Université du Québec
INRS-ETE

DÉVELOPPEMENT D'UNE MÉTHODOLOGIE HYDROLOGIQUE/STATISTIQUE POUR ESTIMER LES DÉBITS D'ÉTIAGE AU QUÉBEC HABITÉ

Par
Edgar Herrera-Guzman

Thèse présentée pour l'obtention
du grade de Philosophae Doctor (Ph.D.)
en sciences de l'eau

Jury d'évaluation

Examinateur interne	André St-Hilaire, INRS-ETE
Examinateur externe	Younes Alila, Université de la Colombie-Britannique (UBC)
Examinateur externe	Musandji Fuamba École Polytechnique de Montréal
Directeur de recherche	Taha B.M.J. Ouarda, INRS-ETE
Codirecteurs de recherche	Bernard Bobée, INRS-ETE Monique Bernier, INRS-ETE

Remerciements

Je tiens à remercier M. Taha Ouarda pour m'avoir proposer ce sujet, pour son aide, son amitié, sa patience et qui m'a soutenu tout au long de mes années de recherche. Je remercie aussi mes codirecteurs de recherche M. Bernard Bobée et Mme. Monique Bernier, ainsi que mes examinateurs M. André St-Hilaire, M. Younes Alila et M. Musandji Fuamba pour les conseils et leurs précieux commentaires.

Je tiens à remercier ici tous les organismes qui m'ont aidé tout au long de mon doctorat. Je remercie à l'Institut National de la Recherche Scientifique, centre Eau Terre et Environnement (INRS-ETE) et le Centre d'Expertise Hydrique du Québec (CEHQ) qui ont rendu possible ma recherche doctorale en mettant à ma disposition ses équipements, les données, le soutien financier et son personnel qualifié, soit, M. Hugo Gingras, Mme. Véronique Jordan, M. Van Diem Hoang et M. William Larouche.

Je tiens ici à témoigner ma gratitude à tout ceux et à toutes celles qui m'ont apporté leur soutien pour la rédaction de cette thèse. Je voudrais souligner le soutien moral et la motivation que m'ont apporté mes parents Rafael Herrera Gomez et Teresa Guzman Marinez et mes frères Rafael, Haydee et Karina et sans lesquels, la réalisation de ce doctorat n'aurait pu se faire.

Enfin, je voudrais remercier mes amis Nedka Pentcheva et Rodrigo Munoz Alpizar et mes collègues étudiants à l'INRS-ETE, particulièrement le groupe formé dans le bureau 1319 : Loubna Benyahya, Gerald Dermont, Jorge Medina et Satinder Brar pour leur gentillesse incomparable.

RÉSUMÉ

La connaissance de la fréquence et de la durée des débits d'étiage est critique pour une bonne gestion des ressources en eau. Les statistiques sur les débits d'étiage sont particulièrement utiles dans un contexte où la conservation de l'eau, la gestion de sa qualité, la conception et le pilotage des systèmes d'irrigation, l'analyse de l'impact des sécheresses sur les écosystèmes aquatiques et la planification des activités récréatives aquatiques sont autant d'enjeux importants.

L'analyse fréquentielle permet de relier l'amplitude des événements extrêmes à leurs fréquences d'occurrence à travers l'utilisation de distributions de probabilité. Quand le site d'intérêt comporte suffisamment de données, elle permet d'extraire les indicateurs d'étiage. Il est toutefois important de spécifier que les résultats sont valides seulement à l'échelle locale, car on n'utilise que les données d'un seul site. Le calcul des indicateurs d'étiage permet d'enlever la mémoire ou l'inertie de débits d'un cours d'eau. Alors, on s'intéresse généralement à l'ensemble des valeurs extrêmes annuelles ou saisonnières.

Bien entendu, il est impossible d'avoir une station sur chaque tronçon d'un cours d'eau. L'information recueillie serait redondante, sans compter l'impossibilité de financer un tel projet. De ce fait, des méthodes alternatives pour traiter les bassins versants non-jaugés ou partiellement jaugés doivent être utilisées. Ce sont les méthodes de régionalisation, qui vont être étudiées et développées dans ce travail. Jusqu'à présent la plupart de travaux en hydrologie ont été consacrés à l'étude des maximas, comme les crues ou les précipitations extrêmes, tandis que la méthodologie développée dans cette thèse s'attaque à d'autres variables (les indicateurs d'étiage). Ceci nous permet d'introduire et de souligner les contributions que la méthodologie proposée dans la présente thèse fait à l'hydrologie des débits d'étiage, notamment dans le domaine de l'hydrologie statistique.

Le but de ce travail était de développer une méthode d'estimation régionale des étiages aux sites non-jaugés ou partiellement jaugés qui combine les forces des différentes méthodes existantes. Pour atteindre cet objectif, il a été nécessaire d'aborder le problème en deux étapes :

- L'analyse fréquentielle locale, pour estimer les quantiles locaux des débits d'étiage. Cette technique est basée sur l'hypothèse que les données sont indépendantes et identiquement distribuées.

- L'analyse fréquentielle régionale, qui commence par l'identification de régions homogènes pour ensuite transférer l'information des sites jaugés au site non-jaugé ou partiellement jaugé à l'intérieur d'une même région.

En ce qui concerne l'analyse fréquentielle locale, nous avons détecté un grand degré de subjectivité dans les travaux publiés, en particulier dans le choix d'une distribution de probabilité à appliquer à un site donné. En effet, étant donné que la vraie distribution d'un site est inconnue, on ne devrait pas privilégier certaines lois par rapport à d'autres. La subjectivité est également présente dans l'estimation de leurs paramètres. Dans cette thèse, nous proposons une méthodologie qui nous permet d'ajuster non seulement les lois les plus utilisées pour les étiages et les crues, mais aussi d'estimer les paramètres par différentes techniques, selon les caractéristiques propres à chaque bassin. La détermination de la loi la plus adaptée et la meilleure technique d'estimation des paramètres de la loi a été faite à partir des critères d'information Bayésien et d'Akaike. À qualité d'ajustement égale, ces critères privilégient les lois ayant le moins de paramètres (principe de parcimonie).

En ce qui concerne l'analyse fréquentielle régionale, nous avons constaté le faible niveau de développement des techniques pour déterminer les régions homogènes. En fait, les chercheurs ont préféré appliquer des tests statistiques pour calculer l'hétérogénéité. Dans notre étude, nous nous sommes proposés d'utiliser deux méthodes habituellement utilisées pour les étiages et d'adapter deux techniques développées pour les crues et qui ont démontré une bonne performance. À notre connaissance, ces deux dernières techniques n'ont jamais été utilisées pour les étiages. Les méthodes utilisées sont la classification ascendante hiérarchique (CAH) et la régionalisation par interpolation spatiale (RIS). Les méthodes adaptées sont l'analyse canonique de corrélations (ACC) et les régions d'influence (ROI). Dans le cas de la CAH nous avons proposé une façon alternative de sélectionner les variables explicatives, tandis que pour la ROI, nous avons développé un algorithme pour obtenir le seuil optimal pour la formation de régions. La méthode RIS a été reformulée au complet, afin d'inclure des critères robustes utilisés en

climatologie. Parmi les méthodes d'estimation régionale, celle que nous avons décidée de coupler avec les méthodes de détermination de régions hydrologiquement homogènes est la technique de régression multiple (RM). Cette technique donne de bonnes performances dans les cas des crues ou des étiages.

Cette méthodologie a été appliquée au cas d'étude du Québec habité, pour lequel nous avons choisi les variables d'étiage suivantes : $Q_{10,7}$, la plus utilisée en Amérique du Nord; $Q_{2,7}$ et $Q_{5,30}$, qui sont utilisées au Québec par le Ministère de l'Environnement. Ensuite nous avons construit les séries temporelles d'étiage pour les périodes annuelle, hivernale et estivale. Nous avons obtenu une base de 149 stations hydrométriques au total, dont on a enlevé les stations que rejettent l'hypothèse nulle des tests d'indépendance, stationnarité ou homogénéité. Les lois de probabilité du tableau 2.1 ont ensuite été ajustées et avec les critères BIC et AIC nous avons choisi la loi la plus adaptée pour chaque station.

Pour l'étape de régionalisation, nous avons déterminé les variables physiographiques / météorologiques qui forment l'ensemble de variables explicatives pour chaque période parmi les 14 disponibles. Ainsi, nous avons appliqué les méthodes CAH-RM, ACC-RM, ROI-RM et RIS pour obtenir les performances listées dans le tableau 5.24, où on présente une comparaison de toutes les méthodes. On a constaté que les méthodes avec régions non-contiguës performent mieux. On a trouvé que la méthode RIS donne de bons résultats, même si il y a une légère tendance à la surestimation. Cependant, elle reste toujours meilleure que la méthode avec un voisinage fixe.

Ce travail a permis de conclure que le principe de parcimonie a une implication plus profonde que le simple choix de lois avec le moins des paramètres nécessaires pour ajuster les données observées. En effet, ce principe donne aussi un sens physique au choix de lois. Il permet par exemple d'éviter d'ajuster une loi à plus de deux paramètres sur des petits échantillons (quelques dizaines de valeurs), en vue de l'estimation des quantiles. Ce que l'on croit gagner en souplesse de la loi est souvent perdu en précision d'estimation des paramètres. De plus, l'utilisation d'un voisinage hydrologique pertinent améliore significativement les estimations des quantiles du débit d'étiage. Les méthodes de régionalisation basées sur un voisinage hydrologique (ACC-RM et ROI-RM) ont une performance supérieure à celles avec les régions homogènes fixes (CAH-

RM et RIS). Ainsi, les méthodes de régionalisation d'analyse canonique des corrélations et de régions d'influence combinées à la régression multiple (ACC-RM et ROI-RM) permettent d'obtenir des estimations plus précises. On a également trouvé que, parmi les variables explicatives des étiages, la superficie du bassin versant est la variable la plus corrélée avec les quantiles locaux d'étiage. Cependant, la détermination de régions homogènes demeure un sujet ouvert.

Ce travail apporte une nouvelle connaissance pertinente aux caractéristiques des débits d'étiage, autant au niveau théorique que pour le cas particulier des écoulements de la province de Québec, au Canada. Ces nouvelles méthodes contribuent donc à améliorer la compréhension du phénomène hydrologique d'étiage.

ABSTRACT

The understanding of the frequency and low-flows spells are critical for the good management of water resources. Low-flow statistics are especially useful in fields where water conservation is fundamental, such as in water quality management, design and operation of irrigation systems, impact analysis of droughts on aquatic ecosystems and recreational activities.

Frequency analysis relates the magnitude of extreme events to their frequency of occurrence via the use of probability distributions. When there are enough data for a given site, it is possible to get a low-flow frequency analysis index. It is important to note that this kind of analysis is local, since the estimations are made only for the site under consideration. The computation of low-flow indices allows the elimination of memory or inertia of stream flows. Thus, we are mainly interested in the annual or seasonal extreme values.

Economic and practical limitations make it impossible to have gauged stations on every section of the stream flow. Since redundancy of information must be avoided, a different method must be adopted to account for the non-gauged or partially gauged watersheds, which are called regional low-flow methods.

Most studies in hydrology mainly focus on data of maximal type, such as floods or extreme precipitations. In contrast, we also consider low-flows in the development of our method, which is the main contribution of this thesis to hydrology, especially in the statistical hydrological area.

The principal objective of this work is to develop an estimation methodology for low-flows in non-gauged or partially gauged sites on a regional basis, taking into account the advantages of the currently available methods. In order to achieve this goal we have treated the problem in two steps:

- First, we perform local frequency analysis to estimate local low-flow quantiles. This technique is based on the hypothesis that the data are independent and identically distributed (i.i.d. data).

- Secondly, we perform regional frequency analysis, in which a homogeneous region is identified, and the information from the data of the gauged sites in such a region is transferred to the non-gauged or partially gauged sites of the region.

We found a great deal of subjectivity in almost all the studies of local frequency analysis, such as the selection of one probability distribution for several sites. Since the actual distribution of the site is not known, certain laws and parameter-estimation methods should not be preferred over others. Hence, we propose a methodology in order to adjust the probability laws most commonly used in low-flows and floods, and for the estimation of their parameters by means of several techniques. In this way, we seek to reflect the characteristics of each watershed statistics. The choice of the best adjusted law was made by using the Bayesian and Akaike criterion, where the parsimony principle was adopted.

Regarding the regional frequency analysis, we found a lack of techniques to determine the homogeneous regions. Instead of developing more techniques, the tendency is to develop a heterogeneity statistical test. Therefore we have implemented two methods commonly used in low flows and two others approaches used for floods were also adapted. The methods used are the following: the hierarchical ascendant classification (HAC) and the regionalization by spatial interpolation (RSI). The adapted methods are the canonical correlation analysis (CCA) and the regions of influence (ROI). In the HAC method, we have optimized the procedure to select the explicative variables; in the ROI method, we develop an algorithm to find the best threshold value which optimizes the formation of regions. The RSI method was completely rewritten; this allows us to include the algorithms widely used in climatology. Among the regional estimation methods, we chose the multiple regression (MR). This technique produces good results for flood and low-flow analysis.

This methodology has been applied for the case of study given by the habited Quebec, where we have chosen the low-flow variables: $Q_{10,7}$ (the most used in North America); $Q_{2,7}$ and $Q_{5,30}$ (used in Quebec by the Environmental Ministry). The temporal series were constructed for the yearly, winter and summer periods, which produced a data base of 149 gauged stations. In theses stations, we verified the independency, stationary and homogeneity characteristics. Finally, the

stations were adjusted with the probability laws of table 2.1, and we found the best adjusted law by means of the BIC and AIC criterion.

For the regionalization, problematic stations were not considered. The set of explicative variables for each period was determined from the 14 physiographic/meteorological variables available. The HAC-MR, CCA-MR, ROI-MR and RSI were applied and the table 5.24 shows the comparison of their performance. It is possible to verify that the methods with non-contiguous regions are the best. Even the RSI method gives results good enough despite the fact that there is a slight tendency to overestimate. However, this method is obviously better than the HAC-RM method and surely than all methods where the neighbor is fixed.

This work allows us to conclude that the parsimony principle has deeper consequences than just providing the choice of laws with fewer parameters. This principle gives a physical interpretation for the choice of a law. As a matter of fact, this avoids adjusting a law with more than two parameters to small samples (dozens of data). Otherwise, the flexibility gained by having more parameters is lost in the precision of estimation of the parameters. Furthermore, the use of hydrological neighbors improves significantly the low-flow quantile estimation. The regionalization methods based on hydrological neighbors (CCA-MR and ROI-MR) have a better performance than fixed regions methods (HAC-MR and RSI). Therefore, the CCA-MR and ROI-MR methods give precise estimations. Another interesting feature is the high correlation between the area of watershed with the low-flow quantiles. Finally, the determination of homogenous regions is still an open subject of research.

The main contribution of this thesis is towards new knowledge regarding low-flows characteristics both at a theoretical level as well as for particular case of the province of Quebec, Canada.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ ..... **V**

ABSTRACT ..... **IX**

TABLE DES MATIÈRES ..... **XIII**

LISTE DES TABLEAUX ..... **XIX**

LISTE DES FIGURES ..... **XXIII**

1 INTRODUCTION **1**

1.1 PROBLÉMATIQUE 4

1.2 OBJECTIFS 6

1.3 PLAN DE LA THÈSE 7

2 REVUE DE LITTÉRATURE **9**

2.1 LES ÉTIAGES 9

2.2 ANALYSE FRÉQUENTIELLE LOCALE 12

2.3 ANALYSE RÉGIONALE 19

2.3.1 COURBES DE PRÉDICTION RÉGIONALE 19

2.3.2 INTERPOLATION SPATIALE 20

2.3.3 ESTIMATION DES DÉBITS D'ÉTIAGE À PARTIR DES SÉRIES TEMPORELLES DE DÉBITS SYNTHÉTIQUES 21

2.3.4 MÉTHODES MATHÉMATIQUES 21

2.3.4.1 Identification des régions hydrologiquement homogènes 22

2.3.4.2 Estimation régionale 24

3 SÉLECTION DE MÉTHODES À COMPARER ET À DÉVELOPPER AU QUÉBEC **27**

3.1 MÉTHODES DE DÉTERMINATION DES RÉGIONS HOMOGÈNES 27

3.1.1 CLASSIFICATION ASCENDANTE HIÉRARCHIQUE 28
3.1.2 MÉTHODE DES L-MOMENTS 29
3.1.2.1 Inspection des données 32
3.1.2.2 Identification des régions homogènes 33
3.1.3 ANALYSE CANONIQUE DES CORRÉLATIONS 34
3.1.4 RÉGIONS D'INFLUENCE 37
3.2 ESTIMATION RÉGIONALE 41
3.2.1 MÉTHODE DE L'INDICE D'ÉTIAGE 41
3.2.2 MÉTHODE DE L'INDICE DE FLUX DE BASE 43
3.2.3 MÉTHODE DE RÉGRESSION MULTIPLE 44
3.2.4 MÉTHODE DES L-MOMENTS 48
3.2.4.1 Choix de la fonction de distribution 48
3.2.4.2 Estimation de la distribution de fréquences 49
3.2.5 MÉTHODE DU RAPPORT DE L'AIRE DE DRAINAGE 49
3.2.6 MÉTHODE DES STATISTIQUES RÉGIONALES 50
3.2.7 REGIONALISATION PAR INTERPOLATION SPATIALE 50
3.3 TECHNIQUES DE RÉÉCHANTILLONNAGE 53
3.3.1 MÉTHODE DU JACKKNIFE 53
3.3.2 MÉTHODE DE BOOTSTRAP 54
4 APPLICATION DE LA MÉTHODOLOGIE À LA PROVINCE DE QUÉBEC : ANALYSE FRÉQUENTIELLE LOCALE 57
4.1 DONNÉES DE BASE 57
4.1.1 SÉRIES TEMPORELLES DE DÉBITS D'ÉTIAGE 57
4.2 ANALYSE FRÉQUENTIELLE LOCALE 60
4.2.1 CARACTÉRISATION DES ÉCHANTILLONS 61
4.2.2 TESTS D'HYPOTHÈSES SUR LES SÉRIES DE DONNÉES 62
4.2.2.1 p-valeur 62
4.2.2.2 Hypothèse de stationnarité (test de Kendall) 63
4.2.2.3 Hypothèse d'indépendance (test de Wald-Wolfowitz) 65
4.2.2.4 Hypothèse d'homogénéité 66

4.2.2.4.1 Test de Wilcoxon *66*
4.2.2.4.2 Test de Levene *67*
4.2.2.5 Résultats des tests d'hypothèses 68
4.2.3 SÉLECTION DES DISTRIBUTIONS DE PROBABILITÉ 72
4.2.3.1 Variable aléatoire 72
4.2.3.2 Fonction de répartition 72
4.2.3.3 Fonction de densité de probabilité 73
4.2.4 ESTIMATION DES PARAMETRES DES DISTRIBUTIONS 74
4.2.5 ESTIMATION DES QUANTILES 74
4.2.6 CHOIX DES LOIS LES PLUS ADAPTÉES 76
4.2.6.1 Fonction de vraisemblance 77
4.2.6.2 Critères d'information Bayésien et d'Akaike 78
4.2.6.3 Résultats de sélection de lois les plus adaptées 78

5 APPLICATION DE LA MÉTHODOLOGIE A LA PROVINCE DE QUÉBEC : ANALYSE FRÉQUENTIELLE RÉGIONALE 85

5.1 CONSTRUCTION DE LA BASE DE DONNÉES 85
5.1.1 CHOIX DES STATIONS HYDROMÉTRIQUES 85
5.1.1.1 Tests statistiques 86
5.1.2 VARIABLES PHYSIOGRAPHIQUES ET MÉTÉOROLOGIQUES 91
5.1.2.1 Extraction des variables physiographiques et météorologiques 92
5.1.2.1.1 Choix des variables explicatives *95*
5.2 APPLICATION DE L'ANALYSE CANONIQUE DES CORRÉLATIONS COMBINÉE À LA RÉGRESSION MULTIPLE AUX BASSINS DU QUÉBEC HABITÉ 100
5.3 APPLICATION DE LA CLASSIFICATION ASCENDANTE HIÉRARCHIQUE COMBINÉE À LA RÉGRESSION MULTIPLE AUX BASSINS DU QUÉBEC HABITÉ 111
5.4 APPLICATION DES RÉGIONS D'INFLUENCE COMBINÉE À LA RÉGRESSION MULTIPLE AUX BASSINS DU QUÉBEC HABITÉ 122
5.4.1 DÉTERMINATION DE LA VALEUR OPTIMALE DU SEUIL 122

5.4.2 RÉSULTATS 123
5.5 APPLICATION DE LA RÉGIONALISATION PAR INTERPOLATION SPATIALE AUX BASSINS DU QUÉBEC HABITÉ 136
5.6 APPLICATION DE LA MÉTHODE DES L-MOMENTS AUX BASSINS DU QUÉBEC HABITÉ 153

