

**MISE À JOUR DES ESTIMATEURS INTENSITÉ-DURÉE-FRÉQUENCE (IDF)  
POUR LE SUD-QUÉBEC**

**TOME I – DONNÉES ET MÉTHODES**

Rapport final rédigé dans le cadre du projet  
*Mise à jour des normes et procédures de conception des ouvrages hydro-agricoles dans un contexte de changements climatiques – VOLET MÉTÉOROLOGIQUE*

par

**Alain Mailhot  
Guillaume Talbot**

Rapport de recherche R-1259

Institut national de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement  
490, de la Couronne, Québec (Québec) G1K 9A9

Août 2011



## REMERCIEMENTS

---

Les auteurs tiennent à remercier les personnes suivantes :

- Mme Catherine Savard, du Service de l'information sur le milieu atmosphérique au Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) qui nous a transmis les séries aux stations et qui a gentiment répondu à nos nombreuses questions;
- M. Philip Jarrett, du Service météorologique du Canada à Environnement Canada qui nous a également transmis plusieurs données et nous a fourni des précisions sur la méthode utilisée par Environnement Canada dans sa construction des courbes IDF;
- Mme Valérie Garant qui a procédé à la mise en forme et à la révision de ces rapports.

Nous remercions le gouvernement du Québec et Ouranos pour leur appui financier à ce projet réalisé dans le cadre de la mesure 26 du Plan d'action sur les changements climatiques 2006-2012 (PACC) du gouvernement du Québec et en collaboration avec Ressources naturelles Canada.



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada





## TABLE DES MATIÈRES

---

<b>REMERCIEMENTS .....</b>	<b>I</b>
<b>TABLE DES MATIÈRES.....</b>	<b>III</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>V</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>VII</b>
<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>2. DONNÉES UTILISÉES .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Types de séries.....</b>	<b>5</b>
2.1.1 Stations considérées .....	5
2.1.2 Période d'opération des stations .....	7
<b>3. SÉRIES DES MAXIMA ANNUELS .....</b>	<b>9</b>
<b>3.1 Traitement des données manquantes.....</b>	<b>12</b>
<b>4. ESTIMATEURS INTENSITÉ-DURÉE-FRÉQUENCE (IDF) ET HAUTEUR-DURÉE-FRÉQUENCE (HDF) .....</b>	<b>13</b>
<b>4.1 Analyse de tendances .....</b>	<b>13</b>
<b>4.2 Approche utilisée par Environnement Canada.....</b>	<b>17</b>
<b>4.3 Analyse fréquentielle régionale (AFR) .....</b>	<b>17</b>
4.3.1 Homogénéité de la région .....	18
4.3.2 Distribution régionale .....	20
4.3.3 Estimation des valeurs de paramètres de la GEV .....	20
<b>5. CONCLUSION ET RÉSUMÉ.....</b>	<b>23</b>
<b>6. BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>25</b>
<b>ANNEXE A - LISTE ET CARACTÉRISTIQUES DES STATIONS .....</b>	<b>27</b>
<b>ANNEXE B - SÉRIES DES MAXIMA ANNUELS POUR LA DURÉE 5 MIN. AUX STATIONS AVEC TENDANCES SIGNIFICATIVES (SEUIL DE 95 %) .....</b>	<b>37</b>

<b>ANNEXE C - DISTRIBUTIONS <i>GENERALIZED EXTREME VALUE (GEV)</i> ET GUMBEL.....</b>	<b>41</b>
<b>ANNEXE D - ANALYSE FRÉQUENTIELLE RÉGIONALE.....</b>	<b>43</b>
D.1 Homogénéité de la région .....	44
D.2 Sélection de la distribution régionale.....	45
D.3 Relations entre L-moments et paramètres de la distribution GEV .....	46
D.4 Estimations des quantiles aux stations .....	47
D.5 Évaluations des intervalles de confiance des quantiles régionaux .....	47
<b>ANNEXE E – MOYENNES DES SÉRIES AUX STATIONS.....</b>	<b>49</b>

## LISTE DES TABLEAUX

---

Tableau 2.1	Types de séries disponibles.....	6
Tableau 3.1	Nombre de stations/séries disponibles pour chaque durée pour les stations du sud du Québec.....	11
Tableau 4.1	Pourcentage de stations avec tendances significatives (seuil de 95 %) selon le test de Mann-Kendall (stations du sud du Québec) .....	14
Tableau 4.2	Liste des stations avec tendances significatives (seuil de 95 %) pour chaque durée.....	15
Tableau 4.3	Liste des stations et nombre de durées présentant des tendances significatives au seuil de 95 % (stations du sud du Québec) .....	16
Tableau 4.4	Valeur de la statistique $H_1$ .....	19
Tableau 4.5	Valeur de la statistique $H_1$ pour les sous-régions A et B .....	20
Tableau 4.6	Valeur du test Z pour la distribution GEV .....	21
Tableau 4.7	Valeurs régionales des paramètres et nombre de stations considéré .....	21
Tableau A.1	Liste et caractéristiques des stations .....	28
Tableau E.1	Moyennes des séries aux stations .....	50



## **LISTE DES FIGURES**

---

Figure 2.1	Localisation des stations situées dans la partie sud du Québec.....	6
Figure 2.2	Nombre de stations (sud du 49 <sup>e</sup> parallèle) en fonction des durées des séries disponibles.....	7
Figure 2.3	Période couverte par les séries disponibles aux différentes stations (stations au sud du 49 <sup>e</sup> parallèle et comportant plus de 15 ans de données).....	8
Figure 3.1	Fonction cumulative du rapport entre les valeurs des MA pour les durées 1, 2, 6 et 12 heures obtenues à partir des séries des MJ et celles obtenues des séries horaires pour les 70 stations du sud-Québec comportant des séries de MJ et horaires .....	11
Figure 4.1	Carte des sous-régions considérées pour les durées 10 minutes et 24 heures (les stations comportant des séries aux 10 minutes et/ou des séries aux 24 heures sont représentées).....	19



# 1. Introduction

---

Les estimateurs Intensité-Durée-Fréquence (IDF), ou encore Hauteur-Durée-Fréquence (HDF), généralement présentés sous la forme de courbes IDF ou HDF, sont des outils d'utilisation courante pour la conception d'ouvrages hydrauliques tant en secteurs urbains (par exemple les composantes des systèmes de gestion des eaux pluviales et les ponceaux) qu'en secteurs agricoles (aménagements hydro-agricoles). L'établissement d'un lien statistique entre les intensités (ou les hauteurs) de pluies intenses et la récurrence de ces événements permet de déterminer la dimension des ouvrages en fonction d'un niveau de risque (ou de service) préalablement défini. Elles constituent donc, encore aujourd'hui, un outil de premier plan pour maints utilisateurs.

Environnement Canada (EC) a produit un premier ensemble de courbes IDF dans le courant de la décennie 80 (Hogg et Carr, 1985). Une mise à jour de ces dernières a été effectuée en 1991 et une autre plus récemment (Jarrett, 2010). Les courbes ainsi produites ont été mises à la disposition des usagers ([http://www.climate.weatheroffice.gc.ca/prods\\_servs/index\\_e.html?&&](http://www.climate.weatheroffice.gc.ca/prods_servs/index_e.html?&&)). Cette mise à jour était devenue nécessaire; elle a permis d'intégrer les plus récentes données aux séries historiques et d'ainsi obtenir, en principe, de meilleurs estimateurs des intensités des maxima annuels (MA). Il est à noter qu'une comparaison des périodes couvertes par les séries ayant servi à la construction des courbes d'EC montre que, dans plusieurs cas, les séries d'EC sont moins longues que celles utilisées dans la présente étude et ne comprennent pas les données les plus récentes.

Les mises à jour successives effectuées par Environnement Canada utilisent une approche similaire à celle de Hogg et Carr (1985), basée sur l'utilisation de la distribution Gumbel pour décrire les séries de maxima annuels et la méthode des moments pour l'estimation des paramètres. D'autres approches ont été proposées depuis, qui permettraient de mieux tirer parti des informations contenues dans les séries des maxima annuels disponibles (CSA, 2010). Ainsi, plusieurs travaux ont montré que la distribution *Generalized extreme values* (GEV) pouvait mieux représenter les séries de précipitations à condition de disposer de séries suffisamment longues.

Le projet *Mise à jour des normes et procédures de conception des ouvrages hydro-agricoles dans un contexte de changements climatiques*, dont M. Aubert Michaud assume la direction, a pour principal objectif de produire un outil de prédition hydrologique adapté à la conception d'aménagements hydro-agricoles du parcellaire dans un contexte de changements climatiques. Le volet météorologique du projet, qui nous intéresse plus particulièrement, entend aborder les objectifs spécifiques suivants :

1. procéder à une mise à jour des courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF) pour les stations des régions agricoles du Québec;
2. développer des indicateurs pertinents pour la caractérisation de redoux hivernaux en lien avec les ouvrages hydro-agricoles et analyser les séries historiques de ces indices;
3. intégrer l'ensemble des résultats (courbes IDF, patron saisonnier et mensuelle d'occurrence des maxima annuels et indicateurs de redoux) à l'Atlas agro-climatique Agrométéo Québec.

Le présent rapport ne concerne que le premier objectif lui-même, qui comporte les sous-objectifs suivants :

- A. construction des courbes IDF pour les stations des régions agricoles du Québec;
- B. estimation du patron saisonnier des extrêmes annuels à ces stations;
- C. construction des courbes IDF régionalisées (basées sur l'analyse fréquentielle régionale) pour le territoire agricole du Québec;
- D. mise en forme de ces informations en vue d'une éventuelle intégration des résultats dans l'Atlas agroclimatique.

Le dernier point n'est pas abordé dans le présent rapport. Compte tenu du volume substantiel des résultats générés dans le cadre de ces travaux, il a été décidé de diviser ce rapport en deux tomes. Le premier tome présente une description des données et des méthodes utilisées. Le second tome regroupe l'ensemble des résultats (graphiques, tableaux). L'utilisateur désireux d'accéder à un résultat spécifique est donc invité à consulter le second tome.

Le présent tome (Tome I) est organisé comme suit : le chapitre 2 présente une description des stations considérées et des types de données archivées à ces stations. La méthode de construction des séries de maxima annuels, information de base pour la construction des courbes IDF, est ensuite présentée. Les méthodes d'estimation des valeurs IDF (distribution,

## 1. Introduction

---

estimation des paramètres, analyse fréquentielle régionale) sont décrites au chapitre 3. Le chapitre 4 s'intéresse à l'estimation des patrons mensuels d'occurrence des MA.



## **2. Données utilisées**

---

Les séries des maxima annuels correspondent aux séries des valeurs maximales enregistrées chaque année pendant une durée donnée. Les durées considérées sont 5, 10, 15, 30 minutes, ainsi que 1, 2, 6, 12 et 24 heures. Ce chapitre décrit les données de base enregistrées aux différentes stations, présente les stations et le territoire considérés et explique comment les séries des MA ont été construites à partir des séries enregistrées.

### **2.1 Types de séries**

Les données répertoriées se présentent sous deux formes : 1) les séries des maxima journaliers (MJ), et 2) les séries des données horaires. Les premières correspondent aux maxima enregistrés à chaque jour pour les durées (5 min., 10 min., 15 min., 30 min., 1h., 2 h., 6 h., 12 h.). Les MJ sont obtenus à partir des données recueillies à l'aide d'un pluviomètre à auget dont les données sont compilées aux cinq minutes. Il est important de noter que les MJ sont associés à un jour donné, ce qui signifie que l'intensité d'un événement de pluie majeur chevauchant deux journées sera vraisemblablement sousestimé. Les journées débutent à 8 :00 AM. Les données horaires sont mesurées à l'aide d'un pluviomètre à pesée.

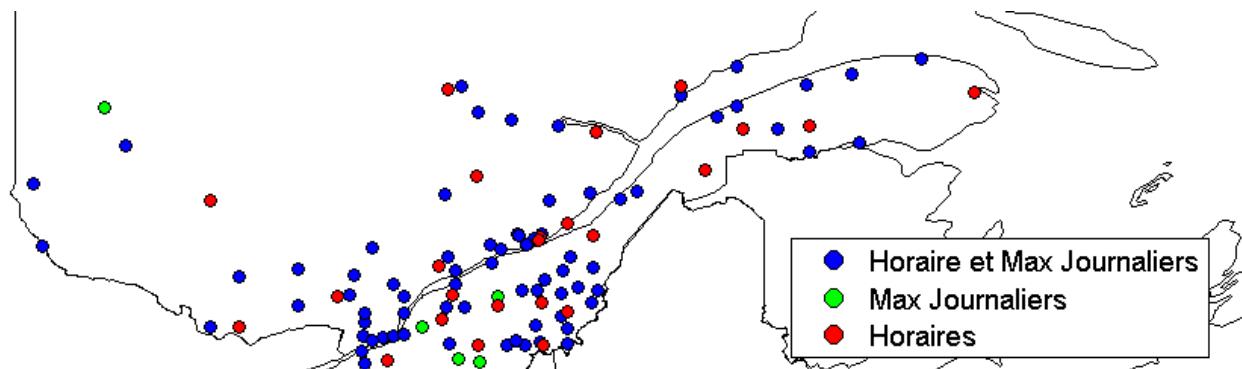
#### **2.1.1 Stations considérées**

Les données de 113 stations, 19 stations opérées par Environnement Canada (EC) et 94 stations opérées par le Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), ont été utilisées (à noter que seules les stations avec 15 années ou plus de données ont été retenues). Le tableau A.1 (Annexe A) présente la liste de ces stations avec leurs principales caractéristiques et le tableau 2.1 présente la répartition selon les types de séries disponibles à chaque station. La figure 2.1 montre une carte localisant ces diverses stations situées dans le sud du Québec, c'est-à-dire sous le 49<sup>e</sup> parallèle (99 stations), alors que la figure 2.2 montre l'histogramme des durées des séries disponibles. Ce dernier graphique indique que les séries disponibles sont, pour une majorité de stations, inférieures à 30 ans.

