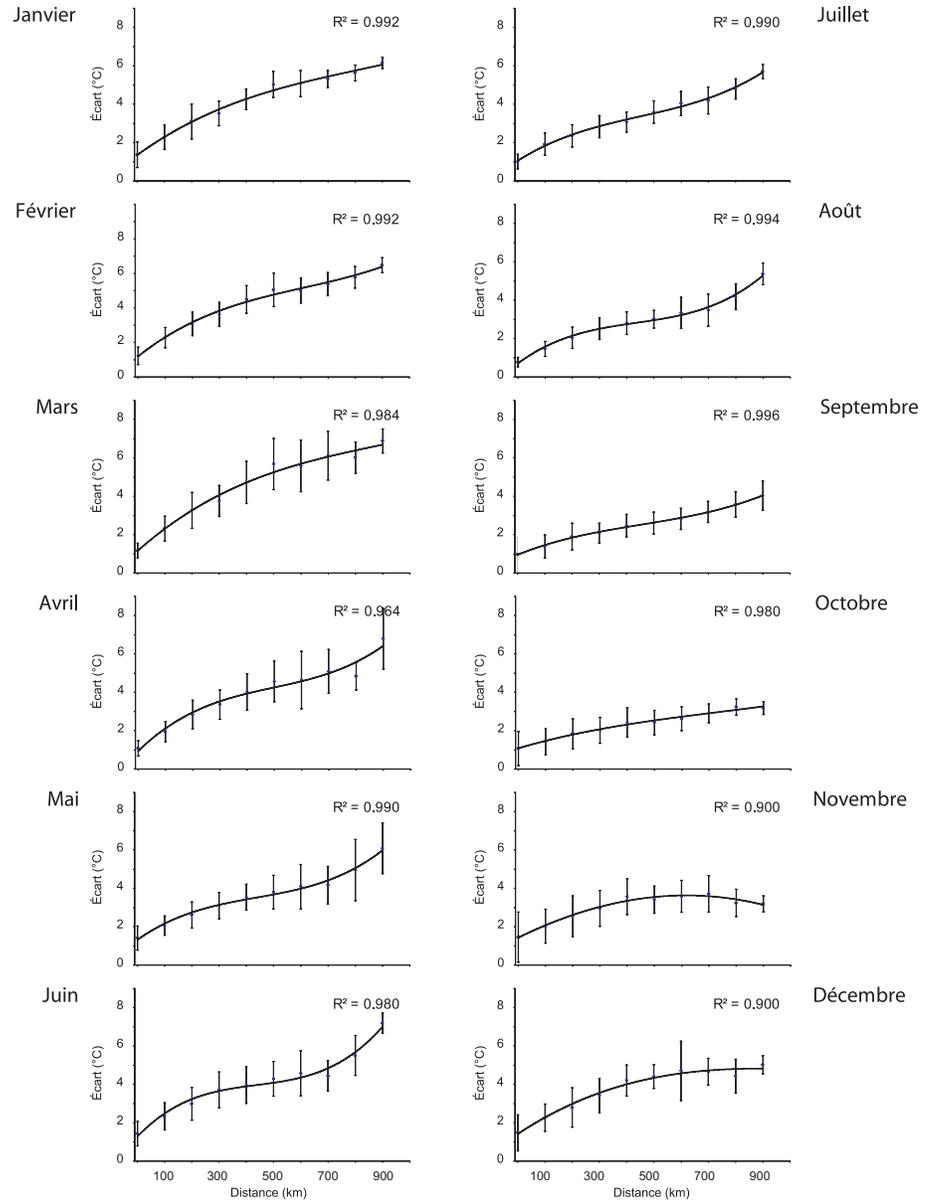
#### 6.3.4.2 Résultat

Pour les stations situées à moins de 100 kilomètres de distance les écarts moyens des températures quotidiennes varient entre 0,78°C (août) et 1,46°C (décembre). Les écarts de température se situent entre 3,18°C (octobre) et 7,20°C (juin) pour la classe de 900-1000 kilomètres.

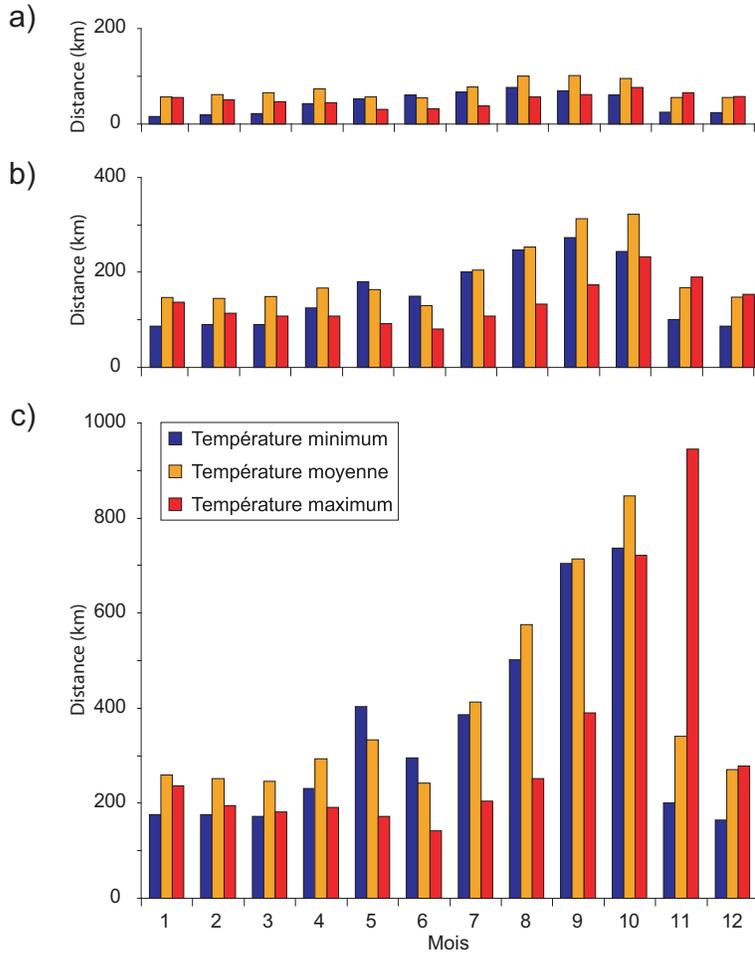
Sans surprise, nous avons constaté que l'écart de température entre les stations augmente avec la distance (Figure 16). Cependant, il est intéressant de constater que la distance n'a pas le même impact selon la période de l'année. Il est maximal entre janvier et juin alors qu'en automne (septembre à novembre) il est minimal.

En utilisant une régression polynomiale de degré 3 contrainte à passer par l'ordonnée à l'origine sur les données de la figure 16, il a été possible d'estimer la distance moyenne pour atteindre des écarts de température de 1, 2 et 3°C (Figure 17). En ne tenant compte que de la température moyenne, on voit qu'il est

**Figure 16 :** Écart moyen des températures quotidiennes en fonction de la distance entre les stations.



possible de pouvoir détecter des écarts de température de 1°C (peu importe le mois) si on se trouve à un maximum de 55 km autour d'une station (Figure 17a). En s'éloignant à 130 km et 242 km, nous ne pourrions que détecter des écarts de 2°C et 3°C respectivement (Figure 17b et c). Compte tenu de l'ensemble des températures (minimum, moyenne et maximum), les distances requises pour détecter les écarts de 1°C, 2°C et 3°C doivent être de 16 km, 81 km et 143 km respectivement.



**Figure 17 :** Distance estimée pour atteindre un écart moyen des températures quotidiennes de a) 1°C, b) 2°C et c) 3° C en fonction des mois de l'année

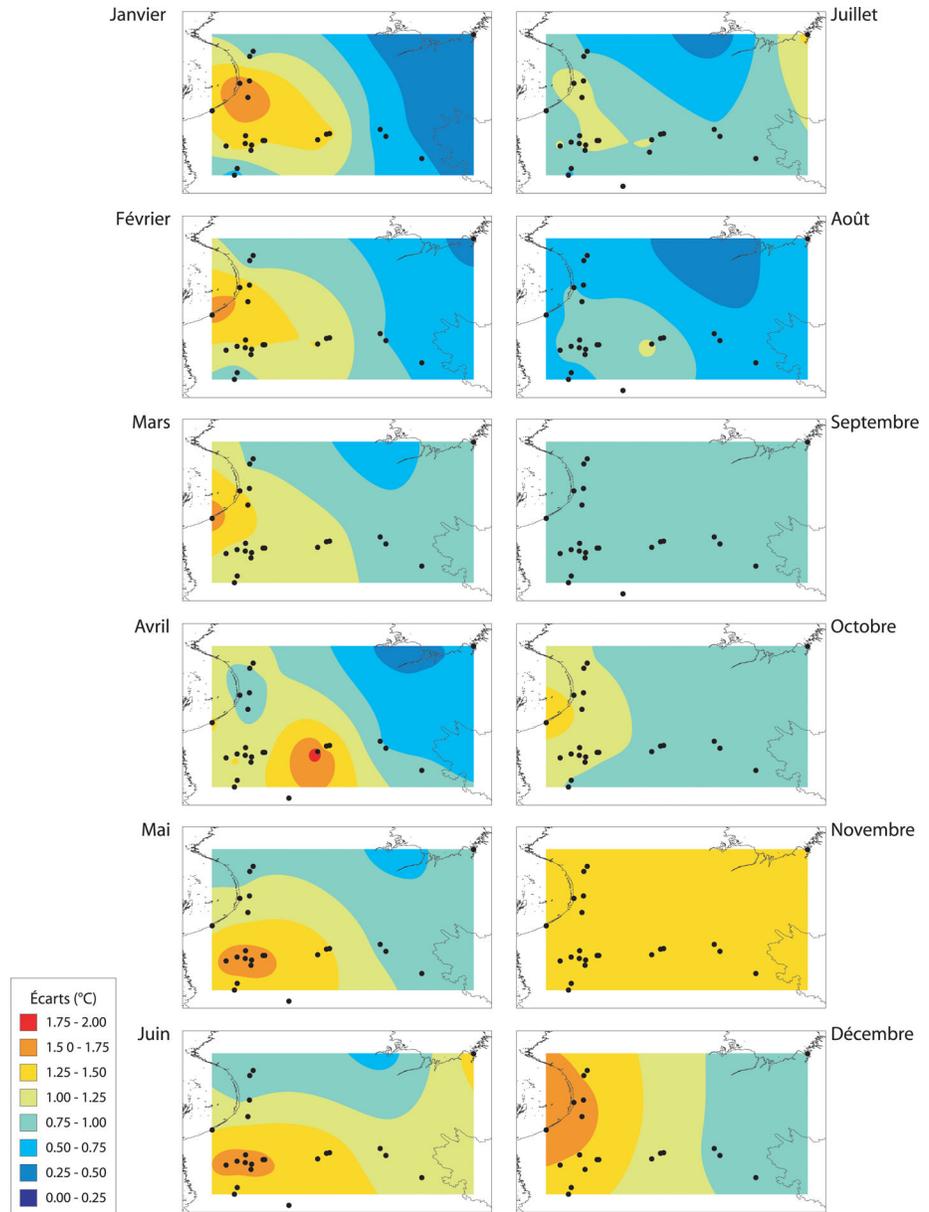
Les écarts de température entre les stations varient non seulement selon la période de l'année, mais aussi dans l'espace. De décembre à mars, les stations situées en bordure de la Baie d'Hudson ont un écart moyen plus élevé que celles situées plus à l'intérieur des terres (Figure 18). Par ailleurs, entre avril et juin, ce sont les stations les plus au centre qui ont un écart élevé. Pour le reste de l'année, on observe peu ou pas de variation spatiale.

### 6.3.5 Corrélation entre les stations

#### 6.3.5.1 Méthode de calcul

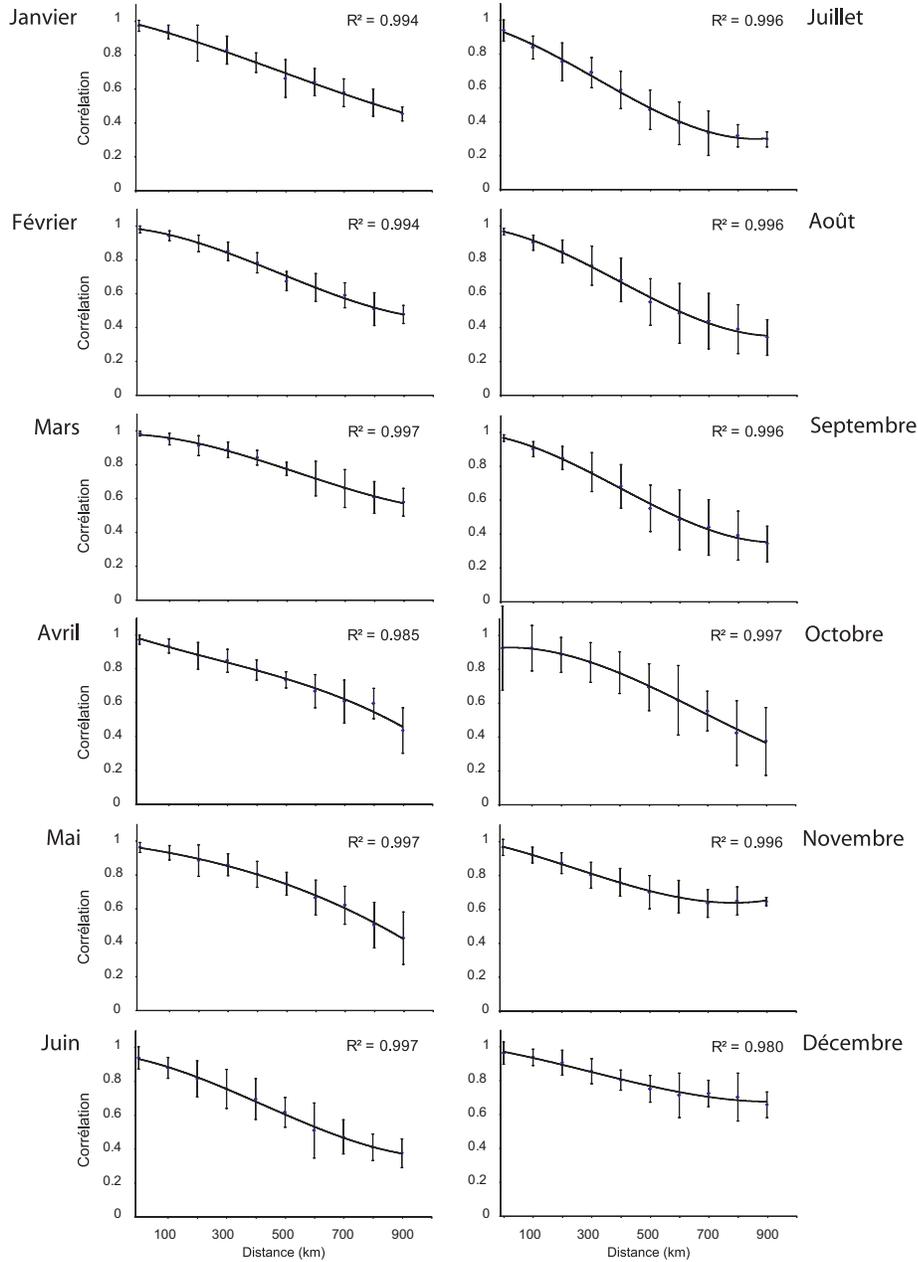
La corrélation mensuelle moyenne entre les stations a été calculée de la même façon que l'écart entre les stations mais en utilisant la corrélation (Voir section 6.3.4.1).

**Figure 18 :** Distribution spatiale des écarts moyens des températures quotidiennes avec les stations situées à moins de 100 km



### 6.3.5.2 Résultat

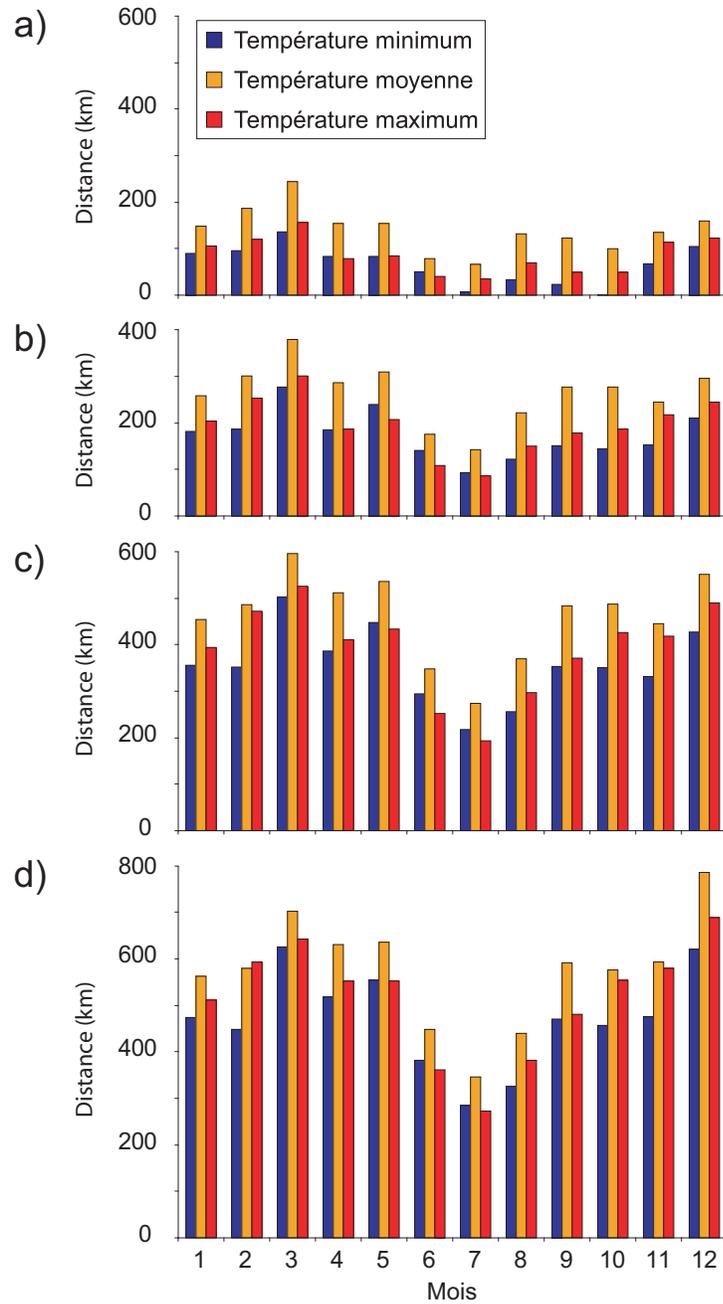
À la figure 19, la corrélation entre les stations diminue en fonction de la distance. Le phénomène s'observe pour tous les mois de l'année, mais la différence entre la corrélation la plus forte et la plus faible est variable selon les mois. Elle est minimale au mois de décembre (0,30) et maximale au mois de juillet (0,64), ce qui veut dire que les températures sont plus localement corrélées en juillet qu'en décembre. La corrélation entre une station et celles situées dans un rayon de 100 km varie entre 0,93 (octobre) et 0,98 (mars).