CONCLUSIONS 159

ANALYSE FRÉQUENTIELLE LOCALE 160
ANALYSE FRÉQUENTIELLE RÉGIONALE 161
CONTRIBUTIONS PERSONNELLES 163
PERSPECTIVES 164

RÉFÉRENCES 167

ANNEXES 181

ANNEXE A. LISTE DES STATIONS RETENUES DANS L'ÉTUDE DE L'ANALYSE FRÉQUENTIELLE LOCALE 183
ANNEXE B. CARACTÉRISTIQUES STATISTIQUES DES DONNÉES 187
ANNEXE C. RÉSULTATS DES TESTS D'HYPOTHÈSES DE STATIONNARITÉ D'INDÉPENDANCE ... 211
ANNEXE D. DESCRIPTION DE LA METHODOLOGIE ET DONNEES PHYSIOGRAPHIQUES ET METEOROLOGIQUES OBTENUES POUR LES BASSINS VERSANT CONSIDERES PAR LES MODELES D'ESTIMATION REGIONALE 219
Annexe D.1. Méthodologie employée pour calculer les caractéristiques physiographiques et météorologiques des bassins versants 219
Annexe D.2. Caractéristiques physiographiques et climatiques des bassins versants 223
ANNEXE E. CLASSIFICATION DES CARACTÉRISTIQUES DU SOL, DE LA VÉGÉTATION ET CLASSES DE DRAINAGE 227
Annexe E.1. Classification américaine 227
Annexe E.2. Classes de végétation provenant de la carte pédo-paysage du Canada 228
Annexe E.3. Classes de drainage provenant de la carte pédo-paysage du Canada 230
ANNEXE F. VÉRIFICATION DE L'HYPOTHÈSE DE NORMALITÉ 233

ANNEXE G. REGIONS HYDROLOGIQUEMENT HOMOGENES DETERMINEES PAR L'APPLICATION DE LA TECHNIQUE DE CLASSIFICATION ASCENDANTE HIERARCHIQUE 237

ANNEXE H. ESTIMATION LOCALE ET REGIONALE AVEC LE BIAIS RELATIF (BR) EN POURCENTAGE (%) ASSOCIE A CHAQUE STATION DANS LA PROCEDURE DE VALIDATION CROISEE DE JACKKNIFE POUR LES MODELES D'ESTIMATION REGIONALE. 243

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1. Lois de probabilité considérées dans l'étude 18

Tableau 3.1. Études de régression régionale qui utilisent les paramètres du bassin versant pour estimer les indicateurs d'étiage 44

Tableau 4.1. Stations rejetées à 1% par les tests de Kendall et/ou de Wald-Wolfowitz pour Q_7. 69

Tableau 4.2. Stations rejetées à 1% par les tests de Kendall et de Wald-Wolfowitz pour Q_{30}..... 70

Tableau 4.3. Résultats des tests d'homogénéité de Wilcoxon et de Levene pour Q_7. 70

Tableau 4.4. Résultats des tests d'homogénéité de Wilcoxon et de Levene pour Q_{30}. 71

Tableau 4.5. Formules de probabilité empiriques. 76

Tableau 4.6. Pourcentage d'apparition des lois de probabilité ajustées pour la période Q_7. 80

Tableau 4.7. Pourcentage d'apparition des lois de probabilité ajustées pour la période Q_{30}. 81

Tableau 4.8. Distribution de l'aire (km^2) des bassins versants pour la loi Weibull à deux paramètres (W2) 84

Tableau 5.1. Stations n'ayant pas passé les tests de stationnarité et/ou d'indépendance 87

Tableau 5.2. Stations éliminées 87

Tableau 5.3. Stations problématiques éliminées 88

Tableau 5.4. Nombre de stations disponibles selon la période et la durée 91

Tableau 5.5. Variables physiographiques et météorologiques considérées 91

Tableau 5.6. Numéro de courbe moyen selon les caractéristiques du bassin 93

Tableau 5.7. Variable et nombre de stations météorologiques utilisées 94

Tableau 5.8. Statistiques descriptives des variables physiographiques et météorologiques 95

Tableau 5.9. Transformation à appliquer dans le but de normaliser les variables 96

Tableau 5.10. Corrélation des différents quantiles avec la variable BV 96

Tableau 5.11. Corrélations entre les variables physiographiques et météorologiques 97

Tableau 5.12. Corrélations entre les variables physiographiques et météorologiques et les quantiles spécifiques pour les périodes annuelle, estivale et hivernale 98

Tableau 5.13. Variables explicatives sélectionnées pour la régionalisation d'étiages selon la période d'étude. 99

Tableau 5.14. BRM et EQRM pour les estimations des quantiles d'intérêt par l'ACC-RM 102

Tableau 5.15. Fréquence de surestimation et de sous-estimation de quantiles d'étiages pour le modèle ACC-RM avec plusieurs variables explicatives 104

Tableau 5.16. BRM et EQRM pour les estimations des quantiles d'intérêt par la CAH-RM 113

Tableau 5.17. Fréquence de surestimation et de sous-estimation de quantiles d'étiages pour le modèle CAH-RM avec plusieurs variables explicatives 115

Tableau 5.18. Valeurs optimales de la distance standardisée que maximise la performance du modèle ROI-RM avec plusieurs variables explicatives pour l'estimation de quantiles d'étiages $Q_{5,30}$, $Q_{2,7}$ et $Q_{10,7}$ 125

Tableau 5.19. Fréquence de surestimation et de sous-estimation de quantiles d'étiages pour le modèle ROI-RM avec plusieurs variables explicatives 125

Tableau 5.20. BRM et EQRM pour les estimations des quantiles d'intérêt par la ROI-RM 126

Tableau 5.21. Fréquence du même signe de biais relatif (BR) entre les méthodes ROI-RM et ACC-RM, ainsi que le pourcentage indiquant le nombre de stations avec le même signe. 126

Tableau 5.22. BRM et EQRM pour l'estimation de quantiles d'intérêt par la RIS 146

Tableau 5.23. Fréquence de surestimation et de sous-estimation de quantiles d'étiages pour le modèle RIS avec plusieurs variables explicatives 146

Tableau 5.24. Tableau comparatif de BRM et EQRM en % pour les estimations des quantiles d'intérêt par les modèles CAH-RM, RIS, ACC-RM et ROI-RM..... 146

Tableau 5.25. Exemple d'application de l'algorithme de partitionnement objectif..... 155

Tableau 5.26. Valeurs de la statistique D du test de discordance pour les stations du tableau 5.25 156

Tableau 5.27. Valeurs de la statistique H du test d'homogénéité pour les régions du tableau 5.26 156

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1. Carte d'occupation du sol des provinces canadiennes de Québec et de Terre-neuve-et-Labrador (Cihlar et Beaubien, 1998). 3

Figure 4.1. Répartition des stations étudiées en classes de superficie (km^2). 59

Figure 4.2. Distribution géographique des stations hydrométriques au Québec habité en fonction de la superficie du bassin versant (grandeur des cercles) et le nombre d'années de débits journaliers observées (couleur des cercles). 60

Figure 4.3. Comparaison de la fréquence d'apparition des lois de probabilité ajustées pour la période Q_7. 80

Figure 4.4. Comparaison de la fréquence d'apparition des lois de probabilité ajustées pour la période Q_{30}. 81

Figure 4.5. Distribution géographique des lois de probabilité ajustées aux débits d'étiage Q_7 pour les périodes : a) estivale, b) hivernale et c) annuelle. 82

Figure 4.6. Distribution géographique des lois de probabilité ajustées aux débits d'étiage Q_{30} pour les périodes : a) estivale, b) hivernale et c) annuelle. 83

Figure 5.1. Quantiles locaux en fonction de la superficie du bassin versant : a) $Q_{10,7}$ estivale, b) $Q_{10,7}$ hivernal, c) $Q_{10,7}$ annuel, d) $Q_{5,30}$ estival, e) $Q_{5,30}$ hivernal et f) $Q_{5,30}$ annuel 90

Figure 5.2. Biais relatif en % de l'ACC-RM pour les étiages estivaux en fonction de la superficie : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7 105

Figure 5.3. Biais relatif en % de l'ACC-RM pour les étiages hivernaux en fonction de la superficie : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7 106

Figure 5.4. Biais relatif en % de l'ACC-RM pour les étiages annuels en fonction de la superficie : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7 107

Figure 5.5. Graphique de dispersion des valeurs des quantiles estivaux estimées par le modèle ACC-RM vs l'analyse fréquentielle locale (AFL) : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$ 108

Figure 5.6. Graphique de dispersion des valeurs des quantiles hivernaux estimées par le modèle ACC-RM vs l'analyse fréquentielle locale (AFL) : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$ 109

Figure 5.7. Graphique de dispersion des valeurs des quantiles annuels estimées par le modèle ACC-RM vs l'analyse fréquentielle locale (AFL) : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$ 110

Figure 5.8. Exemple d'un dendrogramme pour déterminer les stations avec des caractéristiques physiologiques / météorologiques semblables. Le dendrogramme correspond aux étiages annuels avec une durée de 7 jours. 114

Figure 5.9. Biais relatif en % de CAH-RM pour les étiages estivaux en fonction de la superficie : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7 116

Figure 5.10. Biais relatif en % de CAH-RM pour les étiages hivernaux en fonction de la superficie : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7 117

Figure 5.11. Biais relatif en % de CAH-RM pour les étiages annuels en fonction de la superficie : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7 118

Figure 5.12. Graphique de dispersion des valeurs des quantiles estivaux estimées par le modèle CAH-RM vs l'analyse fréquentielle locale (AFL) : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$ 119

Figure 5.13. Graphique de dispersion des valeurs des quantiles hivernaux estimées par le modèle CAH-RM vs l'analyse fréquentielle locale (AFL) : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$ 120

Figure 5.14. Graphique de dispersion des valeurs des quantiles annuels estimées par le modèle CAH-RM vs l'analyse fréquentielle locale (AFL) : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$ 121

Figure 5.15. Distribution géographique du signe de biais relatif (BR) des méthodes ROI-RM et ACC-RM. On trouve en rouge les stations avec le même signe et en blanc, les stations avec le signe contraire. 125

Figure 5.16. BRM et EQRM en % de l'estimation de quantiles avec la ROI-RM pour les étiages estivaux en fonction de la distance standardisée entre les variables physiographiques / météorologiques : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7....127

Figure 5.17. BRM et EQRM en % de l'estimation de quantiles avec la ROI-RM pour les étiages hivernaux en fonction de la distance standardisée entre les variables physiographiques / météorologiques : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7....128

Figure 5.18. BRM et EQRM en % de l'estimation de quantiles avec la ROI-RM pour les étiages annuels en fonction de la distance standardisée entre les variables physiographiques / météorologiques : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7....129

Figure 5.19. Biais relatif en % de la ROI-RM pour les étiages estivaux en fonction de la superficie : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7.....130

Figure 5.20. Biais relatif en % de la ROI-RM pour les étiages hivernaux en fonction de la superficie : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7.....131

Figure 5.21 : Biais relatif en % de la ROI-RM pour les étiages annuels en fonction de la superficie : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7.....132

Figure 5.22. Graphique de dispersion des valeurs des quantiles estivaux estimées par le modèle ROI-RM vs l'analyse fréquentielle locale (AFL) : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$ 133

Figure 5.23. Graphique de dispersion des valeurs des quantiles hivernaux estimées par le modèle ROI-RM vs l'analyse fréquentielle locale (AFL) : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$ 134

Figure 5.24. Graphique de dispersion des valeurs des quantiles annuels estimées par le modèle ROI-RM vs l'analyse fréquentielle locale (AFL) : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$ 135

Figure 5.25. Déformation de la figure géométrique d'un cercle dû au type de projection : a) lat-lon et b) conique.....137

Figure 5.26. Localisation géographique des stations hydrométriques 137

Figure 5.27. Carte régionale pour les étiages spécifiques estivaux : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10, d=7 139

Figure 5.28. Carte régionale pour les étiages spécifiques hivernaux : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10, d=7 140

Figure 5.29. Carte régionale pour les étiages spécifiques annuels : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10, d=7 141

Figure 5.30. Exemple de l'application de la méthode de Jackknife 143

Figure 5.31. Biais relatif en % de RIS pour les étiages estivaux en fonction de la superficie : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7 147

Figure 5.32. Biais relatif en % de RIS pour les étiages hivernaux en fonction de la superficie : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7 148

Figure 5.33. Biais relatif en % de RIS pour les étiages annuels en fonction de la superficie : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7 149

Figure 5.34. Graphique de dispersion des valeurs des quantiles estivaux estimées par le modèle RIS-RM vs l'analyse fréquentielle locale (AFL) : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$ 150

Figure 5.35. Graphique de dispersion des valeurs des quantiles hivernaux estimées par le modèle RIS-RM vs l'analyse fréquentielle locale (AFL) : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$ 151

Figure 5.36. Graphique de dispersion des valeurs des quantiles annuels estimées par le modèle RIS-RM vs l'analyse fréquentielle locale (AFL) : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$ 152

1 INTRODUCTION

L'exploitation progressive de la ressource en eau nécessite une connaissance approfondie des caractéristiques des débits d'étiage (amplitude, durée et fréquence), ainsi que des spécificités géographiques et climatiques de la région. Ainsi nous commençons avec une brève description de l'hydrologie et de la géographie de la province du Québec, Canada (Atlas du Canada, 2006).

Le Québec est une province de l'est du Canada, bordée à l'ouest par la province de l'Ontario et la baie d'Hudson, au nord par le détroit d'Hudson et la baie d'Ungava, à l'est par les provinces de Terre-Neuve-et-Labrador et du Nouveau-Brunswick et au sud par les États-Unis (états du Maine, du New Hampshire, du Vermont et de New York).

La province s'étend sur une superficie d'environ 1 542 000 km², dont environ 80% de la population vit près des rives du fleuve Saint-Laurent. Plus de 90% de la superficie du Québec fait partie du bouclier canadien.

Il se subdivise en trois grandes régions géologiques :

i. le plateau laurentien, qui occupe près de 95 % de la superficie du Québec et fait partie du bouclier canadien; c'est l'une des plus anciennes formations géologiques au monde. Sa frontière sud est constituée par la chaîne de montagnes des Laurentides,

ii. les basses terres du Saint-Laurent, une plaine formée par les terres qui bordent les deux rives du fleuve, et

iii. les Appalaches, une chaîne de montagnes aux sommets arrondis et boisés. Le versant sud des Appalaches jouxte les États-Unis.

Pour fins d'études hydrologiques, le Québec est divisé en 9 régions. Les limites de ces régions sont les versants suivants :

1. le golfe du Saint-Laurent au sud du rocher Percé et celui de la baie des Chaleurs,

2. le golfe du Saint-Laurent au nord du rocher Percé et celui du sud du fleuve Saint-Laurent jusqu'à la Godefroy inclusivement,

3. le sud du fleuve Saint-Laurent à l'ouest de la Godefroy,

4. la rivière des Outaouais, des Mille-îles et des Prairies et du lac des Deux- Montagnes; le versant nord du lac Saint-François et les îles de Montréal, Jésus et Perrot,

5. le nord du Saint-Laurent, de la rivière l'Assomption jusqu'au Saguenay,

6. le bassin de drainage du lac Saint-Jean-Saguenay,

7. le nord du fleuve Saint-Laurent à l'est du Saguenay et le versant nord du golfe du Saint-Laurent,

8. la baie de Hannah et la baie de Rupert,

9. les baies de James, d'Hudson et d'Ungava.

Le comportement de ruissellement de bassins peut être expliqué par leurs composantes physiographiques et climatologiques.

Caractéristiques physiographiques

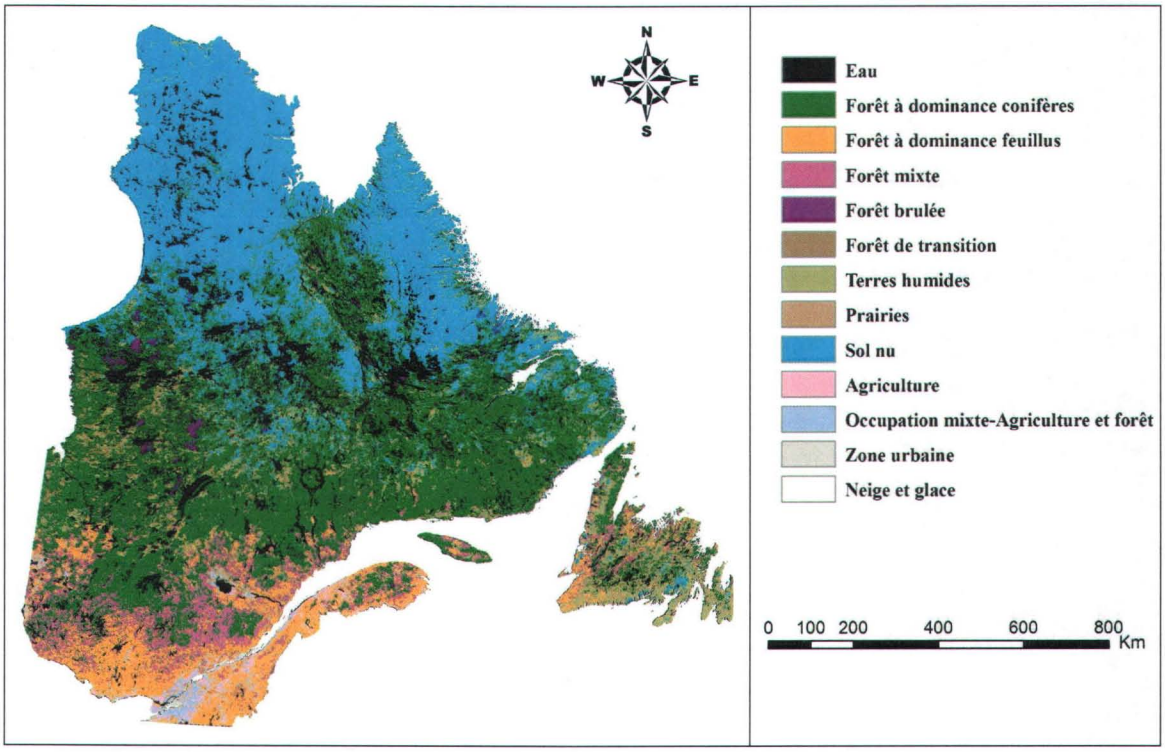
Les bassins du Québec sont caractérisés par un relief peu accidenté. La configuration et la densité du réseau hydrographique (lacs et cours d'eau) sont fortement dépendantes du relief, de la géologie et des dépôts de surface. Au nord du fleuve Saint-Laurent, le lit des rivières du Québec repose sur le Bouclier canadien. Les roches intrusives (de la période archéenne) forment la majorité du sous-sol (Atlas du Canada, 2006).

Le réseau hydrographique est identifié par une forte densité où les ramifications possèdent de nombreux lacs dans une proportion de 20% de la superficie totale. Les bassins côtiers sont relativement grands et de forme allongée sur les Appalaches.

La forêt boréale de conifères se trouve dans le sud de la région de la baie James et s'étend jusqu'à la forêt de transition avec la toundra. On observe la limite de cette dernière par la

présence des épinettes rabougries dispersées. Les images satellitaires synoptiques permettent d'obtenir la distribution de la végétation couvrant tout le Québec. La figure 1.1 présente la végétation actuelle du Québec selon la classification proposée par Beaubien et al., 1997. La carte est construite à l'aide du satellite météorologique NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration), dont le niveau de résolution est de l'ordre d'un kilomètre carré (pixel de 1 km × 1 km). Cette figure de la couverture terrestre contient 13 catégories : 5 de forêts, 1 de terres humides, 2 de toundra/prairies, 3 de terres aménagées, incluant des terres agricoles, des mosaïques et des zones bâties, et 2 d'eau. Chaque type de couverture terrestre a sa propre signature spectrale. Sur la carte, chaque signature est identifiée par une couleur particulière. La légende des couleurs correspondant aux différents types de couverture.

Figure 1.1. Carte d'occupation du sol des provinces canadiennes de Québec et de Terre-neuve-et-Labrador (Cihlar et Beaubien, 1998).



Caractéristiques climatiques

Le climat est très important dans le cycle hydrologique. Il influence les précipitations, la température, la date des gelées, les vents, l'isolation, etc. Les précipitations diminuent graduellement avec la latitude. Les précipitations sous forme solide (neige) contribuent pour 25 à 30% des précipitations totales annuelles dans la région méridionale et de 35 à 45% dans la région septentrionale.

La température moyenne annuelle diminue aussi avec la latitude, dont la variation des extrêmes de température atteinte les 50°C entre les régions septentrionale et méridionale.