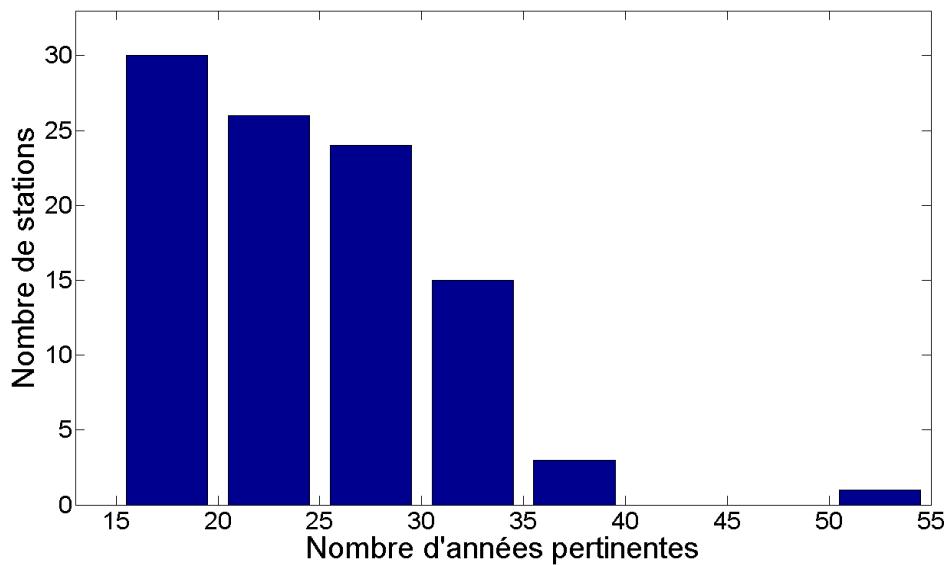
Enfin, la figure 2.3 dresse un portrait des périodes couvertes par les diverses stations. Ainsi, une majorité de stations a été mise en place dans les années 1960, suivie d'une plus lente progression au cours des années 1970-1980. Les années 1990 marquent malheureusement la fin d'opération de plusieurs stations, dont certaines avec des historiques intéressants.

**Tableau 2.1 Types de séries disponibles**

	Horaires / Maxima journaliers	Horaires	Maxima journaliers	Total
Québec	82	26	5	113
Sud-Québec	70	24	5	99



**Figure 2.1 Localisation des stations situées dans la partie sud du Québec.**

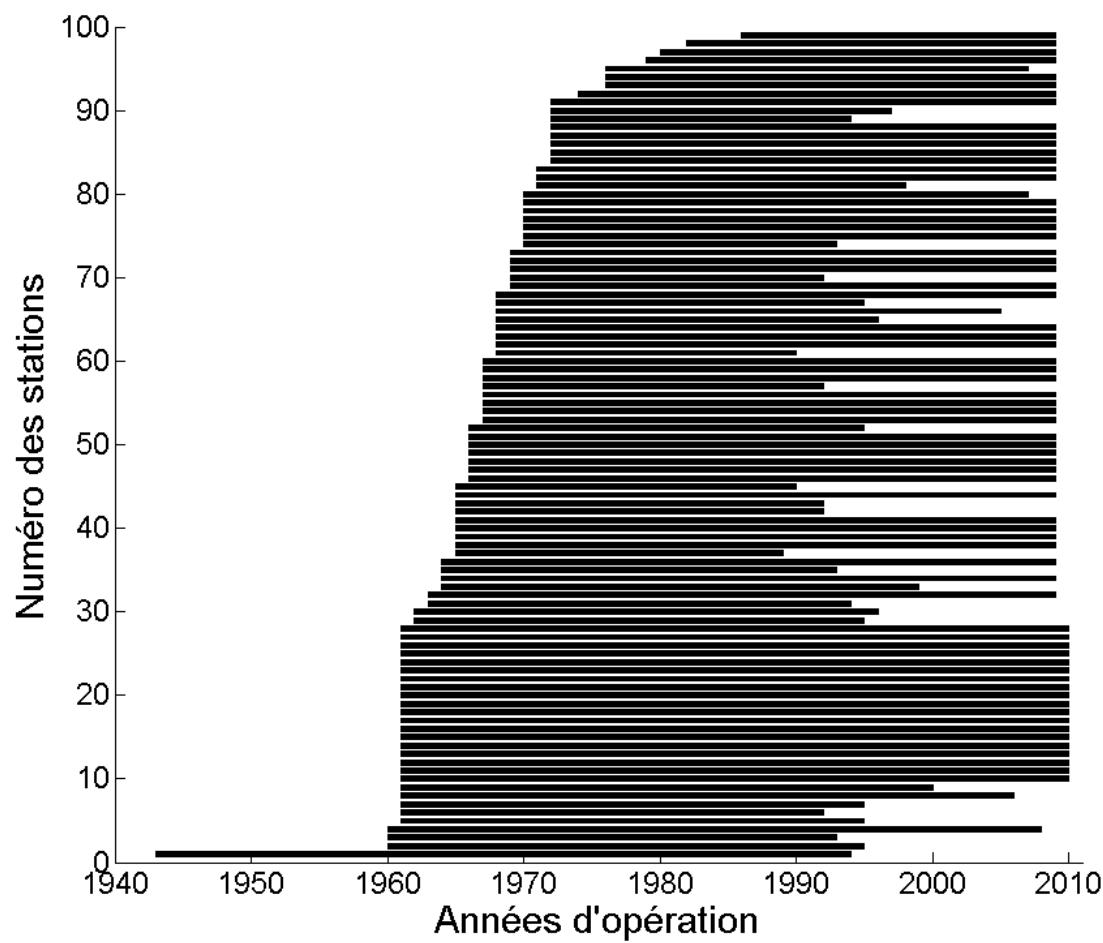


**Figure 2.2 Nombre de stations (sud du 49<sup>e</sup> parallèle) en fonction des durées des séries disponibles (les années classées manquantes ne sont pas considérées; seules les stations avec plus de 15 ans de données ont été retenues).**

### 2.1.2 Période d'opération des stations

La période d'opération des stations avec pluviomètre à auget basculeur dépend essentiellement de la durée de la saison hivernale, les pluviomètres de ce type n'étant pas en opération durant l'hiver. Pour la plupart des stations, la période commune d'opération couvre la période allant de mai jusqu'à la fin octobre. Pour les stations plus au nord, la période d'opération est encore plus courte en raison de l'hiver plus long, faisant en sorte que ces stations sont en opération de juin à la fin septembre. Dans la présente étude, une période commune a été fixée pour l'extraction des MA (voir chapitre 3). Cette période s'étale du 1<sup>er</sup> mai au 31 octobre, pour un total de 184 jours. Pour les stations situées au nord de la latitude 49° N, la période commune d'opération va du 1<sup>er</sup> juin au 30 septembre, pour un total de 122 jours.

Il est important de comprendre que l'utilisation de la terminologie de maxima annuel utilisé dans la suite de ce rapport constitue, dans une certaine mesure, un abus de langage puisque les maxima en question sont les maxima de la période allant du 1<sup>er</sup> mai au 31 octobre pour les stations situées sous la latitude 49° N, et du 1<sup>er</sup> juin au 30 septembre pour les stations au nord de la latitude 49° N.



**Figure 2.3** Période couverte par les séries disponibles aux différentes stations (stations au sud du 49<sup>e</sup> parallèle et comportant plus de 15 ans de données).

### **3. Séries des maxima annuels**

---

La construction des séries des maxima annuels (MA) à partir des séries des maxima journaliers (MJ) et des séries horaires pose certains défis. Les séries des MJ, puisqu'elles sont extraites de séries de hauteurs d'eau enregistrées à toutes les cinq minutes, sont directement utilisables pour les durées inférieures à une heure. Il s'agit dans ce cas, pour une année donnée, de prendre le maximum des MJ. Quant aux données horaires, une fenêtre mobile de durée fixe (de plus d'une heure) est utilisée et les totaux de pluie enregistrés durant cette durée sont calculés. Le maxima annuel correspond alors à la valeur maximale de cette valeur pour une année donnée. Cette approche présente toutefois le défaut de sous-estimer les totaux cumulés sur des durées lorsque les événements génératrices de ces extrêmes chevauchent deux périodes d'enregistrement (d'une heure). Par exemple, supposons un événement d'intensité uniforme débutant à 16h30 et se terminant à 17h30 qui génère un total de 10 mm de pluie. Si l'on recherche le maximum sur une heure à l'aide d'une fenêtre mobile coulissant par pas de temps de cinq minutes, on trouvera 10 mm. Par contre, si la fenêtre mobile coulissoit par pas de temps d'une heure, on trouvera 5 mm entre 16 et 17 heures et 5 mm entre 17 et 18 h. Le maximum retenu sera dans ce dernier cas de 5 mm au lieu de 10 mm. Ce problème est particulièrement important pour les courtes durées (1 h et 2 h), mais se résorbe toutefois progressivement au fur et à mesure que l'on augmente la durée puisque la contribution des parties au début ou à la fin seront moindres (le fait de perdre seulement une demi-heure sur 12 ou 24 heures aura effectivement moins d'impact).

Les séries des MJ, quant à elles, présentent toutefois le défaut de ne pas traiter les données de façon continue lors des changements de journée. Cela signifie que lorsqu'un événement pluvieux chevauche deux journées, les deux parties (avant et après le début de la journée) sont traitées indépendamment, ce qui conduira vraisemblablement à une sous-estimation de la valeur maximale lorsque l'événement de pluie survient au moment du passage d'une journée à une autre. Cet effet se fait peu sentir pour les courtes durées (il est peu probable que le maximum sur cinq minutes survienne au moment de transition d'une journée à l'autre), mais devient non négligeable pour les durées plus longues (il existe une probabilité importante que le

maximum sur 12 heures chevauche deux journées). L'utilisation des séries horaires pour ces durées permet de pallier en partie à ce problème.

Le cas de la durée 6 heures est plus problématique. En effet, une fenêtre mobile de 6 heures coulissant à coup d'une heure risque de sous-estimer le maximum sur 6 heures (séries horaires), de même que la probabilité qu'un maximum sur 6 heures chevauche deux journées reste élevée (séries des maxima journaliers). La figure 3.1 illustre ainsi la courbe cumulative des rapports des MA calculés à partir des séries des MJ et des MA estimés à partir des séries horaires pour différentes durées. Elle montre clairement que le ratio MJ / maximum horaire sera supérieur à un dans une grande majorité de cas (le maximum horaire estimé à partir des séries horaires est plus petit que celui estimé à partir des séries des MJ). Cet effet s'estompe doucement lorsque la durée augmente et s'inverse pour la durée 12 heures.

La stratégie finalement adoptée a été la suivante :

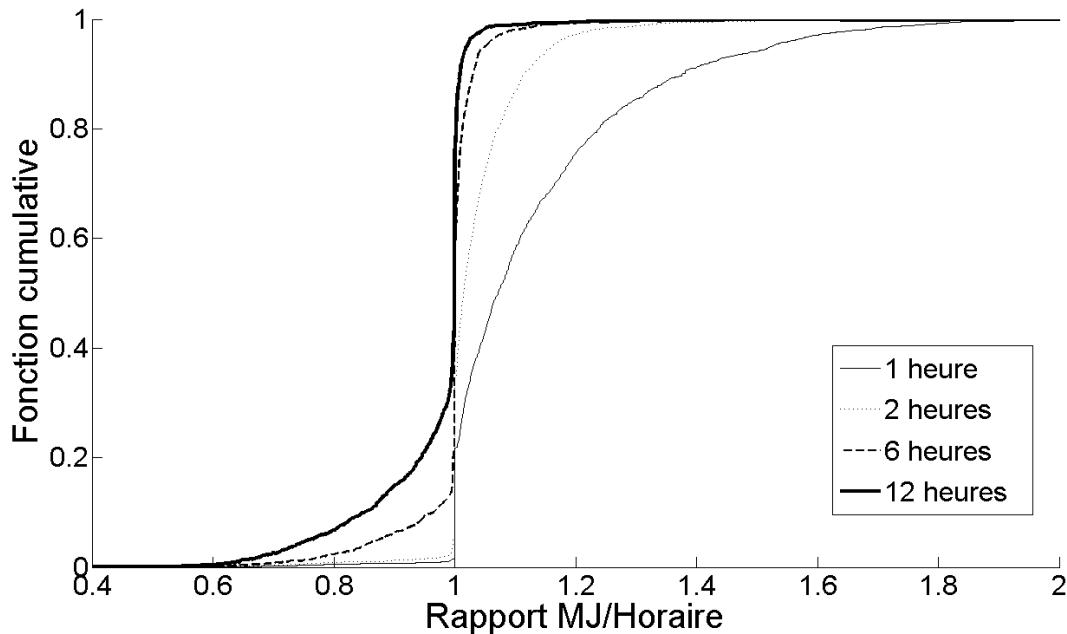
- Dans le cas des séries pour les durées inférieures à 1 heure, le MA est estimé en prenant le maximum des valeurs des MJ à chaque année;
- Dans le cas des durées de 1 heure à 12 heures, le MA issu de la série des valeurs horaires est estimé et comparé au MA estimé à partir des MJ. Ces deux valeurs sont ensuite comparées pour une année donnée et la plus grande valeur est retenue. Cette procédure ne peut évidemment être appliquée qu'aux stations pour lesquelles nous disposons simultanément de séries horaires et de séries de maxima journaliers.
- Dans le cas de la durée 24 h., le MA est estimé à partir de la série horaire.