**Figure 19 :** Coefficient de corrélation moyen des températures quotidiennes en fonction de la distance entre les stations

Une régression polynomiale de degré 3 contrainte à passer par l'origine sur les données de la figure 19, permet d'estimer la distance moyenne pour atteindre des coefficients de corrélation de 0,95, 0,90, 0,80 et 0,70. Sur la stricte considération de la température moyenne, il est possible d'obtenir un coefficient de corrélation de 0,95 entre les données des stations (peu importe le mois) si on se trouve à un maximum de 59 km autour d'une station (Figure 20a). Pour les coefficients de corrélation de 0,90, 0,80 et 0,70, les distances maximales sont de 127, 243 et 346 km (Figure 20b, c et d). Curieusement, les distances pour obtenir les coefficients

**Figure 20 :** Distance estimée pour atteindre un coefficient de corrélation moyen des températures quotidiennes de a) 0.95, b) 0.90, c) 0.80 et d) 0.70 en fonction des mois de l'année



les plus élevés (0,95, 0,90 et 0,80) sont semblables à celles qui permettent de mesurer des écarts de 1, 2 et 3°C qui doivent être de 55 km, 130 km et 242 km respectivement. à une distance de plus de 55 km d'une station, on peut s'attendre à avoir une différence maximale de la température moyenne de 1°C et un coefficient de corrélation de 0,95. Sur la base des températures minimales, moyennes

---

et maximales, les distances sont alors de 1, 77, 172 et 272 km pour obtenir des coefficients de 0,95, 0,90, 0,80 et 0,70, respectivement.

En calculant une interpolation à l'aide du krigeage simple, nous n'avons pas pu observer des patrons spatiaux de variations mensuelles des coefficients de corrélation entre les stations situées à moins de 100 km, comme c'était le cas pour les écarts de température.

## 6.4 TEMPÉRATURES MENSUELLES

---

### 6.4.1 Température minimale moyenne

La température minimale moyenne correspond à la moyenne des températures minimales quotidiennes. Le mois le plus froid est le mois de février avec une moyenne de 28,0°C (Tableau 15). Cependant, c'est au mois de janvier que la température atteint le niveau absolu le plus bas à 32,5°C. Le mois le plus chaud est le mois de juillet (8,7°C). L'écart entre les moyennes des stations est le plus élevé au mois de décembre. C'est alors que la température minimale moyenne est de 26,10°C pour la station P683Y et de 12,9°C à la station de CUMRC. L'écart entre les deux stations est de 13,2°C. Les différences sont minimales aux mois de septembre (4,8°C) et octobre (5,2°C).

Durant le mois de décembre, les températures minimales moyennes sont plus élevées près de la côte de la Baie d'Hudson et de la Baie de James (Figure 21). Les stations plus éloignées des côtes sont plus froides. Le même phénomène est observé au mois de novembre. Par contre, à partir de février et jusqu'en juin, une zone plus froide (en bleu) se développe près de la côte de la Baie d'Hudson. Seuls les mois de juillet et d'août montrent un gradient latitudinal bien marqué. Plus au sud, les stations restent plus chaudes.

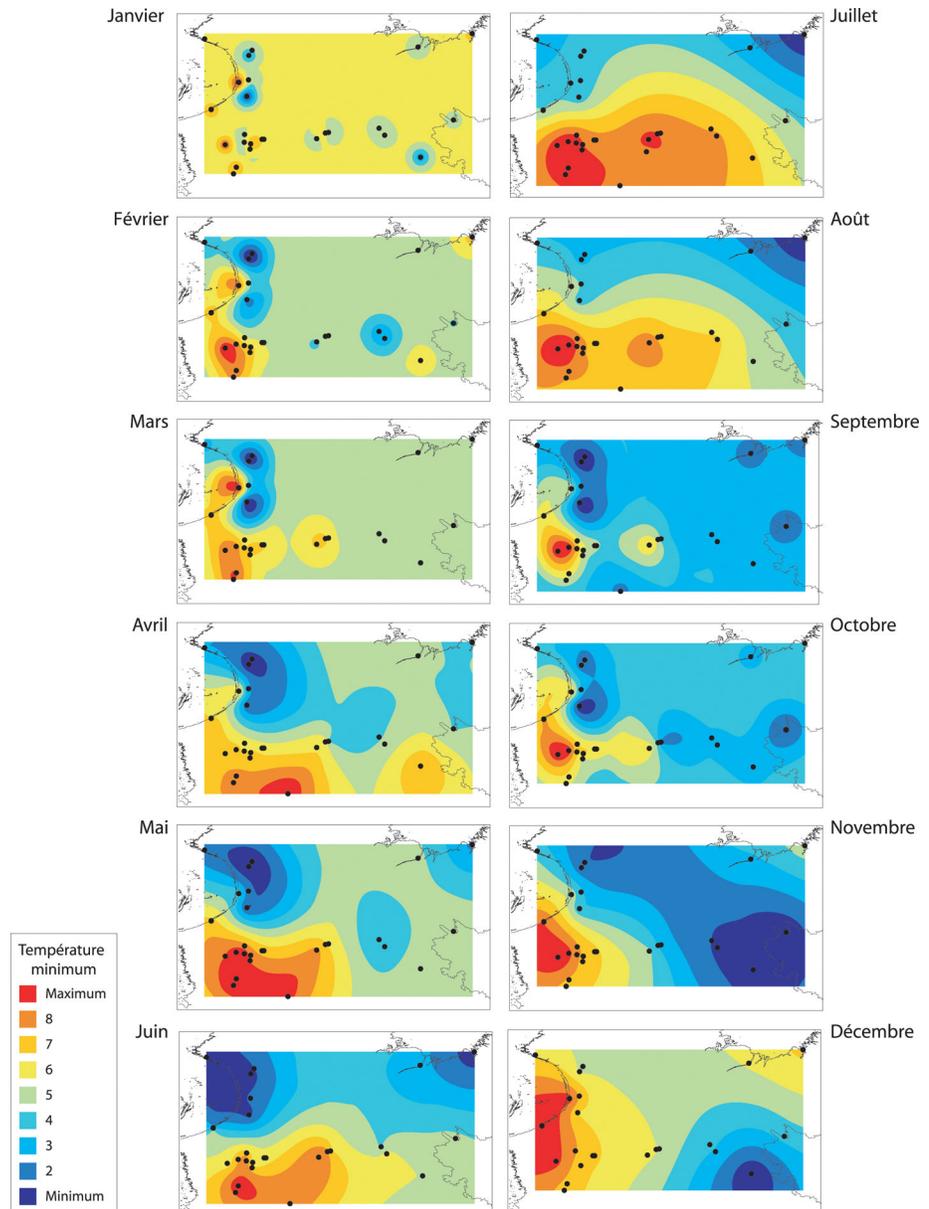
Le mois de janvier ne montre pas de gradient spatial marqué, mais semble une période d'homogénéité spatiale des températures minimales moyennes. C'est une sorte de transition entre le patron du mois décembre et celui qui se développe à partir du mois de février. De même, les mois de septembre et d'octobre semblent une période de transition entre le gradient latitudinal de l'été et la distribution que l'on observe en novembre et en décembre.

---

**Tableau 15 :** Valeur minimum, moyenne et maximum de la température minimale moyenne de toutes les stations pour chaque mois de l'année

Mois	Minimum (°C)	Moyenne (°C)	Maximum (°C)	Nombre de stations
1	-32.5	-27.8 ± 1.9	-24.2	29
2	-30.8	-28.0 ± 1.6	-24.5	30
3	-24.7	-21.3 ± 1.7	-18.3	30
4	-15.3	-11.8 ± 1.7	-8.8	32
5	-5.1	-2.1 ± 1.4	0.4	32
6	1.2	4.0 ± 1.7	6.6	29
7	5.3	8.7 ± 1.4	10.9	31
8	5.1	8.5 ± 1.4	11.0	30
9	2.5	4.5 ± 1.3	7.3	31
10	-3.5	-1.1 ± 1.4	1.7	30
11	-12.2	-8.9 ± 2.2	-4.7	30
12	-26.1	-18.7 ± 2.6	-12.9	27

**Figure 21 :** Distribution spatiale de la température minimale moyenne pour chaque mois de l'année.



Mois	Minimum (°C)	Moyenne (°C)	Maximum (°C)	Nombre de stations
1	-26.7	-23.2 ± 1.7	-20.8	29
2	-26.2	-22.3 ± 1.9	-19.7	30
3	-19.6	-15.1 ± 2.0	-12.0	30
4	-10.4	-6.1 ± 2.1	-1.3	32
5	-0.5	2.7 ± 1.7	6.5	32
6	5.6	9.1 ± 1.9	12.7	29
7	10.7	13.5 ± 1.2	15.5	31
8	9.6	12.5 ± 1.3	14.4	30
9	5.5	7.7 ± 1.2	9.7	31
10	-0.5	1.3 ± 1.3	3.4	30
11	-8.6	-6.1 ± 1.8	-3.0	30
12	-20.1	-14.9 ± 2.1	-10.4	27

Tableau 16 : Valeur minimum, moyenne et maximum de la température moyenne de toutes les stations pour chaque mois de l'année

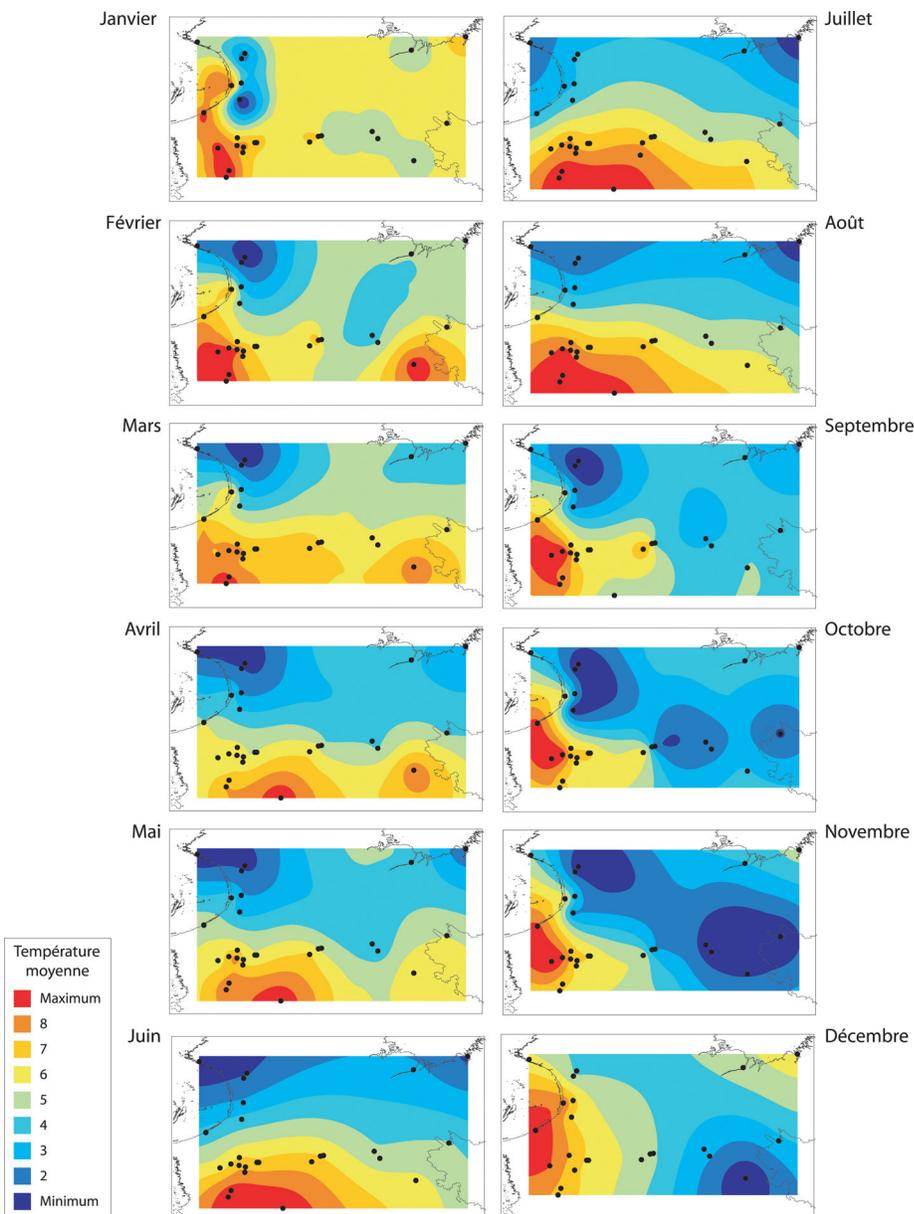


Figure 22 : Distribution spatiale de la température moyenne pour chaque mois de l'année.

### 6.4.2 Température moyenne

Le comportement des températures moyennes est semblable aux températures minimales moyennes, c'est-à-dire que le mois de janvier est le plus froid (23,2°C) et le mois de juillet est le plus chaud (10,7°C) (Tableau 16). De plus, les écarts entre les stations sont minimaux aux mois de septembre (4,2°C) et octobre (3,9°C).

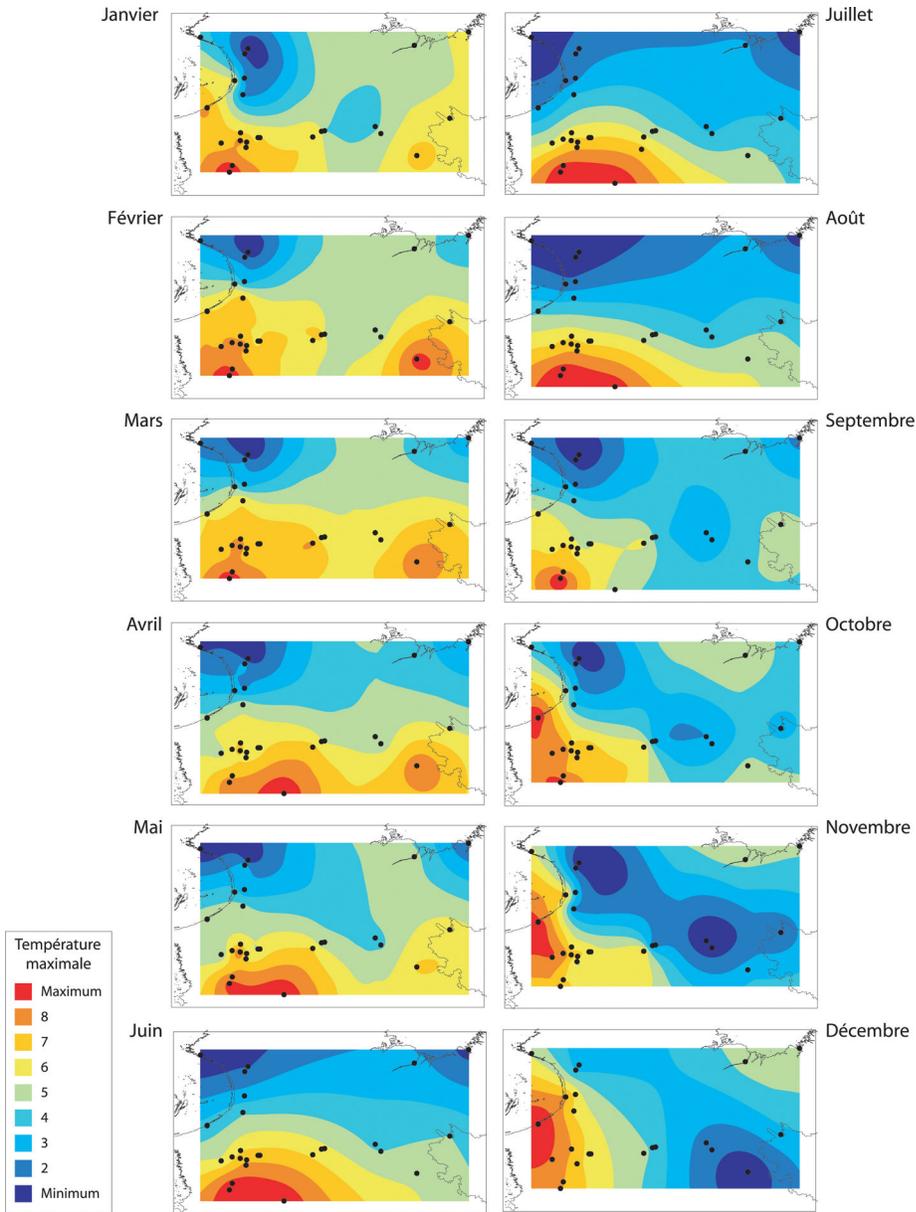
Cependant, il est intéressant de noter que, contrairement aux températures minimales moyennes, un gradient latitudinal s'observe dès le mois d'avril (Figure 22). À partir du mois de septembre, on observe plus clairement une distribution longitudinale/continentale des températures. Du moins, cette distribution est plus marquée que dans le cas des températures minimales moyennes. Il semble ne pas y avoir de période de transition entre les gradients latitudinaux du printemps/été et ceux plus longitudinaux de l'automne/hiver.