Toutes ces composantes hydrologiques, géographiques, géologiques et climatologiques contribuent à l'étude d'un type d'hydrologie singulière, que nous pouvons identifier comme l'hydrologie d'étiages. L'hydrologie d'une région se constitue à partir des séries d'observations et des phénomènes naturels, qui résultent en une combinaison complexe de causes dont les grandeurs mesurées en un point sont des variables aléatoires. Ainsi, le point de vue déterministe est insuffisant et doit nécessairement être complété par un point de vue probabiliste qui peut rendre compte de l'aspect aléatoire irréductible des phénomènes.

1.1 Problématique

Le débit d'une rivière en un point de son cours à un instant donné constitue une représentation de l'état du bassin versant en évolution aléatoire dans le temps. Cependant, un cours d'eau peut posséder une certaine mémoire dont le débit à un instant donné est lié en partie aux états antérieurs du bassin versant. Cette dépendance peut varier entre quelques jours ou semaines (crues) à quelques mois (étiages). Pour contourner cette difficulté on prend compte seulement des extrêmes, car la dépendance entre deux minima successifs est peu probable.

La compréhension de la fréquence et de la durée des débits d'étiage est critique pour la bonne gestion des ressources en eau. Les statistiques sur les débits d'étiage sont utiles spécialement dans un contexte où la conservation d'eau est un enjeu important, mais elles servent aussi à la gestion de la qualité de l'eau, à la conception et au pilotage des systèmes d'irrigation, à l'analyse de l'impact des sécheresses sur les écosystèmes aquatiques, ainsi qu'à la planification des

activités récréatives aquatiques. Cette importance peut être abordée selon l'activité de consommation.

Activité industrielle. La connaissance de la qualité de l'eau de surface est fondamentale pour maintenir une bonne gestion et des standards de qualité. Cependant, les ressources en eau peuvent être influencés par l'activité industrielle. Par exemple, la santé publique résulte affecté directement (ressources d'eau potable) ou indirectement (secteur de pêche ou agro-pastoral) par la localisation de : usines de traitement d'eaux usées, installations de pré-recyclage, sites de décharge d'ordures, et par la détermination des limites permises de décharge de polluants sur les rivières ou le sous-sol.

Exploitation de ressources naturelles. La biosphère d'une région est très sensible aux ressources en eau. L'inquiétude particulière des biologistes est de ne pas avoir suffisamment d'eau dans les rivières et les cours d'eau pour assurer une vie aquatique convenable; ce qui affecte directement la pêche.

Ressources en eau pour la consommation. Dans plusieurs villes du monde, la seule ressource d'eau potable provient de la nappe, laquelle aide entre autres à maintenir le niveau des rivières de la région. Malheureusement, quand la nappe est trop proche de la surface, la gestion de l'eau se fait sans aucune étude d'impact et il existe une extraction plus importante que les apports. Il en résulte une série d'impacts sur l'environnement et sur l'hydrologie de toute la région, et ce jusqu'à que les problèmes dans la ville apparaissent comme l'affaissement du sol ou l'écroulement des quartiers de la ville. D'autre part, les ouvrages consacrés au stockage de l'eau et aux systèmes connexes sont planifiés et dessinés en fonction des estimations des événements extrêmes, soit les crues ou les étiages. Pour les crues la préoccupation centrale est l'amplitude extrême des eaux, tandis que pour les étiages l'impact s'évalue en termes de durée, de sévérité et d'amplitude. Ceci constitue un problème beaucoup plus complexe, car une condition d'étiage prolongée peut mener à une sécheresse.

L'économie de la région. Les étiages hydrologiques peuvent d'une certaine façon avoir un impact économique, car une diminution de ressources hydriques affecte la société et la productivité de la région.

Le risque des étiages. La planification ou la conception d'ouvrages hydrauliques exposés aux débits extrêmes nécessite l'estimation du risque d'opération. Par exemple, les canaux dont l'alternance entre le remplissage pendant la saison des précipitations (liquides, solides, ou une mélange) et l'exposition au soleil ou à un environnement abrasif durant la saison sèche produit la dégradation et l'affaiblissement du béton. Ceci pose un problème à surveiller pendant toute la vie utile de l'ouvrage.

C'est ainsi qu'en 1980, l'ASCE (*American Society of Civil Engineers*) a établi le Comité Hydrologique des Eaux Superficielles pour déterminer l'information nécessaire dans l'évaluation des débits d'étiage, ainsi que pour décrire les méthodes d'analyse et d'échantillonnage disponibles. Cependant, il subsiste une ambiguïté dans la procédure de l'estimation statistique des débits d'étiage autant pour les sites jaugés que non-jaugés (Kroll et Vogel, 2002), et ce, bien que l'utilisation d'outils adéquats permettant d'estimer et de mieux comprendre les événements extrêmes soit fondamentale.

1.2 Objectifs

L'objectif principal de cette recherche est de développer une méthode d'estimation des étiages aux sites non-jaugés ou partiellement jaugés sur une base régionale qui combine les forces des différentes méthodes existantes.

Les objectifs plus spécifiques de cette recherche sont :

- de faire une analyse comparative des méthodes existantes,
- de développer une méthode pour l'estimation des débits d'étiage d'un point de vue régional et l'appliquer à la Province de Québec. L'idée est de voir comment l'information disponible en différents sites peut être intégrée dans le modèle que nous allons développer, afin de pouvoir l'utiliser sur des bassins pour lesquels peu ou pas d'information est disponible sur les débits.
- de produire des conclusions et des recommandations générales pour les études d'estimation régionale des débits d'étiage.

1.3 Plan de la thèse

Cette thèse est présentée en six chapitres. Le premier chapitre situe les débits d'étiage en tant que processus physique hydrologique, donne leur importance dans la gestion des ressources hydriques et identifie les objectifs de recherche. Dans le deuxième chapitre nous présentons la revue de littérature d'études reliées à l'estimation des débits d'étiage aux sites non-jaugés ou partiellement jaugés. Le troisième chapitre aborde la description mathématique de différentes méthodes et techniques de régionalisation des étiages, ainsi que l'évaluation de leur performance. Le quatrième chapitre présente les résultats des étapes de construction de la base de données et de l'analyse fréquentielle locale. Le cinquième chapitre présente l'application de l'analyse fréquentielle régionale, où nous explorons les deux nouvelles méthodes proposées : la région d'influence avec un algorithme d'optimisation et la régionalisation par interpolation spatiale avec un traitement non-linéaire. L'avant-dernier chapitre présente les conclusions et les perspectives de la recherche. Le dernier chapitre est consacré à la liste de références citées le long du document.

2 REVUE DE LITTÉRATURE

Cette revue de littérature comporte trois sections principales. La section 2.1 est reliée à la notion d'étiage. Nous présentons une définition, les caractéristiques et les facteurs que peuvent influencer les étiages. Ainsi, nous faisons bien la différence avec la sécheresse, car les termes étiage et sécheresse sont souvent confondus. La section 2.2 présente quelques notions de l'analyse fréquentielle ainsi qu'une série d'études développées à l'aide de cette analyse. La section 2.3 décrit l'analyse fréquentielle régionale. Nous faisons une classification des méthodes de régionalisation selon la formulation de chaque méthode.

2.1 Les étiages

On trouve souvent dans les articles reliés à la gestion des ressources en eau, un même traitement des phénomènes d'étiage et de sécheresse. Il est important au départ d'établir les différences entre les deux termes. Smakhtin (2001) définit l'étiage (low-flow) comme un phénomène saisonnier et une composante intégrale du régime d'écoulement de toutes les rivières. Dracup et al. (1980) définissent une sécheresse (drought) comme un évènement naturel résultant d'une diminution de la variable d'intérêt pour une longue période de temps. Ainsi, on peut définir la sécheresse en fonction de la variable choisie qui peut être la précipitation (sécheresse météorologique), l'écoulement (sécheresse hydrologique) ou l'humidité du sol (sécheresse agricole). La sécheresse hydrologique est caractérisée par la réduction du stockage des lacs, du niveau des eaux superficielles ou des eaux souterraines, et par la diminution des débits. La sécheresse est un phénomène plus général qui peut être relié à plusieurs facteurs et non seulement au plus bas niveau d'un cours d'eau ou d'un lac. Elle inclut les périodes d'étiage, mais une saison continue d'événements d'étiage ne constitue pas nécessairement une sécheresse. La durée et la quantité de précipitation sont la principale cause des étiages (Chang et Boyer, 1977; Clausen et Pearson, 1995; et Lacey et Grayson, 1998).

Brutseart et Neiber (1977) définissent un étiage comme une sécheresse de l'écoulement résultant du drainage des aquifères souterrains dans le bassin versant. Cet écoulement est le débit qu'un bassin versant peut maintenir en l'absence de précipitations et de barrages artificiels. Ils en ont fait l'étude dans six bassins versants de la région de lacs Finger.

En hydrologie, l'étiage est caractérisé par l'amplitude, la durée, la variabilité des débits, le taux d'épuisement de l'écoulement fluvial et la contribution relative des étiages à l'hydrogramme total d'écoulement. L'écoulement d'une rivière est le résultat de la transformation d'une entrée météorologique et d'une sortie hydrologique à travers d'un système de stockage (Piechota et al., 1997). Ainsi, les débits d'étiage sont le résultat d'une combinaison du déficit de l'entrée d'eau effective (précipitation) et des caractéristiques de stockage du bassin versant (Lawal, 1994).

L'étiage dans les rivières peut être aussi induit par la baisse du niveau des lacs avec lesquels elles ont une connexion hydraulique directe. Dans les régions ayant des saisons climatiques fortement contrastées, on trouve plusieurs étiages par an (typiquement un étiage estival et un hivernal). En effet, l'étiage peut être causé par des processus physiques différents. Dans la saison froide ou dans les régions montagneuses, en plus des paramètres typiques des bassins versants, les étiages sont influencés par la fonte de neige et de glace. Les facteurs naturels qui influencent les divers aspects du régime de débit d'étiage d'une rivière sont nombreux (e.g. Lacey et Grayson, 1998; Farvolden, 1963). On peut citer :

- les caractéristiques de la distribution et de l'infiltration des sols,
- les caractéristiques hydrauliques et le niveau des aquifères,
- le taux, la fréquence et la quantité de recharge,
- les taux d'évapotranspiration du bassin,
- la distribution des types de végétation,
- la topographie,
- les conditions géologiques, hydrogéologiques et de sol,

- les conditions climatiques,
- l'aire du bassin,
- les conditions de végétation,
- les conditions anthropogéniques,
- les sources secondaires du débit, par exemple lacs, marais, glaciers, neige éternelle, etc.

La recharge des eaux souterraines est influencée par les processus de surface comme la précipitation et l'évaporation, la précipitation contribuant à augmenter les réserves tandis que l'évaporation les réduit. La capacité d'alimentation est fonction de la capacité d'infiltration du sol et des roches, de l'épaisseur et la texture des nappes aquifères, et la couverture de végétation. La végétation contribue à la réduction des réserves souterraines à cause de l'absorption d'eau par leur système de racines.

Les débits d'étiage dépendent des processus initiaux et des propriétés de stockage et de débit du bassin versant (Lawal et al., 1997). L'infiltration de l'eau d'entrée (précipitations ou fonte) est contrôlée par le type de couverture du sol, l'humidité initiale, la perméabilité et la topographie (Bras, 1990). La capacité d'infiltration de la surface affecte ainsi la quantité d'eau qui peut être déplacée à travers le sous-sol pour le stockage.

Le débit d'écoulement d'une rivière est le résultat de plusieurs processus naturels qui se déroulent à l'échelle d'un bassin versant. D'une manière conceptuelle, une rivière peut être vue comme un système composé d'une série des réservoirs reliés entre eux, chacun ayant des composantes de recharge, de stockage et de débit. La recharge du système est très dépendante de la précipitation, alors que le stockage et le débit sont fonction des caractéristiques physiographiques du bassin versant. Pendant la saison sèche, ces processus affectent la disponibilité de l'eau de stockage et ainsi que le débit.

Le régime de débit d'étiage d'une rivière peut être analysé par différentes méthodes, selon le type de données disponibles et le type de résultat recherché. Il existe de ce fait une grande variété de mesures et d'indicateurs de débit d'étiage. Le terme mesure d'étiage fait référence aux différentes

méthodes qui ont été développées pour analyser, souvent sous forme graphique, le régime de faible débit d'une rivière. Le terme « indicateur d'étiage » est employé principalement pour définir les valeurs particulières obtenues à partir de n'importe quelle mesure d'étiage. Les indicateurs d'étiage sont représentés avec le couple débit-durée qui caractérise le processus des débits (amplitude et sévérité). Dans cette représentation un des termes est fixé et l'autre varie dans le temps. Les étiages n'ont aucune amplitude ou structure dans le temps définie. Alors, l'intervalle du temps de l'occurrence des étiages est variable. La définition de période de retour est la valeur moyenne de l'intervalle du temps entre deux événements d'étiage. Alors, l'indicateur de débits d'étiage est exprimé de la forme $Q_{d,T}$, où d est le nombre de jours consécutifs associés aux étiages et T la période de retour.

La durée des débits d'étiage est évaluée selon l'impact sur le système d'intérêt. Par exemple, l'effet sur la vie sauvage est appréciable dans l'échelle du temps de plusieurs jours ou même de semaines (Loganathan et al., 1985; Loganathan et al., 1986). La durée établie dans les études des étiages est de 1, 3, 7, 10, 15, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 183, 273 et 284 jours (Smakhtin, 2001). Dans le cas de la vie sauvage, l'indicateur de sept jours est choisi et les séries chronologiques annuelles de minima sont extraites à partir des séries des débits originales. L'occurrence des étiages est normalement attendue pendant l'été, l'automne ou l'hiver. Les estimateurs des débits d'étiage les plus largement utilisés en Amérique du Nord sont $Q_{7,10}$, et $Q_{7,2}$, qui correspond au minimum annuel sur 7 jours consécutifs ayant une période de retour de 10 et 2 ans, respectivement (Smakhtin, 2001).

Les enregistrements observés des débits sont normalement insuffisants pour produire une quantification fiable de l'occurrence des débits d'étiage. Ainsi, le comportement des débits extrêmes peut être estimé à l'aide de l'analyse fréquentielle.

2.2 Analyse Fréquentielle Locale

Quand on dispose suffisamment de données au site d'intérêt, il est possible d'extraire les indicateurs d'étiage par analyse fréquentielle locale. L'objectif principal de l'analyse fréquentielle en hydrologie est de relier l'amplitude des événements extrêmes à leur fréquence d'occurrence au moyen de distributions de probabilité. On s'intéresse généralement à l'ensemble

des valeurs extrêmes annuelles ou saisonnières, telles que les crues (maximum du débit moyen quotidien par année ou par saison) et les étiages. Pour les étiages, la durée de la valeur extrême (par année ou par saison) est normalement prise sur une période de plusieurs jours. Il est important d'utiliser des périodes plus longues si l'on souhaite observer les impacts des faibles débits sur des phénomènes observables seulement après plusieurs jours, tel que l'effet sur les poissons (Loganathan et al., 1985; Loganathan et al., 1986) ou sur la gestion des eaux usées déversées dans les eaux superficielles (Ries et Friesz, 2000).

Dans la plupart des études, on utilise différents types de fonctions de distribution théoriques pour extrapoler au-delà des limites imposées par l'intervalle des observations et améliorer l'exactitude de l'estimation des débits d'étiage. La vraie distribution de probabilité est inconnue en pratique et le problème réside donc dans l'identification d'une fonction de distribution raisonnable et dans l'ajustement de ses paramètres. La procédure consiste tout d'abord en l'ajustement de plusieurs fonctions de distribution théoriques aux données d'étiages observés. Ensuite, il faut procéder au choix de la distribution s'ajustant le mieux aux données à l'aide de tests statistiques et de graphiques.

Par la suite, nous présentons une série d'études sur l'ajustement des lois de probabilité aux séries temporelles d'étiage avec le but de réaliser l'analyse fréquentielle locale. Nous pouvons ainsi connaître le type de lois de probabilité et la méthode d'ajustement de leurs paramètres.

Matalas (1963) a ajusté les séries des débits minima annuels de 34 cours d'eau aux États-Unis et a fait une comparaison des quatre distributions à trois paramètres utilisées : la loi Weibull (W3), la loi Pearson type 3 (P3), la loi Pearson type 5 (P5) et la loi log normale à trois paramètres (LN3), ayant une limite inférieure distincte de zéro. Il a estimé les paramètres des lois par la méthode de moments. Pour trouver les lois les plus performantes, il a appliqué deux critères : la borne inférieure estimée doit être positive et plus petite que la limite observée et la relation entre les coefficients d'asymétrie et d'aplatissement doit reproduire celle des observations. Grâce à ces critères, il a conclut que les lois W3 et P3 s'appliquent mieux aux données de débits minima puis, grâce à l'analyse graphique, que les performances des deux lois ont été comparables.

Tasker (1987) a utilisé la méthode connue sous le nom de *bootstrap* (rééchantillonnage dans les distributions empiriques observées) pour estimer le Q_7 pour des périodes de retour de 10 et 20 ans pour un ensemble de 20 stations en Virginie. Les résultats montrent que les méthodes basées sur des distributions analytiques telle que la loi log-Pearson type 3 (LP3) ou Weibull à trois paramètres (W3), donnent une erreur quadratique moyenne plus petite que les méthodes basées sur une distribution empirique.

Vogel et Kroll (1989) ont appliqué la méthode du coefficient de corrélation de probabilité empirique (*probability-plot corelation-coefficient*) pour estimer les paramètres des lois de probabilité log normale à 2 et 3 paramètres (LN2 et LN3), des lois Weibull à 2 et 3 paramètres (W2 et W3), et de la loi log-Pearson type 3 (LP3). Les lois ont été ajustées aux séries de minima annuels Q_7 pour 23 stations du Massachusetts. Ils concluent que la loi LN2 est celle qui s'applique le mieux aux minima annuels.

Pilon (1990) utilise la méthode d'indicateur d'étiage pour estimer le Q_7 des périodes de retour de 2, 12, 48 et 100 ans en Ontario. Dans son étude il suppose que la loi Weibull à 3 paramètres (W3) s'applique à la distribution régionale, les paramètres étant ajustés par la méthode de maximum de vraisemblance.

Vogel et Kroll (1990) ont utilisé la régression de moindres carrés généralisés pour développer des équations de régression régionale généralisées pour estimer les faibles débits de d jours (d=3, 7, 14 et 30) consécutifs avec une période de retour de T années pour des sites non-jaugés au Massachusetts. Ils considèrent la loi log-normale à 2 paramètres (LN2) pour ajuster les séries de minima d'un ensemble de 23 stations.

Adamowski (1996) propose une méthode non-paramétrique pour ajuster deux types de séries de données de débits minima : observations pour 15 stations en provenance de Terre-neuve et des données synthétiques. Il compare la performance de son modèle avec l'ajustement de deux lois de probabilité, la loi log-Pearson type 3 (LP3) et la loi Weibull (W3). Les paramètres des lois sont estimés par la méthode des moments pondérés. Il montre que la méthode non-paramétrique est la mieux ajustée pour les deux types de séries de données.

Durrans (1996) propose une méthode de modélisation conditionnelle pour l'analyse des débits minima. Il utilise la loi Weibull pour ajuster seulement les débits plus petits qu'un certain seuil. Ainsi, il montre la bonne performance de la méthode en estimant les quantiles des débits Q_7 de période de retour 10 ans pour 48 stations en Alabama.

Durrans et Tomic (1996) utilisent la loi log-Pearson type 3 (LP3) pour ajuster les débits minima de 128 stations en Alabama. Ils utilisent la méthode des moments pour estimer les paramètres de la loi LP3 et concluent que la loi LP3 modélise correctement les débits minima annuels de l'Alabama.

Guo et al. (1996) proposent un modèle non-paramétrique pour estimer les quantiles des débits minima. Ils utilisent des données synthétiques et observées d'une station du Nil. Ainsi, ils comparent leur modèle avec l'ajustement donné par la loi Weibull. L'estimation des paramètres est faite par la méthode des moments, du maximum de vraisemblance et des moments pondérés. Dans leurs résultats, ils obtiennent une performance semblable pour les deux méthodes d'estimation des quantiles.

Lawal et Watt (1996a) utilisent la loi Weibull à 3 paramètres (W3) pour ajuster les séries de débits minima annuels d'un ensemble de 60 stations réparties à travers le Canada. Dans leurs résultats, ils trouvent que pour les petits échantillons, les estimations sont incorrectes. Ces erreurs sont reliées à problèmes d'estimation de la borne inférieure.