Le tableau 3.1 présente le nombre de séries considéré pour chaque durée selon le type de séries disponibles. Pour les durées de moins de 1 heure, de toute évidence, seules les stations comportant minimalement des séries de MJ sont considérées. Pour les durées 1 heure et 2 heures, les stations avec séries horaires ne sont pas considérées, puisque la probabilité de sous-estimation des MA est trop importante (Figure 3.1). Tous les types de séries sont retenus pour la durée 6 heures. Il faut cependant être conscient que le risque de sous-estimation des MA sera plus grand pour les stations où l'on ne dispose que de séries horaires ou que de séries de MJ, soit 26 stations sur 99 (Figure 3.1). Enfin pour la durée 12 heures, les stations avec seulement des séries de MJ ne sont pas retenues puisque le risque de sous-estimation est jugé trop élevé. Encore ici, le risque de

### 3. Séries des maxima annuels

---

sous-estimation des MA sera légèrement plus grand pour la durée 12 heures pour les stations ne disposant pas de séries horaires et de séries de MJ.



**Figure 3.1 Fonction cumulative du rapport entre les valeurs des MA pour les durées 1, 2, 6 et 12 heures obtenues à partir des séries des MJ et celles obtenues des séries horaires pour les 70 stations du sud-Québec comportant des séries de MJ et horaires (voir section 2.1).**

**Tableau 3.1 Nombre de stations/séries disponibles pour chaque durée pour les stations du sud-Québec.**

Durée	MJ	Horaires	Horaires/MJ	Total
5, 10, 15, 30 min., 1, 2 heures	5	0	70	75
6 heures	5	24	70	99
12 et 24 heures	0	24	70	94

### 3.1 Traitement des données manquantes

Certaines séries peuvent comporter de nombreuses données manquantes. Il est préférable d'ignorer une année qui présente trop de données manquantes plutôt que d'incorporer un résultat sous-estimé dans la série temporelle des MA. Dans le cadre de la présente étude, un maximum de 17 % de données manquantes au cours de la période commune d'opération des stations sera toléré pour chaque année. Si plus de 17 % des valeurs sont manquantes, le MA correspondant est défini manquant. Pour les séries de MJ, cette règle signifie qu'il faut disposer d'au moins 153 jours de données valides sur les 184 jours de la période de mai à octobre. Dans le cas des séries horaires, cette même règle implique que  $(153 \times 24)$  données horaires doivent être valides parmi les  $(184 \times 24)$  données horaires de la période de mai à octobre.

A noter que pour la station Arthabaska, la valeur de 58,6 mm en 5 minutes enregistrée le 16 septembre 1999 n'a pas été considérée dans les séries. Cette valeur a été enregistrée comme maximum journalier pour les durées 5 min., 10 min., 15 min, 30 min., 1 h., 2h., 6 h. et 12 h. C'est dire qu'une pluie d'une intensité minimale de 703 mm / heure serait tombée en moins de 5 minutes. Ne disposant pas de série horaire à cette station, il n'a pas été possible de valider cette valeur qui nous paraissait pour le moins étonnante et questionnable. Elle n'a donc pas été retenue dans les séries des maxima annuel à cette station.

## **4. Estimateurs Intensité-Durée-Fréquence (IDF) et Hauteur-Durée-Fréquence (HDF)**

---

### **4.1 Analyse de tendances**

Avant de procéder au calcul des estimateurs IDF, il est important de s'assurer que les séries disponibles satisfont à certaines hypothèses statistiques de base, l'une de celles-ci étant la stationnarité des séries. L'analyse des tendances vise essentiellement à déterminer si les séries sont stationnaires, c'est-à-dire si les caractéristiques statistiques de ces séries (moyenne, variance, moments d'ordre supérieur) dépendent du temps (Meylan *et al.* 2008). Il est important de vérifier cette hypothèse dans un contexte où les changements climatiques pourraient modifier les probabilités d'occurrence des pluies intenses. Plusieurs tests sont disponibles permettant de vérifier cette hypothèse. Le test non paramétrique de Mann-Kendal a été retenu.

Le test de Mann-Kendall est un test non paramétrique très simple qui permet de détecter des tendances dans la moyenne (Meylan *et al.* 2008; voir cet ouvrage pour une description). Les résultats montrent que, globalement, 7 % des séries présentent une tendance significative à un seuil de confiance de 95 %. Toutefois, un examen des tendances pour chaque durée (Tableau 4.1) suggère qu'il n'existe pas de tendance significative globale pour la plupart des durées, sauf la durée 5 minutes pour laquelle le nombre de tendances détectées dépasse largement le seuil attendu; le nombre de tendances positives et négatives est cependant égal. Le tableau 4.2 dresse la liste des stations avec tendances significatives au seuil 95 % pour toutes les durées et le tableau 4.3 contient la liste des séries avec tendances à chaque station. Un examen plus attentif des séries de durée 5 minutes (voir Annexe B) suggère l'existence de ruptures dans plusieurs séries. Ces séries n'ayant pas été homogénéisées, l'apparition de telles ruptures pourrait résulter de modifications telles que, par exemple, des changements d'appareillage, un déplacement de la station ou une calibration déficiente. Pour une raison inconnue, ces changements auraient eu une incidence plus grande sur les séries aux 5 minutes. Compte tenu du caractère très particulier des séries aux 5 minutes qui montrent une tendance, il a été décidé de ne pas considérer la durée 5 minutes dans la suite des travaux. Par ailleurs, pour les autres durées, les séries présentant des tendances ont été exclues des analyses.

**Tableau 4.1 Pourcentage de stations avec tendances significatives (seuil de 95 %) selon le test de Mann-Kendall (stations du sud-Québec)**

Durée	Nombre (%) de stations avec tendance	Nombre de stations avec tendances positives	Nombre de stations avec tendances négatives
5 minutes	14 (18.6)	7	7
10 minutes	7 (9.3)	4	3
15 minutes	6 (8.0)	2	4
30 minutes	7 (9.3)	5	2
1 heure	2 (2.7)	1	1
2 heures	4 (5.3)	2	2
6 heures	7 (7.1)	6	1
12 heures	6 (6.1)	5	1
24 heures	5 (5.3)	3	2

**Tableau 4.2 Liste des stations avec tendances significatives (seuil de 95 %) pour chaque durée**

Durée	Stations avec tendance
5 minutes	DESCHAMBAULT; FORTIERVILLE; MONTREAL MCGILL; MONTREAL/ MIRABEL INTL A; MONTREAL/ PIERRE ELLIOTT TRUDEAU INTL A; MONTREAL/ ST-HUBERT A; NOUVELLE; OKA; RIMOUSKI; ST ALEXIS DE MATAPEDIA; ST EPHREM; ST MALACHIE; ST PIERRE DE BROUGHTON; VALLEYFIELD
10 minutes	MANIWAKI UA; MONTREAL/MIRABEL INTL A; MONTREAL/ ST-HUBERT A; ST ALBAN; ST ALEXIS DE MATAPEDIA; ST PIERRE DE BROUGHTON; VALLEYFIELD
15 minutes	MANIWAKI UA; MONTREAL/ MIRABEL INTL A; MONTREAL/ ST-HUBERT A; ST ALEXIS DE MATAPEDIA; ST EPHREM; ST PIERRE DE BROUGHTON
30 minutes	BAIE ST PAUL; BARRAGE TEMISCAMINGUE; FORTIERVILLE; NOUVELLE; ST ALEXIS DE MATAPEDIA; ST EPHREM; ST PIERRE DE BROUGHTON
1 heure	FORTIERVILLE; LA POCATIERE CDA
2 heures	BAIE ST PAUL; BARRAGE TEMISCAMINGUE; LA POCATIERE CDA; OKA
6 heures	BAIE ST PAUL; BARRAGE TEMISCAMINGUE; FRANÇOIS; LA-PÊCHE; OKA; ST DONAT; ZEPHIRIN
12 heures	BAIE ST PAUL; BARRAGE TEMISCAMINGUE; CAP-ÉTERNITÉ; CHENEVILLE; LA-PÊCHE; OKA
24 heures	BAIE ST PAUL; BARRAGE TEMISCAMINGUE; FORESTVILLE; LA-PÊCHE; NOMININGUE

**Tableau 4.3 Liste des stations et nombre de durées présentant des tendances significatives au seuil de 95 % (stations du sud-Québec)**

Stations	Nombre de durées avec tendance	Durées avec tendances	Nombre d'années disponibles
BAIE ST PAUL	5	30 min., 2 h., 6 h., 12 h., 24 h.	25
BARRAGE TEMISCAMINGUE	5	30 min., 2 h., 6 h., 12 h., 24 h.	22
OKA	4	5 min., 2 h., 6 h., 12 h.	26
ST PIERRE DE BROUGHTON	4	5 min., 10 min., 15 min., 30 min.	29
ST ALEXIS DE MATAPELIA	4	5 min., 10 min., 15 min., 30 min	24
FORTIERVILLE	3	5 min., 30 min., 1h.	33
ST EPHREM	3	5 min., 15 min., 30 min.	33
MONTREAL/ST-HUBERT A	3	5 min., 10 min., 15 min.	27
MONTREAL/MIRABEL INTL A	3	5 min., 10 min., 15 min.	20
LA-PÊCHE	3	6 h., 12 h., 24 h.	16
VALLEYFIELD	2	5 min., 10 min.	21
NOUVELLE	2	5 min., 30 min.	30
MANIWAKI UA	2	10 min., 15 min.	24
LA POCATIERE CDA	2	1 h., 2 h.	29
DESCHAMBAULT	1	5 min.	22
MONTREAL/PIERRE ELLIOTT TRUDEAU INTL A	1	5 min.	51
MONTREAL MCGILL	1	5 min.	28
RIMOUSKI	1	5 min.	22
ST MALACHIE	1	5 min.	19
ST ALBAN	1	10 min.	33
ST DONAT	1	6 h.	22
ZÉPHIRIN	1	6 h.	20
FRANÇOIS	1	6 h.	19
CHENEVILLE	1	12 h.	19
CAP-ÉTERNITÉ	1	12 h.	18
FORESTVILLE	1	24 h.	21
NOMININGUE	1	24 h.	21

## 4.2 Approche utilisée par Environnement Canada

L'approche d'Environnement Canada (EC) repose sur l'utilisation de la distribution Gumbel (voir Annexe C pour une description des distributions statistiques discutées dans ce document). Cette distribution comporte deux paramètres estimés à l'aide de la méthode des moments (pour une description de cette approche voir Hogg et Carr, 1985; CSA, 2010). L'avantage de cette approche réside principalement dans sa simplicité. Par ailleurs, même si la distribution Gumbel représente un cas particulier de la distribution GEV correspondant à  $k = 0$ , l'estimation du paramètre de forme  $k$  demeure difficile et incertaine lorsque l'on ne dispose que de courtes séries (ce qui est le cas pour les séries canadiennes) et sa valeur est souvent près de zéro.

L'approche d'EC a également été appliquée aux séries disponibles. Les résultats ainsi obtenus ont été comparés aux valeurs obtenues à partir de l'approche utilisée dans le cadre de la présente étude (voir chapitre 5 du Tome II). L'approche considérée dans la présente étude se distingue de celle d'EC sur deux points majeurs : 1) la distribution GEV est considérée (plutôt que la distribution Gumbel); 2) une analyse fréquentielle régionale est utilisée (plutôt qu'une approche locale où chaque série à chaque station est traitée indépendamment).