### 6.4.3 Température maximale moyenne

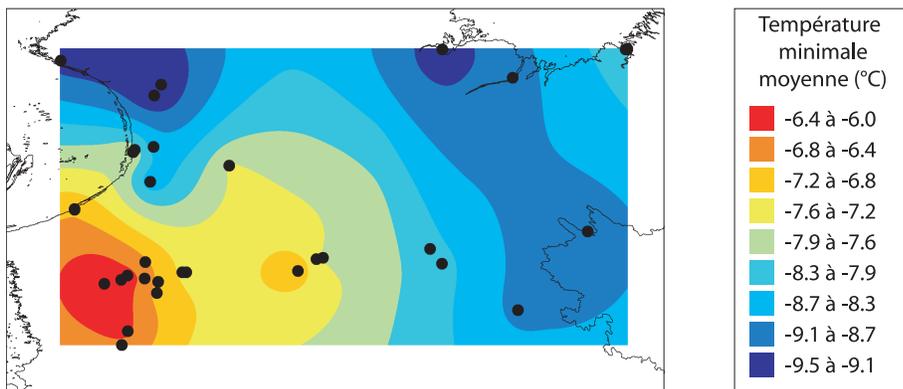
La température maximale moyenne correspond à la moyenne des températures maximales quotidiennes. La distribution spatiale et les moyennes mensuelles de la température maximale moyenne se comporte de façon presque identique aux températures moyennes (Tableau 17 et Figure 23).

*Tableau 17 : Valeur minimum, moyenne et maximum de la température maximale moyenne de toutes les stations pour chaque mois de l'année*

Mois	Minimum (°C)	Moyenne (°C)	Maximum (°C)	Nombre de stations
1	-22.5	-18.9 ± 1.8	-15.8	29
2	-22.6	-17.0 ± 2.4	-13.1	30
3	-15.5	-9.4 ± 2.6	-5.0	30
4	-6.6	-1.1 ± 2.6	4.4	32
5	2.9	7.2 ± 2.3	11.6	32
6	10.0	14.1 ± 2.3	19.2	29
7	15.6	18.0 ± 1.4	21.8	31
8	13.8	16.5 ± 1.5	20.1	30
9	8.4	10.9 ± 1.3	14.1	31
10	1.4	3.7 ± 1.2	5.8	30
11	-5.8	-3.5 ± 1.5	-0.8	30
12	-15.2	-11.4 ± 1.7	-7.8	27



**Figure 23 :** Distribution spatiale de la température maximale moyenne pour chaque mois de l'année.



**Figure 24 :** Distribution spatiale de la température minimale annuelle moyenne

## 6.5 TEMPÉRATURES ANNUELLES

### 6.5.1 Température minimale moyenne

La température annuelle minimale moyenne varie entre  $-6,0^{\circ}\text{C}$  et  $-9,5^{\circ}\text{C}$ . Il semble y avoir un gradient sud-ouest / nord-est (Figure 24). Cependant, une zone plus froide est présente au nord-est de la Baie d'Hudson.

### 6.5.2 Température moyenne

La température moyenne annuelle varie  $-1,2^{\circ}\text{C}$  et  $-9,5^{\circ}\text{C}$  (Figure 25). La distribution spatiale est semblable à celle de la température annuelle minimale moyenne. Cependant, la région froide de la Baie d'Hudson est plus petite. La station de Schefferville forme une enclave plus froide dans la zone continentale.

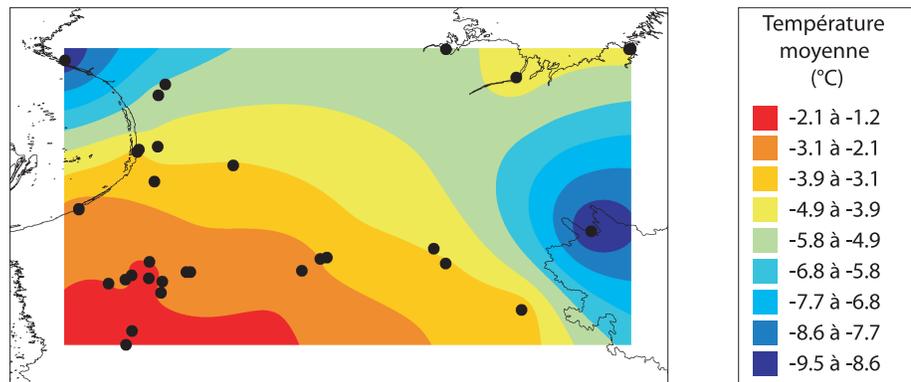
### 6.5.3 Température maximale moyenne

La distribution spatiale de la température annuelle maximale moyenne est orientée selon la latitude (Figure 26). Les extrêmes se situent aux mêmes endroits que les deux variables précédentes, soit au sud du Réservoir Robert-Bourassa et au nord-est de la Baie d'Hudson. Par contre, les zones sont moins marquées. Les températures varient entre  $4,2^{\circ}\text{C}$  et  $-2,3^{\circ}\text{C}$ .

### 6.5.4 Moyenne des températures minimales annuelles

La moyenne des températures minimales annuelles présente un gradient orienté du sud-ouest au nord-est. Toutefois, la région où la température minimale enregistrée est la plus élevée est située au nord près de la Baie d'Ungava. De plus, les minima prévalent à l'intérieur du continent.

Figure 25 : Distribution spatiale de la température annuelle moyenne



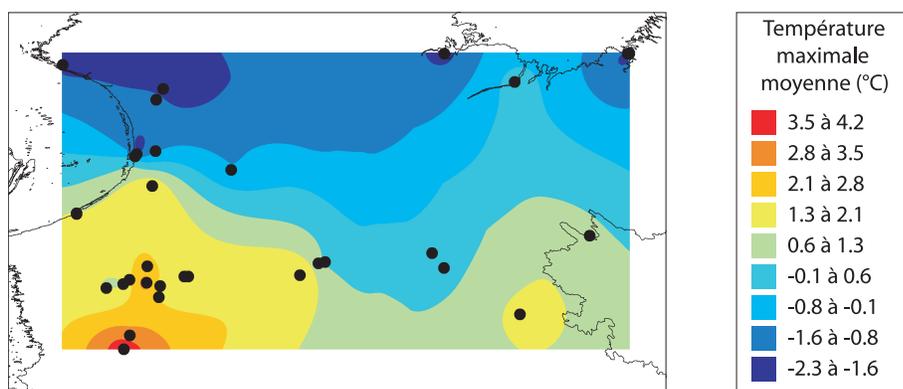
### 6.5.5 Moyenne des températures maximales annuelles

Nous avons aussi calculé la moyenne des températures maximales enregistrées pour chaque année (Figure 28). Dans ce cas, les températures les plus chaudes ont été enregistrées dans le sud de la région d'étude. Le gradient sud-est/nord-ouest est toujours présent. Par contre, l'effet de continentalité ne semble pas aussi marqué que dans le cas des températures minimales.

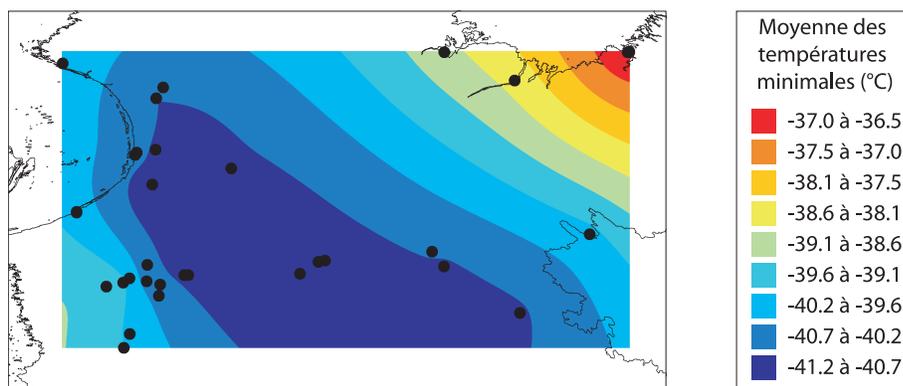
## 6.6 TENDANCES DES TEMPÉRATURES

### 6.6.1 Méthode de calcul

Pour mettre en lumière d'éventuelles tendances des températures, nous avons utilisé la feuille de calcul pour Microsoft Excel MAKESENS développée par le *Finnish Meteorological Institute* (Salmi *et al.* 2002). Cette feuille, a d'abord été développée pour détecter les tendances des valeurs annuelles de polluants atmosphériques. Cependant, elle peut être utilisée pour n'importe quelle valeur annuelle.

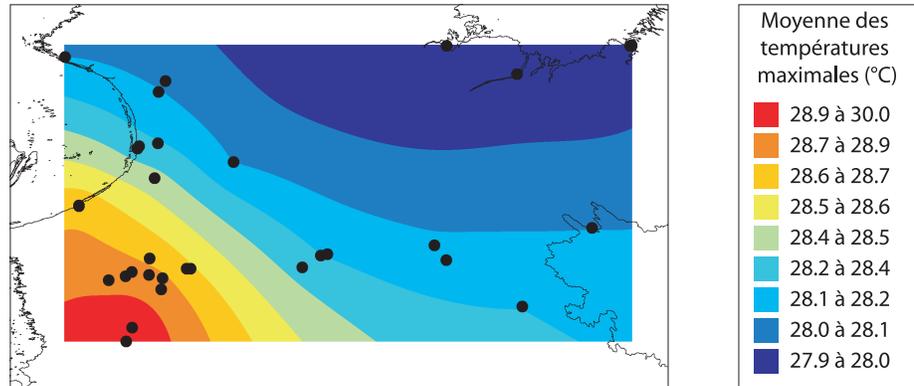


**Figure 26 :** Distribution spatiale de la température maximale annuelle moyenne



**Figure 27 :** Distribution spatiale de la température minimale annuelle

**Figure 28 :** Distribution spatiale de la température maximale annuelle



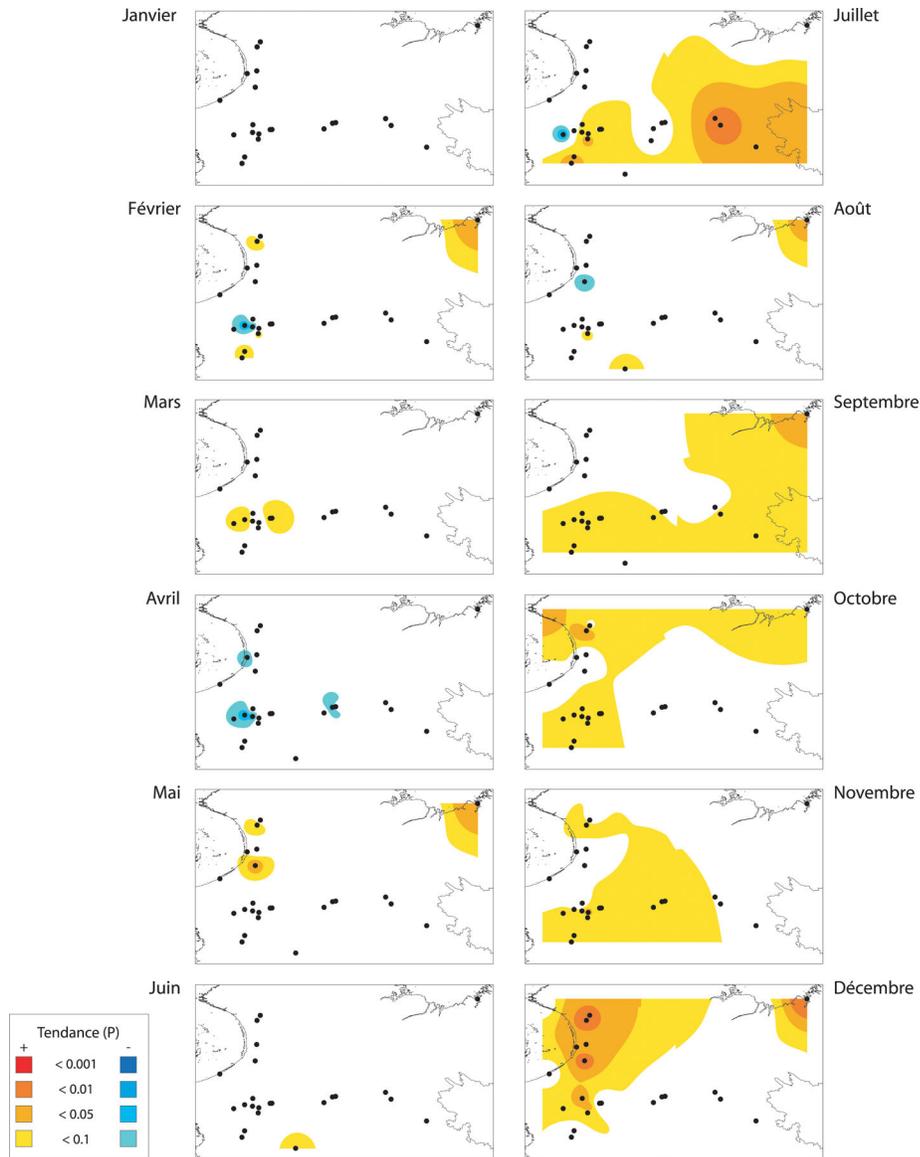
MAKESENS calcule deux types de tests statistiques. Le premier cherche à déterminer si la tendance est « monotone » par le test non-paramétrique de Mann-Kendall. Par la suite la pente de la tendance linéaire est évaluée à l'aide du test non-paramétrique de Sen. Les tests de Mann-Kendall et Sen présument que la tendance n'est pas cyclique. Ils sont robustes lorsqu'il y a des données manquantes et le test de Sen n'est pas très affecté par la présence de données qui s'écartent des valeurs normales ou par les erreurs de données (Salmi *et al.* 2002).

Pour déterminer si certaines tendances pouvaient être observées, la feuille de calcul a été utilisée sur les moyennes mensuelles de toutes les années disponibles de chacune des stations. Les résultats ont été regroupés en classes de probabilité (classe  $p < 0,1$ ,  $< 0,05$ ,  $< 0,01$  et  $< 0,001$ ). Nous avons distingué l'orientation des tendances en créant des classes de probabilité négative et positive.

Nous avons obtenu, pour chaque station et pour chaque mois, une classe de probabilité que nous avons cartographiée et ensuite interpolée par la méthode de la distance inverse pondérée. Cette dernière méthode d'interpolation a été préférée au krigeage simple, car elle lisse moins les valeurs et fait apparaître plus facilement les résultats provenant de stations individuelles.

### 6.6.2 Résultats

La tendance à l'augmentation des températures moyennes s'observe, à grande échelle pour quatre mois (juillet et septembre à décembre) (Figure 29). Notons que ce sont toutes des tendances à la hausse et qu'à certains endroits, cette hausse est significative avec un  $p < 0,01$ . Durant l'automne, les stations en périphérie



**Figure 29 :** Distribution spatiale des tendances de la température moyenne pour chaque mois de l'année.

ont une température mensuelle en hausse. En juillet, les stations continentales sont celles qui présentent une plus forte tendance à la hausse.

Pendant les autres mois, on peut voir que pour certaines stations les températures sont en hausse ou en baisse, mais ce sont des tendances localisées.

## 6.7 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons pu dresser un portrait des températures prévalant dans la région d'étude. Nous avons besoin de ce portrait le plus précis possible pour pouvoir, dans les étapes subséquentes, faire un choix éclairé quant à la

constitution d'un réseau de stations climatologiques au Nord du Québec. Il semble se dessiner des régions climatiques naturelles, où les caractéristiques des températures sont assez homogènes pour que quelques stations climatologiques soient capables de mesurer leur variabilité.

## 7. Proposition de réseau

### 7.1. INTRODUCTION

Le portrait climatique que nous avons dressé dans les derniers chapitres, servira de base pour la proposition de réseau de station climatique. Plutôt que de faire la suggestion d'un réseau optimal, nous avons voulu présenter plusieurs scénarios et analyser la qualité des interpolations réalisées sur le jeu de données. Nous nous attarderons sur les effets des différentes configurations de réseau sur la variance de l'interpolation.

### 7.2 PROPOSITION DE RÉSEAU

#### 7.2.1 Bilan des stations en service

L'analyse des différents scénarios possibles a été précédée d'un bilan des stations climatiques qui sont actuellement en opération. Les stations du Centre d'études nordiques, d'Hydro-Québec et d'Environnement Canada ont été répertoriées pour la région d'étude (Figure 30). Il est à noter qu'au nord du 54°N très peu de stations sont installées dans la région située au centre de la péninsule. L'implantation des stations futures devra se faire en tenant compte des stations qui sont déjà en place.