Dans la même année Lawal et Watt (1996b) proposent l'utilisation de lois de probabilité à deux paramètres pour l'étude de petites séries de débits minima. Dans leur étude, ils utilisent le critère d'information d'Akaike (AIC) pour comparer l'adéquation de la loi Weibull à 3 paramètres (W3) avec trois autres distributions à deux paramètres : Weibull à deux paramètres (W2), Gumbel (GUM ou EV1) et log-normale à deux paramètres (LN2). Ces lois ont été appliquées à des séries de débits minima pour 51 stations situées au Canada. Ils concluent que les lois à deux paramètres sont privilégiées par le critère d'AIC dans 75% des cas. Pour le 25% de stations restantes, la loi W3 est choisie. Cependant, ils observent graphiquement que la loi LN2 peut s'ajuster aussi bien pour ce 25% des stations.

Kroll et Vogel (2002) ont réalisé une analyse fréquentielle des débits minima Q_d (d=1, 7 et 30 jours) annuels pour un ensemble de 1505 stations réparties à travers les États-Unis. Les séries contenant des minima Q_d annuels égaux à zéro sont appelées intermittentes. Ils utilisent les diagrammes de L-moments et une statistique de distance pondérée pour comparer la performance de quatre lois de probabilité à deux paramètres : log normale à deux paramètres (LN2), Gamma (GAM), Weibull à 2 paramètres (W2) et Pareto généralisée à deux paramètres (PG2) ; en plus de 5 lois à trois paramètres : log normale à trois paramètres (LN3), valeurs extrêmes généralisée (GEV), Pearson type 3 (P3), Weibull à 3 paramètres (W3) et Pareto (PAR3). Ils concluent que la loi Pearson type 3 (P3) et la loi log normale à trois paramètres (LN3) sont les meilleures lois pour décrire les statistiques des faibles débits aux États-Unis pour les sites intermittents et non-intermittents, respectivement.

Zaidman et al. (2003) font l'ajustement de quatre distributions de probabilité pour décrire les caractéristiques des débits minima annuels de 25 stations en Angleterre. Les séries de débits minima Q_d (d=1, 7, 30, 60, 90 et 365 jours) annuels sont utilisées pour construire les courbes de fréquences des débits d'étiage. Ils ont déterminé la probabilité au non dépassement avec la formule de probabilité empirique de Gringorten (1963). Les quatre lois de probabilité retenues sont : la loi des valeurs extrêmes généralisée (GEV), la loi logistique généralisée (GL), la loi Pearson type 3 (P3) et la loi généralisée de Pareto (PG). Ils concluent que pour les périodes de 1, 7, 30 et 60 jours, les lois GL et GEV sont les mieux ajustées aux séries. Alors que pour les périodes de 90 et 365 jours, les meilleurs ajustements sont obtenus avec les lois P3 et GEV.

Au Québec, Hoang et Tremblay (1976) ont effectué une étude des faibles débits pour la saison estivale sur les rivières du Québec méridional. Dans leur étude, ils ont utilisé la loi log-Pearson type 3 (LP3) et ont estimé ses paramètres par la méthode du maximum de vraisemblance. Ils concluent que la loi LP3 s'applique bien aux minima annuels des débits journaliers pour un ensemble de 64 stations.

Anctil et al. (2000) ont réalisé l'analyse régionale des étiages Q_7 à partir du débit observé de 119 stations au Québec. Dans leur étude, ils ont ajusté trois lois à trois paramètres : la loi de valeurs extrêmes généralisée (GEV), la loi log-normale à 3 paramètres (LN3) et la loi Pearson type 3 (P3). Les paramètres des lois ont été estimés par la méthode des moments.

Hamza et al. (2001) proposent une méthodologie d'analyse régionale des débits d'étiage basée sur la combinaison de deux procédures : la méthode d'invariance d'échelle simple des séries régionales de débits d'étiage, et l'analyse de fréquence des débits minima avec l'approche par modèles de queue conditionnels. Pour l'analyse fréquentielle, ils ajustent la loi log-normale à 2 paramètres (LN2) et la loi de Weibull (W2) pour les données plus petites ou égales à un certain seuil de censure. Ils appliquent cette méthodologie pour l'analyse des caractéristiques des débits d'étiage de 187 stations se situant au Québec. Les résultats montrent que les moments non centrés d'ordre un à six suivent l'invariance d'échelle simple par rapport à la superficie du bassin versant.

Le tableau 2.1 résume les lois statistiques utilisées dans les travaux reliés à l'analyse de fréquence des faibles débits. Incidemment, ce tableau illustre les lois considérées pour ajuster les données des débits minima dans cette étude.

Tableau 2.1. Lois de probabilité considérées dans l'étude.

Lois	Domaine *D*	Fonction de densité de probabilité *f*(*x*)	Fonction de répartition F(X)	Méthode d'estimation
Gamma (G) (Kendall et Stuart, 1963)	$x > 0$	$f(x) = \frac{\alpha^{\lambda}}{\Gamma(\lambda)} x^{\lambda-1} e^{-\alpha x}$	Fonction non explicite	MV, MM
Pearson type 3 (P3) (Bobée, 1973)	$x > m$	$f(x) = \frac{\alpha^{\lambda}}{\Gamma(\lambda)} (x-m)^{\lambda-1} e^{-\alpha(x-m)}$	Fonction non explicite	MV, MM
log-Pearson type 3 (LP3) (Bobée et Ashkar, 1991)	$x > e^{m}$	$f(x) = \frac{\alpha^{\lambda}}{x\Gamma(\lambda)} (\ln x - m)^{\lambda-1} e^{-\alpha(\ln x - m)}$	Fonction non explicite	SAM, MM, WRC
Valeurs Extrêmes Généralisée (GEV) (Jenkinson, 1955)	$x > u + \alpha/k$, si $k < 0$ $x < u + \alpha/k$, si $k > 0$	$f(x) = \frac{1}{\alpha}\left[1 - \frac{k}{\alpha}(x-u)\right]^{\frac{1}{k}-1} \exp\left\{-\left[1 - \frac{k}{\alpha}(x-u)\right]^{1/k}\right\}$	$F(x) = \exp\left\{-\left[1 - \frac{k}{\alpha}(x-u)\right]^{\frac{1}{k}}\right\}$	MV, MM, MMP
Pareto Généralisée (PG) (Hosking et Wallis, 1987)	$x>u$, si $k<0$ $u<x<u+\alpha/k$, si $k>0$	$f(x) = \frac{1}{\alpha}\left[1 - \frac{k}{\alpha}(x-u)\right]^{\frac{1}{k}-1}$	$F(x) = 1 - \left[1 - \frac{k}{\alpha}(x-u)\right]^{\frac{1}{k}}$	MM, MMP
Gumbel (GUM ou EV1) (Gumbel, 1958)	$-\infty < x < +\infty$	$f(x) = \frac{1}{\alpha}\exp\left[-\frac{x-u}{\alpha} - \exp\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)\right]$	$F(x) = \exp\left\{\left[-\exp\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)\right]\right\}$	MV, MM, MMP
Weibull (W2) (Hosking, 1986)	$x > 0$	$f(x) = \frac{c}{\alpha}\left(\frac{x}{\alpha}\right)^{c-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^{c}\right]$	$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^{c}\right]$	MV, MM
Log-Normale à 2 paramètres (LN2) (Chow, 1954)	$x > 0$	$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]$	Fonction non explicite	MV
Log-Normale à 3 paramètres (LN3) (Burges et al., 1975)	$x > m$	$f(x) = \frac{1}{(x-m)\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{[\ln(x-m) - \mu]^2}{2\sigma^2}\right]$	Fonction non explicite	MV, MM

MV : méthode du maximum de vraisemblance

MM : méthode des moments

MMP : méthode des moments pondérés

SAM : Sundray average method (Bobée et Ashkar, 1991)

WRC : méthode des moments appliquée sur le log des observations (USWRC, 1967)

2.3 Analyse Régionale

Pour utiliser l'analyse fréquentielle, il est nécessaire de disposer d'une banque de données de mesures de débit. Malheureusement, il est impossible d'avoir une station pour toutes les sections de rivière dans un territoire. On doit de ce fait utiliser une autre méthode pour traiter les bassins versants non-jaugés ou partiellement jaugés. Les méthodes utilisées pour l'estimation d'étiages dans des bassins versants non-jaugés ou partiellement jaugés peuvent être classifiées comme :

- méthodes graphiques à l'aide de la construction de courbes de prédiction régionale,
- techniques d'interpolation spatiale,
- méthodes qui permettrent l'estimation des caractéristiques d'étiage à partir des séries temporelles de débits synthétiques, et
- méthodes mathématiques. Ces méthodes sont utilisées pour faire la prédiction des indices spécifiques d'étiage ou la mesure d'étiages composés en utilisant des techniques de régionalisation hydrologique.

Cependant, cette classification reste relativement arbitraire car il y a des techniques qui relèvent de plusieurs catégories.

2.3.1 Courbes de prédiction régionale

Cette approche permet d'estimer une gamme des indicateurs d'étiage. La courbe de débits d'étiage classés relie une valeur de débit avec le pourcentage du temps où ce débit est égalé ou excédé, autrement dit c'est une relation entre l'intensité et la fréquence des débits.

Pour comparer les courbes de différents bassins versants, les débits sont normalisés par l'aire du bassin versant, le débit moyen ou médian ou tout autre indicateur de débit. Ainsi, une courbe pour un site non-jaugé peut être construite en multipliant les ordonnées d'une courbe régionale par l'aire du bassin versant ou par l'estimation de l'indicateur du débit d'étiage selon la façon dont les débits pour la courbe régionale ont été normalisés. Cette technique a été appliquée dans plusieurs pays, comme aux États-Unis (Singh, 1971; Dingman, 1978), aux Philippines (Quimpo et al., 1983) et en Grèce (Mimikou et Kaemaki, 1985).

2.3.2 Interpolation spatiale

La cartographie régionale des débits est basée sur la supposition de l'existence d'un champ de débits et de sa relation avec la répartition régionale géographique des facteurs naturels. Des cartes de débit sont construites sur la base des caractéristiques de l'écoulement estimées à partir des données mesurées. Alors, il est nécessaire d'avoir un réseau dense de mesures pour que les évaluations dérivées des cartes soient fiables. La taille des bassins versants utilisés pour tracer devrait idéalement refléter le type zonal de régime de débit. En conséquence, les très petites rivières (dont le régime d'écoulement est normalement un résultat des facteurs locaux de petite échelle) et les très grandes rivières (traversant plusieurs zones géographiques) ne doivent pas être choisies pour tracer des caractéristiques de débit. Le choix des bassins de captation supérieurs et inférieurs à un seuil pour les cartes régionales est souvent plutôt arbitraire et peut différer selon l'environnement physiographique (Ries, 1999).

Dans l'approche de construction des cartes de découpe de débit (Vandewiele et Elias, 1995), on assume qu'une caractéristique de débit estimée à n'importe quel endroit jaugé dans une région est représentative pour la captation entière au-dessus de la mesure. Ainsi, les valeurs calculées de débit sont assignées au centre de gravité de la surface des bassins versants jaugés. Des lignes de découpe du débit peuvent être construites manuellement ou par des systèmes informatiques automatisés.

Une manière alternative de faire la cartographie du débit est de tracer les unités spatiales avec des valeurs constantes ou des intervalles de caractéristiques des débits d'étiage (Smakhtin et al., 1998).

La fiabilité des évaluations de débits obtenues à partir des cartes dépend d'un certain nombre de facteurs: la densité du réseau jaugé, la qualité des données de débit utilisées, la variabilité des caractéristiques de débits dans le temps et dans l'espace, l'échelle de la carte, l'intervalle de découpe, etc. Ceci dit, les cartes des caractéristiques de débits donnent une manière facile d'estimer les débits sur des sites non-jaugés, indiquent la quantité de ressources d'eau disponibles dans une région, et peuvent être un outil de planification des ressources en eau (e.g. Arnell, 1995).

2.3.3 Estimation des débits d'étiage à partir des séries temporelles de débits synthétiques

L'approche alternative à l'évaluation de débits d'étiage sur des sites non-jaugés est d'utiliser une méthode de simulation des séries de temps pour produire une série chronologiques des données de débit et calculer un ensemble des indicateurs des débits d'étiage de la série simulée. Deux types de simulation peuvent être utilisées : stochastique et déterministe. La simulation stochastique produit une série chronologique réaliste avec les propriétés statistiques mais ne prévoit pas de simuler les ordres réels de l'écoulement à un emplacement (Kelman, 1980). L'approche déterministe implique normalement un modèle de précipitation-ruissellement d'écoulement qui convertit les données réelles de précipitations d'une captation en une série chronologique continue d'écoulement. Les difficultés avec la méthode de simulation de précipitation-ruissellement sont associées à la fiabilité ou à la représentativité du modèle utilisé et de la capacité de l'utilisateur de mesurer d'une manière satisfaisante les valeurs du paramètre pour le bassin de l'étude. Khan (1989) décrit la technique pour évaluer la performance des modèles précipitation-ruissellement.

2.3.4 Méthodes mathématiques

Parmi les méthodes les plus utilisées pour l'estimation des débits d'étiage pour des bassins versants non-jaugés ou partiellement jaugés, on trouve les méthodes mathématiques. Ces méthodes sont utilisées pour faire la prédiction des indices spécifiques d'étiage ou la mesure d'étiages composés en utilisant des techniques de régionalisation hydrologique.

Les méthodes de régionalisation ont été d'abord développées pour l'analyse des crues, pour laquelle la problématique statistique est similaire à celle des étiages. La régionalisation est la méthode qui consiste à transférer les résultats de l'analyse fréquentielle des sites jaugés vers les sites non-jaugés ou partiellement jaugés. Avec cette méthode, on utilise plus d'informations que celles contenues dans une seule série de mesures à un site jaugé; ce qui permet d'améliorer la précision dans l'estimation des quantiles (Lettenmaier et Potter, 1985; Lettenmaier et al., 1987; Hosking et Wallis, 1988; Potter et Lettenmaier, 1990). De plus, on obtient une procédure d'estimation statistique physiquement significative (Nathan et McMahon, 1990; Smakhtin, 2001).

On peut faire la distinction entre deux types d'analyse régionale (Durrans et Tomic, 1996) :

1. Dans le premier type d'analyse régionale le but consiste à faire l'estimation de certaines caractéristiques des débits comme les indicateurs d'étiage pour les sites non-jaugés.
2. Le second type de régionalisation a pour but d'améliorer les estimations aux sites jaugés à l'aide des informations provenant d'autres sites jaugés.

Les principales étapes des différentes méthodes d'analyse régionale sont les suivantes (e.g. Hosking et Wallis, 1997; Durrans et Tomic, 1996; GREHYS, 1996a) :

1. identification des régions hydrologiquement homogènes : où le regroupement des stations ayant un comportement hydrologique semblable est fait; et
2. estimation régionale : transfert de l'information des sites jaugés d'une région à un site non-jaugé ou partiellement jaugé.

En fonction des méthodes couplées pour déterminer les régions homogènes et les techniques d'estimation régionale, différentes méthodologies d'estimation régionale sont obtenues.

2.3.4.1 Identification des régions hydrologiquement homogènes

La régionalisation des caractéristiques des bassins versants est basée sur la supposition que les bassins avec une climatologie, une géologie, une topographie, une végétation et le type de sol semblables ont une réponse hydrologique semblable. L'identification de régions peut être faite en imposant des frontières selon les considérations géographiques, physiographiques, météorologiques ou administratives. L'homogénéité des régions obtenues peut varier selon l'approche utilisée. Ceci est le point le plus délicat, car une bonne approche pour définir les régions homogènes nous permet d'améliorer la performance des modèles d'estimation régionale.

L'identification de régions homogènes a été premièrement faite sur une base géographique. Matalas et al. (1975) ont divisé les États-unis en 16 régions géographiques pour étudier la variation de l'asymétrie régionale, connu comme l'effet de séparation. Cependant, l'homogénéité hydrologique ne peut pas être assurée par la proximité géographique. Par exemple, deux rivières adjacentes peuvent avoir différentes topographies, type de sol, etc. Alors, une région homogène peut être entendue comme un ensemble de sites avec une réponse hydrologique semblable.

Les régions homogènes peuvent être définies selon les cas d'étude, en se basant sur des considérations non géographiques. Schaefer (1990) calcule la moyenne annuelle de précipitation de 315 stations avec séries journalières de précipitation pour diviser l'état de Washington. Wiltshire (1985), propose une méthode de regroupement des bassins selon une valeur critique des caractéristiques des bassins, soit la superficie des bassins versants, la précipitation et le type du sol. À l'aide de la superficie d'un bassin versant il classe en stations petites et grandes, la moyenne annuelle de précipitation pour les stations sèches et humides, et le type du sol pour les stations perméables et imperméables. Dans chaque variable, il teste plusieurs valeurs et utilise un test statistique jusqu'à qu'il trouve la valeur optimale de la statistique. Alors, il utilise le test statistique d'hétérogénéité de la méthode de L-moments.

Une autre technique utilisée en hydrologie est l'analyse multivariée. Nathan et McMahon (1990) font une comparaison entre méthodes d'identification des régions homogènes avec 184 stations en Australie. Ils comparent la classification ascendante hiérarchique (selon un critère de similarité entre stations), la régression multiple, l'analyse en composantes principales (le plus grand pourcentage de la variance est expliqué par le même axe factoriel) et une répresentation graphique multidimensionnelle.

Burn (1990a) propose la notion de région hydrologiquement homogène, nommée région d'influence (ROI). Dans cette approche, les régions n'ont pas de frontières car chaque site possède son propre voisinage. Les voisinages sont formés des stations qui partagent des caractéristiques physiographiques, et/ou météorologiques ou hydrologiques semblables. Une distance euclidienne pondérée est utilisée pour mesurer la similarité des stations.

La même année, Cavadias (1990) propose la méthode d'analyse canonique de corrélations (ACC) qui permet d'identifier les sites dont le régime hydrologique est similaire au site cible. L'ACC est un outil d'analyse statistique multivariée qui permet de décrire la relation de dépendance existante entre deux ensembles de variables aléatoires. L'ACC permet de déterminer les paires de combinaisons linéaires de chaque ensemble de variables connues comme variables canoniques. Ces variables sont telles que la corrélation entre les variables canoniques d'une paire est maximisée, mais la corrélation entre les variables de paires différentes est nulle. De ce fait, un ensemble de variables canoniques pour les deux ensembles de variables aléatoires associées à des

coefficients de corrélation canonique est obtenu. Ainsi, il est possible d'inférer sur les variables canoniques d'un ensemble connaissant les variables canoniques de l'autre ensemble. Pour déterminer les voisinages hydrologiques, une distance entre deux variables canoniques est calculée.

La définition des régions homogènes par les caractéristiques physiographiques et/ou météorologiques est une façon de mesurer la proximité dans un espace multidimensionnel dont les axes définissent les propriétés physiographiques/météorologiques et hydrologiques des sites. Ces régions sont connues comme voisinages car elles ne sont pas basées sur la notion de proximité géographique. La capacité de définir des régions le plus homogènes possible permet d'augmenter la performance du modèle d'estimation.

2.3.4.2 Estimation régionale

L'estimation régionale fait référence au transfert d'information des sites jaugés à un site non-jaugé ou partiellement jaugé, et ce, à l'intérieur d'une même région homogène. Ce transfert est fait à l'aide de relations entre les débits et les caractéristiques des bassins versants.

La plupart des modèles d'estimation régionale des débits d'étiage sont des modèles de régression entre les caractéristiques dépendantes des étiages et les variables climatiques et du bassin versant indépendantes. Pour établir une relation de régression utile, il est nécessaire de disposer des données de débits, dont la variabilité de régimes est représentative de la région. Ce qui permet l'estimation des caractéristiques du débit qui forment les variables dépendantes. De même, les données de débit doivent avoir des caractéristiques d'écoulement naturel. Par exemple, les rivières avec des changements anthropogéniques peuvent influencer ou changer les régimes analysés.

Les caractéristiques climatiques et du bassin (variables indépendantes) les plus reliées avec les étiages sont : la superficie, la moyenne annuelle des précipitations, le pente du bassin, le pourcentage de superficie de lac, le pourcentage de superficie de forêt, les indices du type de sol et géologiques, la longueur de la branche principale du cours d'eau, la forme du bassin versant, le périmètre du bassin versant et l'élévation moyenne du bassin versant (Smakhtin, 2001). D'autres caractéristiques ont été considérées, mais leur choix est spécifique à chaque d'étude. Clausen et

Pearson (1995) utilisent les index hydrogéologiques adimensionnels, comme la capacité d'infiltration, l'index de drainage du sol, la macroporosité et l'index de végétation.

L'absence de précipitations peut amener à une situation d'étiage. En absence donc de cette variable, il est considéré que les étiages sont en relation avec les caractéristiques géologiques et le type de sol des bassins versants. De ce fait, la variable explicative considérée est un index géologique comme l'index de l'écoulement de base (BFI) ou de l'index du type du sol (Institute of Hydrology, 1980).