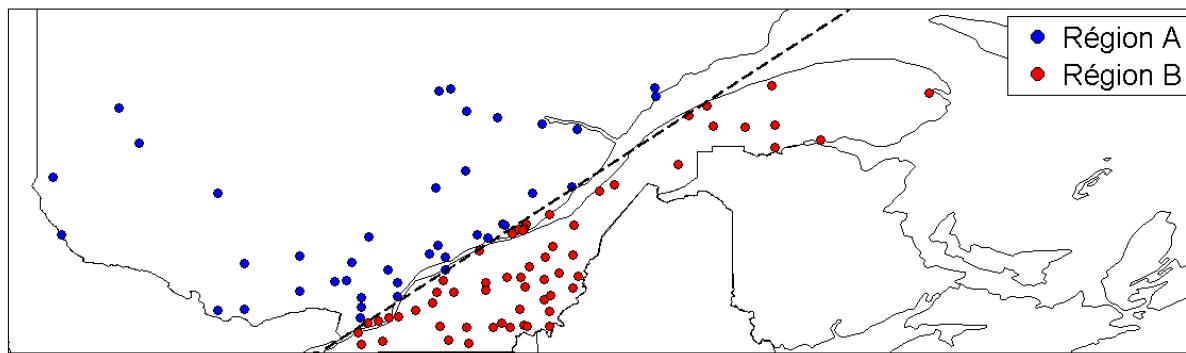
## 4.3 Analyse fréquentielle régionale (AFR)

Les valeurs des estimateurs IDF de cette étude ont été calculés à partir de l'analyse fréquentielle régionale (AFR; pour une description détaillée de cette approche voir Hosking et Wallis, 1997). Le principal avantage de cette approche est qu'elle permet de regrouper les séries de plusieurs stations dans l'estimation de certains paramètres et d'ainsi réduire les incertitudes sur ces valeurs de paramètres, permettant du coup une estimation plus fiable des intensités notamment celles associées aux périodes de retour plus élevées. L'utilisation de l'AFR justifie l'utilisation de la distribution GEV, l'estimation du paramètre de forme étant facilitée par le regroupement des données de séries à plusieurs stations. La mise en place d'une telle approche exige toutefois qu'un certain nombre d'hypothèses soit vérifiées. L'annexe D donne une description des principales étapes de mise en place de l'AFR. Les sections suivantes reprennent ces étapes dans le contexte particulier des séries retenues.

### 4.3.1 Homogénéité de la région

L'homogénéité de la région a été évaluée en utilisant la statistique  $H_1$  de Hosking et Wallis (1997) (voir Annexe D). Le tableau 4.4 présente les résultats pour la région du sud du Québec. Les critères révisés par Wallis *et al.* (2007) pour les cas des maxima annuels sont les suivants : 1) si  $H_1 < 2$ , la région est *acceptablement homogène*; 2) si  $2 < H_1 < 3$ , la région est *possiblement hétérogène*; et 3) si  $H_1 > 3$ , la région est *définitivement hétérogène*. On a donc les résultats suivants pour le territoire du sud du Québec : 1) les durées 15, 30 minutes, 1, 2, 6 et 12 heures sont *acceptablement homogènes*; 2) les durées 10 minutes et 24 heures sont *possiblement hétérogènes*; 3) la durée 5 minutes est *définitivement hétérogène*.

La région initialement considérée pour les durées 10 minutes et 24 heures a été subdivisée en deux sous-régions afin d'améliorer le critère d'homogénéité pour chacune et d'ainsi s'assurer que chaque sous-région soit *acceptablement homogène*. Trois critères ont été considérés pour le découpage : 1) que les sous-régions soient les mêmes pour les durées 10 minutes et 24 heures; 2) que le nombre de stations dans chaque sous-région soit comparable (afin d'éviter une sous-région avec beaucoup de stations et l'autre avec très peu de stations); 3) évidemment, que  $H_1 < 2$  pour les deux sous-régions. Différents axes ont été considérés pour découper le territoire (axe nord-sud, est-ouest, etc.) mais un découpage selon un axe sud-ouest nord-est (le long de l'axe du fleuve St-Laurent) a été retenu puisqu'il nous semblait correspondre à un découpage « naturel » à plusieurs égards. Le tableau 4.5 présente les valeurs de la statistique  $H_1$  pour ces deux sous-régions tandis que la figure 4.1 montre la carte du territoire ainsi subdivisé. Les valeurs du tableau 4.5 indiquent que les deux sous-régions sont maintenant *acceptablement homogènes* pour les deux durées. L'Annexe E identifie la sous-région à laquelle chaque station appartient.



**Figure 4.1 : Carte des sous-régions considérées pour les durées 10 minutes et 24 heures (les stations comportant des séries aux 10 minutes et/ou des séries aux 24 heures sont représentées).**

**Tableau 4.4 Valeur de la statistique  $H_1$**

Durée	$H_1$
5 minutes	2.33
10 minutes	2.28
15 minutes	1.41
30 minutes	0.05
1 heure	0.30
2 heures	1.50
6 heures	-0.81
12 heures	-0.41
24 heures	2.11

**Tableau 4.5 Valeur de la statistique  $H_1$  pour les sous-régions A et B**

Durée	Sous-région	Nombre de stations	$H_1$
10 minutes	A	29	1.53
	B	39	1.21
24 heures	A	34	0.93
	B	55	1.67

### 4.3.2 Distribution régionale

L'étape suivante consiste à sélectionner la distribution régionale. Dans le cas présent, puisque nous considérons des MA de précipitations, et compte tenu des assises théoriques qui militent en faveur de cette distribution, l'analyse a consisté à vérifier que la distribution GEV pouvait raisonnablement représenter les séries à l'échelle régionale. Le test  $Z$  est utilisé pour vérifier cette hypothèse (voir Annexe D et Hosking et Wallis, 1997). Le tableau 4.6 présente un résumé des résultats obtenus. Rappelons que selon Hosking et Wallis (1997), une valeur de  $|Z| \leq 1.64$  indique que la distribution considérée peut être utilisée pour représenter les séries à l'échelle régionale. À la lumière de ce critère, il appert que la distribution GEV peut être retenue pour toutes les durées. Dans le cas de la durée 2 heures, le critère n'est pas satisfait de façon stricte, mais la distribution GEV a tout de même été considérée.

### 4.3.3 Estimation des valeurs de paramètres de la GEV

Une fois qu'il est établi que la région est homogène et que la distribution GEV peut être utilisée comme distribution régionale, les valeurs régionales des paramètres de la distribution GEV peuvent être estimées à l'aide de la méthode des *L-moments* (Hosking et Wallis, 1997; voir Annexe D). Le tableau 4.7 présente ces valeurs pour les différentes durées et sous-régions.

**Tableau 4.6 Valeur du test Z pour la distribution GEV**

Durée	Sous-régions	Test Z
10 minutes	A	-0.38
	B	-1.54
15 minutes	A+B	-1.12
30 minutes	A+B	-1.35
1 heure	A+B	-1.42
2 heures	A+B	-1.66
6 heures	A+B	-1.07
12 heures	A+B	-0.60
24 heures	A	1.50
	B	-1.11

**Tableau 4.7 Valeurs régionales des paramètres et nombre de stations considéré**

Durée	Sous-régions	$\zeta_R$	$\alpha_R$	$k_R$	Nombre de stations
10 minutes	A	0.848	0.270	0.013	39
	B	0.827	0.261	-0.080	29
15 minutes	A+B	0.841	0.266	-0.021	69
30 minutes	A+B	0.836	0.274	-0.021	68
1 heure	A+B	0.831	0.272	-0.041	73
2 heures	A+B	0.837	0.251	-0.069	71
6 heures	A+B	0.840	0.247	-0.066	92
12 heures	A+B	0.844	0.247	-0.052	88
24 heures	A	0.855	0.253	0.003	55
	B	0.844	0.245	-0.056	34

Les estimateurs IDF sont calculés à partir de l'expression suivante (voir Annexe D) :

$$x_i(T) = I_{1i} \left\{ \xi_R + \frac{\alpha_R}{k_R} \left\{ 1 - \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right]^{k_R} \right\} \right\} \quad (4.1)$$

où  $\{\xi_R, \alpha_R, k_R\}$  sont les valeurs régionales des paramètres (Tableau 4.6) et  $I_{1i}$  la moyenne à la station  $i$  et  $T$  la période de retour en années (voir Annexe E). Ces valeurs ont été utilisées pour calculer les estimateurs IDF et HDF à chaque station. Ces résultats sont regroupés aux chapitres 3 et 4 du Tome II.

## 5. Conclusion et résumé

---

Le principal objectif du présent travail consistait à réaliser une mise à jour des courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF) pour la partie sud du Québec (au sud du 49<sup>e</sup> parallèle) qui couvre, notamment, le territoire urbanisé et agricole du Québec. L'ensemble de l'approche et des résultats de ce travail est présenté en deux Tomes, un premier décrivant les données et la méthode utilisée et un second regroupant l'ensemble des résultats produits dans le cadre de ce travail.

Les séries les plus récentes aux stations opérées par Environnement Canada (EC) et le Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) qui comportaient plus de 15 années de données ont été colligées et analysées. Un total de 98 stations a finalement été considéré, une fois le traitement des données manquantes complété et les séries présentant des tendances significatives (au seuil de 95 %) éliminées. La méthode utilisée pour construire les estimateurs IDF et les estimateurs Hauteurs-Durée-Fréquence (HDF) diffère de l'approche initialement proposée par EC. L'Analyse Fréquentielle Régionale (AFR), utilisée dans le cadre de la présente étude (les courbes IDF d'EC reposent sur une analyse des séries locales à chaque station), permet de regrouper les séries de plusieurs stations et d'ainsi améliorer la qualité des estimateurs. L'utilisation de cette approche exige toutefois de vérifier un certain nombre d'hypothèses (le chapitre 4 du présent rapport donne une description détaillée de ces questions). Autre différence importante, la distribution GEV est utilisée dans le cadre des présents travaux alors que la distribution Gumbel était considérée par EC. Considérant que la distribution Gumbel est un cas particulier de la distribution GEV pour lequel le paramètre de forme est nul, des différences importantes entre les résultats des estimateurs issus de ces deux distributions peuvent apparaître pour les périodes de retour élevées. L'examen des résultats obtenus montre d'ailleurs que, pour les durées 15 minutes à 12 heures, les valeurs du paramètre de forme régional sont négatives (valeurs comprises entre -0,021 et -0,069), indicatrices d'un comportement à queue lourde (*heavy tail*) appelée à jouer un rôle important dans l'estimation des quantiles associés aux grandes périodes de retour (événements rares). L'utilisation de l'approche AFR permet une estimation plus juste de ce paramètre autrement difficile à estimer à partir de séries locales

souvent de très courtes durées. Les estimateurs IDF obtenus grâce à la présente analyse sont, de ce fait, moins incertains et plus justes (le chapitre 5 du Tome II présente un certain nombre de résultats à cet effet).

## 6. Bibliographie

---

- Alila Y. (1999). A hierarchical approach for the regionalization of precipitation annual maxima in Canada. *J. Geophys. Res.* 104(D24): 31645–31655.
- Coles S. (2001). An introduction to statistical modeling of extreme values, Springer series in statistics, Springer-Verlag, London, UK, 208 p.
- CSA (2010). Technical Guide - Development, interpretation and use of rainfall intensity-duration-frequency (IDF) information: Guideline for Canadian water resources practitioners, Canadian Standards Association, Special Publication, Mississauga, Ontario, Canada, 149 p.
- Hogg W.D., Carr D.A. (1985). Rainfall Frequency Atlas for Canada/Atlas de la fréquence des pluies au Canada, Programme climatologique canadien, Ministère des Approvisionnements et Services Canada, 17 p. + 6 annexes.
- Hosking J.R.M., Wallis J.R. (1997). Regional Frequency Analysis: An Approach based on L-Moments. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 224 p.
- Isaaks E. H., Srivastava R.M. (1989). An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford Univ. Press, New York, Oxford, 561 p.
- Jarrett P. (2010). IDF Curves: Current Status and Plans for the Future, Journée-conférence de l'Association canadienne des ressources hydriques (ACRH), intitulée *Courbes IDF : enjeux et défi*, 6 mai 2010, Hôtel Holiday Inn Midtown, rue Sherbrooke, Montréal (Québec).
- Katz R. W., Parlange M. B., Naveau P. (2002). Statistics of extremes in hydrology. *Adv. Water Resour.*, 25(8-12): 1287-1304.
- Kingumbi A., Mailhot A. (2010). Courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF) : Comparaison des estimateurs des durées partielles et des maximums annuels. *Hydrological Sciences Journal des Sciences Hydrologiques*, 55(2): 162-176. DOI:10.1080/02626660903545995.
- Meylan P., Favre A.-C., Musy A. (2008). Hydrologie fréquentielle. Une science prédictive. Presses Polytechniques et universitaires romandes, 174 p.
- Wallis J.R., Schaefer M.G., Barker B.L., G.H. Taylor (2007). Regional precipitation-frequency analysis and spatial mapping for 24-hour and 2-hour durations for Washington State. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11(1): 415-442.



## **ANNEXE A – Liste et caractéristiques des stations**

---

Cette annexe dresse la liste des caractéristiques pour l'ensemble des stations considérées (113 stations au total), incluant celles situées au nord du 49<sup>e</sup> parallèle.