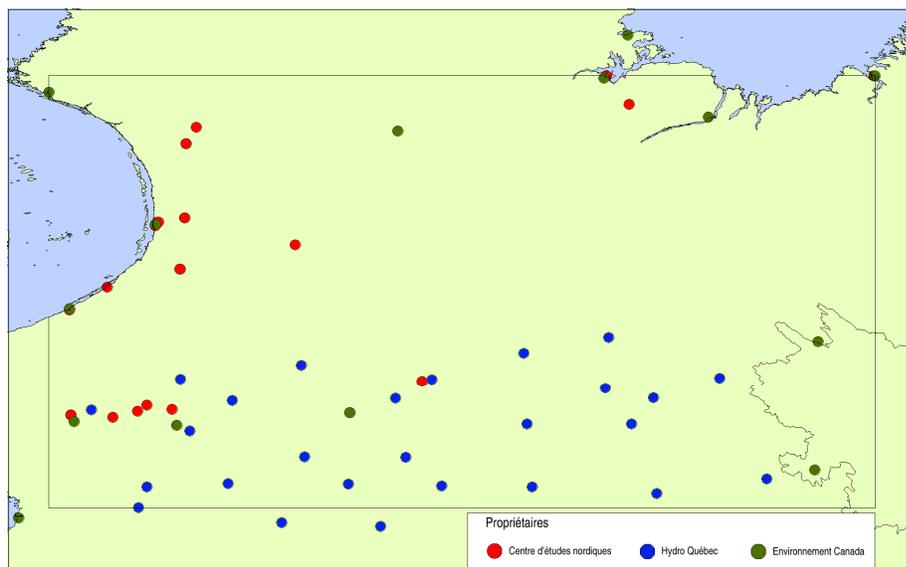


Figure 30 : Localisation des stations en service en 2007

## 7.2.2 Méthodes et paramètres

### 7.2.2.1 Emplacement des stations

Le choix de l'emplacement des stations a été fait sur la base du réseau actuellement en service, ainsi que sur l'aire estimée de leur représentativité. Dans ce rapport, nous proposons douze scénarios. Chacun est basé sur l'alignement des stations sur une grille de points de plus en plus serrés. Du premier, basé sur une grille de 6 X 5 dont les stations sont éloignées de 142 km, au dernier, qui est repose sur une grille de 13 X 14 , nous analyserons l'impact de l'ajout des nouvelles stations sur la variance de l'interpolation, le nombre de stations à ajouter, ainsi que la distribution spatiale des nouvelles stations par rapport aux différentes zones climatiques et aux zones de réchauffement potentiel telles que prévues par les modèles climatiques pour la période 2010-2100.

À l'exception de trois, toutes les propositions sont basées sur des grilles à espacement régulier (Tableau 18). L'espacement minimum de la grille (55 km) correspond à la distance maximale qui permet de détecter une différence de 1°C de la température moyenne autour d'une station (Figure 17a) et d'obtenir un coefficient R2 d'environ 0,95 entre les stations (Figure 20a). Nous avons par la suite diminué la densité des points jusqu'à obtenir une grille de base de 6 X 5 dont les points sont espacés de 142 km.

**Tableau 18 :** Caractéristiques de la grille de base des propositions de réseau

Proposition	Stations à ajouter	Grille de base	Distance de la grille de base (km)
Service	0	--	--
1	2	--	--
2	4	6 X 5	142
3	8	--	--
4	11	7 X 6	117
5	15	--	--
6	18	8 X 7	101
7	36	9 X 8	88
8	43	10 X 9	78
9	55	11 X 10	71
10	75	12 X 11	64
11	94	13 X 12	59
12	117	14 X 13	55

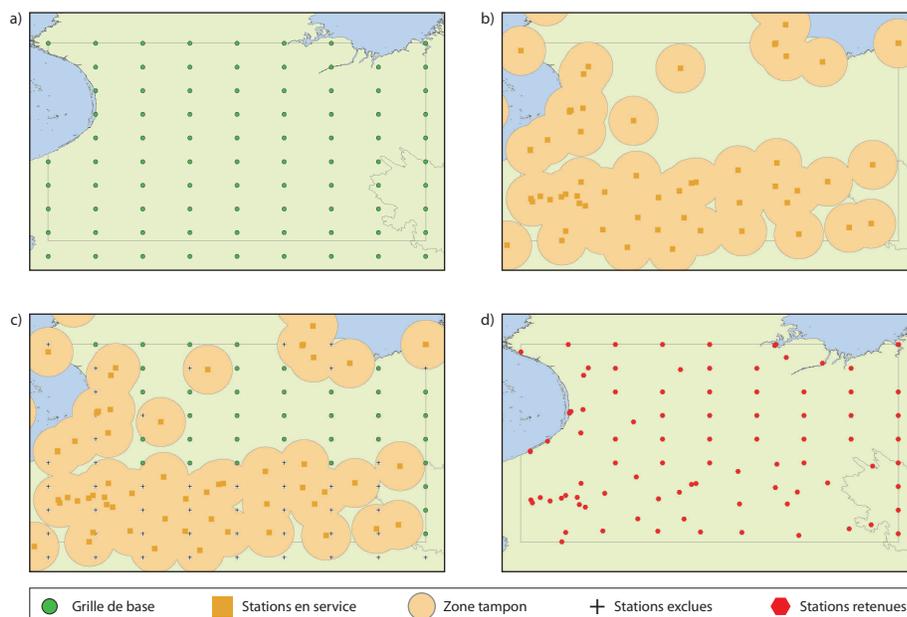
Cependant, avant d'obtenir un arrangement final pour chacune des propositions, nous avons dû tenir compte du réseau déjà en place, afin de ne pas suggérer l'implantation d'une station trop proche des stations existantes. Nous avons utilisé ArcGIS afin de délimiter les zones tampons autour des stations existantes et ne conserver que les stations situées à l'extérieur de ces zones (Figure 31).

En détail, voici les étapes qui mènent à la sélection des stations qui seront conservées. La première consiste à générer dans toute la région d'étude des points qui s'aligneront sur la grille de base selon la distance requise pour chacune des propositions du tableau 18. Par exemple, pour la proposition 8, la distance entre les points de grille est de 78 km (Figure 31a). Par la suite, une zone tampon correspondant à la distance de la grille de base (78 km dans notre exemple) est établie autour de chacune des stations en service (Figure 31b). Toutes les stations qui se situent à l'intérieur des zones tampons sont exclues ((Figure 31c). Ceci nous permet de conserver les stations en service et celle proposées qui sont en dehors des zones tampons (Figure31d).

Dans le cas de la proposition 1, les stations ont été placées manuellement. Les propositions 3 et 5 sont des variations des propositions 2 et 4, respectivement, où des stations ont été ajoutées manuellement.

### 7.2.2.2 Variance de l'interpolation

Un des critères que nous avons utilisés afin d'évaluer la qualité de chacune des propositions est la variance de l'interpolation. En utilisant le krigeage, il est



**Figure 31 :** Étapes nécessaires à la sélection des stations retenues pour chacune des propositions

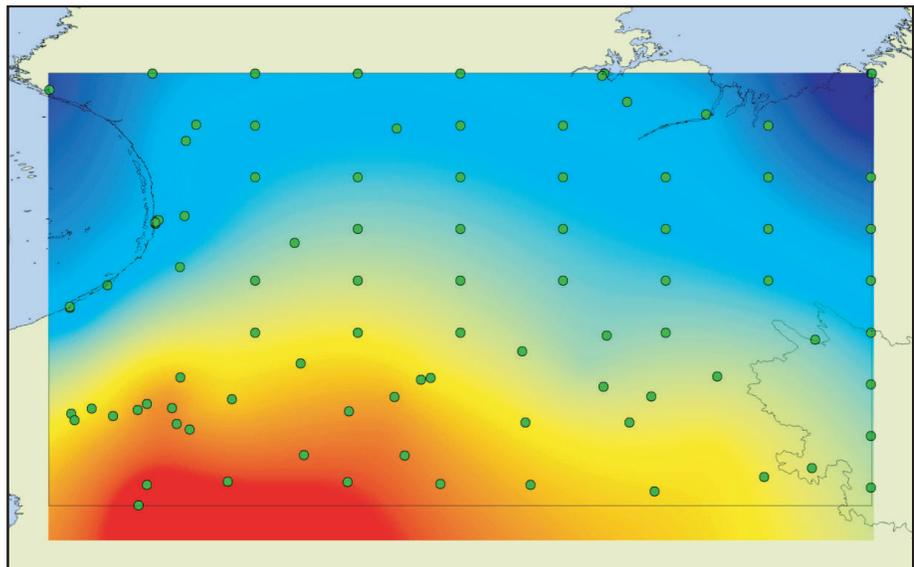
possible d'inférer des données à n'importe quel point de la zone d'étude à l'aide des mesures des stations existantes. Cependant, la précision du krigeage est dépendante, entre autres, de la densité du réseau de stations utilisé, de la variabilité des mesures et de la distribution spatiale des stations. Afin d'évaluer l'erreur de l'interpolation, nous utiliserons la variance de l'interpolation. La cartographie de la variance nous permet de voir les zones où l'interpolation est moins fiable.

Une fois les stations sélectionnées, comme expliqué plus haut, nous avons estimé les températures moyennes annuelles des stations proposées en échantillonnant de nouveau le krigeage obtenu au chapitre précédent (Figure 32). Pour chaque station de chacune des propositions du tableau 18, nous avons estimé les valeurs de température moyenne annuelle obtenues par krigeage que l'on retrouve à la figure 25. Ceci nous a permis de générer des données qui sont cohérentes avec le patron de distribution des données de la région d'étude. Une fois les données générées, nous avons refait l'interpolation par krigeage pour chacune des propositions.

### 7.2.2.3 Zones climatiques homogènes

Nous avons utilisé la classification par maximum de vraisemblance pour déterminer les zones homogènes à l'intérieur de la zone d'étude. Nous avons classifié en neuf zones la température moyenne annuelle, le nombre de degré-jours, le dernier et premier jour de gel et les sorties de modèle climatique ( $\Delta$  température) pour les périodes 2010-2039, 2040-2069 et 2070-2100. Les sorties de modèle cli-

**Figure 32 :** Points d'échantillonnage de la proposition 8 sur l'interpolation par krigeage de température moyenne annuelle.



---

matique sont les changements moyens sur 30 ans calculés à partir des simulations climatiques réalisées chez Ouranos avec le Modèle régional canadien du climat (version 4.1.1) (Music et Caya, 2007; Plummer et al. 2006). Le modèle a une résolution horizontale de 45 km, sur un domaine régional centré sur le Québec (domaine dénommé QC). Ces simulations régionales ont été pilotées à leurs frontières par le membre 4 du modèle CGCM3 (Scinocca et McFarlane, 2004), suivant le scénario SRES A2.

Nous avons aussi délimité des zones en fonction de leurs distances de la côte (Figure 33).

Le but de cette classification est de déterminer la proportion de stations qui sont présentes dans chaque zone. On pourra évaluer si la répartition des stations de chacune des propositions est représentative des zones climatiques que nous avons délimitées. Par exemple, si une zone climatique représente 25 % du territoire et que seulement 4 % des stations s'y retrouvent, on peut considérer qu'il y a un problème de représentativité des stations pour cette zone.

### **7.2.3 Analyse et résultats**

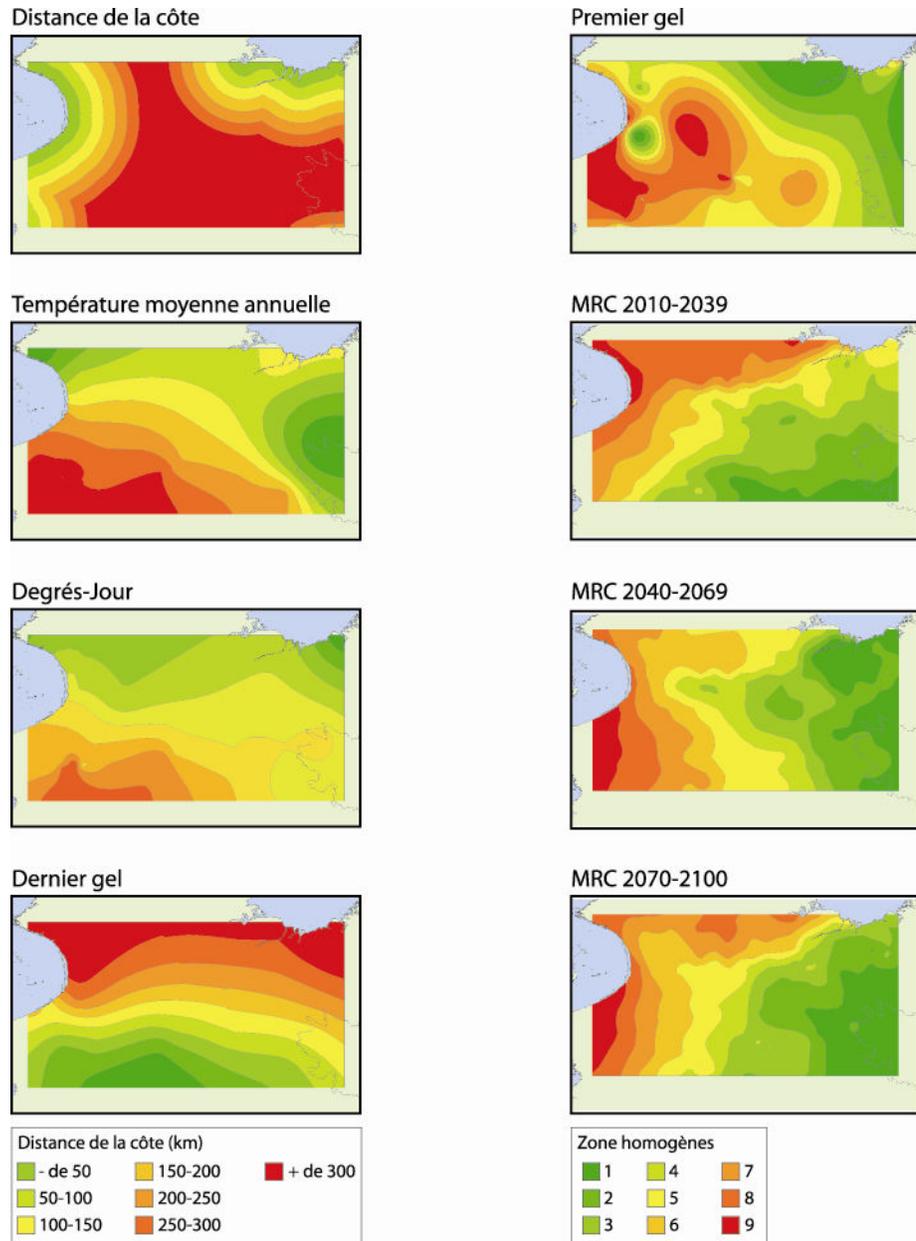
#### **7.2.3.1 Variance de l'interpolation**

L'interpolation par krigeage obtenu sur les données générées pour chacune des propositions (par exemple la proposition 8 de la figure 34a) ne diffère pas énormément de celles générées par l'interpolation des stations en service entre 1986 et 2004 (Figure 34b). Cependant, la variance associée à cette interpolation est très différente et l'ajout de stations affecte la variance moyenne (Figure 35a et b). On peut voir qu'en ajoutant des stations au centre de la péninsule, la zone où l'incertitude est la plus élevée (en rouge) est disparue et la variance maximale passe de 2,7 à 1,6.

À la figure 36a on peut voir que la variance moyenne de l'interpolation diminue à mesure que le nombre de stations augmente. Cependant, en calculant le rapport variance moyenne / nombre de stations, il devient plus clair que l'ajout de nouvelles stations a de moins en moins d'effet sur la variance moyenne (Figure 36b).

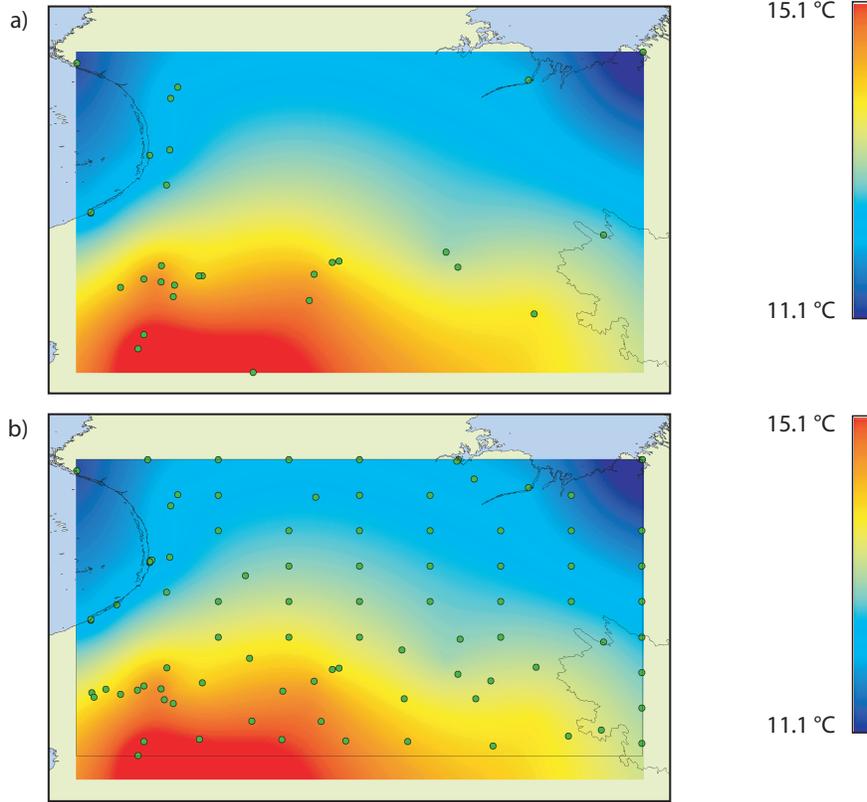
---

**Figure 33 :** Zones climatiques homogènes et zone côtière pour la région d'étude. La zone 1 est la valeur la plus faible et la zone 9 est la valeur la plus élevée