Nathan et McMahon (1992) font une comparaison entre les méthodes d'estimation régionale en Australie. Dans l'étude, ils utilisent différents modèles de régression pour un réseau de 184 stations et 21 variables explicatives. Les modèles de régression sont appliqués aux groupes de bassins pour l'index d'écoulement de base, la mi-période d'écoulement, la courbe de durée de l'écoulement et les courbes de fréquence des débits d'étiage.

La précision (qualité liée au degré de concordance entre les estimations, que leur valeur moyenne soit proche ou non de la valeur vraie; WMO, 1974) et l'exactitude (étroitesse de l'accord des valeurs estimées avec les valeurs vraies; WMO, 1974) des estimations faites avec les modèles de régression régionale sont très sensibles à la qualité et à la quantité des données, ainsi qu'à la disponibilité, la résolution spatiale disponible et la variabilité spatiale des caractéristiques physiographiques et météorologiques. Le chapitre suivant présente une description détaillée des méthodes de régionalisation des débits d'étiages, dont une analyse critique sera accordée pour chaque méthode.

3 SÉLECTION DE MÉTHODES À COMPARER ET À DÉVELOPPER AU QUÉBEC

Ce chapitre présente la formulation mathématique des méthodes de régionalisation des débits d'étiage. Il est divisé en trois sections. La section 3.1 est consacrée à la description des méthodes utilisées pour déterminer les régions qui regroupent les sites ayant un comportement hydrologique semblable; on peut ainsi constituer les régions homogènes par les méthodes de classification ascendante hiérarchique (3.1.1), des L-moments (section 3.1.2), l'analyse canonique de corrélations (section 3.1.3) ou les régions d'influence (section 3.1.4). La section 3.2 montre les techniques utilisées pour produire une estimation régionale sur de sites non-jaugés ou partiellement jaugés. Certaines de ces techniques peuvent être couplées avec les méthodes de détermination des régions homogènes. La section 3.3 donne les techniques de rééchantillonnage, nécessaires pour évaluer et comparer la robustesse des modèles d'estimation régionale.

3.1 Méthodes de détermination des régions homogènes

Le but principal de la détermination des régions homogènes est de regrouper les sites ayant un comportement hydrologique semblable. Cette homogénéité doit être présente dans les caractéristiques physiographiques, hydrologiques et météorologiques du bassin versant où se trouve le site. La détermination des régions homogènes est donc très importante, puisqu'elle aura d'énormes répercussions sur les phases subséquentes de la régionalisation. Des méthodes de détermination des régions hydrologiquement homogènes et d'estimation régionale seront comparées dans le but de déterminer la meilleure méthode à appliquer dans le cas de l'estimation des débits d'étiages. Tout d'abord, la classification ascendante hiérarchique sera présentée, puis suivront l'analyse des L-moments, l'analyse canonique des corrélations et la méthode des régions d'influence.

3.1.1 Classification ascendante hiérarchique

La classification ascendante hiérarchique (CAH; Lebart et al., 2000) est utilisée pour constituer des groupes d'individus similaires (classes) sur la base de leur description par un ensemble de variables quantitatives.

La CAH consiste à agréger progressivement les individus selon leur ressemblance, mesurée à l'aide d'un indice de similarité ou de dissimilarité. L'algorithme commence par rassembler les couples d'individus les plus ressemblants, puis à agréger progressivement les autres individus ou groupes d'individus en fonction de leur ressemblance, jusqu'à ce que la totalité des individus ne forme plus qu'un seul groupe. La CAH produit un dendrogramme (arbre binaire de classification), dont la racine correspond à la classe regroupant l'ensemble des individus. Ce dendrogramme représente une hiérarchie de partitions, l'axe vertical donnant l'échelle pour mesurer la distance ou dissimilarité entre deux individus regroupés. Une partition est obtenue par la coupure du dendrogramme à un certain niveau de ressemblance. La partition comporte alors de moins en moins de classes à mesure que la coupe s'effectue vers le haut du dendrogramme, puis inversement en tronquant vers la racine. À la limite, une coupure effectuée en dessous du premier nœud de l'arbre conduit à ce que chaque classe ne contienne qu'un seul individu et une coupure effectuée à la limite de l'axe vertical du dendrogramme conduit à une seule classe contenant tous les individus.

Il existe de nombreuses mesures de ressemblances (similarités ou dissimilarités), et plusieurs méthodes pour recalculer la ressemblance lorsque l'algorithme forme des groupes (critères d'agrégations). Cette comparaison des éléments à classifier peut se ramener à une distance. Les mesures de distances sont décrites par une *métrique*, $d(x,y)$, qui doit posséder les propriétés suivantes :

$$\begin{cases} d(x,y) \geq 0; d(x,x) = 0 \\ d(x,y) = d(y,x) \\ d(x,y) \leq d(x,z) + d(z,y) \\ x, y, z \in \Re^n \end{cases} \tag{3.1}$$

On appelle groupe un ensemble d'une ou plusieurs observations rassemblées par la méthode de classification. L'algorithme de base est le suivant :

i. a-t-on plus d'un groupe? Sinon, la procédure s'arrête à cette étape.

ii. calculer les « ressemblances » entre toutes les paires de groupes.

iii. fusionner les deux groupes montrant la plus grande ressemblance (similarité) ou la plus faible dissemblance (dissimilarité).

La méthode de classification hiérarchique comprend quelques variantes selon le choix du critère de ressemblance et la façon de mesurer les ressemblances entre un nouveau groupe fusionné et les autres inchangés. Les formules les plus couramment employées pour les distances sont : l'euclidienne, la khi^2, de Manhattan, de Mahalanobis, de Bhattacharya, de Chebychev, de Canberra, de la corde, le carré de la distance de la corde et la géodésique.

3.1.2 Méthode des L-moments

Les L-moments sont obtenus historiquement à partir des modifications aux moments pondérés de probabilité de Greenwood et al. (1979). Ils sont analogues aux moments ordinaires (mesures de position, de dispersion, d'asymétrie, d'aplatissement, et d'autres aspects de la forme des distributions de probabilité), à la différence qu'ils sont calculés à partir des combinaisons linéaires des statistiques d'ordre de données (c'est la raison du préfixe L).

Les L-moments présentent les avantages suivants par rapport aux moments ordinaires (Hosking, 1990) :

1. Les propriétés d'existence et d'unicité. Si la moyenne de la distribution est finie, alors tous les L-moments existent et sont uniques.

2. Pour que l'erreur des L-moments soit finie, il suffit seulement que la variance de la distribution soit finie.

3. Bien que les rapports de moments puissent être arbitrairement grands, les rapports des moments de l'échantillon ont des limites algébriques (Dalen, 1987). Les rapports entre les L-moments de l'échantillon peuvent prendre toutes les valeurs observées dans la population.

Les L-moments peuvent être estimés à partir d'un échantillon. L'estimation est basée sur les moments pondérés d'un échantillon de taille n dont les données sont classées en ordre croissant $x_{1:n} \le x_{2:n} \le \cdots \le x_{n:n}$. Un estimateur non-biaisé des moments pondérés d'ordre r est donné par (Landwehr et al., 1979) :

$$b_r = n^{-1}\binom{n-1}{r}^{-1}\sum_{j=r+1}^{n}\binom{j-1}{r}x_{j:n} = n^{-1}\sum_{j=r+1}^{n}\frac{(j-1)(j-2)\cdots(j-r)}{(n-1)(n-2)\cdots(n-r)}x_{j:n} \tag{3.2}$$

Ainsi, les quatre premiers estimateurs des moments pondérés de l'échantillon sont :

$$b_0 = n^{-1}\sum_{j=1}^{n}x_{j:n} \tag{3.3}$$

$$b_1 = n^{-1}\sum_{j=2}^{n}\frac{(j-1)}{(n-1)}x_{j:n} \tag{3.4}$$

$$b_2 = n^{-1}\sum_{j=3}^{n}\frac{(j-1)(j-2)}{(n-1)(n-2)}x_{j:n} \tag{3.5}$$

$$b_3 = n^{-1}\sum_{j=4}^{n}\frac{(j-1)(j-2)(j-3)}{(n-1)(n-2)(n-3)}x_{j:n}\,. \tag{3.6}$$

Les L-moments des échantillons sont définis comme :

$$\ell_{r+1} = \sum_{k=0}^{r}p^{*}_{r,k}b_k \tag{3.7}$$

$$\text{où } p^*_{r,k} = (-1)^{r-k}\binom{r}{k}\binom{r+k}{k} = \frac{(-1)^{r-k}(r+k)!}{(k!)^2(r-k)!} \tag{3.8}$$

Ainsi, les estimateurs des quatre premiers L-moments de l'échantillon sont :

$$\ell_1 = b_0 \tag{3.9}$$

$$\ell_2 = 2b_1 - b_0 \tag{3.10}$$

$$\ell_3 = 6b_2 - 6b_1 + b_0 \tag{3.11}$$

$$\ell_4 = 20b_3 - 30b_2 + 12b_1 - b_0 \tag{3.12}$$

De façon analogue aux moments ordinaires, on définit les rapports entre L-moments pour mesurer la forme de la distribution de manière indépendante à son échelle de mesure de la façon suivante :

$$\tau_r = \begin{cases} \ell_2 / \ell_1, & \text{Si } r = 2 \\ \ell_r / \ell_2, & \text{Si } r = 3,4,... \end{cases} \tag{3.13}$$

Le premier L-moment, ℓ_1, est simplement la valeur moyenne de la série. Le deuxième L-moment, ℓ_2, est une mesure de la dispersion des données par rapport à la moyenne. Les rapports, τ_r, entre les L-moments sont dénotés de la façon suivante :

$L-CV = \tau_2 = \ell_2 / \ell_1$, le coefficient de L-variation,

$L-CS = \tau_3 = \ell_3 / \ell_2$, le coefficient de L-asymétrie, et

$L-CK = \tau_4 = \ell_4 / \ell_2$, le coefficient de L-aplatissement.

Dans l'analyse fréquentielle régionale, la procédure des L-moments consiste en quatre étapes :

1. inspection des données;
2. identification des régions homogènes;
3. choix de la fonction de distribution;
4. estimation des paramètres de la fonction de distribution.

3.1.2.1 Inspection des données

Dans l'analyse fréquentielle, les séries de débits disponibles pour un site doivent être homogènes. C'est-à-dire que l'hypothèse que toutes les données proviennent de la même distribution statistique doit être satisfaite. L'inspection des données est donc utilisée pour vérifier l'hypothèse d'homogénéité des données.

Avec les L-moments, cette hypothèse est vérifiée à l'aide d'un test statistique proposé par Hosking et Wallis (1993). Dans ce test, on mesure la discordance entre les séries de débits des différents sites. Cette procédure est connue sous le nom de *test de discordance*.

De façon générale, le test de discordance fait une comparaison entre les rapports des L-moments de l'échantillon pour détecter les séries de débits dont les caractéristiques statistiques sont différentes par rapport aux autres séries d'un même groupe.

Géométriquement, le test correspond à la représentation dans l'espace en trois dimensions des rapports de L-moments, dont les coordonnées sont les coefficients de L-variation (*L-CV*), de L-asymétrie (*L-CS*) et de L-aplatissement (*L-CK*). L'identification des sites discordants est faite en identifiant les sites les plus éloignés du groupe. Le centre du nuage de points est la moyenne de chacun des coefficients.

Analytiquement, on forme avec les N sites du groupe la matrice de coefficients $\mathbf{u}_i = \left[\tau_2^i \quad \tau_3^i \quad \tau_4^i\right]^T$, où τ_2^i, τ_3^i et τ_4^i sont les valeurs des rapports de L-moments au site i, et T indique la fonction de transposition. La matrice moyenne est donnée par :

$$\bar{\boldsymbol{\mu}} = N^{-1}\sum_{i=1}^{N}\boldsymbol{\mu}_i \tag{3.14}$$

La matrice de covariance est donnée par :

$$\mathbf{S} = (N-1)^{-1}\sum_{i,j=1}^{N}(\boldsymbol{\mu}_i - \bar{\boldsymbol{\mu}})(\boldsymbol{\mu}_j - \bar{\boldsymbol{\mu}})^T \tag{3.15}$$

Ces deux matrices permettent de définir la mesure de discordance pour le site i comme étant :

$$\mathbf{D}_i = \frac{N}{3(N-1)}(\boldsymbol{\mu}_i - \bar{\boldsymbol{\mu}})^T \mathbf{S}^{-1}(\boldsymbol{\mu}_i - \bar{\boldsymbol{\mu}}). \tag{3.16}$$

Ainsi, le site i est discordant pour des valeurs de D_i plus grandes qu'une certaine valeur critique. Hosking et Wallis (1993) proposent les valeurs critiques pour différents nombres de sites dans une même région; cette valeur critique augmente jusqu'à 3,0 lorsque $N \geq 15$.

3.1.2.2 Identification des régions homogènes

Le test proposé par Hosking et Wallis (1993) pour mesurer le degré d'hétérogénéité est basé sur la similarité des L-coefficients. Ce test fait l'hypothèse que tous les sites appartenant à une région homogène ont les mêmes rapports des L-moments. Dans le test, on utilise la distribution kappa à quatre paramètres. Cette distribution comprend comme cas particuliers les distributions de Pareto généralisée (PG), de valeurs extrêmes généralisées (GEV) et la logistique généralisée (GLO).

Pour vérifier si une région est homogène, on considère une région composée de N sites, où n_i représente le nombre d'années d'observations pour le site i. Les moyennes régionales normalisées τ_2^R, τ_3^R et τ_4^R sont évaluées selon la formule suivante :

$$\tau_r^R = \frac{\sum_{i=1}^{N} n_i \tau_r^i}{\sum_{i=1}^{N} n_i} \tag{3.17}$$

Pour l'ordre 1, on définit $\tau_1^R = 1$. L'écart-type du coefficient de L-variation est donné par :

$$V = \left(\frac{\sum_{i=1}^{N} n_i \left(\tau_2^i - \tau_2^R \right)^2}{\sum_{i=1}^{N} n_i} \right)^{1/2} \tag{3.18}$$

Ensuite, on fait l'ajustement de la fonction kappa$(1, \tau_2^R, \tau_3^R, \tau_4^R)$ avec les rapports des L-moments régionaux moyens. On fait la simulation des N sites de la région homogène en ajustant cette distribution kappa. Pour chaque simulation, on calcule V ainsi que la moyenne, μ_v, et l'écart-type, σ_v. La mesure d'hétérogénéité se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$H = \frac{V - \mu_v}{\sigma_v} \tag{3.19}$$

Hosking et Wallis (1997), proposent que pour $H < 1$, la région est homogène. Si $1 \leq H < 2$, la région est potentiellement hétérogène. Si $H \geq 2$, la région est hétérogène.

3.1.3 Analyse canonique des corrélations

L'analyse canonique des corrélations est une méthode d'analyse statistique multivariée qui permet de décrire la relation de dépendance existant entre deux ensembles de variables aléatoires. Une description générale de cette méthode peut être trouvée dans Muirhead (1982) ou Ouarda et al. (2001). Cette approche consiste en la détermination de paires de combinaisons linéaires de chaque ensemble de variables. Ces combinaisons sont appelées *variables canoniques* et présentent la caractéristique que la corrélation entre chaque paire de variables canoniques est maximisée tandis que la corrélation entre les variables canoniques provenant de paires différentes est nulle.

Cette procédure permet d'obtenir un ensemble de variables canoniques pour les deux ensembles de variables aléatoires, lesquelles sont associées à différents coefficients de corrélation canonique. Ainsi, nous avons une transformation de l'espace physique dans l'espace canonique des variables et cela permet d'inférer sur les variables canoniques d'un ensemble connaissant les variables canoniques de l'autre ensemble. De même, on peut calculer une distance entre deux variables canoniques pour déterminer les voisinages hydrologiques. Par exemple, avec la

distance de Mahalanobis (1936), le voisinage d'un site est déterminé en identifiant les stations les plus rapprochées dans l'espace canonique des variables.

Analytiquement, la méthode d'analyse canonique des corrélations peut être décrite de la façon suivante. On considère p variables hydrologiques $Y' = (Y_1, \ldots, Y_p)$ et q variables caractérisant la physiographie et la météorologie $X' = (X_1, \ldots, X_q)$, respectivement, des bassins versants. Une fois que les vecteurs dans l'espace physique sont identifiés, on génère les vecteurs W pour les variables canoniques hydrologiques et V pour les variables physiographiques et météorologiques. Ces vecteurs sont donnés par les combinaisons linéaires suivantes :

$$\begin{aligned} W &= \alpha_1 X_1 + \ldots + \alpha_p X_p = \alpha X \\ V &= \beta_1 Y_1 + \ldots + \beta_p Y_p = \beta Y \end{aligned} \tag{3.20}$$

où α et β sont choisis de telle sorte que :

$$\begin{cases} \text{maximiser } Corr(W_i, V_i) = \lambda_i, & i = 1, \ldots, p \\ Corr(W_i, V_j) = 0, & i \neq j \\ Var(W_i) = Var(V_i), & i = 1, \ldots, p \end{cases} \tag{3.21}$$

Ainsi, on obtient la matrice diagonale Λ formée des coefficients de corrélation canoniques $(\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_p)$. On suppose que les vecteurs de variables canoniques W et V suivent une distribution multi-normale, ce qui fait en sorte que la distribution conditionnelle de W étant donnée, V est p-normale. De cette façon, des bassins avec un vecteur canonique physiographique commun V sont répartis autour de la position moyenne ΛV dans l'espace canonique hydrologique. La distance à cette position moyenne est représentée par une distance de Mahalanobis avec une distribution khi-deux à p degrés de liberté (Muirhead, 1982).

Pour un bassin non jaugé, la position moyenne est déterminée en utilisant une estimation de ΛV, par ΛV_0, où V_0 est le vecteur canonique physiographique – météorologique observé. Ainsi, le voisinage d'un bassin jaugé à un niveau de confiance $(1 - \alpha)$ est défini comme l'ensemble des bassins dont la position W dans l'espace canonique hydrologique vérifie la relation :

$$(W - W_0)'(I_p - \Lambda\Lambda')^{-1}(W - W_0) \leq \chi^2_{\alpha,p} \tag{3.22}$$

où I_p est la matrice identité d'ordre p. Pour un bassin non-jaugé, le voisinage à un niveau de confiance $(1 - \alpha)$ est défini par l'ensemble des bassins dont la position W dans l'espace canonique hydrologique vérifie la relation suivante:

$$(W - \Lambda V_0)'(I_p - \Lambda\Lambda')^{-1}(W - \Lambda V_0) \leq \chi^2_{\alpha,p} \tag{3.23}$$

Or, le choix d'un paramètre α optimal constitue le principal problème relié à l'application de cette méthode. D'ailleurs, une définition révisée d'un voisinage hydrologique homogène a été décrite par Girard et al. (2000) afin de contourner ce problème. En effet, cette méthode permet la détermination du voisinage en se basant sur une règle dérivée de la théorie de la classification, c'est-à-dire en reformulant la problème de détermination du voisinage comme en étant un d'assignation d'une observation W (score canonique) à la population multi-normale appropriée. En somme, la nouvelle approche permet de tenir compte de toute l'information disponible lors de la détermination des régions homogènes tout en palliant à la difficulté associée à l'assignation d'un α optimal.

C'est cette approche qui sera utilisée dans ce projet. Elle peut se résumer sous la forme mathématique suivante, où l'on assignera une observation W au voisinage du site cible (dont la position dans l'espace physiographique est donnée par V_0) si et seulement si (Girard et al., 2000):

$$(W - \Lambda V_0)'(I_p - \Lambda\Lambda')^{-1}(W - \Lambda V_0) \leq (W - 0)' I_p^{-1}(W - 0) + \ln\left(\frac{|I_p|}{|I_p - \Lambda\Lambda'|}\right)^2 \tag{3.24}$$

Géométriquement, l'analyse canonique de corrélations peut être interprétée comme la transformation de l'espace euclidien vers un espace canonique où les vecteurs base sont définis par les variables hydrologiques et les variables physiographiques / météorologiques. Dans cet espace canonique des attributs, les équations (3.22) et (3.23) définissent des hyper-ellipsoïdes qui peuvent être projetés sur un plan pour obtenir des ellipses. La matrice diagonale Λ donne l'orientation des ellipses et les cœfficients de corrélations canoniques, λ, et le niveau de confiance α leur taille.

La valeur du paramètre α peut varier entre [0,1], dont la valeur $\alpha = 0$ implique la considération de tout l'espace hydrologique et $\alpha = 1$ seulement un point de l'espace. Ainsi la valeur de α doit être telle que l'ellipse peut contenir le plus des sites similaires mais aussi éviter de considérer les sites ayant une faible similitude hydrologique. La valeur optimale de α est la valeur qui minimise la probabilité d'inclure des sites non désirables et qui maximise la probabilité d'inclure des sites avec des caractéristiques similaires.