**Tableau A.1 Liste et caractéristiques des stations**

Numéro	Nom	Source	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Type	Année début	Année fin	Nombre années disponibles
7090120	AMOS	MDDEP	48.57	-78.13	310	Max jour	1968	2009	23
7020305	ARTHABASKA	MDDEP	46.02	-71.95	140	Max jour	1969	2009	19
7050388	AUCLAIR	MDDEP	47.73	-68.71	320	Horaires	1990	2010	18
7060400	BAGOTVILLE A	EC	48.33	-71.00	159	Horaires/Max jour	1960	2008	33
7040446	BAIE ST PAUL	MDDEP	47.42	-70.50	32	Horaires/Max jour	1979	2009	25
7040440	BAIE-COMEAU A	EC	49.13	-68.2	22	Horaires/Max jour	1968	2004	27
7080452	BARRAGE ANGLIERS	EC	47.55	-79.24	267	Horaires/Max jour	1966	1995	24
7080449	BARRAGE CABONGA	MDDEP	47.32	-76.47	366	Horaires	1966	2000	18
7020M48	BARRAGE JULES-ALLARD	MDDEP	45.95	-71.27	290	Horaires	1986	2010	16
7080468	BARRAGE TEMISCAMINGUE	EC	46.71	-79.10	181	Horaires/Max jour	1968	1995	22
7040813	BLANC-SABLON A	EC	51.45	-57.18	37	Horaires/Max jour	1982	2007	17
7110830	BORDER A	MDDEP	55.33	-63.22	465	Horaires	1967	2007	24
7020840	BROME	MDDEP	45.18	-72.57	206	Max jour	1970	2009	32

Annexe A – Liste et caractéristiques des stations

---

7051160	CAP MADELEINE	MDDEP	49.23	-65.32	2	Horaires/Max jour	1967	1994	25
7051175	CAP SEIZE	MDDEP	49.02	-66.4	229	Horaires/Max jour	1969	2009	28
7041097	CAP-ÉTERNITÉ	MDDEP	48.25	-70.41	220	Horaires	1990	2010	18
7011307	CHARRETTE	MDDEP	46.44	-72.89	116	Horaires	1990	2010	19
7011309	CHARLESBOURG PARC ORLEAN	MDDEP	46.87	-71.27	114	Horaires/Max jour	1971	1998	24
7031375	CHENEVILLE	MDDEP	45.90	-75.08	223	Horaires/Max jour	1970	2009	19
7051942	CÔTE-OUIMET	MDDEP	48.29	-68.11	423	Horaires	1991	2010	17
7011982	DESCHAMBault	MDDEP	46.67	-71.92	15	Horaires/Max jour	1972	2009	22
7022010	DITTON	MDDEP	45.37	-71.25	480	Horaires	1991	2010	18
7022160	DRUMMONDVILLE	MDDEP	45.88	-72.48	82	Horaires/Max jour	1967	2009	20
7012232	DUBERGER	MDDEP	46.82	-71.30	15	Horaires	1971	1990	17
7012240	DUCHESNAY	MDDEP	46.87	-71.65	166	Horaires/Max jour	1970	1993	19
7012307	ÉDOUARD	MDDEP	47.65	-72.29	366	Horaires	1990	2010	19
7032362	FAUSTIN	MDDEP	46.03	-74.48	411	Horaires	1990	2010	17
7042378	FORESTVILLE	MDDEP	48.73	-69.08	76	Horaires/Max jour	1968	1996	21
7042388	FORET MONTMORENCY	MDDEP	47.32	-71.15	640	Horaires/Max jour	1967	2009	31

7022494	FORTIERVILLE	MDDEP	46.48	-72.05	53	Horaires/Max jour	1972	2009	33
7042557	FRANÇOIS	MDDEP	47.01	-70.86	61	Horaires	1990	2010	19
7052605	GASPE A	EC	48.78	-64.48	34	Horaires	1977	2006	16
7022720	GEORGEVILLE	MDDEP	45.13	-72.23	267	Max jour	1966	2009	28
7022800	GRANBY	MDDEP	45.38	-72.72	175	Horaires/Max jour	1968	2009	33
7102919	GREAT WHALE RIVER	MDDEP	55.28	-77.77	18	Horaires	1960	1995	31
7023130	HILAIRE	MDDEP	45.82	-70.86	511	Horaires	1990	2010	18
7103282	INUJKUAK UA	MDDEP	58.47	-78.08	24	Horaires/Max jour	1969	1993	20
7013362	JOLIETTE VILLE	MDDEP	46.02	-73.43	56	Horaires/Max jour	1967	2009	27
7113534	KUUJJUAQ A	MDDEP	58.10	-68.42	39	Horaires/Max jour	1970	2008	24
7103536	KUUJJUARAPIK A	EC	55.28	-77.75	10	Horaires/Max jour	1969	2007	23
7093715	LA GRANDE RIVIERE A	EC	53.63	-77.70	195	Horaires/Max jour	1977	2007	19
7054095	LA POCATIERE CDA	MDDEP	47.35	-70.03	31	Horaires/Max jour	1962	1996	29
7074240	LA TUQUE	MDDEP	47.40	-72.78	152	Horaires/Max jour	1967	2009	23
7053649	LAC HUMQUI	MDDEP	48.28	-67.57	236	Horaires/Max jour	1972	2009	29
7023677	LAC MEGANTIC 2	MDDEP	45.60	-70.87	426	Horaires/Max jour	1968	2009	22
7063690	LAC STE CROIX	MDDEP	48.42	-71.75	152	Horaires/Max jour	1971	2009	28

Annexe A – Liste et caractéristiques des stations

---

7034085	LA-PÊCHE	MDDEP	45.62	-76.02	206	Horaires	1990	2010	16
7014160	L'ASSOMPTION	EC	45.81	-73.43	21	Horaires/Max jour	1963	1994	30
7024280	LENNOXVILLE	EC	45.37	-71.82	181	Horaires/Max jour	1960	1995	29
7024320	LINGWICK	MDDEP	45.63	-71.37	267	Horaires/Max jour	1966	2009	29
7034480	MANIWAKI UA	MDDEP	46.30	-76.01	192	Horaires/Max jour	1964	1993	24
7054626	MARGUERITE	MDDEP	48.32	-67.07	472	Horaires	1991	2010	17
7055120	MONT-JOLI A	EC	48.60	-68.22	52	Horaires/Max jour	1968	2005	25
7025280	MONTREAL MCGILL	MDDEP	45.50	-73.58	57	Horaires/Max jour	1960	1993	28
7035290	MONTREAL/MIRABEL INT'L A	EC	45.67	-74.03	82	Horaires/Max jour	1976	2007	20
7025250	MONTREAL/PIERRE ELLIOTT TRUDEAU INTL A	EC	45.47	-73.75	36	Horaires/Max jour	1943	1994	51
7027320	MONTREAL/ST-HUBERT A	MDDEP	45.52	-73.42	27	Horaires/Max jour	1964	1999	27
7045400	NATASHQUAN A	EC	50.18	-61.82	11	Horaires/Max jour	1969	2004	26
7025440	NICOLET	MDDEP	46.20	-72.62	30	Horaires/Max jour	1982	2009	19
7095480	NITCHEQUON	MDDEP	53.20	-70.90	536	Horaires/Max jour	1968	1985	16
7035520	NOMININGUE	MDDEP	46.40	-75.08	274	Horaires/Max jour	1969	2009	21
7065640	NORMANDIN CDA	EC	48.85	-72.53	137	Horaires/Max jour	1961	1992	28

7055405	NOTRE-DAME-DU-ROSAIRE	MDDEP	46.85	-70.45	419	Horaires	1990	2010	16
7055705	NOUVELLE	MDDEP	48.10	-66.30	7	Horaires/Max jour	1970	2009	30
7015730	OKA	MDDEP	45.50	-74.07	91	Horaires/Max jour	1966	2009	26
7025745	ORMSTOWN	MDDEP	45.12	-74.05	46	Horaires/Max jour	1963	2009	38
7065900	PEMONCA	MDDEP	48.81	-72.74	260	Horaires	1990	2010	17
7016294	QUEBEC/JEAN LESAGE INTL A	EC	46.80	-71.38	74	Horaires/Max jour	1961	1995	29
7056480	RIMOUSKI	MDDEP	48.45	-68.52	36	Horaires/Max jour	1964	2009	22
7066685	ROBERVAL A	EC	48.52	-72.27	179	Horaires/Max jour	1970	2007	20
7046710	ROUTE-385 (FORESTVILLE)	MDDEP	48.86	-69.10	168	Horaires	1992	2010	16
7027736	SAINT-SIMON	MDDEP	45.72	-72.84	40	Horaires	1990	2010	18
7027802	SAWYERVILLE NORD	MDDEP	45.37	-71.53	346	Horaires/Max jour	1965	2009	34
7117825	SCHEFFERVILLE A	MDDEP	54.80	-66.82	522	Horaires/Max jour	1965	1993	23
7047910	SEPT-ILES A	EC	50.22	-66.27	55	Horaires/Max jour	1966	1995	19
7018000	SHAWINIGAN	MDDEP	46.57	-72.75	122	Horaires/Max jour	1968	2009	27
7038040	SHAWVILLE	MDDEP	45.62	-76.47	168	Horaires/Max jour	1970	2009	28

Annexe A – Liste et caractéristiques des stations

---

7028124	SHERBROOKE A	MDDEP	45.43	-71.68	241	Horaires/Max jour	1962	1995	32
7016800	ST ALBAN	MDDEP	46.72	-72.08	76	Horaires/Max jour	1966	2009	33
7056814	ST ALEXIS DE MATAPELIA	MDDEP	47.98	-67.07	274	Horaires/Max jour	1980	2009	24
7016900	ST AUGUSTIN	MDDEP	46.73	-71.50	58	Horaires/Max jour	1965	1989	21
7056922	ST BRUNO KAMOURASKA	MDDEP	47.45	-69.78	198	Horaires/Max jour	1966	2009	35
7017100	ST DONAT	MDDEP	46.32	-74.20	389	Horaires/Max jour	1967	2009	22
7027200	ST EPHREM	MDDEP	46.07	-70.97	312	Horaires/Max jour	1965	2009	33
7027248	ST FERDINAND	MDDEP	46.10	-71.58	297	Horaires/Max jour	1976	2009	27
7027283	ST GEORGES	MDDEP	46.15	-70.70	168	Horaires/Max jour	1965	2009	33
7027302	ST GUILLAUME	MDDEP	45.88	-72.77	44	Horaires/Max jour	1972	2009	28
7057395	ST JEAN DE CHERBOURG	MDDEP	48.88	-67.12	351	Horaires/Max jour	1970	2009	24
7037400	ST JEROME	MDDEP	45.80	-74.05	170	Horaires/Max jour	1969	2009	25
7057518	ST MALACHIE	MDDEP	46.55	-70.82	221	Horaires/Max jour	1965	1990	19
7077570	ST MICHEL DES SAINTS	MDDEP	46.68	-73.92	351	Horaires/Max jour	1969	2009	25
7027656	ST PIERRE DE BROUGHTON	MDDEP	46.25	-71.22	366	Horaires/Max jour	1972	2009	29
7027725	ST SEBASTIEN	MDDEP	45.77	-70.95	442	Horaires/Max jour	1972	2009	31

7027750	ST THEOPHILE	MDDEP	45.93	-70.48	395	Horaires/Max jour	1966	2009	28
7027785	ST ZACHARIE	MDDEP	46.12	-70.38	480	Horaires/Max jour	1972	1994	19
7036762	STE AGATHE DES MONTES	MDDEP	46.05	-74.28	395	Horaires/Max jour	1965	1992	24
7026839	STE ANNE DE BELLEVUE	MDDEP	45.43	-73.93	39	Horaires/Max jour	1969	1992	20
7016902	STE BEATRIX	MDDEP	46.20	-73.60	198	Horaires/Max jour	1976	2009	25
7016932	STE CATHERINE	MDDEP	46.85	-71.62	152	Horaires/Max jour	1968	1990	22
7027040	STE CLOTHILDE CDA	MDDEP	45.17	-73.68	56	Horaires	1967	1990	19
7017BFN	STE FOY (PIE XII)	MDDEP	46.78	-71.32	79	Horaires	1972	1997	21
7057287	STE GERMAINE	MDDEP	46.42	-70.47	511	Horaires/Max jour	1965	2009	27
7027517	STE MADELEINE	MDDEP	45.62	-73.13	30	Max jour	1979	2009	16
7028284	STUKELY	MDDEP	45.37	-72.26	358	Horaires	1990	2010	16
7028441	THETFORD MINES	MDDEP	46.10	-71.35	381	Horaires/Max jour	1967	2009	38
7028502	TINGWICK	MDDEP	45.91	-71.95	262	Horaires	1990	2010	19
701HE63	TROIS RIVIERES AQUEDUC	MDDEP	46.38	-72.62	55	Horaires/Max jour	1974	2009	23
7098600	VAL-D'OR A	EC	48.06	-77.79	337	Horaires/Max jour	1961	1995	33
7028676	VALLEE JONCTION	MDDEP	46.38	-70.93	152	Horaires/Max jour	1965	2009	31

Annexe A – Liste et caractéristiques des stations

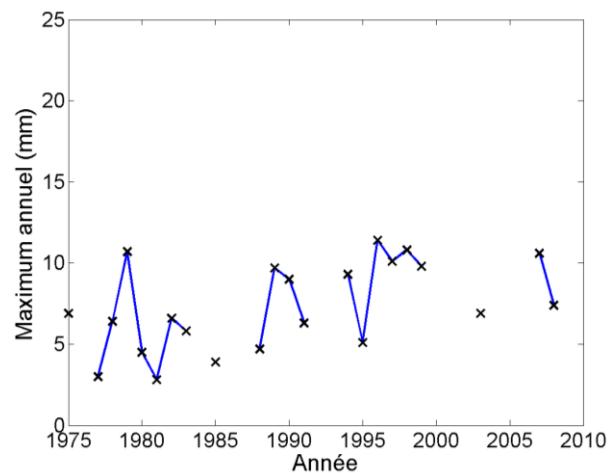
---

7028680	VALLEYFIELD	MDDEP	45.28	-74.10	46	Horaires/Max jour	1986	2009	21
7028906	WEST DITTON	MDDEP	45.40	-71.30	512	Horaires/Max jour	1965	1992	23
7028946	WOBURN	MDDEP	45.38	-70.87	396	Horaires/Max jour	1972	1997	18
7029230	ZÉPHIRIN	MDDEP	46.04	-72.66	45	Horaires	1990	2010	20