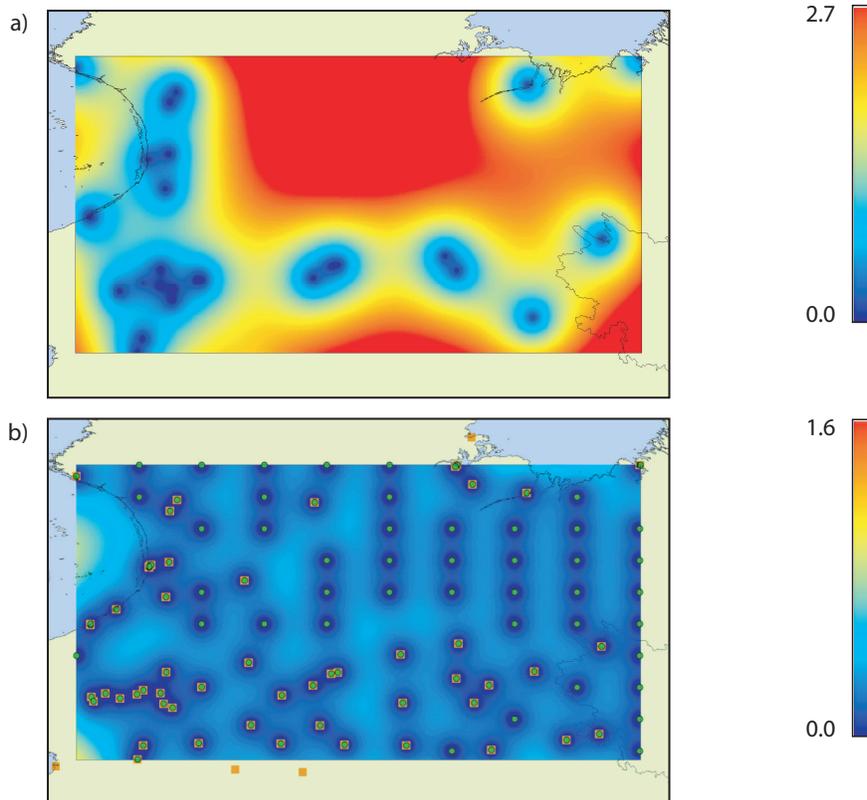


#### 7.2.4 Proposition de réseau

Afin de permettre la comparaison entre les différentes propositions, nous avons établi des fiches où se trouvent les statistiques et les résultats du krigeage. Un exemple se trouve à la figure 37. En haut, on peut y voir un tableau affichant les statistiques de la proposition. Dans la première colonne, se trouvent les informations pertinentes lorsque la proposition est basée sur une grille. La différence de température et le R2 attendu sont dérivés des résultats obtenus aux points 6.3.4 et 6.3.5 du chapitre 6 de ce rapport. Plus bas, on retrouve les statistiques de

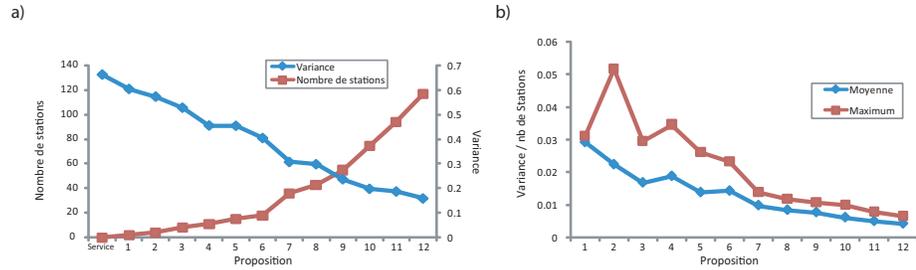


**Figure 34 :** Température moyenne annuelle obtenue par krigeage simple à l'aide a) des données réelles des stations en service (1986-2004) et b) des données estimées pour les stations de la proposition 8



**Figure 35 :** Variance de l'interpolation de la température moyenne annuelle obtenue par krigeage simple à l'aide a) des données réelles des stations en service (1986-2004) et b) des données estimées pour les stations de la proposition 8

**Figure 36 :** a) Variance de l'interpolation de la température moyenne annuelle et nombre de stations totale pour chacune des propositions b) Rapport variance moyenne / nombre de station de la température moyenne et maximum moyenne annuelle pour chacune des propositions



zones qui permettent de comparer la surface (en pourcentage) qu'occupent les différentes zones climatiques homogènes (section 7.2.2.3) et le pourcentage de stations qui se trouvent dans ces zones. Au bas de la figure, il y a la cartographie de la variance de l'interpolation et le semi-variogramme associé. L'annexe 1 regroupe les fiches de toutes les propositions présentées au tableau 18.

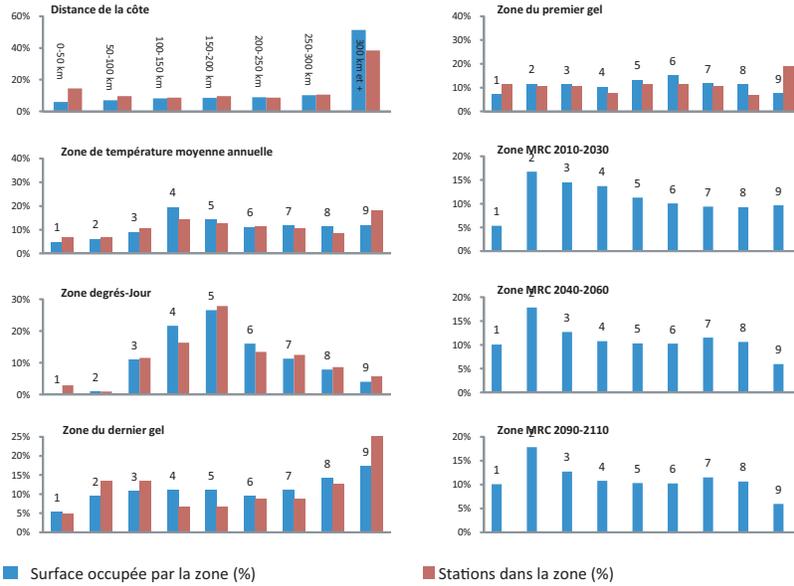
Figure 37 : Exemple de fiche statistiques de la proposition 8

**Proposition 8 (43 stations - Grille 10 X 9)**

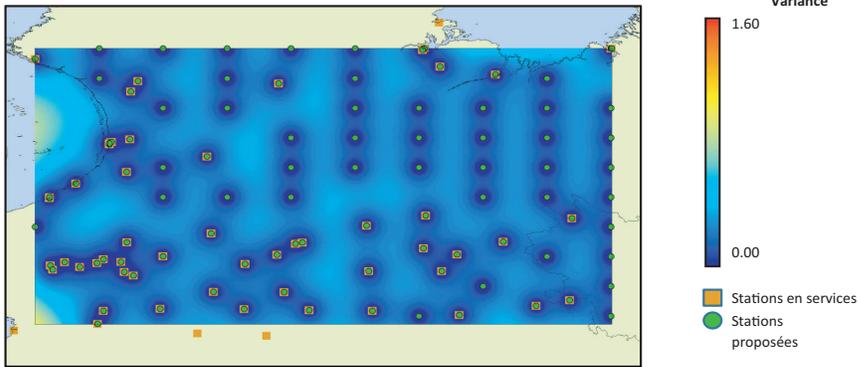
**Statistiques descriptives**

Nombre de stations à ajouter / Total :	<b>43 / 103</b>	Dist. moy. de la station la plus proche (km) :	<b>48.1 ± 31.8</b>
Grille de base :	<b>10 X 9</b>	Dist. max. de la station la plus proche (km) :	<b>96.6</b>
Distance Grille (km) :	<b>78</b>	Variance maximale de l'interpolation :	<b>0.769</b>
Écart maximal de température attendu :	<b>1.31</b>	Variance moyenne de l'interpolation :	<b>0.298</b>
Corrélation maximale attendue (R <sup>2</sup> ) :	<b>0.94</b>	Étendue de la variance de l'interpolation :	<b>0.700</b>

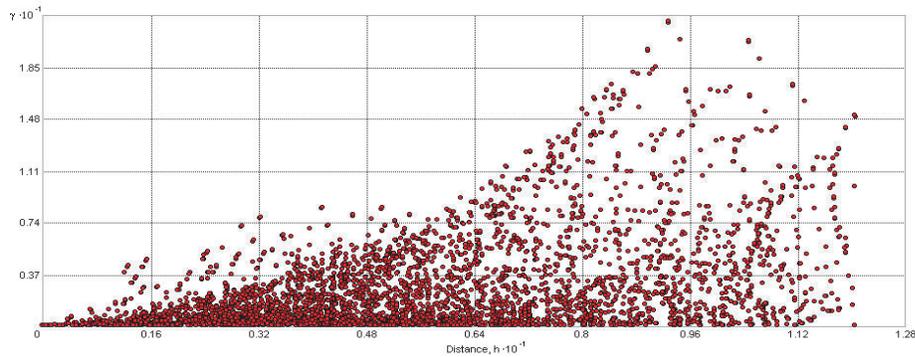
**Statistiques de zone**



**Variance de l'interpolation**



**Semivariogramme**





## 8. Conclusion et recommandations

Ce projet de recherche exploratoire a permis de constituer une base de données unifiée représentant l'aire couverte par le complexe hydro-électrique de la Grande Rivière en Jamésie. Un protocole de validation des données a été développé sur la base des données de températures. Il comprend une partie automatisée (statistique) et une révision manuelle des problèmes soulevés. Les données validées, mais non homogénéisées, ont servi à analyser l'aire de représentation des stations de cette région en vue de fixer les bases d'un réseau optimal. Les principaux problèmes rencontrés sont la mise en commun des données provenant de fournisseurs différents et le développement d'une méthode d'estimation des valeurs manquantes. La méthode d'estimation utilisée a permis de récupérer un certain nombre de données, mais la faible densité du réseau existant et la discontinuité temporelle des données limitent le nombre de données récupérables. Un portrait du climat dans l'aire d'étude pour la période 1986 à 2005 a été établi à l'aide des données instrumentales disponibles. À l'aide d'une technique de krigeage simple des données, on a pu identifier les principaux patrons des gradients saisonniers. Par ailleurs, il semble que le réseau en place reproduit bien la climatologie connue de la région. La représentativité spatio-temporelle du réseau de stations est définie sur la base de la distance maximale des stations jugées voisines par la corrélation de leurs séries de données. Sur la base des séries disponibles, il suffirait d'ajouter de 4 à 8 stations afin d'obtenir un réseau qui permette d'interpoler assez fidèlement les données sur toute la région. L'ajout de nouvelles stations devrait se faire au centre de la région où la densité du réseau est faible. Cette étude ne permet pas à elle seule de fixer les bases d'un réseau optimal, car il faudrait s'appuyer sur des jeux de données d'autres paramètres climatiques que les seules températures. Toutefois, la méthodologie proposée constitue un moyen de démarrer une analyse plus étendue.

La performance d'un réseau « optimal » est définie par les données instrumentales de 1986 à 2005. Sa robustesse et sa pertinence à bien mesurer une climatologie future a été testée en utilisant des résultats du MRC pour les périodes 2010-2039, 2040-2069 et 2070-2100. Ainsi, le réseau proposé, reproduit le climat pour chacune des trois périodes retenues. Il sera éventuellement intéressant de proposer d'autres configurations du réseau de mesure en variant le nombre et

---

l'emplacement des stations afin d'être en mesure de suivre l'évolution du climat au cours des cent prochaines années.

## **8.1 RECOMMANDATIONS**

---

### **8.1.1 Réseau optimal**

- L'histoire climatique d'une région semble importante. Pour mettre en place un réseau optimal, on aurait tout avantage à utiliser des séries temporelles relativement longues.
- Sur la stricte base de l'analyse des températures, le réseau de stations du complexe de la Grande Rivière semble être adéquat. En vue d'établir une conclusion ferme, il est clair qu'il faille pousser plus loin l'analyse en tenant compte des particularités géographiques de la région.
- Ouranos devrait continuer d'animer l'échange entre les groupes d'intérêts en matière de réseau climatologique. Il s'agit d'un travail complexe pour lequel il y a peu de spécialistes. Ceux-ci travaillent pour des organisations différentes qui tireraient tous bénéfices à la poursuite de tels échanges.

### **8.1.2 Recommandations scientifiques**

- L'établissement d'un réseau optimal pourrait faire l'objet d'une analyse là où on croit optimal dès le départ. Par exemple, sur la base de critères statistiques, un jeu de données pourrait être extrait d'une banque permettant de tester les méthodes d'optimisation.
  - Les tests relatifs à l'optimisation de réseau devraient porter sur plusieurs variables climatiques. Le présent travail fondé sur les températures se veut un premier essai, mais l'on convient qu'il faille considérer plusieurs facettes du climat pour établir un réseau optimal.
  - La mise en forme des données est une étape essentielle de toute analyse. En effet, l'uniformisation des méthodes de production des données (type de mesure, méthode de calcul, remplacement des valeurs manquantes, homogénéisation des séries) est primordiale. Le travail accompli au moyen des données de températures devrait être appliqué à d'autres paramètres climatiques comme les précipitations.
  - L'application du MRC à la période instrumentale à traiter est un bon test en vue d'établir la performance de tout réseau dans le futur. Il s'agit en quelque sorte d'une validation croisée de la sortie du modèle et des jeux de données mesurées.
  - Le krigeage simple nous est apparu une bonne méthode pour vérifier les patrons spatiaux dans les jeux de données disponibles. La constance des gradients observés et leur consistance en comparaison à la climatologie connue sont des atouts en vue de l'optimisation de la densité d'un réseau. D'autres méthodes pourraient toutefois être explorées.
-

## 9. Bibliographie

- Allsopp, D., Morris, D. (2004). Calculation of the 1971 to 2000 Climate Normals for Canada. 14th Conference on Applied Climatology, Seattle USA.
- Barrette N., Gauthier R., Maheux, J.-F., Bouchard, F. 2004. Climat, variabilité et tendances climatiques au Québec nordique au cours des dernières décennies. Rapport présenté au Programme d'Aide à la Recherche et au Développement en Environnement. Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. Québec
- Hulme, M., J.F.B Mitchell, W. Ingram, T.C. Johns, J.A. Lowe, M.G. New and D. Viner. 1999. Climate change scenarios for global impacts studies. *Global Environ. Change*, **9**, S3-S19.
- Music, B., et Caya, D. (2007). Evaluation of the Hydrological Cycle over the Mississippi River Basin as Simulated by the Canadian RCM (CRCM). *J. Hydrometeo.*, Sous presse
- Plummer, D.A., D. Caya, A. Frigon, H. Côté, M. Giguère, D. Paquin, S. Biner, R. Harvey, and R. de Elia, (2006). Climate and Climate Change over North America as Simulated by the Canadian RCM. *J. Clim.*, vol.19(13), 3112-3132.
- Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., Ruoho-Airopa, T., Amnell, T. 2002. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutant by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimate - The Excel template application MAKESENS. Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finlande
- Scinocca, J. F., et McFarlane, N. A. (2004). The Variability of Modeled Tropical Precipitation. *J. Atmos. Sc.*, 61(16), 1993-2015
-



## Annexe 1

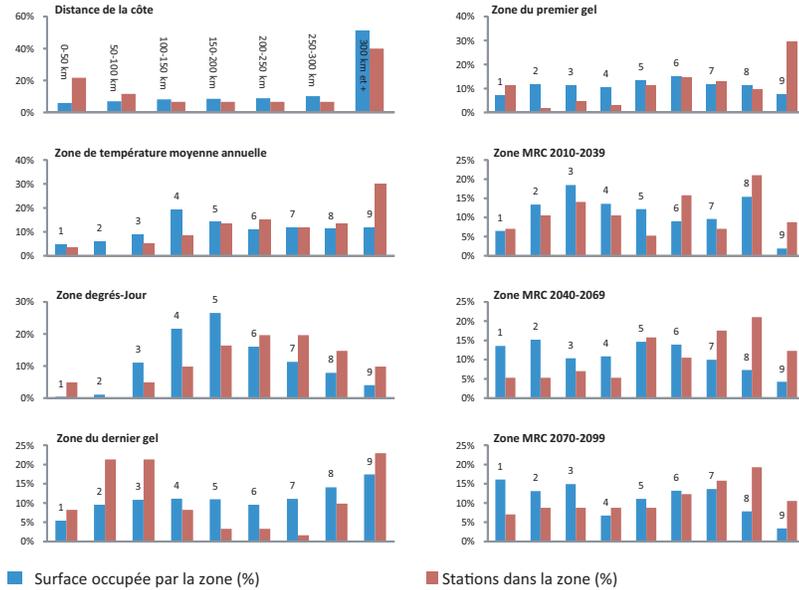
### **Statistiques des propositions de réseau**

### Stations en service en 2007

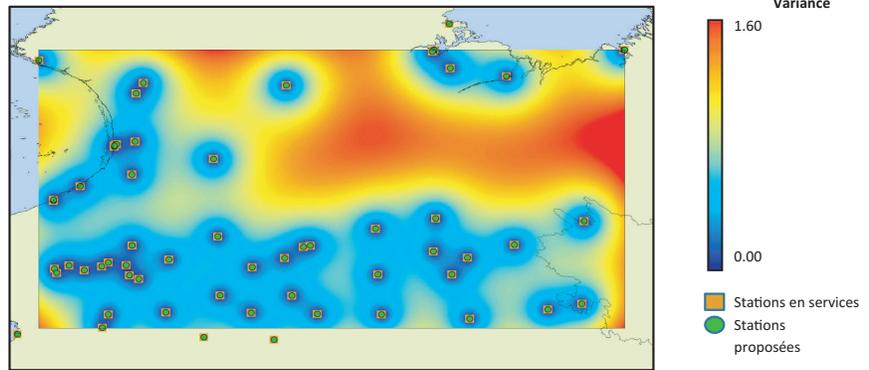
#### Statistiques descriptives

Nombre de stations à ajouter / Total :	0 / 60	Dist. moy. de la station la plus proche (km) :	39.8 ± 40.5
Grille de base :	--	Dist. max. de la station la plus proche (km) :	175.4
Distance Grille (km) :	--	Variance maximale de l'interpolation :	1.275
Écart maximal de température attendu :	--	Variance moyenne de l'interpolation :	0.663
Corrélation maximale attendue (R <sup>2</sup> ) :	--	Étendue de la variance de l'interpolation :	1.174