Les cœfficients canoniques de corrélation, λ, ont une influence autant sur la taille de l'ellipse que sur le voisinage. Car cette corrélation peut être vue comme la distance entre deux sites dans l'espace canonique. Ainsi plus la corrélation canonique est grande, plus la distance entre les sites semblables et la dimension des axes de l'ellipse sont petites. Le cas limite de cœfficients canoniques corresponde à la considération de trop de variables explicatives pour le nombre de sites et alors il devient impossible de trouver deux sites similaires. Alors Hamza et al. (2001) proposent une proportion de 10 fois plus de stations jaugées que le nombre de variables météorologiques / physiographiques.

3.1.4 Régions d'influence

Cette méthode de détermination des régions homogènes a été proposée à la fin des années 80 (Acreman et Wiltshire,1987; Acreman, 1987). Quelques années après, Burn (1990a,b) a adapté la méthode pour la régionalisation des crues. De ce fait, il a désigné cette application spécifique à l'hydrologie par le terme « *région d'influence* (ROI) ». À notre connaissance, cette technique n'a jamais été utilisée pour la régionalisation des étiages. Ainsi nous avons fait l'adaptation à partir des définitions algébriques. Nous avons modifié les hypothèses de la technique pour pouvoir l'appliquer à l'étude des étiages. Dans un premier temps, on présente la formulation de la technique telle qu'énoncée par Burn (1990a). Dans un deuxième temps, de nouvelles hypothèses spécifiques pour l'étude des étiages sont présentées et justifiées.

Dans cette méthode, comme dans la méthode d'analyse canonique de corrélations, chaque site peut être considéré comme le centre d'une région formée de sites dont les caractéristiques de crue sont similaires. La méthode ROI peut être adaptée pour la régionalisation des étiages.

Burn (1990a) calcule une distance euclidienne entre le site étudié et les autres sites dans un espace multidimensionnel, dont les axes sont des caractéristiques hydrologiques, physiographiques et climatiques des bassins. Les caractéristiques ou variables sélectionnées forment l'ensemble des attributs du site étudié. La région d'influence du site cible est définie par l'ensemble des sites dont la distance au site cible est inférieure à une distance critique. Cette distance représente un compromis entre le nombre de stations dans le voisinage et son homogénéité hydrologique. Dans le cas de sites ciblés non-jaugés, les variables météorologiques et physiographiques sont utilisées comme substitut aux variables hydrologiques (Zrinji et Burn, 1994; GREHYS, 1996b).

La distance euclidienne D_{ij} entre les sites i et j est définie par :

$$D_{ij} = \left(\sum_{i=1}^{K} W_k \left(C_k^i - C_k^j \right) \right)^{1/2} \tag{3.25}$$

où K est le nombre d'attributs considérés pour la mesure de la distance, W_k est le poids appliqué à l'attribut k, C_{ki} est la valeur standardisée de la mesure de l'attribut k au site i, C_{kj} est la valeur standardisée de la mesure de l'attribut k au site j. La standardisation des attributs est nécessaire pour enlever les unités et éviter ainsi l'introduction de biais due aux différences d'échelle entre les attributs. Les attributs sont standardisés en divisant chaque valeur de l'attribut par leur écart-type calculé pour l'ensemble des stations. Les attributs peuvent être classés comme attributs basés sur des caractéristiques physiques (e.g. type du sol) et attributs basés sur de mesures statistiques (e.g. le coefficient de variation C_v des débits de crues ou le débit spécifique du bassin). La sélection des attributs peut être basée sur la connaissance intuitive ou objective des facteurs qui caractérisent les événements hydrologiques extrêmes. Les poids W_k permettent de tenir compte de l'importance relative des variables descriptives dans la réponse hydrologique du bassin.

Une fois faite la définition des attributs, on doit fixer la valeur de la distance limite ou un seuil pour limiter la quantité de stations à inclure dans la *ROI* pour un site. L'ensemble des stations dans la *ROI* pour le site j est définie comme :

$$ROI_j = \{k : D_{jk} \leq \theta_j\} \tag{3.26}$$

où θ_j est la distance limite ou le seuil pour le site j. La valeur de θ_j représente un compromis entre la quantité d'information (nombre des stations voisins) et l'homogénéité hydrologique des stations. Cependant, cette valeur de θ_j peut être aussi spécifique pour le site j, ainsi θ_j devient une fonction des conditions physiques sur le site j. Zrinji et Burn (1994) proposent un test d'homogénéité pour déterminer le nombre optimal de stations voisines dans la *ROI*. Ainsi la taille de la ROI est reliée au niveau de signification du test d'homogénéité.

Pour tenir compte de l'importance relative des stations voisines de la *ROI* au site j, Burn (1990a,b) propose la fonction de poids définie de la façon suivante :

$$WF_{jk} = 1 - \left(\frac{D_{jk}}{TLH}\right)^n \tag{3.27}$$

où WF_{jk} est le poids de la station k dans le voisinage de la station j, TLH est un paramètre qui représente la distance entre les stations et le seuil, n est une constante positive qui précise le taux de décroissance du poids avec la distance entre les stations j et k. Les poids WF_{jk} sont utilisés pour estimer les paramètres de la distribution régionale, et cette distribution régionale est utilisée pour l'estimation du débit extrême au site d'intérêt. Dans le cas d'un débit de crue Q avec une période de retour T (Q_T), Burn (1990b) suggère l'utilisation de la loi de valeurs extrêmes généralisée (*GEV*), avec l'estimation des paramètres par la méthode de moments pondérés (*PWM, probability weighted moments*).

Nous avons cependant trois inconvénients pour l'application des équations (3.25), (3.26) et (3.27) :

1. la définition des poids des attributs, W_k,
2. l'ordre d'amplitude entre les valeurs des attributs (variables physiographiques - météorologiques) est différent, et

3. les attributs ne sont pas adimensionnels.

Sans perdre de généralité on peut définir le poids du *k-ième* attribut comme l'inverse de sa variance :

$$W_k = Var_k^{-1} \tag{3.28}$$

On substitue la valeur du poids du *k-ième* attribut dans la équation (3.25)

$$D_{ij} = \left[\sum_{k=1}^{K} Var_k^{-1} \left(x_{ik} - x_{jk} \right)^2 \right]^{1/2} \tag{3.29}$$

on applique la définition de la variance et on développe

$$D_{ij} = \left[\sum_{k=1}^{K} \left(\frac{1}{\sigma_k^2} \right) \left(x_{ik} - x_{jk} \right)^2 \right]^{1/2} = \left[\sum_{k=1}^{K} \left(\frac{x_{ik} - x_{jk}}{\sigma_k} \right)^2 \right]^{1/2} \tag{3.30}$$

on ajoute un zéro (la valeur moyenne, μ_k, du *k-ième* attribut) dans le numérateur et on factorise

$$D_{ij} = \left[\sum_{k=1}^{K} \left(\frac{x_{ik} - \mu_k}{\sigma_k} - \frac{x_{jk} - \mu_k}{\sigma_k} \right)^2 \right]^{1/2} \tag{3.31}$$

on fait le changement de variable

$$y_{ik} = \frac{x_{ik} - \mu_k}{\sigma_k} \tag{3.32}$$

Ce changement de variable correspond à une transformation normale standardisée. Ainsi on obtient la distance euclidienne normale standardisée :

$$D_{ij} = \left[\sum_{k=1}^{K} \left(y_{ik} - y_{jk} \right)^2 \right]^{1/2} \tag{3.33}$$

Cette nouvelle définition de la distance enlève les trois inconvénients de la distance euclidienne :

1. le poids d'attributs est unitaire,

2. les attributs ont le même ordre d'amplitude, et

3. les attributs sont adimensionnels.

L'équation (3.33) sera alors la métrique utilisée pour calculer la proximité entre stations.

Dans la définition de la distance limite donnée par l'équation (3.26) nous observons que θ_j peut être traitée comme une valeur fixe ou comme une fonction des caractéristiques spécifiques de chaque station, en combinaison avec une fonction de poids qui assigne un poids faible aux stations les plus éloignées du site i dans l'espace d'attributs. La quantité des stations contenues dans la ROI_j doit être limitée aux stations les plus similaires possible au site d'intérêt j pour assurer une réponse optimale aux débits extrêmes.

3.2 Estimation régionale

3.2.1 Méthode de l'indice d'étiage

La méthode de l'indice de crue a été introduite par Dalrymple (1960). Cette méthode fait l'hypothèse que dans une région homogène, toutes les distributions locales normées par l'indicateur de tendance, l'indice de crue, sont similaires et permettent ainsi de définir une distribution régionale adimensionnelle (Pilon, 1990). Les principales étapes de la méthode telle qu'appliquée aux étiages sont les suivantes :

1. Standardisation des données. À chaque site i et pour chaque année t, les données d'étiage sont standardisées en les divisant par l'indice d'étiage.

$$X_i^t = \frac{Q_i^t}{\mu_i} \tag{3.34}$$

où Q_i^t est la valeur échantillonnée au site i, X_i^t est la valeur adimensionnalisée et μ_i est l'indice d'étiage. L'indice d'étiage correspond à la moyenne ou bien à la médiane des valeurs Q_i^t, échantillonnées par minimum annuel.

2. Calage des paramètres de la distribution régionale. La distribution « moyenne » standardisée de la région, $F_r(x)$, est alors déterminée en regroupant les données standardisées des différents sites, puis le quantile adimensionnel $X_r(T)$ de la distribution de X_r est estimé par :

$$\hat{X}(T) = F_r^{-1}\left(1 - 1/T; \hat{\boldsymbol{\theta}}\right) \tag{3.35}$$

où T est la période de retour, et $\hat{\boldsymbol{\theta}}$ est le vecteur des paramètres estimés de la distribution statistique.

3. Estimation des quantiles de la distribution régionale en un point non-jaugé. La moyenne $\overline{Q_S}$ au site cible S est estimée par régression sur les caractéristiques physiographiques/météorologiques des bassins, et le quantile désiré $Q_S(T)$ au site cible est obtenu en multipliant la moyenne estimée avec le quantile standardisé correspondant :

$$Q_S(T) = X(T) \cdot \overline{Q_S} \tag{3.36}$$

Cette méthode a été utilisée d'abord par le USGS dans les années quarante. Cependant, dans les années soixante Dawdy (1961) et Benson (1962) montrent que pour plusieurs régions des États-Unis, l'hypothèse d'un CV constant n'était pas valide puisque le CV tend à diminuer lorsque l'aire des bassins versants augmente. Cette hypothèse équivaut à supposer que les données aux différents sites d'une région homogène sur une base géographique sont indépendantes et suivent la même distribution statistique à un facteur d'échelle. Alors cette méthode a été remplacée jusqu'à la fin des années quatre-vingt par des méthodes de régression directe. Le développement des méthodes de détermination de régions homogènes où le CV est constant à l'échelle régionale a permis de réintroduire la méthode de l'indice d'étiage en hydrologie et même de faire de nouveaux développements (e.g. nouvelles distributions régionales, utilisation des moments

pondérés).

3.2.2 Méthode de l'indice de flux de base

Les eaux souterraines contribuent à l'alimentation des sources et des rivières. Durant les périodes sans apport d'eau par ruissellement, la contribution principale provient des eaux souterraines. En particulier, les rivières typiques des régions arides où les précipitations sont absentes durant une longue période de l'année (comme les régions méditerranéennes ou sahéliennes), mais aussi des régions nordiques où les précipitations liquides sont absentes durant l'hiver et où le gel hivernal limite considérablement la fonte de neige et des glaces (comme au Canada).

L'écoulement de base d'un cours d'eau est la composante de l'écoulement total résultant de son alimentation par les eaux souterraines (Mosley et McKerchar, 1993). Par rapport au ruissellement de surface, l'écoulement de base est différé du fait de l'effet régulateur des aquifères. Les systèmes souterrains stockent en effet temporairement de grands volumes d'eau.

Géométriquement, l'écoulement de base d'un cours d'eau peut être approché à travers l'utilisation d'un hydrogramme, correspondant à la courbe des débits en fonction du temps. La courbe d'un hydrogramme type, peut être décomposée en trois parties distinctes. La courbe de concentration correspond à la montée de la crue résultant des précipitations sur le bassin versant. La phase de décrue correspond à la décroissance de la courbe de façon dissymétrique par rapport à la montée de la crue. La pente de cette courbe diminue rapidement au fur et à mesure que cesse le ruissellement de surface. La dernière phase correspond à l'alimentation du cours d'eau uniquement par les eaux souterraines et décroît avec le tarissement des réserves souterraines. Cette courbe correspond à la période d'étiage du cours d'eau, quand les précipitations sont absentes ou trop faibles pour engendrer un ruissellement de surface.

Les étiages sont reliés aux caractéristiques géologiques et du sol du bassin (Institute of Hydrology, 1980; Task Committee of the Hydraulics Division, 1980). L'indice de flux de base (*base flux index*, *BFI*; Institute of Hydrology, 1980) traduit une partie de la géologie du bassin. L'indice de flux de base est défini comme :

$$BFI = \frac{V_A}{V_B} \tag{3.37}$$

où V_A est le volume de flux de base dans la période de données et V_B est le volume total de l'écoulement dans la période de données. La procédure pour calculer l'indice de flux de base est détaillée dans le rapport de recherche de Institute of Hydrology (1980).

3.2.3 Méthode de régression multiple

L'analyse de régression régionale utilise les données de débits d'un certain nombre de bassins versants et suppose que les différents bassins ont la même fonction de distribution statistique (Hosking et Wallis, 1998). Cette technique a été utilisée au Canada et aux États-unis (voir tableau 3.1). L'objectif de ces études est le développement de modèles de prédiction des débits d'étiage. Dans le tableau 3.1, on trouve les quantiles étudiées par les modèles ainsi qu'un indicateur de la qualité des ajustements, le coefficient de détermination, R^2. Cet indicateur nous montre la performance des modèles, laquelle varie selon l'aire de la région d'étude. Ainsi, il y a une meilleure corrélation quand les grandes aires d'étude sont divisées en domaines plus petits que lorsque le modèle est appliqué sur toute la région (Rifai et al., 2000).

Tableau 3.1. Études de régression régionale qui utilisent les paramètres du bassin versant pour estimer les indicateurs d'étiage

Référence	Année	Localisation	Indicateur	Prédicteur	R^2(%)	No. b.v.
Rifai et al.	2000	Texas	$Q_{7,2}$, $Q_{7,10}$	D, T, C	32	63
Dingman et Lawlor	1995	NH et Vermont	$Q_{7,10}$	D, G, C	93	47
Vogel et Kroll	1992	Massachusetts	$Q_{7,2}$, $Q_{7,10}$	D, T, G	93-97	23
Vogel et Kroll	1990	Massachusetts	$Q_{7,2}$	D, T	96	23
Chang et Boyer	1977	Virginia Ouest	$Q_{7,10}$	D, C	99	12

N/D : Non disponible
R^2 : Coefficient de détermination
σ : Écart-type
D : Paramètres de dimension
T : Paramètres topographiques
G : Paramètres géologiques
C : Paramètres climatiques

Vogel et Kroll (1990) ont effectué la régionalisation hydrologique en utilisant la régression des moindres carrés. Ils ont développé des équations de régression régionale généralisées pour

estimer les étiages de durée d jours et de période de retour T années. Chang et Boyer (1977) ont réalisé l'estimation d'étiages *7*-jours de période de retour *10* ans pour l'ouest de la Virginie à partir des paramètres climatiques (la température et les précipitations) et de ceux des bassins versants (périmètre du bassin, variabilité spatiale, longueur du cours d'eau principal, latitude et altitude).

Comme modèle de régression, ils ont proposé la fonction suivante (Vogel et Kroll, 1990, 1992; Thomas et Benson, 1970; et Wright, 1970) :

$$Q_{d,T} = a\varepsilon \prod X_i^{b_i} \tag{3.38}$$

où $Q_{d,T}$ est le quantile de débit d'étiage sur d jours consécutifs et de période de retour T années obtenu à partir des sites jaugés, X_i est une caractéristique de drainage mesurable du bassin versant, les b_i sont les coefficients du modèle et ε peut être vu comme étant une erreur multiplicative. Cette erreur peut aussi être supposée additive, et la fonction devient donc :

$$Q_{d,T} = a\prod X_i^{b_i} + \varepsilon \tag{3.39}$$

Les modèles de régression représentent la méthode d'estimation la plus utilisée autant pour les étiages que pour les crues (Vogel et Kroll, 1992). Dans le cas où l'erreur est multiplicative la fonction peut être linéarisée à l'aide d'une transformation logarithmique :

$$\ln Q_{d,T} = \ln a + \sum b_i \ln X_i + \kappa \tag{3.40}$$

où κ est l'erreur associé sous la transformation logarithmique. Cette transformation permet une relation approximativement linéaire entre l'écoulement et les caractéristiques du bassin versant (Thomas et Benson, 1970). Cependant, un inconvénient de la transformation logarithmique est que les observations les plus petites obtiennent un grand poids. L'estimation des paramètres obtenue est alors biaisée dans l'espace de débits, même si dans l'espace log-débit elle ne l'est pas (McCuen et Snyder, 1986).

Fetter (1994) montre que les résultats obtenus avec la régression régionale ont une plus grande précision lorsque la région est divisée en deux sous-régions ou plus et lorsque différents modèles de régression sont développés pour chaque sous-région.

Les caractéristiques des bassins versants (physiographiques, climatiques, etc.) sont utilisées comme prédicteurs dans les équations de régression pour estimer les caractéristiques statistiques des étiages (e.g. la moyenne, la médiane, les quantiles, etc.). Malgré le fait que le choix des variables physiographiques et météorologiques peut parfois sembler évident, on trouve des contradictions dans la littérature. Par exemple, Zecharias et Brutsaert (1988) affirment qu'un bassin versant situé dans une petite section d'une région physiographique aura, en général, les caractéristiques géomorphologiques similaires, alors que Farvolden (1963) affirme que dans une telle région les différences hydrologiques sont dues aux différences géomorphologiques (géologiques, topographiques, utilisation du sol et végétation). Vogel et Kroll (1992) indiquent que les débits d'étiage sont influencés par l'hydrogéologie des bassins versants. Zecharias et Brutsaert (1988) affirment qu'il est nécessaire d'introduire des simplifications pour réduire le nombre de paramètres prédictifs et ainsi obtenir des conclusions physiquement significatives, pour ensuite établir des relations applicables en pratique. Gregory et Walling (1973) mentionnent que le champ des observations et les considérations théoriques révèlent que ce ne sont pas tous les paramètres morphologiques qui sont reliés au processus hydrologique d'un bassin, et même pour les paramètres qui le sont, ils le sont parfois à un niveau différent d'importance en termes du contrôle qu'ils exercent sur le processus. Ainsi, Zecharias et Brutsaert (1988) concluent que pour décrire les caractéristiques physiques d'un bassin, seulement quelques paramètres sont utiles. Ainsi, il est préférable d'utiliser des variables qui peuvent être facilement obtenues et ayant une erreur minimale d'estimation.

Parmi les paramètres les plus utilisés dans les études, on retrouve les catégories suivantes :

- **Paramètres géométriques** : La géométrie des bassins est définie par des paramètres comme l'aire (A) de drainage, la longueur, la pente et le coefficient de forme (L^2/A). Rifai et al. (2000), utilisent la longueur, le pente et le coefficient de forme. Chang et Boyer (1977) utilisent aussi le périmètre du bassin.

- **Paramètres topographiques** : Parmi les paramètres topographiques utilisés comme indicateurs d'étiage, on trouve le relief du bassin (Vogel et Kroll, 1990 et 1992), défini comme la différence entre l'élévation du sommet du bassin et celle de la station de mesure. On retrouve aussi la pente du canal principal (Rifai et al., 2000) et la pente moyenne du bassin (Vogel et Kroll, 1990 et 1992).
- **Paramètres géologiques** : Les paramètres géologiques influencent les étiages, car les propriétés du sol sont déterminées par la composition des couches de sol (tourbe, roche, sable, gravier, argile, etc.). Dingman et Lawlor (1995) utilisent comme paramètre la fraction du bassin couverte par dépôts de sable et de gravier, tandis que Vogel et Kroll (1992) utilisent la constante de récession du débit de base, paramètre pouvant remplacer la porosité efficace du sol et la conductivité hydraulique du bassin.
- **Paramètres de couverture du sol** : La couverture du sol est une variable complexe qui affecte les taux d'interception, d'évaporation et de transpiration de l'eau. Celle-ci affecte le stockage d'eau d'un bassin.
- **Paramètres climatiques** : Parmi les variables climatiques, les plus utilisées sont la précipitation moyenne annuelle (Chang et Boyer, 1977) et le ruissellement annuel moyen. En plus de ces variables, on utilise aussi des indicateurs comme la température maximum atteinte pour une période de sept jours consécutifs avec une période de retour de 10 ans (Chang et Boyer, 1977). La précipitation de 24 heures-2 ans de chaque bassin (Rifai et al., 2000) fait aussi partie des indicateurs météorologiques utilisés.