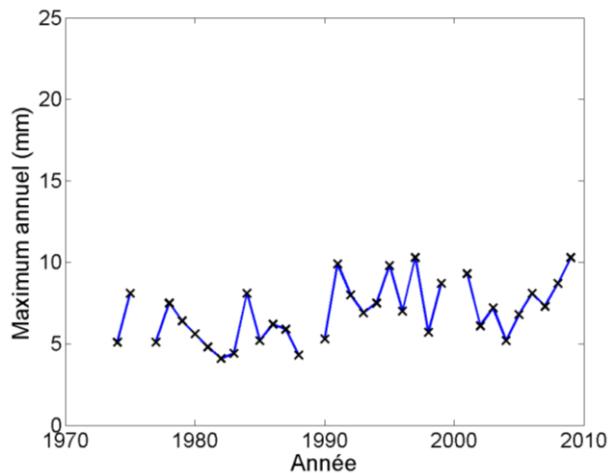


## ANNEXE B - Séries des maxima annuels pour la durée 5 min. aux stations avec tendances significatives (seuil de 95 %)

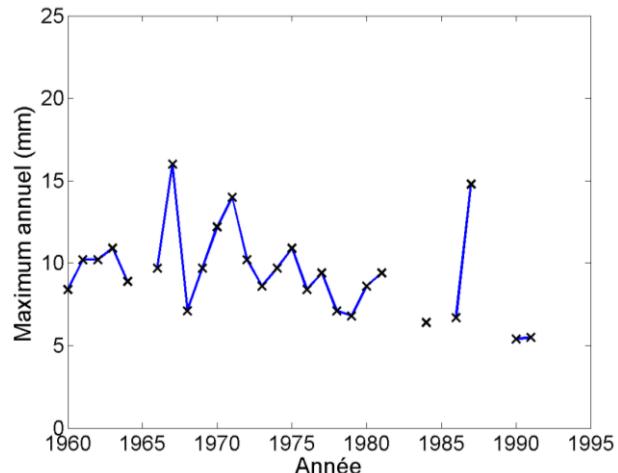
---



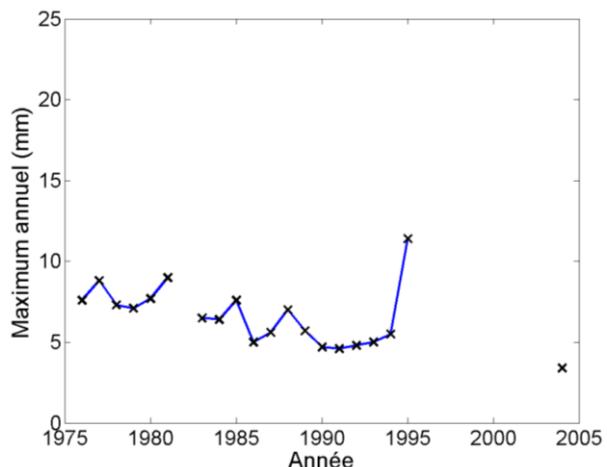
(a) Deschambault



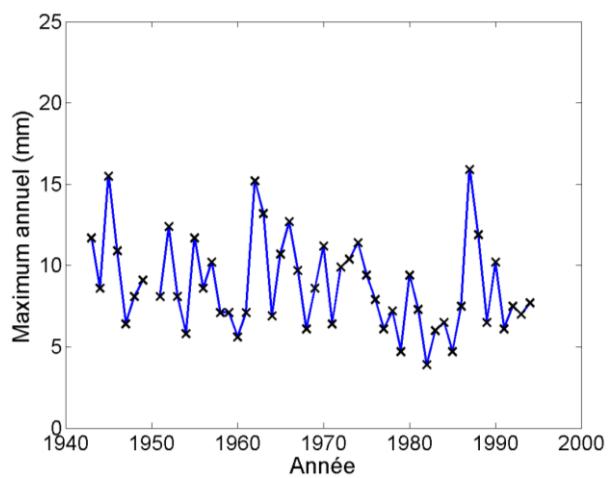
(b) Fortierville



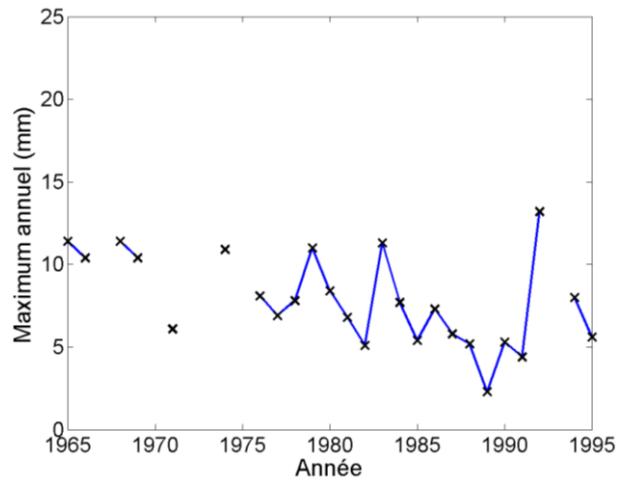
(c) Montréal/McGill



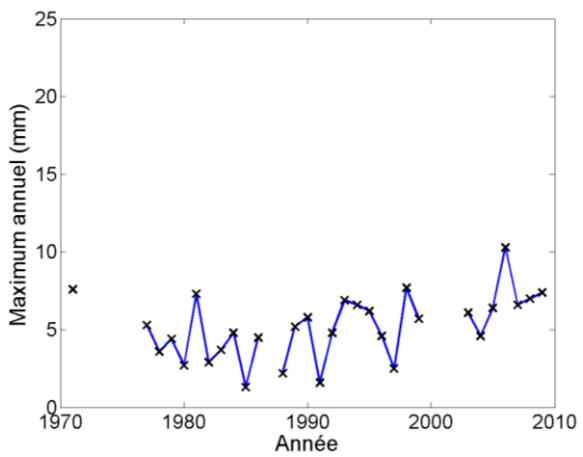
(d) Montréal/Mirabel Intl A



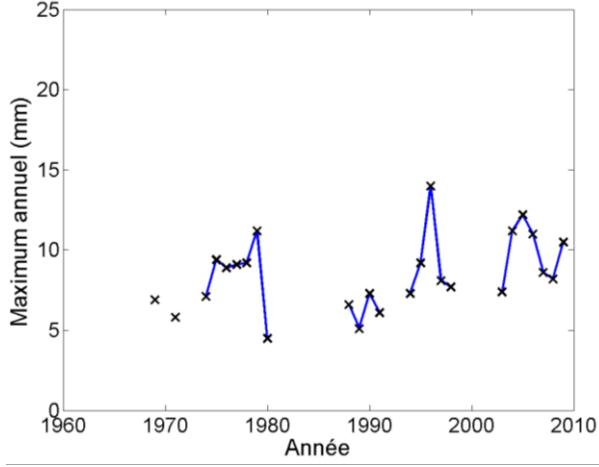
(e) Montréal/Pierre Elliot Trudeau



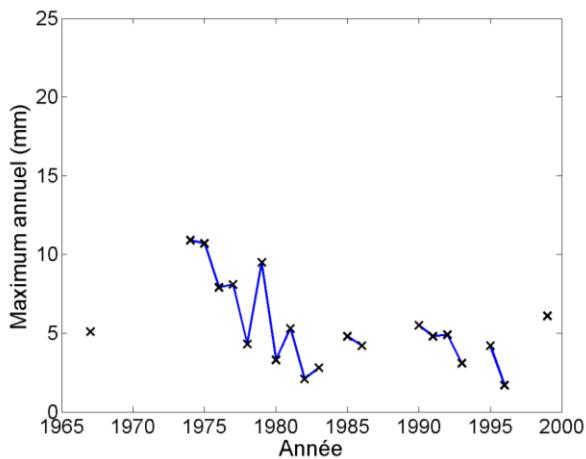
(f) Montréal/St Hubert A



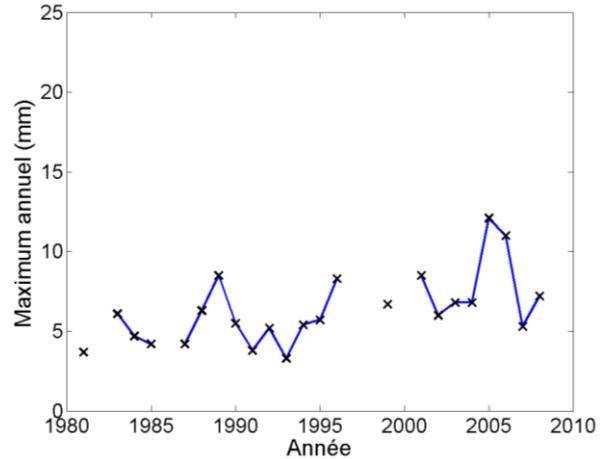
(g) Nouvelle



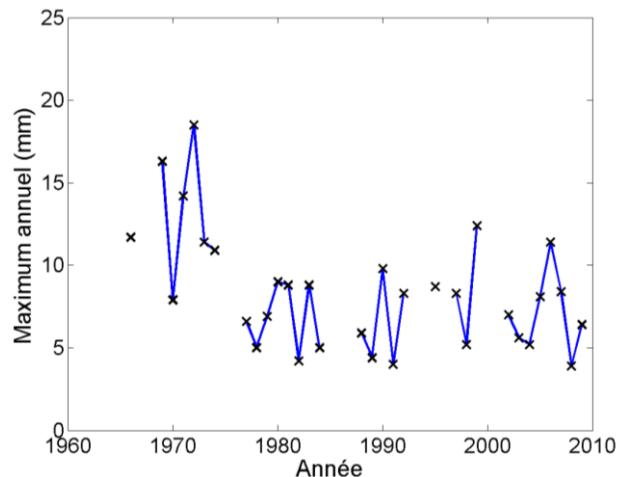
(h) Oka



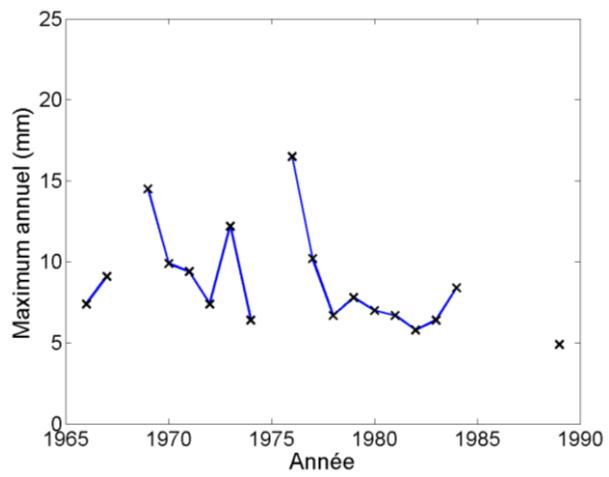
(i) Rimouski



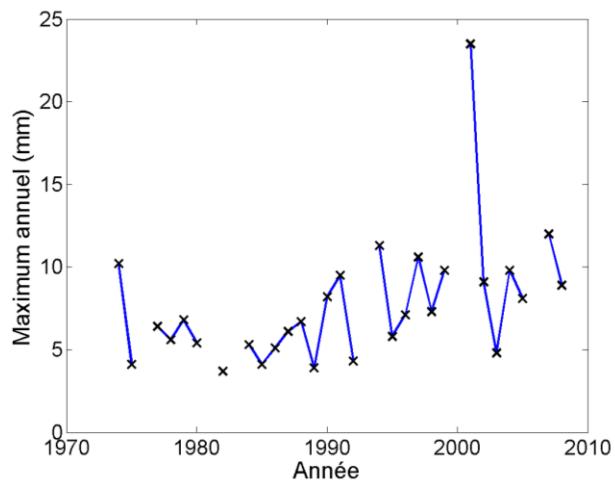
(j) St Alexis de Matapedia



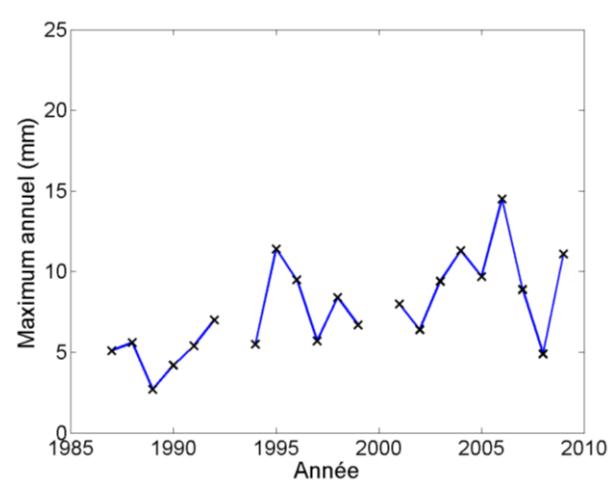
(j) St Ephrem



(k) St Malachie



(l) St Pierre de Broughton



(m) Valleyfield



## ANNEXE C - Distributions Generalized Extreme Value (GEV) et Gumbel

---

La théorie des valeurs extrêmes montre que la distribution des valeurs extrêmes peut être décrite, sous sa forme la plus générale, par la distribution *Generalized Extreme Values* (GEV) (Coles, 2001; Katz *et al.*, 2002). La fonction cumulative de la distribution GEV de paramètres  $\{\xi, \alpha, k\}$  s'écrit comme suit :

$$F(x) = \begin{cases} \exp\left\{-\left[1-k\frac{(x-\xi)}{\alpha}\right]^{1/k}\right\} & \text{si } k \neq 0 \\ \exp\left\{-\exp\left[-\frac{(x-\xi)}{\alpha}\right]\right\} & \text{si } k = 0 \end{cases} \quad (\text{C.1})$$

avec  $\xi$  le paramètre de position ( $-\infty < \xi < +\infty$ ),  $\alpha$  le paramètre d'échelle ( $\alpha > 0$ ) et  $k$  le paramètre de forme ( $-\infty < k < +\infty$ ). Le domaine de définition de la GEV est donné par  $\xi + \alpha/k \leq x < \infty$  pour  $k < 0$  (dans ce cas on parle de comportement *heavy tail*),  $-\infty < x < \infty$  pour  $k = 0$  et  $-\infty < x \leq \xi + \alpha/k$  pour  $k > 0$ . Le cas  $k = 0$  correspond à la distribution Gumbel.