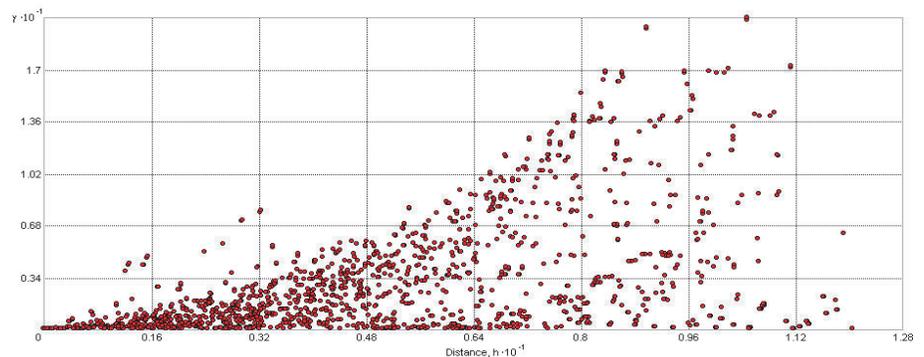
#### Statistiques de zone



#### Variance de l'interpolation



#### Semivariogramme

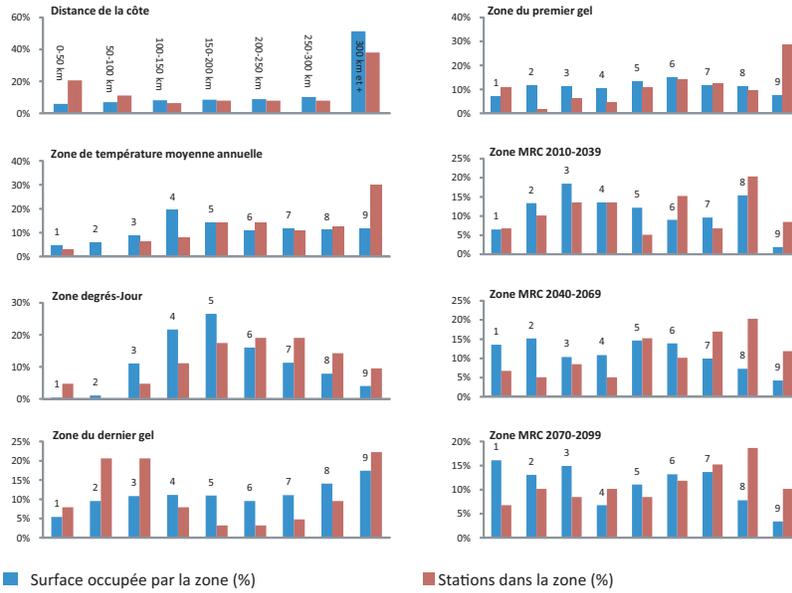


**Proposition 1 (2 stations)**

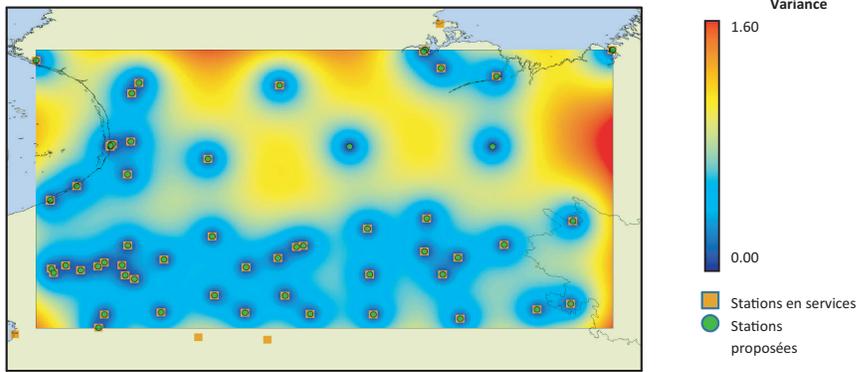
**Statistiques descriptives**

Nombre de stations à ajouter / Total :	<b>2 / 62</b>	Dist. moy. de la station la plus proche (km) :	<b>40.9 ± 47.1</b>
Grille de base :	--	Dist. max. de la station la plus proche (km) :	<b>180.2</b>
Distance Grille (km) :	--	Variance maximale de l'interpolation :	<b>1.213</b>
Écart maximal de température attendu :	--	Variance moyenne de l'interpolation :	<b>0.605</b>
Corrélation maximale attendue (R <sup>2</sup> ) :	--	Étendue de la variance de l'interpolation :	<b>1.100</b>

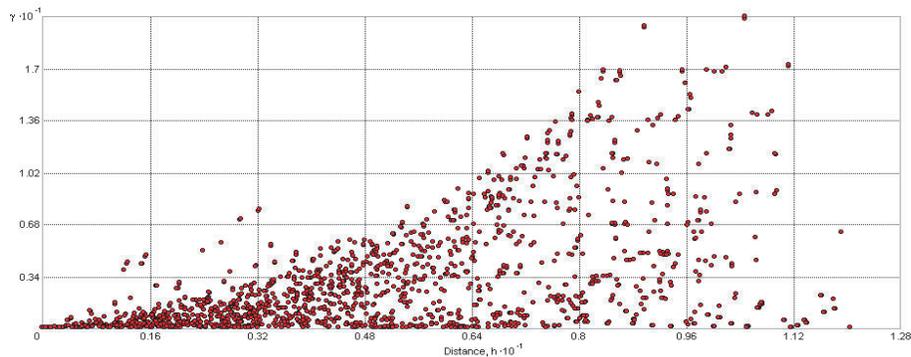
**Statistiques de zone**



**Variance de l'interpolation**



**Semivariogramme**

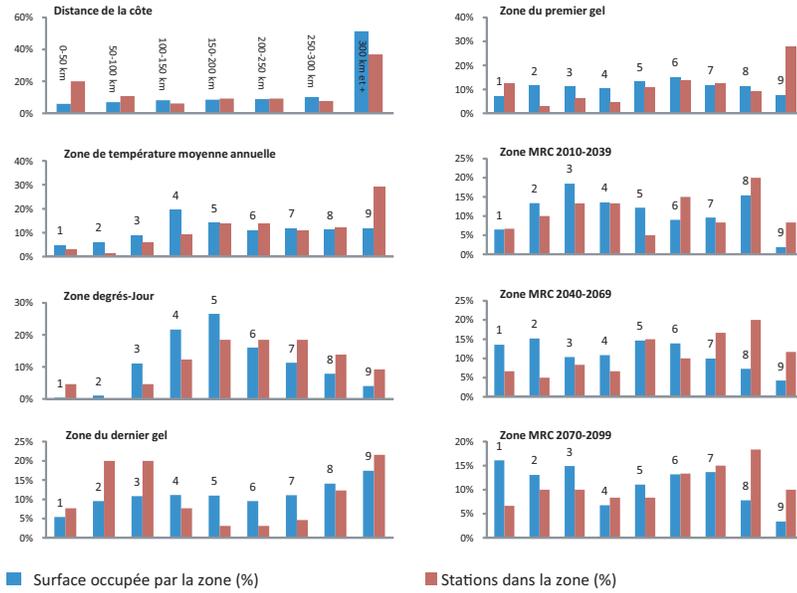


**Proposition 2 (4 stations - Grille 6 X 5)**

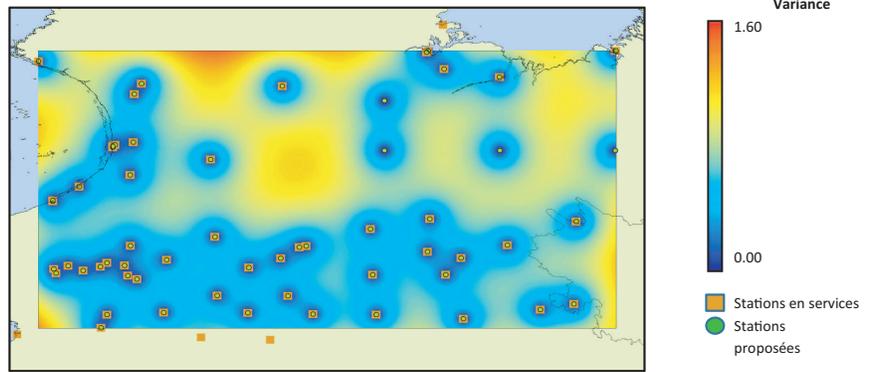
**Statistiques descriptives**

Nombre de stations à ajouter / Total :	<b>4 / 64</b>	Dist. moy. de la station la plus proche (km) :	<b>41.7 ± 44.4</b>
Grille de base :	<b>6 X 5</b>	Dist. max. de la station la plus proche (km) :	<b>149.7</b>
Distance Grille (km) :	<b>142</b>	Variance maximale de l'interpolation :	<b>1.068</b>
Écart maximal de température attendu :	<b>2.16</b>	Variance moyenne de l'interpolation :	<b>0.573</b>
Corrélation maximale attendue ( $R^2$ ) :	<b>0.89</b>	Étendue de la variance de l'interpolation :	<b>0.958</b>

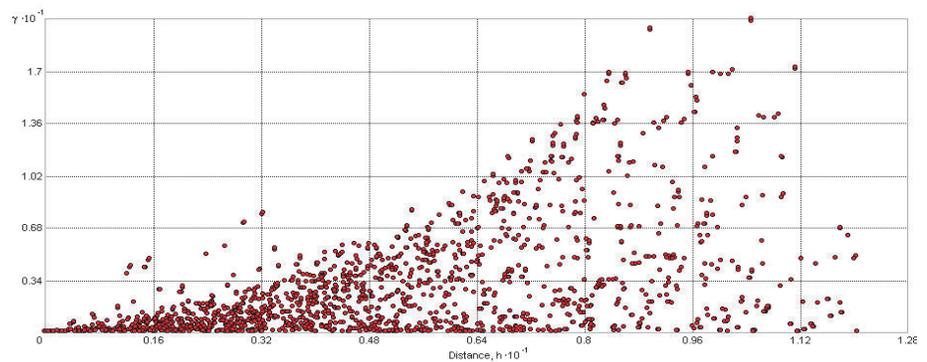
**Statistiques de zone**



**Variance de l'interpolation**



**Semivariogramme**

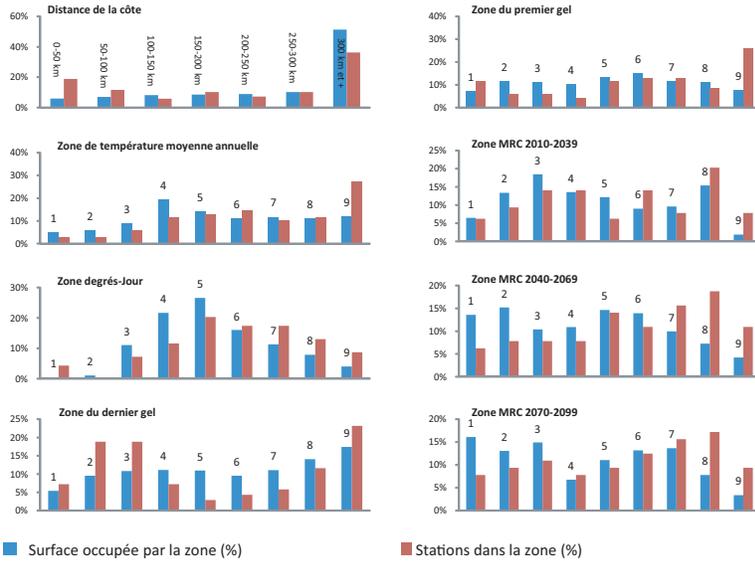


**Proposition 3 (8 stations - Grille 6 X 5)**

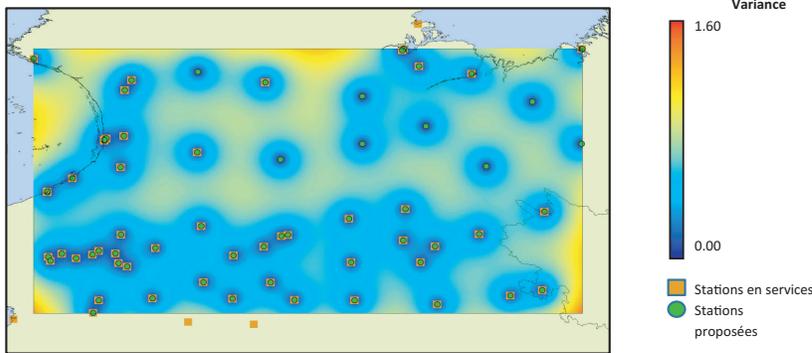
**Statistiques descriptives**

Nombre de stations à ajouter / Total :	<b>8 / 68</b>	Dist. moy. de la station la plus proche (km) :	<b>43.7 ± 43.0</b>
Grille de base :	--	Dist. max. de la station la plus proche (km) :	<b>140.0</b>
Distance Grille (km) :	--	Variance maximale de l'interpolation :	<b>1.038</b>
Écart maximal de température attendu :	--	Variance moyenne de l'interpolation :	<b>0.528</b>
Corrélation maximale attendue (R <sup>2</sup> ) :	--	Étendue de la variance de l'interpolation :	<b>0.927</b>

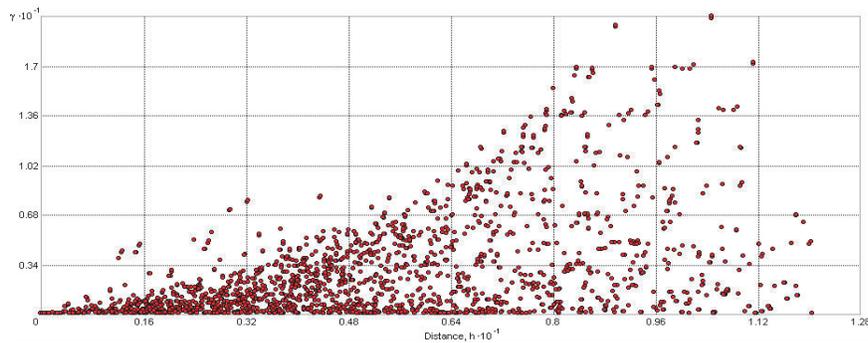
**Statistiques de zone**



**Variance de l'interpolation**



**Semivariogramme**

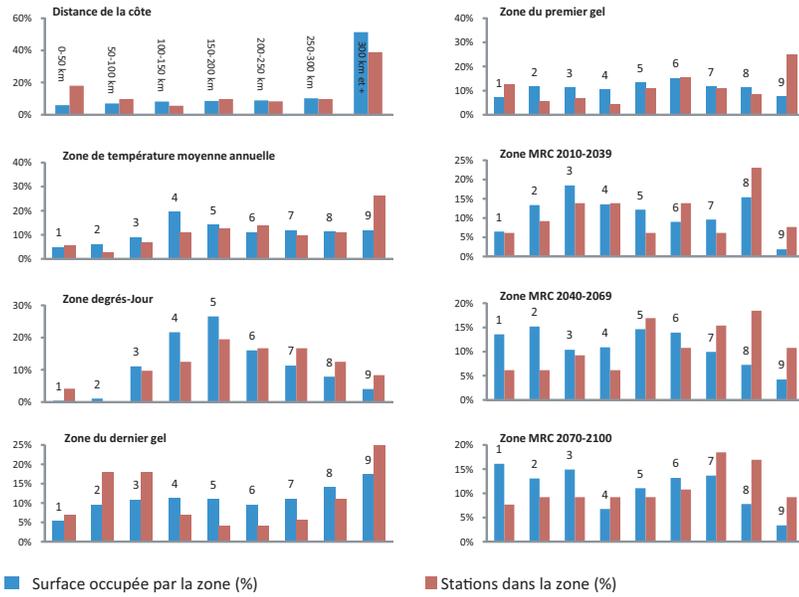


**Proposition 4 (11 stations - Grille 7 X 6)**

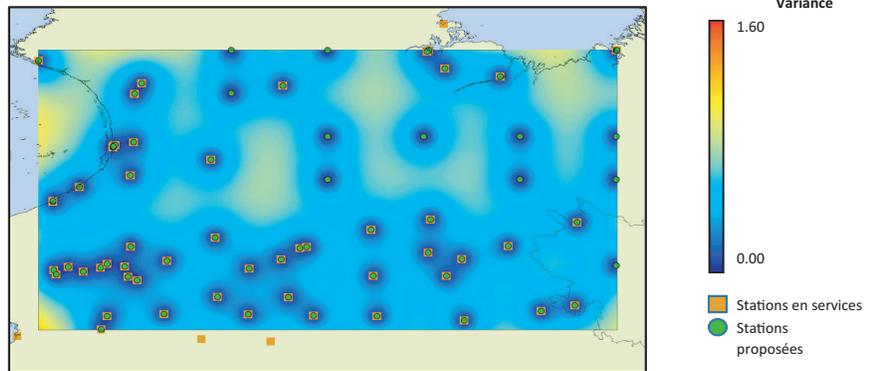
**Statistiques descriptives**

Nombre de stations à ajouter / Total :	<b>11 / 71</b>	Dist. moy. de la station la plus proche (km) :	<b>45.4 ± 43.0</b>
Grille de base :	<b>7 X 6</b>	Dist. max. de la station la plus proche (km) :	<b>140.0</b>
Distance Grille (km) :	<b>117</b>	Variance maximale de l'interpolation :	<b>0.894</b>
Écart maximal de température attendu :	<b>1.83</b>	Variance moyenne de l'interpolation :	<b>0.456</b>
Corrélation maximale attendue (R <sup>2</sup> ) :	<b>0.91</b>	Étendue de la variance de l'interpolation :	<b>0.803</b>