Les paramètres des modèles de régression régionale sont normalement estimés par l'utilisation de moindres carrés ordinaires (MCO; Thomas et Benson, 1970). Cette estimation est faite en supposant que l'erreur résiduelle associée aux observations individuelles doit être indépendante et homoscédastiquement (variance constante) distribuée. Cependant, puisque la longueur des séries de données hydrologiques varie, cela fait en sorte que l'on obtient un modèle hétéroscédastique.

Tasker (1980) utilise la méthode des moindres carrés pondérés (MCP) pour l'estimation des paramètres des modèles de régression régionale dans le but de considérer l'hétérogénéité des variances. Stedinger et Tasker (1985) ainsi que Kroll et Stedinger (1998) développent la méthode

des moindres carrés généralisés (MCG) pour considérer la multicolinéarité et l'hétéroscédasticité. Stedinger et Tasker (1985, 1986) comparent les différentes méthodes d'estimation des paramètres du modèle (c'est-à-dire MCO, MCP et MCG). Ils concluent que les MCG donnent la meilleure estimation des paramètres des modèles statistiques hydrologiques en fonction des caractéristiques de drainage des bassins versants.

3.2.4 Méthode des L-moments

3.2.4.1 Choix de la fonction de distribution

L'analyse régionale a pour but d'ajuster une distribution statistique aux données provenant de toute la région homogène. Or, la distribution choisie doit permettre de faire l'estimation des quantiles des valeurs futures tels que les quantiles d'événements extrêmes. Lorsque plusieurs distributions s'ajustent bien aux données, le meilleur choix est la distribution la plus robuste, c'est-à-dire celle qui permet d'obtenir une bonne estimation des quantiles d'événements extrêmes même si les données proviennent en fait d'une distribution différente de celle retenue.

La qualité des ajustements est évaluée avec le test Z de Hosking et Wallis (1997). Dans ce test, on considère une région composée de N sites, où n_i représente le nombre d'années d'observations pour le site i. Les moyennes régionales normalisées τ_2^R, τ_3^R et τ_4^R sont évaluées. Un ensemble de distributions à trois paramètres est choisi et ajusté en fonction des paramètres régionaux $(1, \tau_2^R, \tau_3^R)$. Le rapport τ_4 est calculé pour chaque distribution, τ_4^{DIST}. La qualité de l'ajustement est alors mesurée par la statistique suivante :

$$Z^{DIST} = \frac{\left(\tau_4^{DIST} - \tau_4^R + B_4\right)}{\sigma_4} \tag{3.41}$$

où B_4 est le biais de τ_4^R et σ_4 son écart-type. Ces paramètres sont déterminés par la simulation d'une loi kappa$(1, \tau_2^R, \tau_3^R, \tau_4^R)$.

3.2.4.2 Estimation de la distribution de fréquences

Les paramètres de la distribution statistique sont estimés en égalisant les L-moments de la distribution de la population avec les L-moments de l'échantillon. Lorsqu'on utilise la technique des L-moments, on suppose que toutes les stations forment une région homogène, de même que les données sont indépendantes et identiquement distribuées. Ainsi, les rapports entre les L-moments calculés pour les données des différents sites peuvent être combinés pour obtenir les rapports de L-moments moyens.

3.2.5 Méthode du rapport de l'aire de drainage

La méthode du rapport de l'aire de drainage est convenable quand le site non-jaugé se trouve proche et sur le même cours d'eau d'une station hydrométrique (Ries et Friesz, 2000). Ainsi on a des caractéristiques physiographiques et climatiques similaires. Cependant, la différence entre les aires de drainage reste ambigüe et des valeurs empiriques ont été proposées. Choquette (1988), Koltun et Roberts (1990) et Lumia (1991), proposent que l'aire de drainage du site non-jaugé soit entre 0.5 et 1.5 fois l'aire de drainage de la station jaugée. Koltun et Schartz (1986) proposent une valeur entre 0.85 et 1.15 pour l'Ohio. Ries et Friesz (2000) proposent des valeurs entre 0.3 et 1.5 pour le Massachusetts.

L'estimation du quantile y_s d'étiage pour le site non-jaugé est définie comme :

$$y_s = \left(\frac{A_y}{A_x}\right) x_s \tag{3.42}$$

où x_s est le quantile d'étiage correspondant au site jaugé le plus proche et A_x et A_y sont les aires de drainage pour la station sur la station jaugée et non-jaugée, respectivement. Riggs (1972), propose l'utilisation d'un exposant $b < 1$ dans le rapport des aires, $\left(A_y / A_x\right)^b$, comme facteur d'échelle.

3.2.6 Méthode des statistiques régionales

Dans cette méthode, on utilise les données d'une station jaugée pour construire les données du site non-jaugé.

$$y(i,j) = M(y_i) + \frac{S(y_i)\left[x(i,j) - M(x_i)\right]}{S(x_i)} \tag{3.43}$$

où $y(i,j)$ et $x(i,j)$ sont le débit respectivement du site non-jaugé et d'un site jaugé proche, respectivement, pour le mois i et l'année j, $M(x_i)$ et $S(x_i)$ sont la moyenne et l'écart-type des débits observés durant le mois i, et $M(y_i)$ et $S(y_i)$ son la moyenne et l'écart-type des débits mensuels dans le site non-jaugé obtenues par équations de régression régionale. Hirsch (1979), trouve que cette méthode transfère les caractéristiques des débits d'étiage du site jaugé vers le site non-jaugé.

3.2.7 Régionalisation par Interpolation Spatiale

La méthode de régionalisation par interpolation spatiale (RIS) est basée sur la supposition de l'existence d'un champ de débit et de sa relation avec le zonage physiographique. Dans les travaux de Smakthin et al. (1998), Ries (1999) et Vandewiele et Elias (1995) des procédures sont proposées pour réaliser la construction de cartes de découpe de débit. Ainsi, ils peuvent estimer la valeur des débits systématiquement à l'aide des systèmes informatiques. Cependant, ces méthodes ont comme principale limitation la taille des bassins versants. Car la variation de l'aire de drainage peut causer des variations sur la distribution temporelle et spatiale des précipitations, l'emmagasinement du cours d'eau, le développement du périmètre d'inondation au débit, même si les caractéristiques physiographiques ne changent pas.

Devant les désavantages des méthodes traditionnelles d'interpolation spatiale, nous avons décidé de seulement garder la structure logique de la méthode RIS et de proposer une toute nouvelle méthode où on redéfinit la méthode dans chacune de ces étapes avec des techniques plus performantes pour chaque étape. On fait l'adaptation à notre cas d'étude à partir de la formulation mathématique originale.

Devant la limitation de la taille de bassins versants, nous avons adopté la normalisation de débits par l'aire du bassin versant (BV) proposé par Singh (1971). Cette normalisation de débits par l'aire du bassin versant constitue un changement de variable du débit d'étiage, Q, vers le débit spécifique d'étiage, Q_s :

$$Q_s = \frac{Q}{BV} \tag{3.44}$$

où Q_s a les unités de $[m/s]$ dans le Système International (SI). Mais en hydrologie, il est exprimé par $[L / s / km^2]$. Or dans la conversion des unités $1 \times 10^{-9} \frac{m}{s} = 1 \frac{L}{s \cdot km^2}$, alors la lecture des cartes peut être faite sans aucune considération spéciale ou inclusion de facteurs d'échelle.

Pour faire la cartographie des débits d'étiage, on doit transmettre l'information des données vers une grille (triangulaire, carrée, etc.) régulière ou irrégulière à l'aide d'une technique d'interpolation. Les méthodes les plus utilisées (e.g., Arnell, 1995) sont :

- l'interpolation linéaire, où on suppose que chaque bassin versant est un point et on fait l'interpolation par rapport au système géographique de coordonnées,
- la moyenne simple, où on calcule la valeur moyenne du débit de tous les bassins versants contenus dans la cellule de la grille, et
- la moyenne pondérée, où on fait la pondération de la moyenne avec l'aire du bassin versant. Ainsi les grands bassins ont un poids plus grand que les petits.

Malgré l'interprétation physique de ces méthodes, nous avons décidé d'adopter la « *méthode de la courbure minimale* », laquelle est une méthode aussi largement utilisée dans les sciences de la terre. Cette méthode est mieux adaptée pour la cartographie car par construction, elle est applicable aux transformations géométriques qui conservent les mesures des figures (longueurs et angles) et les distances (avec un facteur d'échelle). Smith et Wessel (1990) ont proposé une généralisation de cette méthode pour éviter le bruit numérique sur les grilles (oscillations parasites de la surface du champ ajusté qui engendre une erreur).

Dans la méthode de courbure minimale, on interpole les données avec une surface de type L^2 (la dérivée d'ordre deux doit exister et être continue) et une courbure carrée total minimale. Géométriquement, on peut penser à un disque élastique flexible qui se rapproche d'un autre disque flexible plus petit déformé qui peut passer à travers les points des données observées. Cependant, comme dans toutes les méthodes qui font une approche de type différentiable, on peut retrouver le bruit numérique sous la forme de grandes oscillations et de points d'inflexion inexistants sur les surfaces. Pour éviter ce type de bruit, Smith et Wessel (1990) ajoutent un terme de « *tension* » dans l'équation de flexibilité des plats élastiques.

Formellement, on trouve la solution de l'équation :

$$(1-T)\Delta^2 H + T \cdot \Delta H = 0 \tag{3.45}$$

où T est le terme de tension avec $T \in [0,1]$, Δ est l'opérateur laplacien et H est le champ étudié. Si $T=0$, nous avons le cas où le bruit numérique peut être produit. Par contre, si $T=1$, nous avons une surface harmonique et aucun maximum ou minimum ne peut être trouvé sauf dans le cas où il existe une divergence dans les données. Toutefois, on suppose que la distribution de données est homogène sur la région et sans contraintes sur une région de l'espace. Johnston et Merrifield (2000) ont prouvé que la valeur de tension $T=0.25$, donne un bon compromis entre la tension et l'interpolation pour interpoler les données des stations très disperses et distribuées irrégulièrement sur un domaine vers une grille régulière lat-lon.

Une fois la représentation cartographique produite, on peut trouver la valeur du débit Q du site i d'un bassin versant en multipliant la valeur du contour du débit spécifique Q_s par l'aire du bassin versant cherché A_i :

$$Q_i = Q_s \cdot A_i \tag{3.46}$$

Quand on dispose des valeurs de la grille, on peut calculer directement la valeur de Q_i avec la « *méthode du voisin le plus proche* » (Tran et Yakowitz, 1993). Dans cette méthode, la valeur du site d'intérêt est calculée avec la moyenne simple de tous les points de la grille contenus dans un

cercle centré sur le site et de rayon tel que seulement le premier voisin sur toutes les directions soit considéré.

Ainsi, la valeur du débit pour le site *i* est :

$$Q_i = \frac{\sum_{j=1}^{J} Q_{s_j}}{J} \times A_i \tag{3.47}$$

où *j* est le compteur des *J* points de la grille à l'intérieur d'un cercle de rayon *R*.

3.3 Techniques de rééchantillonnage

Les techniques de rééchantillonnage, comme la méthode du jackknife ou de bootstrap, permettent d'évaluer la robustesse et comparer les modèles d'estimation régionale. Ces méthodes sont souvent utilisées quand la distribution statistique d'un paramètre est inconnue, mathématiquement difficile à calculer ou sans forme analytique définie. Les techniques de rééchantillonnage sont une façon générale et pratique de produire une inférence statistique des paramètres.

3.3.1 Méthode du jackknife

La méthode du jackknife a été proposée par Quenouille (1949, 1956) pour diminuer le biais des estimateurs et par Tukey (1958) comme une méthode pour estimer les variances ou écarts-types des estimateurs. Le jackknife standard est calculé en éliminant une observation de l'ensemble de *n* données, ensuite on calcule le paramètre d'intérêt pour les $n - 1$ observations restantes. Ce processus est répété jusqu'à ce que chacune des *n* observations a été éliminée. L'estimateur du jackknife est alors la moyenne des paramètres estimée à partir des *n* différents échantillons du jackknife. Une limitation de cette méthode est que si le paramètre d'intérêt est discontinu, la méthode ne peut pas être appliquée.

En général, on considère un estimateur $\hat{\varphi}$ basé sur un échantillon de *n* observations $x_1, x_2, \ldots, x_n$ indépendants et identiquement distribués par *F*. On suppose que $\hat{\varphi}$ est une fonction de F_n, la distribution empirique, alors nous avons :

$$\begin{cases} \varphi = \varphi(F) \\ \hat{\varphi} = \varphi(F_n) \end{cases} \tag{3.48}$$

On définit $\hat{\varphi}_{(i)} = \varphi\left(F_{n(i)}\right)$, où $F_{n(i)}$ est la distribution que donne une masse de probabilité $1/(n-1)$ sur les observations $x_1, x_2, \ldots, x_{i-1}, x_{i+1}, \ldots, x_n$ mais aucune masse sur x_i. Pour estimer la variance du jackknife, Tukey (1958) définit les pseudo valeurs, ainsi les estimateurs du jackknife sont :

$$\begin{cases} \hat{\varphi} = \dfrac{\sum_{i=1}^{n} \hat{\varphi}_i}{n} \\ \hat{\sigma}^2_{jack} = \dfrac{\sum_{i-1}^{n} (\hat{\varphi}_i - \hat{\varphi})^2}{n(n-1)} \end{cases} \tag{3.49}$$

3.3.2 Méthode de bootstrap

Forsythe et Hartigan (1970) sont les précurseurs de la méthode de bootstrap avec leurs recherches sur des méthodes matricielles et de sous-échantillonnage. Maritz (1979) montra que la technique de sous-échantillonnage est utile pour construire des intervalles de confiance robustes pour le paramètre de localisation. En 1979, Efron reconnaît les avantages des ordinateurs de plus en plus puissants et reprend les techniques de rééchantillonnage pour interpréter et quantifier le concept d'erreur. Ainsi, Efron (1979) propose une méthode alternative au jackknife, soit le bootstrap. Le but dans cette méthode est d'utiliser les données pour estimer la distribution de la population par le rééchantillonnage avec replacement des données. Pour un ensemble initial des données de taille *n*, on prend un échantillon aléatoire et on calcule le paramètre d'intérêt pour cet échantillon. On répète ensuite ce processus plusieurs fois. L'estimateur de bootstrap est la moyenne de tous les paramètres estimés.

Le bootstrap peut être utilisé comme une méthode alternative non paramétrique pour obtenir une mesure de la précision d'un estimateur statistique. Le but d'utiliser le rééchantillonnage avec remplacement est de disposer d'une population étendue pour générer un grand nombre d'estimations. Ainsi, nous avons une distribution représentative de bootstrap (Efron, 1979).

Efron et Tibshirani (1993) suggèrent que pour la plupart des cas il est suffisant d'utiliser entre 200 et 1000 rééchantillonnages.

La formulation de la méthode de bootstrap est la suivante. On suppose que les $y=(x_1,x_2,\ldots,x_n)$ sont des observations indépendantes et identiquement distribuées appartenant à une distribution inconnue de probabilité $F\ (X_1,X_2,\ldots,X_n \sim F)$. On suppose aussi qu'il y a une statistique $\hat{\theta}(y)$ dont on veut estimer l'écart-type.

Si $\sigma(F)$ représente l'écart-type de $\hat{\theta}$ comme fonction de F, alors l'écart-type s'exprime comme :

$$\sigma(F)=\left[Var(\theta(y))\right]^{1/2} \tag{3.50}$$

L'estimation de l'écart-type du bootstrap est donnée par :

$$\hat{\sigma}_B=\sigma(\hat{F}) \tag{3.51}$$

où $\hat{F}$ est une distribution empirique telle que chaque point x_i a une probabilité 1/n d'être choisi. Pour évaluer $\hat{\sigma}_B$ on utilise la méthode de Monte Carlo. Dans la méthode de Monte Carlo on considère un échantillon $y^*=(x_1^*,x_2^*,\ldots,x_n^*)$ fait avec n données indépendantes. Soit $\hat{\theta}$ l'estimateur de l'échantillon de θ, et $\hat{\theta}_i^*$ l'estimateur de bootstrap de θ pour l'*i-ème* échantillon de bootstrap. Alors, l'estimateur de bootstrap de l'écart-type de l'estimateur $\hat{\theta}$ pour le k échantillons de bootstrap est donnée par

$$\hat{\sigma}_B=\left(\frac{1}{k-1}\sum_{j=1}^{k}\left[\theta_i^*-\overline{\theta}^*\right]^2\right)^{1/2} \tag{3.52}$$

où $\overline{\theta}^*$ est la moyenne des échantillons de bootstrap. Le choix de *(k-1)* dans le dénominateur est fait comme une analogie de l'estimateur non biaisé de l'écart-type d'un échantillon.

4 APPLICATION DE LA MÉTHODOLOGIE À LA PROVINCE DE QUÉBEC : ANALYSE FRÉQUENTIELLE LOCALE

Dans ce chapitre la méthodologie pour obtenir les quantiles locaux de débits d'étiage est présentée. Il est divisé en deux parties. La première partie (section 4.1) décrit les données de base nécessaires pour construire les séries temporelles de débits d'étiage des stations hydrométriques ainsi que leurs caractéristiques statistiques. La deuxième partie (section 4.2) donne une description détaillée de la méthode qui permet de relier l'amplitude des événements extrêmes à leurs fréquences d'occurrence, l'analyse fréquentielle locale. À l'aide de cette analyse, nous pouvons estimer pour chaque station les quantiles correspondant aux périodes de retour de 2, 5 et 10 ans, et ce, pour les périodes estivale, hivernale et annuelle. Ce chapitre a déjà fait l'objet d'un rapport de recherche (Herrera et al., 2003)

4.1 Données de base

4.1.1 Séries temporelles de débits d'étiage

L'hydrométrie permet la connaissance des débits des cours d'eau aux points particuliers que sont les stations hydrométriques. Les données produites servent à caractériser le régime des cours d'eau et sont utiles à la réalisation d'études, à la mise en œuvre de procédures réglementaires, et plus généralement à la gestion de la ressource en eau. Les outils disponibles permettent également le suivi des débits, particulièrement dans les situations extrêmes d'étiage.

On a considéré pour cette étude des stations figurant dans la banque du Centre d'Expertise Hydrique du Québec (CEHQ), organisme sous la tutelle du Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). Trois critères ont été utilisés pour la sélection des stations de l'étude :

1. La localisation géographique, restreinte aux zones du Québec habitées (entre le 45e et le 55e parallèle, correspondant aux zones hydrologiques 1 à 9),

2. Le régime hydrologique. Les stations à retenir doivent être situées sur des cours d'eau où le régime hydrologique est le plus proche possible du régime naturel,

3. La taille des séries. Pour assurer la fiabilité des études fréquentielles le nombre d'années d'observations disponibles doit être supérieur à un seuil minimal, fixé à 10 (Herrera et al., 2003).

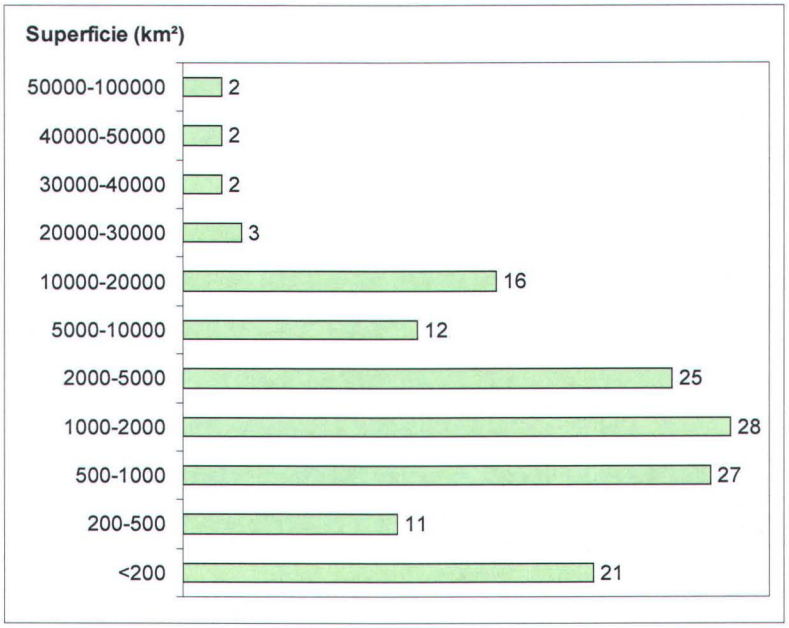
Les analyses ont été faites avec les données des stations hydrométriques du Centre d'Expertise Hydrique du Québec (CEHQ) du MDDEP. Ces données sont enregistrées sous le format de séries de débits moyens journaliers dans une Banque de Données Hydrique (BDH) du MDDEP. L'identification des stations pour lesquelles les trois critères listés sont respectés nous a permis d'en retenir 149 en tout. La liste complète des 149 stations est présentée dans l'annexe (A), où on donne pour chaque station : le numéro d'identification provincial et fédéral, le nom, la superficie du bassin versant (BV), la longueur du registre, l'année de début et de la fin du registre, ainsi que ses coordonnées géographiques (longitude, altitude et altitude).