La densité de probabilité de la distribution GEV s'écrit :

$$f(x) = \begin{cases} \left(\frac{1}{\alpha}\right)\left[1-k\frac{(x-\xi)}{\alpha}\right]^{(1/k-1)} \exp\left\{-\left[1-k\frac{(x-\xi)}{\alpha}\right]^{1/k}\right\} & \text{si } k \neq 0 \\ \exp\left[-\frac{(x-\xi)}{\alpha}\right] \exp\left\{-\exp\left[-\frac{(x-\xi)}{\alpha}\right]\right\} & \text{si } k = 0 \end{cases} \quad (\text{C.2})$$



## ANNEXE D - Analyse fréquentielle régionale

---

Cette annexe présente une description des étapes de mise en place de l'analyse fréquentielle régionale (AFR). Le lecteur désirant une présentation plus détaillée est invité à consulter l'ouvrage de Hosking et Wallis (1997). Le texte qui suit reprend en partie certaines des explications présentées dans l'article de Kingumbi et Mailhot (2010).

Considérant que les séries de mesures sont souvent courtes et que les précipitations intenses sont, de par leur nature même, peu fréquentes, il est important d'utiliser au mieux l'information disponible afin d'obtenir les estimateurs les plus fiables. À cet égard, il peut être intéressant de regrouper les données de différentes stations afin d'augmenter la durée totale des séries disponibles. Un tel regroupement est possible si ces séries possèdent certaines caractéristiques statistiques communes. L'AFR permet un tel regroupement et définit une procédure qui permet de vérifier si les conditions d'homogénéité des séries sous étude sont respectées, d'identifier la distribution « régionale » et d'en estimer les paramètres (Hosking et Wallis, 1997).

L'AFR comporte trois étapes principales (Alila, 1999) : (a) la vérification du caractère homogène des régions et éventuellement la subdivision de la région en sous-régions homogènes; (b) la sélection, pour chaque région, de la distribution de probabilité régionale parente (aussi appelée distribution régionale); et (c) l'estimation des paramètres et des quantiles correspondant à différentes périodes de retour. Les sections suivantes reprennent chacune de ces étapes et en donnent une description sommaire.

Supposons une région composée de  $N$  sites (ou stations) avec pour la station  $i$ , la série  $(z_1, z_2, \dots, z_{n_i})$  comportant  $n_i$  données. On définit les L-moments régionaux moyens  $t^{(R)}$  (L-CV),  $t_3^{(R)}$  (L-skewness) et  $t_4^{(R)}$  (L-kurtosis) de la façon suivante :

$$t^{(R)} = \frac{\sum_{i=1}^N n_i t^{(i)}}{\sum_{i=1}^N n_i}$$

$$t_3^{(R)} = \frac{\sum_{i=1}^N n_i t_3^{(i)}}{\sum_{i=1}^N n_i} \quad (D.1)$$

$$t_4^{(R)} = \frac{\sum_{i=1}^N n_i t_4^{(i)}}{\sum_{i=1}^N n_i}$$

où  $t^{(i)}, t_3^{(i)}, t_4^{(i)}$  sont les valeurs des L-moment des séries aux stations (pour des détails sur l'estimation de ces quantités voir Hosking et Wallis, 1997).

## D.1 Homogénéité de la région

L'écart-type sur les valeurs des L-moments (L-CV) des séries aux stations est d'abord calculé :

$$V_1 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N n_i (t^{(i)} - t^{(R)})^2}{\sum_{i=1}^N n_i} \right]^{1/2} \quad (D.2)$$

Les valeurs moyennes des L-moments régionaux 1,  $t^{(R)}, t_3^{(R)}, t_4^{(R)}$  sont ensuite utilisées pour ajuster une distribution kappa (pour une description de la distribution kappa voir l'appendice A.10 de Hosking et Wallis, 1997). La distribution kappa comporte quatre paramètres et a comme cas particuliers plusieurs distributions connues, dont la GEV. Une fois déterminés les paramètres de la distribution kappa, un nombre  $N_{sim}$  de réalisations est généré aléatoirement à partir de cette distribution. Pour chacune de ces réalisations,  $N$  séries comportant  $n_i$  valeurs sont générées (réplique des séries de  $n_i$  valeurs annuelles aux  $N$  stations). Les valeurs de  $V_1$  sont estimées pour chacune de ces réalisations de même que la moyenne  $\mu_{V_1}$ , et l'écart type  $\sigma_{V_1}$  sur ces  $N_{sim}$  réalisations. La mesure de l'hétérogénéité est donnée par :

$$H_1 = \frac{(V_1 - \mu_{V_1})}{\sigma_{V_1}} \quad (D.3)$$

Une typologie du caractère plus ou moins homogène d'une région basée sur la valeur de  $H_1$  a été proposée par Hosking et Wallis (1997). Ces critères ont toutefois été revus dans un article

plus récent (Wallis *et al.*, 2007) et sont les suivants : 1) si  $H_1 < 2$ , la région est *acceptablement homogène*; 2) si  $2 < H_1 < 3$ , la région est *possiblement hétérogène*; et 3) si  $H_1 > 3$ , la région est *définitivement hétérogène*. D'autres critères qui font intervenir les L-moments  $t_3^{(i)}$  et  $t_4^{(i)}$  peuvent être définis. Ces critères n'ont toutefois pas été considérés puisqu'ils sont beaucoup moins performants que l'indice  $H_1$  (pour une discussion de ce point voir Hosking et Wallis, 1997).

## D.2 Sélection de la distribution régionale

Hosking et Wallis (1997) ont proposé le test suivant, appelé test  $Z$ , pour la sélection de la distribution régionale. Après identification d'une liste de distribution candidate, la procédure décrite à la section précédente et qui sert à générer les  $N_{sim}$  réalisations (10 000 dans le cadre du présent projet) à partir de la distribution kappa est reprise. On calcule les L-moments régionaux  $t_3^{(m)}, t_4^{(m)}$  associés à la  $m$ ième réalisation (équations D.1), le biais sur  $t_4^{(R)}$  :

$$B_4 = \frac{1}{N_{sim}} \sum_{m=1}^{N_{sim}} [t_4^{(m)} - t_4^{(R)}] \quad (\text{D.4})$$

et enfin l'écart type sur  $t_4^{(R)}$  :

$$\sigma_4 = \left\{ \frac{1}{N_{sim}-1} \left[ \sum_{m=1}^{N_{sim}} (t_4^{(m)} - t_4^{(R)})^2 - N_{sim} B_4^2 \right] \right\}^{1/2} \quad (\text{D.5})$$

Pour chaque distribution candidate, on évalue la statistique  $Z$  :

$$Z_{DIST} = \frac{1}{\sigma_4} (\tau_4^{(DIST)} - t_4^{(R)} + B_4) \quad (\text{D.6})$$

où  $\tau_4^{(DIST)}$  est le L-kurtosis associé à la distribution candidate (par exemple la distribution GEV).

Cette valeur est calculée en déterminant d'abord les valeurs des paramètres de la distribution candidate à partir des moyennes régionales des L-moments 1,  $t_4^{(R)}$ ,  $t_3^{(R)}$  (voir section suivante).

La distribution est jugée adéquate si  $|Z_{DIST}| \leq 1.64$ .

### D.3 Relations entre L-moments et paramètres de la distribution GEV

Pour la distribution GEV, on a les relations suivantes entre les paramètres de la distribution et les L-moments:

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= \xi + \frac{\alpha}{k} [1 - \Gamma(1+k)] \\ \lambda_2 &= \frac{\alpha}{k} (1 - 2^{-k}) \Gamma(1+k) \\ \tau_3 &= 2 \frac{(1 - 3^{-k})}{(1 - 2^{-k})} - 3 \\ \tau_4 &= \frac{5(1 - 4^{-k}) - 10(1 - 3^{-k}) + 6(1 - 2^{-k})}{(1 - 2^{-k})}\end{aligned}\tag{D.7}$$

où  $\Gamma$  désigne la fonction Gamma (à noter que les symboles  $\lambda_1, \lambda_2, \tau, \tau_3, \tau_4$  réfèrent aux L-moments associés à la moyenne, au facteur d'échelle, au coefficient de variation, au skewness et au kurtosis de la population, alors que les symboles  $I_1, I_2, t, t_3, t_4$  réfèrent aux mêmes variables pour un échantillon donné; cette notation est celle utilisée par Hosking et Wallis (1997). Le paramètre de forme est obtenu en inversant l'équation précédente pour  $\tau_3$ . Puisque cette opération ne peut être faite analytiquement, Hosking et Wallis (1997) ont proposé l'approximation suivante (précision de  $9 \times 10^{-4}$  lorsque  $-0.5 \leq t_3 \leq 0.5$ ) :

$$\begin{aligned}C &= \frac{2}{(3 + t_3)} - \frac{\ln(2)}{\ln(3)} \\ k &= 7.8590 C + 2.9554 C^2\end{aligned}\tag{D.8}$$

Les autres paramètres sont ensuite estimés à partir des expressions suivantes :

$$\alpha = \frac{k I_2}{[(1 - 2^{-k}) \Gamma(1+k)]}\tag{D.9}$$

$$\xi = 1 - \frac{\alpha}{k} [1 - \Gamma(1+k)]\tag{D.10}$$

## D.4 Estimations des quantiles aux stations

La fonction quantile  $x_i(T)$  à la station  $i$  correspondant à une période de retour  $T$  est donnée par l'équation :

$$x_i(T) = l_{1i} \left\{ \xi_R + \frac{\alpha_R}{k_R} \left\{ 1 - \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right]^{k_R} \right\} \right\} \quad (\text{D.11})$$

Les valeurs des paramètres régionaux pour les différentes sous-régions et durées sont présentées au tableau 4.7 tandis que les valeurs des moyennes aux stations  $l_{1i}$  sont regroupées à l'Annexe E.

## D.5 Évaluations des intervalles de confiance des quantiles régionaux

Dans un premier temps, définissons la matrice de corrélation inter-stations  $R$  :

$$R = \begin{pmatrix} 1 & \rho & \cdots & \rho \\ \rho & 1 & \cdots & \rho \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho & \rho & \rho & 1 \end{pmatrix} \quad (\text{D.12})$$

où  $\rho$  correspond à la corrélation moyenne entre les stations définie par :

$$\rho = \frac{2}{N(N-1)} \sum_{1 \leq i < j \leq N}^N r_{ij} \quad (\text{D.13})$$

$N$  correspond au nombre total de stations, et  $r_{ij}$  à la corrélation entre les stations  $i$  et  $j$ . La corrélation entre deux stations se définit par :

$$r_{ij} = \frac{\sum_k (z_{ik} - \bar{z}_i)(z_{jk} - \bar{z}_j)}{\left[ \sum_k (z_{ik} - \bar{z}_i)^2 \sum_k (z_{jk} - \bar{z}_j)^2 \right]^{1/2}} \quad (\text{D.14})$$

où  $z_{ik}$  est la valeur à la station  $i$  à l'année  $k$ . Il est à noter que la somme sur  $k$  s'effectue sur toutes les années communes aux stations  $i$  et  $j$ . Enfin,  $\bar{z}_i$  correspond à la moyenne des valeurs à la station  $i$  (uniquement pour les années communes aux stations  $i$  et  $j$ ), soit :

$$\bar{Z}_i = \frac{\sum_k Z_{ik}}{n_{ij}} \quad (\text{D.15})$$

où  $n_{ij}$  correspond au nombre d'années communes aux stations  $i$  et  $j$ .