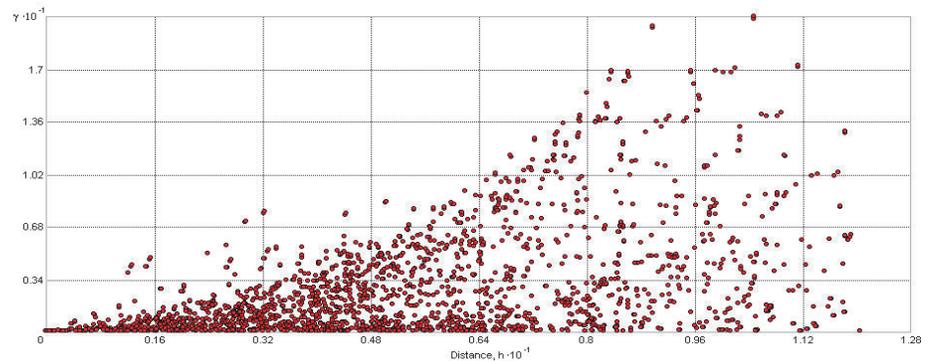
**Statistiques de zone**



**Variance de l'interpolation**



**Semivariogramme**

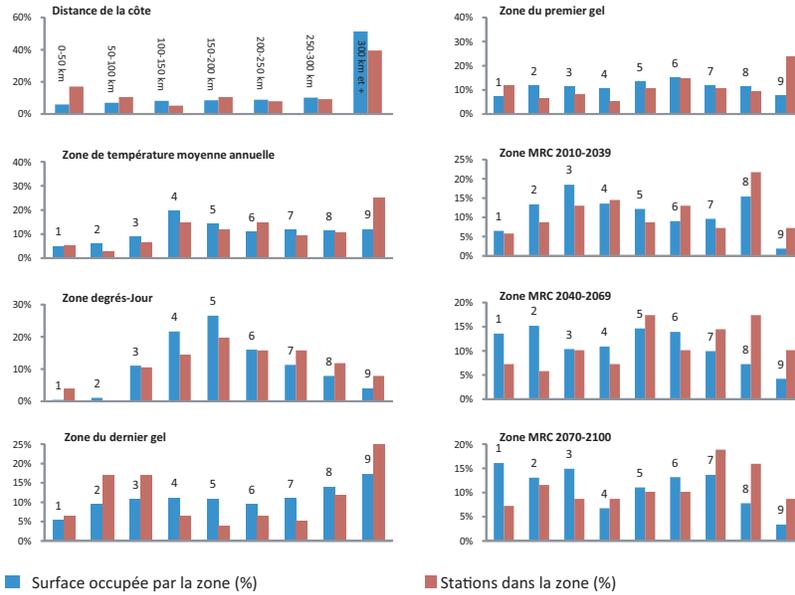


**Proposition 5 (15 stations)**

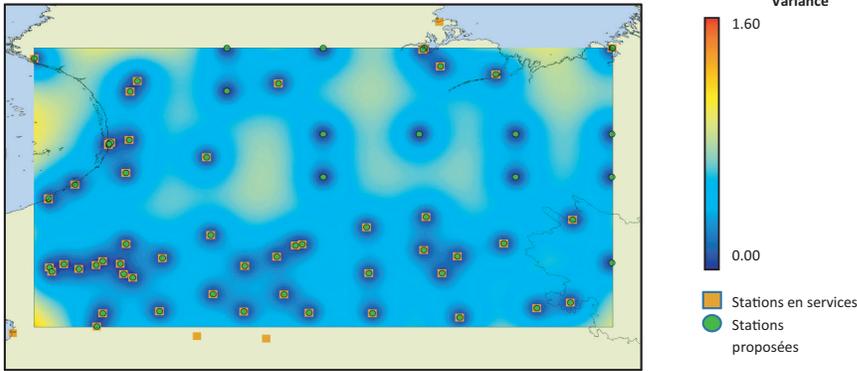
**Statistiques descriptives**

Nombre de stations à ajouter / Total :	<b>15 / 75</b>	Dist. moy. de la station la plus proche (km) :	<b>46.4 ± 41.7</b>
Grille de base :	--	Dist. max. de la station la plus proche (km) :	<b>140.0</b>
Distance Grille (km) :	--	Variance maximale de l'interpolation :	<b>0.883</b>
Écart maximal de température attendu :	--	Variance moyenne de l'interpolation :	<b>0.455</b>
Corrélation maximale attendue (R <sup>2</sup> ) :	--	Étendue de la variance de l'interpolation :	<b>0.762</b>

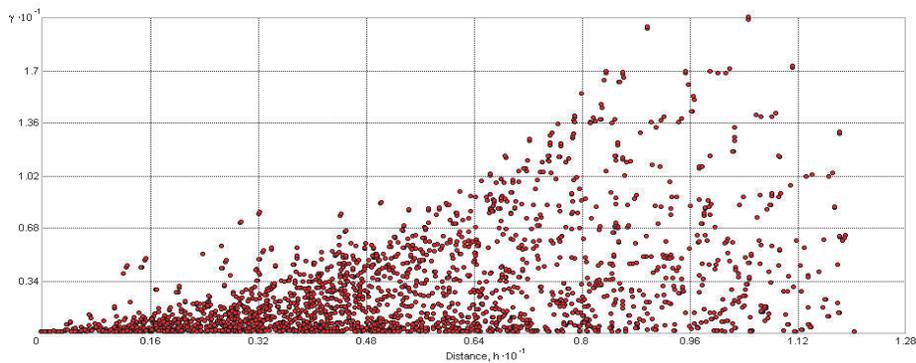
**Statistiques de zone**



**Variance de l'interpolation**



**Semivariogramme**

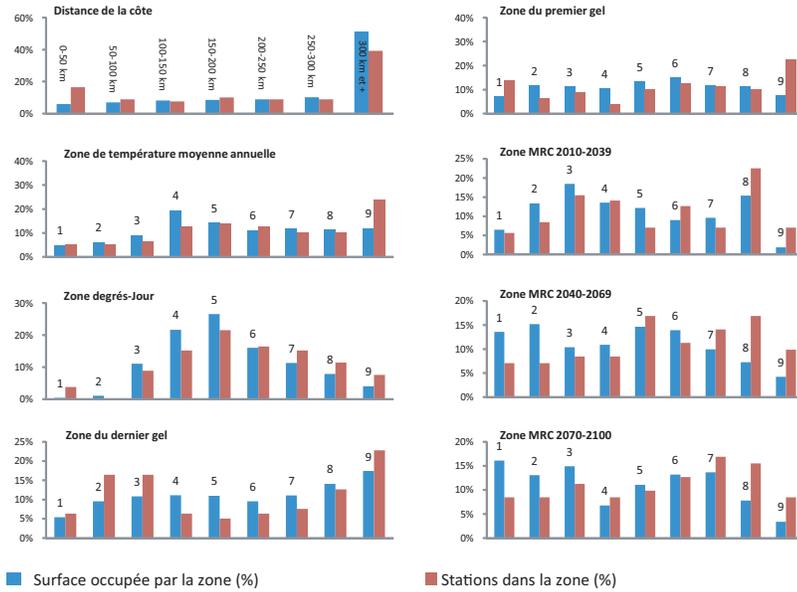


**Proposition 6 (18 stations - Grille 8 X 7)**

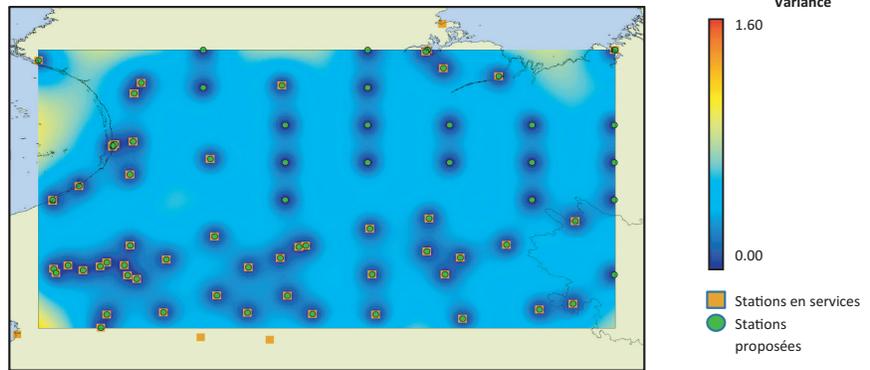
**Statistiques descriptives**

Nombre de stations à ajouter / Total :	<b>18 / 78</b>	Dist. moy. de la station la plus proche (km) :	<b>47.2 ± 40.2</b>
Grille de base :	<b>8 X 7</b>	Dist. max. de la station la plus proche (km) :	<b>140.0</b>
Distance Grille (km) :	<b>101</b>	Variance maximale de l'interpolation :	<b>0.857</b>
Écart maximal de température attendu :	<b>1.61</b>	Variance moyenne de l'interpolation :	<b>0.405</b>
Corrélation maximale attendue ( $R^2$ ) :	<b>0.92</b>	Étendue de la variance de l'interpolation :	<b>0.779</b>

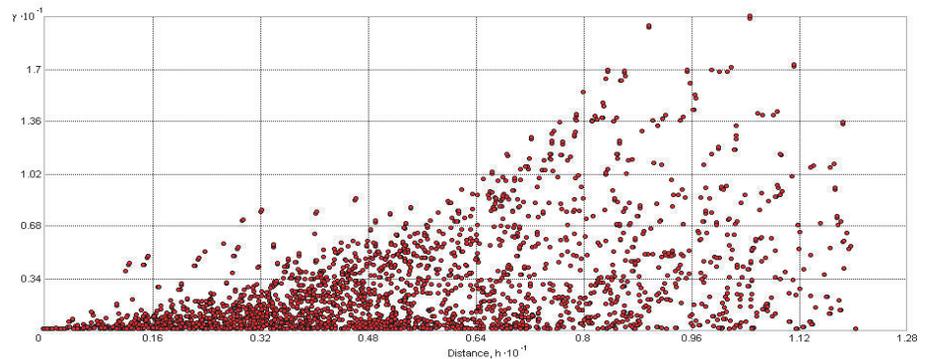
**Statistiques de zone**



**Variance de l'interpolation**



**Semivariogramme**

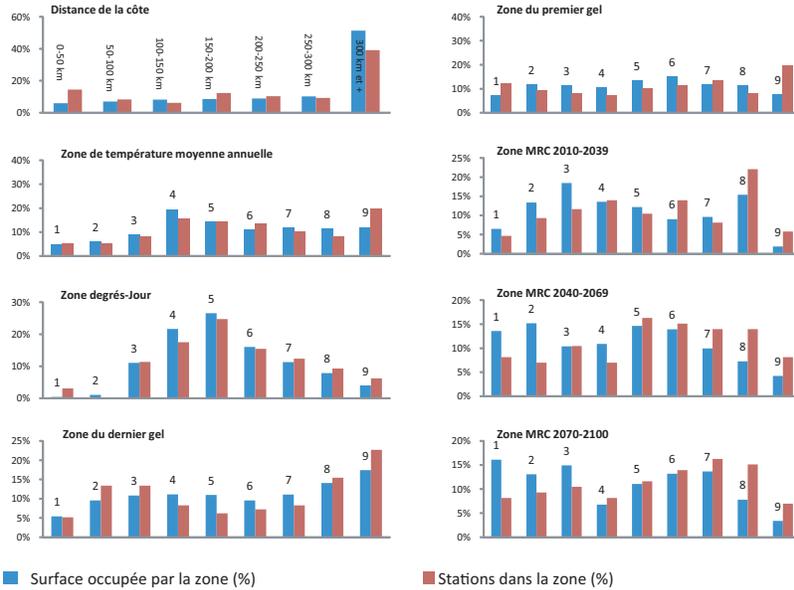


**Proposition 7 (36 stations - Grille 9 X 8)**

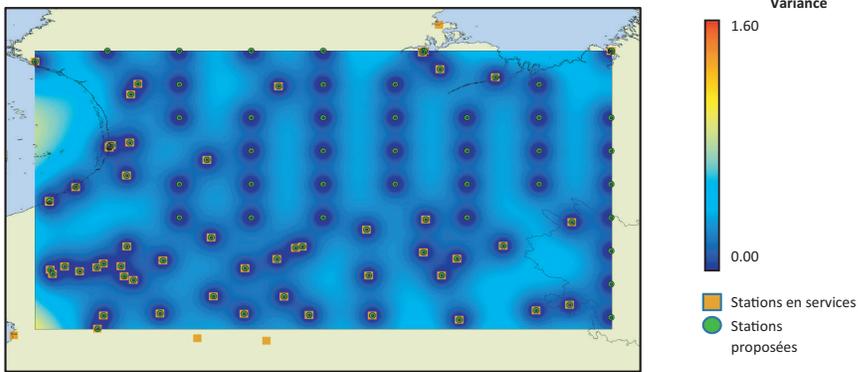
**Statistiques descriptives**

Nombre de stations à ajouter / Total :	<b>36 / 96</b>	Dist. moy. de la station la plus proche (km) :	<b>47.9 ± 34.2</b>
Grille de base :	<b>9 X 8</b>	Dist. max. de la station la plus proche (km) :	<b>112.7</b>
Distance Grille (km) :	<b>88</b>	Variance maximale de l'interpolation :	<b>0.778</b>
Écart maximal de température attendu :	<b>1.44</b>	Variance moyenne de l'interpolation :	<b>0.307</b>
Corrélation maximale attendue (R <sup>2</sup> ) :	<b>0.93</b>	Étendue de la variance de l'interpolation :	<b>0.736</b>

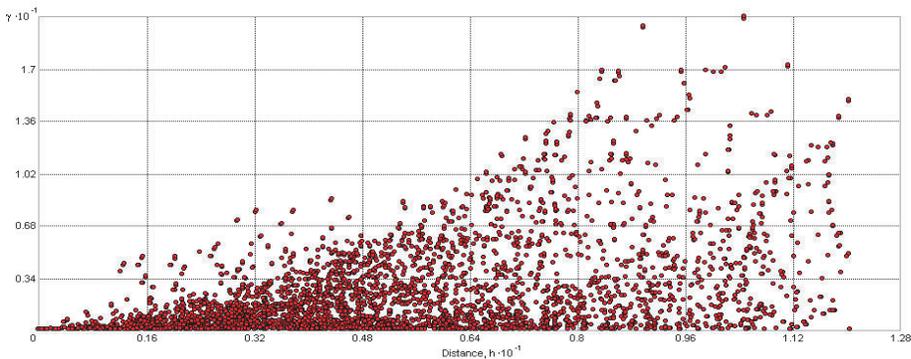
**Statistiques de zone**



**Variance de l'interpolation**



**Semivariogramme**

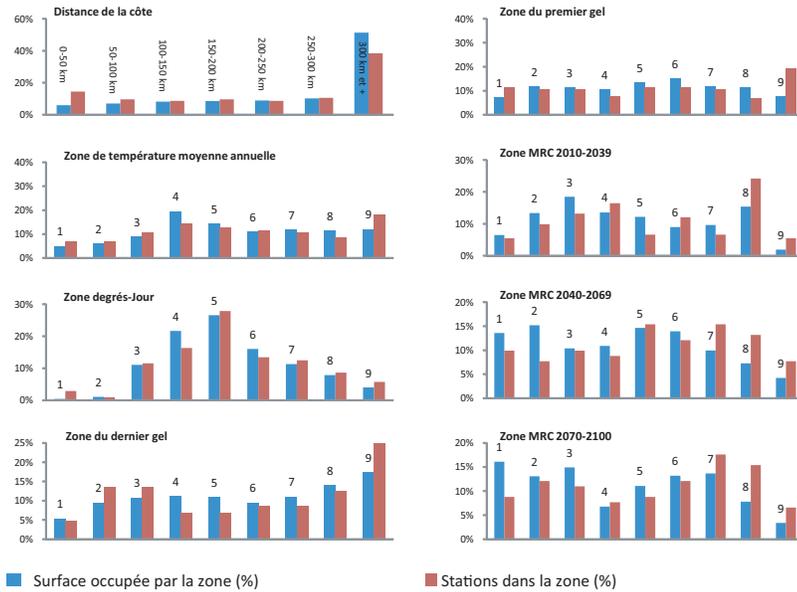


**Proposition 8 (43 stations - Grille 10 X 9)**

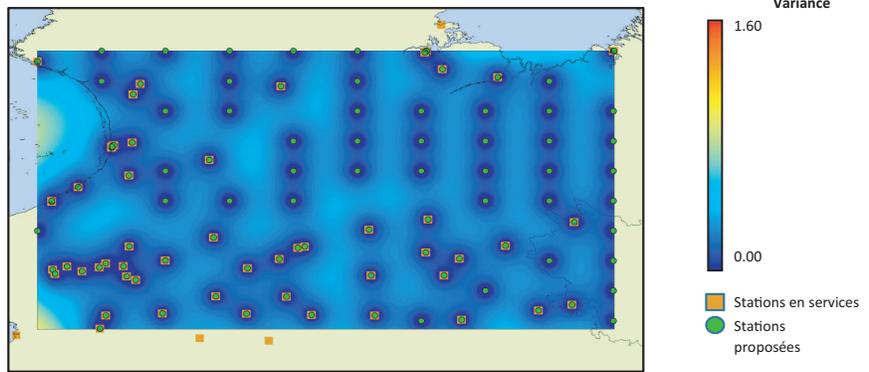
**Statistiques descriptives**

Nombre de stations à ajouter / Total :	<b>43 / 103</b>	Dist. moy. de la station la plus proche (km) :	<b>48.1 ± 31.8</b>
Grille de base :	<b>10 X 9</b>	Dist. max. de la station la plus proche (km) :	<b>96.6</b>
Distance Grille (km) :	<b>78</b>	Variance maximale de l'interpolation :	<b>0.769</b>
Écart maximal de température attendu :	<b>1.31</b>	Variance moyenne de l'interpolation :	<b>0.298</b>
Corrélation maximale attendue ( $R^2$ ) :	<b>0.94</b>	Étendue de la variance de l'interpolation :	<b>0.700</b>

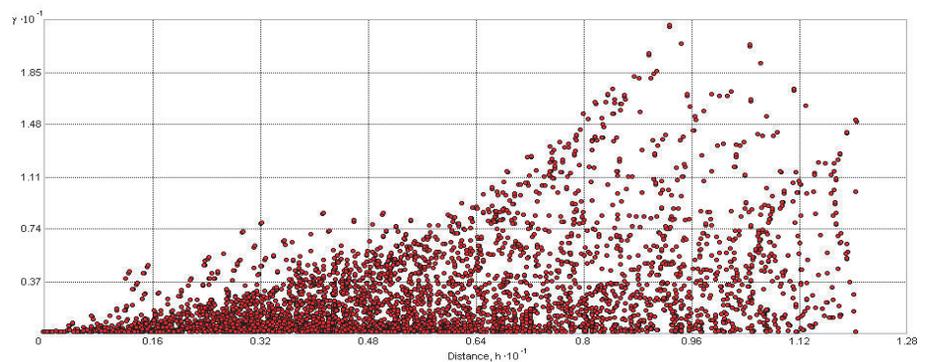
**Statistiques de zone**



**Variance de l'interpolation**



**Semivariogramme**

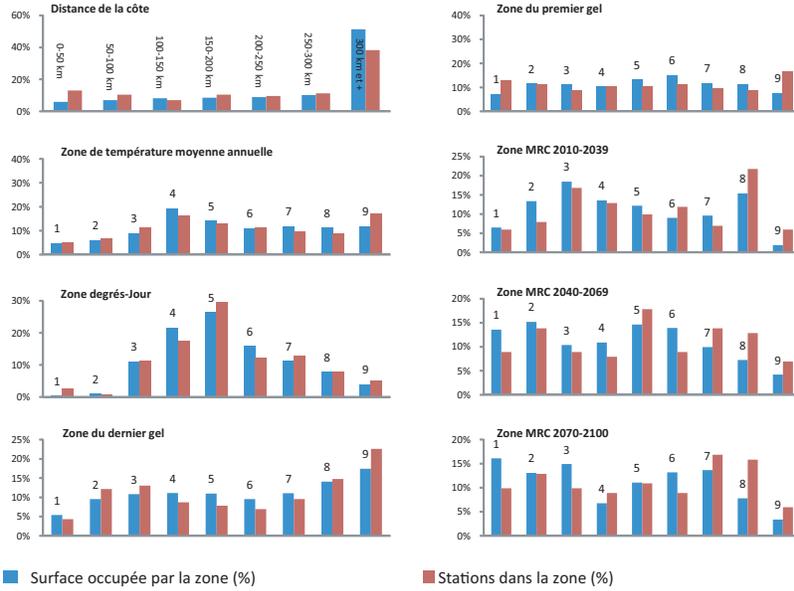


**Proposition 9 (55 stations - Grille 11 X 10)**

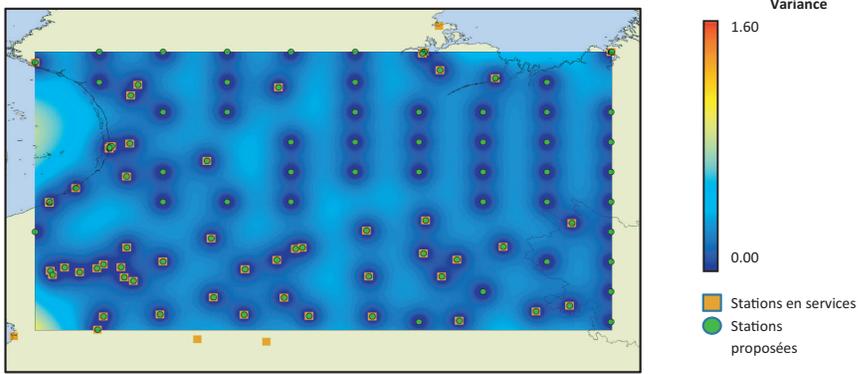
**Statistiques descriptives**

Nombre de stations à ajouter / Total :	<b>55 / 115</b>	Dist. moy. de la station la plus proche (km) :	<b>47.9 ± 29.0</b>
Grille de base :	<b>11 X 10</b>	Dist. max. de la station la plus proche (km) :	<b>90.1</b>
Distance Grille (km) :	<b>71</b>	Variance maximale de l'interpolation :	<b>0.683</b>
Écart maximal de température attendu :	<b>1.21</b>	Variance moyenne de l'interpolation :	<b>0.237</b>
Corrélation maximale attendue (R <sup>2</sup> ) :	<b>0.94</b>	Étendue de la variance de l'interpolation :	<b>0.662</b>

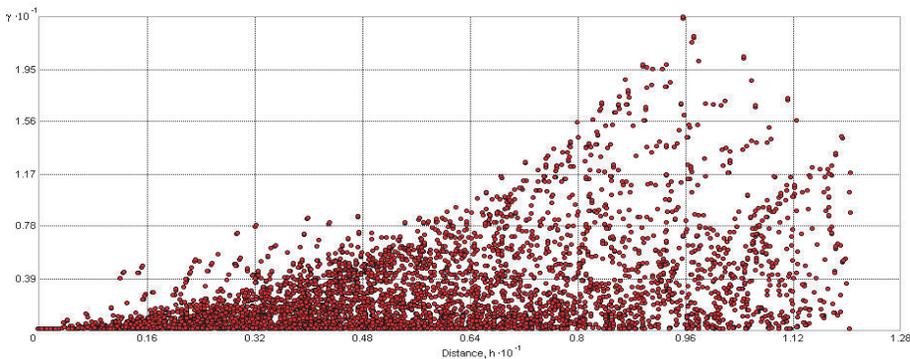
**Statistiques de zone**



**Variance de l'interpolation**



**Semivariogramme**

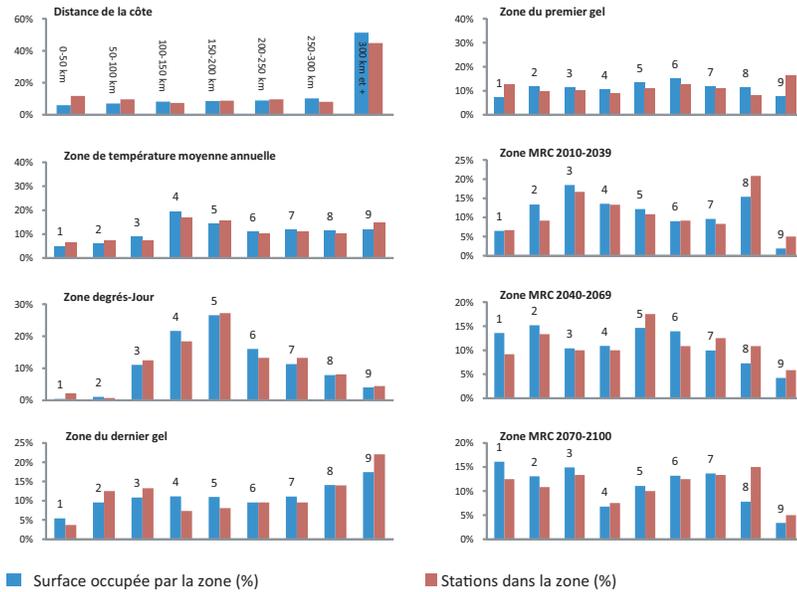


**Proposition 10 (64 stations - Grille 12 X 11)**

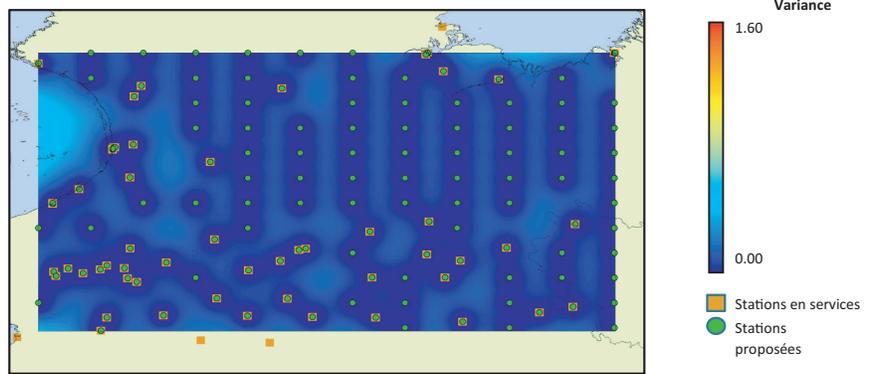
**Statistiques descriptives**

Nombre de stations à ajouter / Total :	<b>64 / 124</b>	Dist. moy. de la station la plus proche (km) :	<b>46.4 ± 24.9</b>
Grille de base :	<b>12 X 11</b>	Dist. max. de la station la plus proche (km) :	<b>80.5</b>
Distance Grille (km) :	<b>64</b>	Variance maximale de l'interpolation :	<b>0.526</b>
Écart maximal de température attendu :	<b>1.12</b>	Variance moyenne de l'interpolation :	<b>0.198</b>
Corrélation maximale attendue (R <sup>2</sup> ) :	<b>0.95</b>	Étendue de la variance de l'interpolation :	<b>0.484</b>

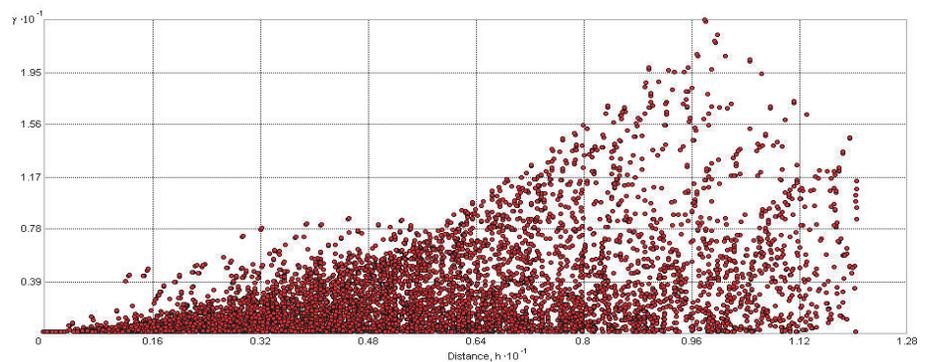
**Statistiques de zone**



**Variance de l'interpolation**



**Semivariogramme**

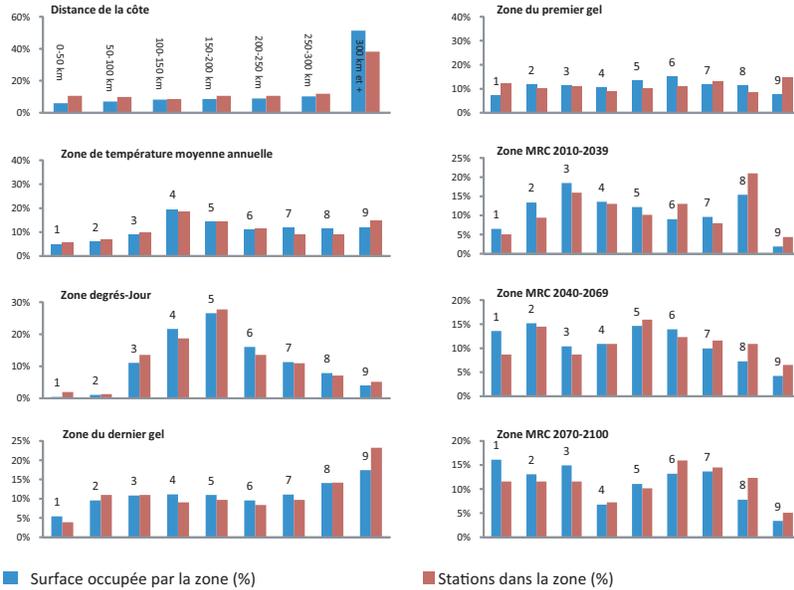


**Proposition 11 (94 stations - Grille 12 X 11)**

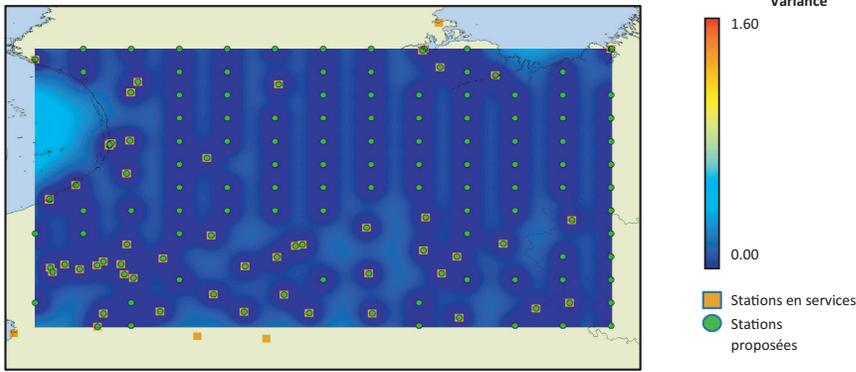
**Statistiques descriptives**

Nombre de stations à ajouter / Total :	<b>94 / 154</b>	Dist. moy. de la station la plus proche (km) :	<b>45.8 ± 22.7</b>
Grille de base :	<b>13 X 12</b>	Dist. max. de la station la plus proche (km) :	<b>82.7</b>
Distance Grille (km) :	<b>59</b>	Variance maximale de l'interpolation :	<b>0.533</b>
Écart maximal de température attendu :	<b>1.05</b>	Variance moyenne de l'interpolation :	<b>0.187</b>
Corrélation maximale attendue (R <sup>2</sup> ) :	<b>0.95</b>	Étendue de la variance de l'interpolation :	<b>0.486</b>

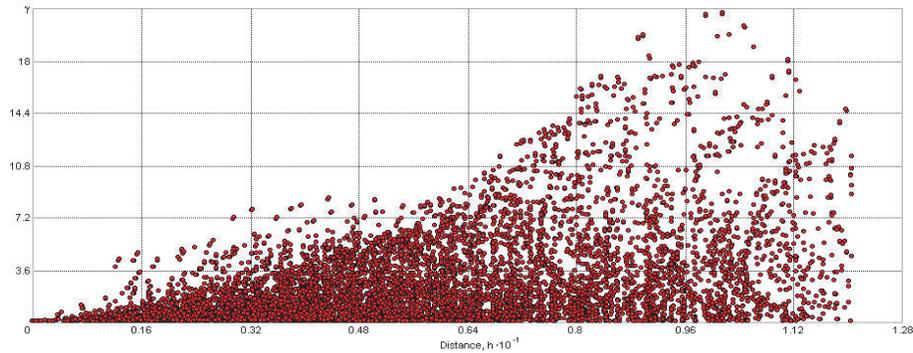
**Statistiques de zone**



**Variance de l'interpolation**



**Semivariogramme**

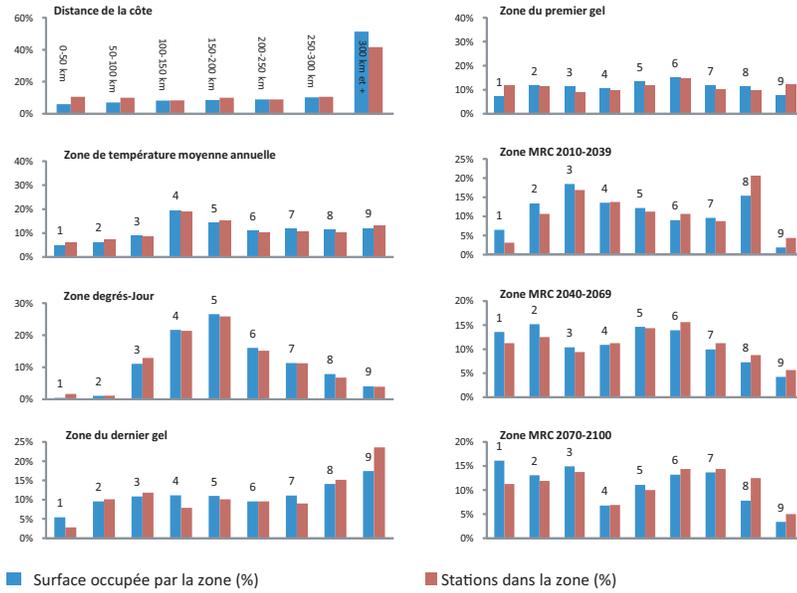


**Proposition 12 (117 stations - Grille 12 X 11)**

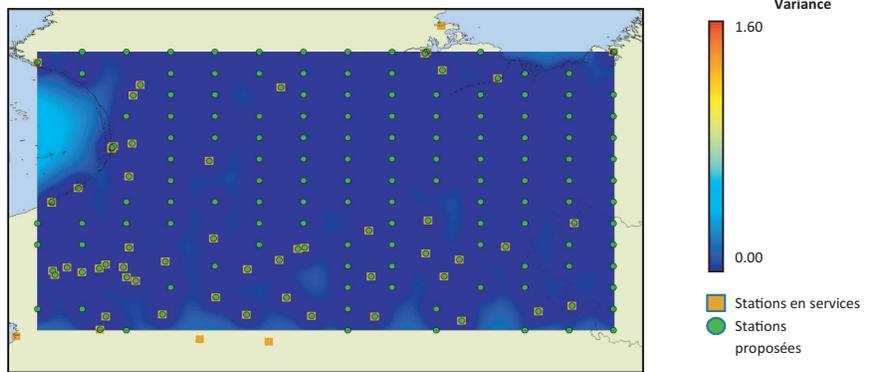
**Statistiques descriptives**

Nombre de stations à ajouter / Total :	<b>117 / 177</b>	Dist. moy. de la station la plus proche (km) :	<b>43.4 ± 19.3</b>
Grille de base :	<b>14 X 113</b>	Dist. max. de la station la plus proche (km) :	<b>66.0</b>
Distance Grille (km) :	<b>55</b>	Variance maximale de l'interpolation :	<b>0.503</b>
Écart maximal de température attendu :	<b>1.00</b>	Variance moyenne de l'interpolation :	<b>0.159</b>
Corrélation maximale attendue ( $R^2$ ) :	<b>0.95</b>	Étendue de la variance de l'interpolation :	<b>0.464</b>

**Statistiques de zone**



**Variance de l'interpolation**



**Semivariogramme**