Une fois la matrice  $R$  calculée, on procède comme suit pour estimer les intervalles de confiance :

1. On doit d'abord préciser pour chacune des  $N$  stations la longueur de la série  $n_i$ , les valeurs des L-moments et des paramètres de la distribution GEV.
2. Pour chacune des  $N_{sim}$  répétitions de la simulation :
  - a. Soit  $n_0$ , la valeur maximale des  $n_i$ . Pour chaque année  $k$  allant de 1 à  $n_0$ , on génère un vecteur de longueur  $N$  à partir d'une distribution normale multivariée de moyenne 0 et de matrice de covariance  $R$ . Il s'agit ensuite de regrouper ces vecteurs en une matrice  $Y$  de dimension  $N \times n_0$ .
  - b. On transforme la matrice  $Y$  en une matrice de maxima annuels simulés  $X$  en appliquant la transformation suivante à chacun des éléments de  $Y$  :

$$X_{ik} = x_i(\Phi(Y_{ik})) \quad (\text{D.16})$$

où  $\Phi$  correspond à la fonction cumulative de la distribution normale standard et  $x_i$  à la fonction quantile de la GEV (équation D.11) dont les paramètres pour la station  $i$  ont été définis à l'étape 1. L'utilisation de la matrice de covariance permet de tenir compte des corrélations spatiales entre valeurs des maxima annuels, particulièrement pour les longues durées.

- c. Pour chaque station  $i$ , on extrait le vecteur  $X_{ik}$  ( $k = 1, \dots, n_i$ ) et on établit une série de maxima annuels simulée.
- d. À partir des séries de maxima annuels simulées à chaque station, on calcule les L-moments locaux et régionaux, on estime les valeurs des paramètres de la distribution GEV régionale et on calcule les quantiles à chaque station.
3. Pour chaque station, on classe les quantiles simulés et on définit les valeurs de l'intervalle de confiance à 95%.

## **ANNEXE E – Moyennes des séries aux stations**

---

Le tableau suivant regroupe les valeurs des moyennes des séries pour chaque station (variable  $I_{1i}$  de l'équation 4.1). Les sous-régions homogènes auxquelles appartiennent chacune des stations sont également indiquées. Seules les stations situées dans la partie sud du Québec sont répertoriées. Le symbole « --- » signifie que la valeur correspondante n'a pas été estimée. Trois cas de figures sont possibles : 1) la station ne comporte que des séries horaires, auquel cas seules les durées 6, 12 et 24 heures sont considérées; 2) la station ne comporte que des séries de MJ, auquel cas seules les durées 10, 15, 30 min. et 1, 2 et 6 heures sont considérées; 3) la série correspondante est non stationnaire (voir le Tableau 4.3 pour la liste de ces séries).

Il convient de noter que le tableau qui suit compte 98 stations, soit une de moins que le nombre de stations initialement considéré pour la partie du sud du Québec. La station LA PÊCHE ne fait pas partie des stations retenues puisqu'elle ne comporte que des données horaires et que des tendances significatives ont été détectées pour les séries des trois durées correspondantes, soit les durées 6, 12 et 24 heures.

**Tableau E.1 Moyennes des séries aux stations**

Nom	Sous-région homogène	Durée							
		10 min.	15 min.	30 min.	1 heure	2 heures	6 heures	12 heures	24 heures
AMOS	A	11.88	14.18	18.16	22.01	28.71	38.09	---	---
ARTHABASKA	B	13.49	16.09	21.93	26.98	31.67	43.08	---	---
AUCLAIR	B	---	---	---	---	---	38.81	49.60	57.27
BAGOTVILLE A	A	9.70	12.22	15.06	18.22	22.51	30.13	36.18	43.61
BAIE ST PAUL	A	8.62	10.36	---	18.28	---	---	---	---
BARRAGE ANGLIERS	A	11.08	13.06	16.76	20.73	24.95	32.72	37.84	44.46
BARRAGE CABONGA	A	---	---	---	---	---	39.57	45.46	50.33
BARRAGE JULES-ALLARD	B	---	---	---	---	---	38.96	45.54	55.21
BARRAGE TEMISCAMINGUE	A	10.95	12.74	---	21.43	---	---	---	---
BROME	B	11.75	14.13	19.14	23.99	29.94	39.55	---	---
CAP-ÉTERNITÉ	A	---	---	---	---	---	32.24	---	48.86
CHARRETTE	A	---	---	---	---	---	37.54	48.62	56.46
CHARLESBOURG PARC ORLEAN	B	11.55	14.15	19.07	23.55	28.49	38.40	45.59	56.31

Annexe E – Moyennes des séries aux stations

---

CHENEVILLE	A	11.04	13.18	18.78	24.31	29.74	42.02	---	55.86
CÔTE-OUIMET	B	---	---	---	---	---	33.26	42.51	51.65
DESCHAMBault	A	11.01	13.12	16.46	20.00	25.69	37.75	44.55	50.56
DITTON	B	---	---	---	---	---	38.04	45.44	54.71
DRUMMONDVILLE	B	14.21	17.43	21.89	25.30	28.46	37.27	42.05	48.74
DUBERGER	B	---	---	---	---	---	39.53	48.97	58.96
DUCHESNAY	A	11.48	13.64	17.36	20.85	26.74	38.65	47.24	57.45
ÉDOUARD	A	---	---	---	---	---	36.77	44.13	52.59
FAUSTIN	A	---	---	---	---	---	45.78	54.45	59.77
FORESTVILLE	A	6.87	8.11	10.60	13.62	16.96	27.57	40.40	---
FORET MONTMORENCY	A	10.64	13.40	18.03	22.89	27.45	39.46	47.96	57.04
FORTIERVILLE	B	10.56	13.18	---	---	28.26	39.89	47.08	54.47
FRANÇOIS	B	---	---	---	---	---	---	56.58	66.16
GASPE A	B	---	---	---	---	---	37.72	50.11	60.17
GEORGEVILLE	B	12.43	15.11	19.49	24.52	29.26	38.72	---	---
GRANBY	B	13.24	16.69	22.53	27.14	33.41	42.42	51.93	58.59
HILAIRE	B	---	---	---	---	---	45.95	54.03	60.95

JOLIETTE VILLE	A	12.21	14.77	19.91	25.03	29.94	38.95	47.27	52.21
LA POCATIERE CDA	B	9.49	11.57	14.83	---	---	31.22	39.34	47.55
LA TUQUE	A	12.03	14.82	18.29	22.90	27.78	36.58	42.31	49.04
LAC HUMQUI	B	10.08	12.06	15.27	19.98	27.14	36.66	42.80	49.51
LAC MEGANTIC 2	B	9.04	10.86	14.86	19.52	26.96	37.14	43.61	54.15
LAC STE CROIX	A	11.00	12.78	15.51	19.10	22.54	31.48	39.08	45.89
L'ASSOMPTION	A	11.62	13.75	16.66	20.45	25.52	36.31	43.59	50.48
LENNOXVILLE	B	11.68	14.84	19.23	24.06	30.31	38.96	43.46	48.76
LINGWICK	B	11.40	14.08	19.46	25.44	30.92	40.28	47.06	54.45
MANIWAKI UA	A	---	---	18.24	22.66	26.99	35.47	42.48	49.61
MARGUERITE	B	---	---	---	---	---	34.61	44.53	51.76
MONT-JOLI A	B	7.95	9.95	12.54	15.78	20.56	31.19	38.20	47.43
MONTREAL MCGILL	B	14.59	17.82	23.03	28.55	31.81	38.66	46.05	53.27
MONTREAL/MIRABEL INTL A	A	---	---	17.37	23.04	29.58	40.92	49.53	57.76
MONTREAL/PIERRE ELLIOTT TRUDEAU INTL A	B	12.61	15.37	19.76	23.96	28.19	35.44	42.25	49.17
MONTREAL/ST-HUBERT A	B	---	---	18.34	22.46	26.56	36.48	43.94	49.91

Annexe E – Moyennes des séries aux stations

---

NICOLET	A	11.51	14.12	18.53	23.19	26.99	34.05	40.56	48.47
NOMININGUE	A	13.12	15.60	20.32	26.43	32.05	40.10	44.42	---
NORMANDIN CDA	A	10.43	12.16	14.56	16.97	21.28	29.34	39.29	46.18
NOTRE-DAME-DU-ROSAIRE	B	---	---	---	---	---	38.76	49.28	60.61
NOUVELLE	B	7.40	9.18	---	15.50	19.25	30.82	40.34	48.39
OKA	A	12.16	14.38	18.15	22.34	---	---	---	54.18
ORMSTOWN	B	12.18	14.48	17.73	22.66	27.13	37.10	44.90	51.10
PEMONCA	A	---	---	---	---	---	27.49	33.06	42.74
QUEBEC/JEAN LESAGE INTL A	B	11.10	13.60	18.03	23.05	27.69	38.47	45.98	56.41
RIMOUSKI	B	7.27	8.75	12.76	16.77	21.39	30.78	36.51	42.28
ROBERVAL A	A	9.12	10.67	13.34	16.30	20.60	28.48	37.34	45.03
ROUTE-385 (FORESTVILLE)	A	---	---	---	---	---	43.64	59.76	73.54
SAINT-SIMON	B	---	---	---	---	---	36.44	42.91	48.28
SAWYERVILLE NORD	B	11.81	14.57	19.13	23.64	27.15	35.55	43.12	49.95
SHAWINIGAN	A	14.00	17.04	22.02	24.91	28.48	34.74	40.67	47.95

SHAWVILLE	A	10.78	13.26	17.86	22.44	26.36	35.88	41.57	46.87
SHERBROOKE A	B	12.14	14.64	19.39	23.52	28.53	39.96	47.78	52.37
ST ALBAN	A	---	14.36	19.78	24.78	29.70	40.52	46.75	52.92
ST ALEXIS DE MATAPELIA	B	---	---	---	20.97	26.09	37.50	44.55	52.57
ST AUGUSTIN	B	11.65	14.42	18.82	22.97	28.96	40.09	47.42	57.78
ST BRUNO KAMOURASKA	B	9.16	10.73	13.89	18.23	23.35	35.81	44.20	51.21
ST DONAT	A	10.50	13.12	17.54	21.33	26.78	---	43.81	51.41
ST EPHREM	B	11.79	---	---	22.63	27.55	40.42	49.32	57.16
ST FERDI---D	B	11.95	14.36	18.96	23.69	28.80	39.41	48.07	56.19
ST GEORGES	B	12.06	14.57	19.03	23.21	29.96	42.34	50.78	56.59
ST GUILLAUME	B	12.66	15.66	20.78	24.92	30.07	40.91	49.66	55.17
ST JEAN DE CHERBOURG	B	8.66	10.57	14.02	17.39	20.98	32.35	41.97	50.60
ST JEROME	A	11.15	13.82	18.16	21.29	26.90	37.20	44.72	52.60
ST MALACHIE	B	11.52	13.62	17.24	21.36	28.08	36.61	45.19	51.99
ST MICHEL DES SAINTS	A	10.70	13.13	17.08	22.92	27.76	39.08	45.81	51.77
ST PIERRE DE BROUGHTON	B	---	---	---	23.73	29.76	39.97	47.39	55.17

Annexe E – Moyennes des séries aux stations

---

ST SEBASTIEN	B	12.86	15.02	18.77	22.57	27.28	38.78	46.33	55.58
ST THEOPHILE	B	9.60	11.31	15.44	19.24	24.78	32.91	38.84	44.76
ST ZACHARIE	B	10.67	12.91	18.96	25.11	31.79	41.45	50.38	57.46
STE AGATHE DES MONTS	A	11.93	14.63	19.41	24.92	30.06	38.30	46.11	53.99
STE ANNE DE BELLEVUE	B	12.20	14.69	20.03	24.81	29.86	38.61	43.81	50.14
STE BEATRIX	A	10.22	12.69	17.34	23.40	28.84	40.84	54.05	60.42
STE CATHERINE	A	11.75	14.10	19.09	23.13	27.90	37.71	45.45	54.92
STE CLOTHILDE CDA	B	---	---	---	---	---	37.15	43.36	49.47
STE FOY (PIE XII)	B	---	---	---	---	---	39.33	47.15	58.88
STE GERMAINE	B	10.91	13.13	17.31	21.90	26.30	36.30	44.92	50.72
STE MADELEINE	B	11.34	13.74	19.30	25.21	31.03	41.69	---	---
STUKELY	B	---	---	---	---	---	38.68	47.53	58.35
THETFORD MINES	B	13.44	16.59	21.62	26.14	32.05	44.79	51.95	59.63
TINGWICK	B	---	---	---	---	---	42.73	50.39	57.79
TROIS RIVIERES AQUEDUC	A	11.63	13.80	17.59	21.79	27.78	37.84	45.92	53.04
VAL-DOR A	A	10.46	12.57	16.11	19.65	22.78	31.26	36.82	41.92

VALLEE JONCTION	B	11.69	14.43	18.43	22.94	28.18	38.51	45.23	51.75
VALLEYFIELD	B	---	13.30	17.04	23.24	27.95	36.86	46.27	53.80
WEST DITTON	B	11.70	14.29	17.94	20.59	24.50	36.24	43.24	48.14
WOBURN	B	9.17	11.46	16.12	22.13	27.09	37.67	43.52	47.10
ZÉPHIRIN	B	---	---	---	---	---	---	45.18	48.97