Les dates d'observation aux stations retenues oscillent entre l'année 1921 et 2002. La longueur moyenne des enregistrements est de 26 ans. Malgré que les enregistrements des débits ne corresponde pas à la même période, les effets des possibles changements dans les conditions de mesure ou climatiques sont évaluées avec les tests d'hypothèse statistiques, présentées dans la section 4.2.2. Les superficies des bassins versants varient de 0.69 km^2 (station 051011, Ruisseau Laflamme) à 96000 km^2 (station 092704, la Grande Rivière). La moyenne est de 5656 km^2 et la médiane de 1390 km^2. 52% des bassins versants ont une superficie supérieure à 1300 km^2 alors que 94% ont uns superficie inférieure à 20000 km^2. Dans la figure 4.1, on présente la répartition des stations retenues en classes de superficies.

La figure 4.2 indique la localisation des 149 stations étudiées. Cette figure est présentée comme la composition de deux cartes : la distribution en fonction de la superficie des bassins versants, et en fonction de la taille des séries temporelles. On remarque que les grands bassins se situent dans la région nord du Québec habité et que ces stations comptent une période d'enregistrement

inférieure à 30 ans. De même, on peut constater que la plus grande concentration des stations comptant plus de 30 ans de données se trouvent autour du fleuve Saint-Laurent.

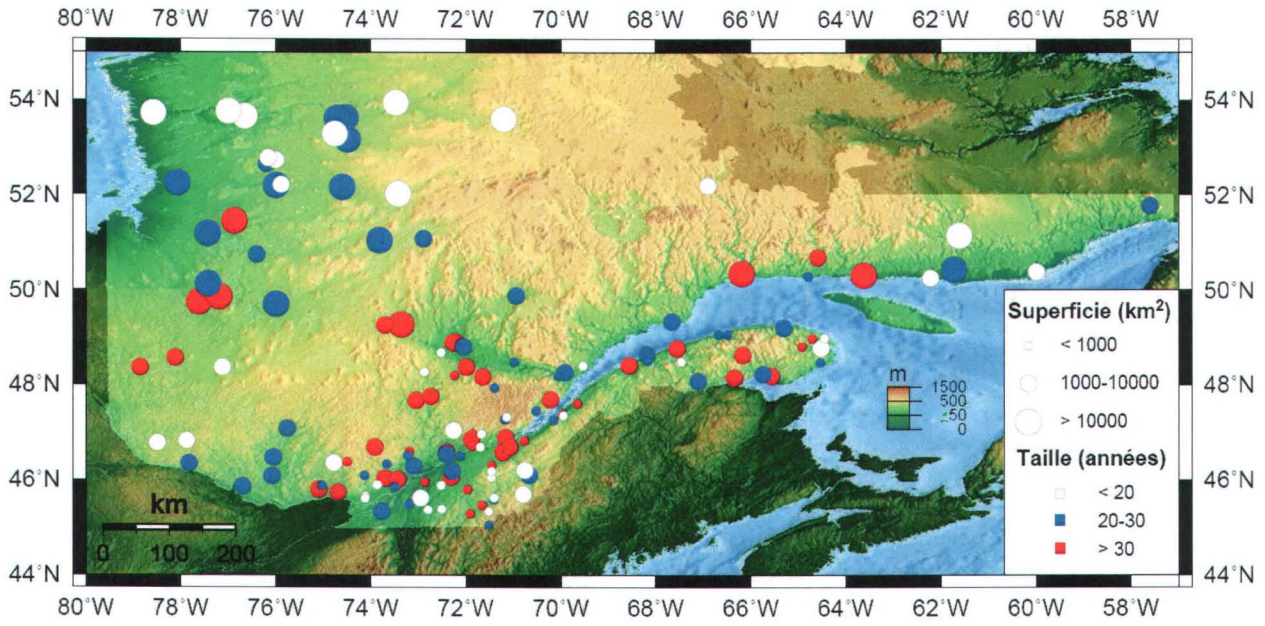
Figure 4.1. Répartition des stations étudiées en classes de superficie (km^2).



Les séries de débit pour chaque station ont été obtenues en calculant les minima annuels, hivernaux et estivaux du débit moyen sur 7 (Q_7) et 30 (Q_{30}) jours consécutifs. Ainsi, les bases de données correspondant aux débits Q_7 et Q_{30} comprennent 135 stations pour la période annuelle, 136 pour la période estivale et 135 pour la période hivernale. La durée des enregistrements pour les débits Q_7 et Q_{30} oscille entre 10 et 64 ans pour les périodes hivernale et annuelle et entre 10 et 55 ans pour la période estivale. La distribution des années d'enregistrement des étiages hivernaux, des étiages estivaux et des minima annuels correspondant aux périodes de 7 et 30 jours montre que 62% des stations ont une durée d'enregistrement inférieure à 30 ans.

Nous avons extrait les minima de 7 ou 30 jours consécutifs pour les périodes annuelles, hivernales (1 décembre au 30 avril pour les régions hydrologiques 1 à 5 et du 1er janvier au 31 mai pour les régions hydrologiques 6 à 9) et estivales (1er juin au 31 octobre).

Figure 4.2. Distribution géographique des stations hydrométriques au Québec habité en fonction de la superficie du bassin versant (grandeur des cercles) et le nombre d'années de débits journaliers observées (couleur des cercles).



4.2 Analyse Fréquentielle Locale

L'objectif principal de l'analyse fréquentielle en hydrologie est de relier l'amplitude des événements extrêmes à leurs fréquences d'occurrence à travers l'utilisation des distributions de probabilité. À l'aide de cette analyse, nous devons estimer pour chacune des stations étudiées les quantiles correspondants aux périodes de retours T de 2, 5 et 10 ans.

L'estimation de ces quantiles se fait en appliquant la méthodologie suivante :

1. Caractérisation des échantillons,
2. Tests d'hypothèses sur les séries de données,
3. Sélection des distributions de probabilité,
4. Estimation des paramètres des distributions,

5. Estimation des quantiles,

6. Choix des lois les plus adaptées.

4.2.1 Caractérisation des échantillons

Pour obtenir une première image de la distribution des séries des données des stations hydrométriques, on peut les représenter graphiquement. Cependant, les conclusions tirées de ces images dépendent dans une certaine mesure de l'interprétation personnelle qu'on en fait. Ainsi, elles peuvent être subjectives. Pour limiter cette subjectivité, on synthétise les données en *caractéristiques statistiques* ou valeurs typiques qui sont des nombres qui résument les données d'une façon précise, claire et sans ambiguïté. En 1996, Py propose que les caractéristiques des données soient classées selon l'information apportée sur la valeur centrale ou de position (moyenne, quantiles), la dispersion (variance, écart-type, valeurs extrêmes), la forme et la concentration (asymétrie et aplatissement).

De façon générale, les caractéristiques de *tendances centrales* nous renseignent sur l'ordre de grandeur des séries de débits. Les caractéristiques de *dispersion* nous donnent l'indication de la façon dont sont groupées les données; une caractéristique de dispersion intéressante est représentée par le *coefficient de variation* qui nous permet de comparer plusieurs séries lorsque les moyennes sont très différentes. Les caractéristiques de *forme* permettent de préciser l'allure de la courbe des fréquences. On utilise généralement deux mesures de la forme : l'*asymétrie* qui a pour objet de nous renseigner sur la façon régulière ou non dont les observations se répartissent par rapport à une valeur centrale. Une valeur positive indique que les observations sont plus concentrées à gauche de la valeur centrale (étalement vers la droite), alors qu'une valeur négative indique que les observations sont plus concentrées à droite de la valeur centrale (étalement vers la gauche). L'*aplatissement* a pour objet de faire apparaître si une faible variation de la variable entraîne ou non une forte variation des fréquences relatives. Une valeur positive de ce coefficient indique une distribution leptocurtique (dense), alors qu'une valeur négative indique une distribution platicurtique (étalée).

Dans l'annexe (B), on montre les caractéristiques typiques pour chaque station hydrométrique des séries des données de débits d'étiages. Les caractéristiques sont présentées dans l'ordre

suivant : l'aire du bassin versant, le nombre d'années de données disponibles, le maximum, le minimum, la moyenne, l'écart-type, la médiane, le coefficient d'asymétrie, le coefficient d'aplatissement et le coefficient de variation.

Quand les données ne sont pas distribuées selon une loi normale (asymétrie 0 et aplatissement 3), le calcul des statistiques descriptives standard ne nous apporte pas la meilleure information sur les données. Ainsi, il est nécessaire d'ajuster une loi de probabilité aux séries de débit d'étiages.

Malheureusement, il n'existe pas une loi de probabilité universelle pour les débits d'étiage. Nous avons donc fait une revue bibliographique (section 2.1) pour considérer les lois de probabilité qui donnant les meilleurs résultats dans l'ajustement des débits minima. Cependant, avant d'ajuster les lois choisies pour l'étude, il est nécessaire de vérifier que les données sont indépendantes et identiquement distribuées. Cette vérification est faite à l'aide des tests statistiques décrits dans la section suivante.

4.2.2 Tests d'hypothèses sur les séries de données

Dans l'analyse hydrologique de fréquence, on suppose que les données sont indépendantes (absence d'auto-corrélation) et identiquement distribuées (homogénéité et stationnarité). Cependant, en pratique on ne sait pas si les stations hydrométriques ont été influencées dans leurs régimes de débits par des variations climatiques, par une déforestation ou par un reboisement. Ainsi, il est nécessaire de réaliser les tests statistiques décrits dans les sections suivantes.

4.2.2.1 p-valeur

Dans les tests statistiques on fait des affirmations par rapport à un paramètre de la population. L'affirmation est appelée *hypothèse nulle* (H_0), tandis que l'hypothèse complémentaire est connue comme *l'hypothèse alternative* (H_1). L'objectif d'un test statistique est de décider, à partir d'un échantillon de la population, laquelle des deux hypothèses complémentaires est vraie. Ainsi, si on rejette l'hypothèse nulle, on accepte l'hypothèse alternative.

Après formulation de l'hypothèse nulle à tester, il nous reste à trouver une méthode pour juger si l'écart entre les données récoltées et l'hypothèse nulle est significatif. Pour répondre à cette

question, il est nécessaire de choisir une statistique de test S qui mesure cet écart. En général, de petites valeurs de S indiquent que l'hypothèse H_0 est vraie. Ainsi, il faut connaître la distribution de S sous l'hypothèse nulle. On calcule ensuite la p-valeur. On définit la p-valeur (Morgenthaler, 2001) comme la probabilité sous H_0, que S soit plus extrême que la valeur calculée à partir des données observées, soit S_{obs} $\left(S \geq S_{obs}\right)$.

La p-valeur d'un test est élevée si S_{obs} se trouve près du centre de la distribution, sous H_0, de la statistique du test. La p-valeur est petite, si S_{obs} se trouve dans les queues de cette distribution. Dans ce deuxième cas, une contradiction entre les données et l'hypothèse nulle est indiquée. Lorsque l'hypothèse nulle est vraie, les réalisations de S_{obs} dans les queues ont une probabilité plutôt faible. Pour cette raison, on décide de la véracité de l'hypothèse nulle selon la règle suivante.

$$\textit{On rejette } H_0 \Leftrightarrow \textit{p-valeur du test} < 1\% \textit{ (ou 0.01)} \tag{4.1}$$

4.2.2.2 Hypothèse de stationnarité (test de Kendall)

Les données d'une série sont dites stationnaires si leurs caractéristiques statistiques sont invariantes dans le temps. Nous avons utilisé le test statistique non paramétrique proposé par Mann (1945), qui est une application particulière du test de corrélation de Kendall (1938). Ce test est connu comme τ de Kendall ou test de Mann-Kendall (MK). Il nous permet de localiser des changements brusques ou graduels dans la moyenne quand la date du saut de la série est inconnue (Hirsch et al., 1982).

En accord avec Mann (1945), l'hypothèse nulle H_0 exprime que les données (x_1, x_2, ..., x_n) sont un échantillon de n variables aléatoires identiquement distribuées. L'hypothèse alternative H_1 bilatérale établie que la distribution de x_k et x_j n'est pas identique pour tout $k, j \leq n$ avec $k \neq j$.

La statistique S du test est définie comme :

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} \operatorname{sgn}\left(x_j - x_k\right) \tag{4.2}$$

où *sgn* est la fonction signe, donné par :

$$\operatorname{sgn}(x)=\begin{cases}1\ ,\ \text{si } x>0\\0\ ,\ \text{si } x=0\\-1,\ \text{si } x<0\end{cases} \tag{4.3}$$

Sous l'hypothèse nulle H_0 la distribution de S est symétrique et asymptotiquement convergente, (i.e. lorsque $n\to\infty$), vers une loi normale de moyenne nulle et de variance :

$$Var\{S\}=\frac{n(n-1)(2n+5)-\sum_t t(t-1)(2t+5)}{18} \tag{4.4}$$

où t est le nombre de données égales dans un groupe d'observations et Σ_t est la sommation sur tous les groupes d'observations identiques. La statistique standardisée est très proche d'une distribution normale si une correction de continuité est appliquée :

$$S' = S-\operatorname{sgn}(S) \tag{4.5}$$

où S' est la valeur de la statistique corrigée. Une valeur K associée à la statistique peut être calculée selon :

$$K=\frac{S'}{Var\{S\}}=\begin{cases}\frac{S-1}{\sqrt{Var\{S\}}}\ ,\ \text{si } S>0\\0\quad\ ,\ \text{si } S=0\\\frac{S+1}{\sqrt{Var\{S\}}}\ ,\ \text{si } S<0\end{cases} \tag{4.6}$$

où K est distribuée asymptotiquement selon une loi normale centrée réduite. Ainsi, H_0 est acceptée si $|K|\le z_{\alpha/2}$, où $z_{\alpha/2}$ est le quantile de probabilité au dépassement égal à $\alpha/2$ de la loi normale centrée réduite (i.e. $P\left[Z\ge z_{\alpha/2}\right]=\alpha/2$) et α est le niveau de signification du test. Autrement dit, les observations sont stationnaires lorsque la valeur de S est petite.

4.2.2.3 Hypothèse d'indépendance (test de Wald-Wolfowitz)

Les séries de données de débits sont dites indépendantes si l'occurrence d'une observation n'est pas affectée par les observations précédentes (absence d'autocorrélation). Le test proposé par Wald et Wolfowitz (1943) prend un échantillon de taille n (x_1, x_2, ..., x_n), où la statistique R est calculée de la façon suivante :

$$R = \sum_{i=1}^{n-1} x_i x_{i+1} + x_1 x_n \tag{4.7}$$

Quand les éléments de l'échantillon sont indépendants, R suit une distribution normale de moyenne $\overline{R}$ et de variance $Var\{R\}$:

$$\overline{R} = \frac{\left(s_1^{\,2} - s_2\right)}{n-1} \tag{4.8}$$

$$Var\{R\} = \frac{s_2^{\,2} - s_4}{n-1} - \overline{R}^2 + \frac{s_1^{\,4} - 4s_1^{\,2}s_2 + 4s_1 s_3 + s_2^{\,2} - 2s_4}{(n-1)(n-2)} \tag{4.9}$$

où $s_r = nm_r'$ et m_r' est le moment non centré d'ordre r de l'échantillon.

La statistique standardisée

$$U = \frac{R - \overline{R}}{\sqrt{Var\{R\}}} \tag{4.10}$$

est distribuée asymptotiquement selon la loi normale centrée réduite de moyenne nulle et avec variance unitaire. Elle est utilisée pour tester l'hypothèse d'indépendance au niveau de signification α, en comparant la statistique u à la valeur critique $u_{\alpha/2}$, laquelle correspond à une probabilité au dépassement de $\alpha/2$. Ainsi, on accepte H_0 si $|u| \leq u_{\alpha/2}$.

4.2.2.4 Hypothèse d'homogénéité

L'homogénéité d'un échantillon aléatoire signifie que toutes les observations proviennent de la même population statistique. Alors, les conditions du phénomène étudié n'évoluent pas (pas de variations climatiques, ni ne présentent de variations du régime des débits dues à une déforestation ou un reboisement). Dans les données des stations hydrométriques, certaines stations ont été déplacées. Ainsi, l'hypothèse d'homogénéité doit être vérifiée. La vérification a été faite à travers la comparaison de la moyenne et de la variance des séries des données avant et après la date de changement avec les tests de Wilcoxon (1945) et Levene (1960), respectivement.

4.2.2.4.1 Test de Wilcoxon

Ce test a été proposé par Wilcoxon (1945) et est équivalent au test de Mann et Whitney (1947), c'est pourquoi il est connu sous le nom de test de Wilcoxon-Mann-Whitney (Siegel et Castellan, 1988). Dans ce test, on connaît la cause d'hétérogénéité (laquelle correspond à la date de déplacement des stations hydrométriques). Alors, il est possible de décomposer l'échantillon observé de taille N en deux sous-échantillons : $(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ avant la date de modification et $(x_{n+1}, x_{n+2}, \ldots, x_N)$ après cette date. On fait l'hypothèse que les deux échantillons proviennent de deux populations dont les espérances sont égales. Donc le test permet de vérifier les hypothèses :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \text{ contre } H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 . \tag{4.11}$$

La statistique W du test est donné par :

$$W = \frac{V - \frac{n(N+1)}{2} + \frac{1}{2}}{\sqrt{Var\{V\}}} \tag{4.12}$$

où $V = \sum_{i=1}^{N} R_i s(R_i)$, R_i est le rang correspondant à l'observation i de l'échantillon combiné de taille N classé en ordre croissant, et $s(R_i)$ peut prendre la valeur 0 ou 1 selon que R_i corresponde à une donnée du sous-échantillon avant ou après la date de modification. La statistique W définie de cette façon est distribuée asymptotiquement selon une loi normale centrée réduite.

La variance de la statistique s'exprime comme :

$$Var\{W\} = \frac{n(N-n)(N+1)}{12} - \frac{n(N-n)\sum_{k=1}^{h}\left(d_k^{\,3} - d_k\right)}{12n(n-1)} \tag{4.13}$$

où h est le nombre de groupes distincts contenants des observations égales et d_k est le nombre d'observations égales dans chacun de ces groupes.

L'hypothèse nulle, H_0, est acceptée au niveau de signification α si $|W| \leq z_{\alpha/2}$, où $z_{\alpha/2}$ est le quantile de probabilité au dépassement de niveau $\alpha/2$ de la loi normale centrée réduite.

4.2.2.4.2 Test de Levene

Le test de Levene (1960) est utilisé pour vérifier l'égalité des variances de k échantillons. Cette égalité des variances est nommée homogénéité de variances. Ce test est une alternative au test de Bartlett (Snedecor and Cochran, 1989), mais le test de Levene est moins sensible aux écarts par rapport à la normalité (Brown et Forsythe, 1974).

Dans le cas de deux échantillons, $k=2$, le test est défini comme :

$$H_0 : \sigma_1 = \sigma_2 \text{ contre } H_1 : \sigma_1 \neq \sigma_2 . \tag{4.14}$$

Pour un échantillon de taille N divisée en 2 groupes, où n_1 correspond à la taille de l'échantillon avant la date de modification et n_2 à la taille de l'échantillon après cette date, la statistique L du test de Levene est défini comme :

$$L = \frac{(n_1+n_2-2)\left[n_1\left(\bar{Z}_1 - Z_{12}\right)^2 + n_2\left(\bar{Z}_2 - Z_{12}\right)^2\right]}{\sum_{j=1}^{n_1}\left(Z_{1j} - \bar{Z}_1\right)^2 + \sum_{j=1}^{n_2}\left(Z_{2j} - \bar{Z}_2\right)^2} \tag{4.15}$$

où Z_1 est la moyenne des écarts en valeurs absolues des observations par rapport à la médiane pour le premier échantillon, Z_2 pour le second échantillon et Z_{12} pour l'échantillon combiné.

Le test de Levene est accepté si $|L| \leq F_{(1,n_1+n_2-2)}(1-\alpha)$, où $F_{(1,n_1+n_2-2)}(1-\alpha)$ est le quantile de probabilité au dépassement de niveau $(1-\alpha)$ de la loi de Fisher à *1* et (n_1+n_2-2) degrés de liberté.

4.2.2.5 Résultats des tests d'hypothèses

Les résultats des tests de Kendall et de Wald-Wolfowitz pour les séries de débits d'étiages annuel, estival et hivernal, pour les périodes de 7 et 30 jours, sont présentés dans l'annexe (C). Notons que les débits hivernaux n'ont pas été disponibles pour toutes les stations. C'est le cas des stations 013001 et 030907 dans le cas des débits moyens de 7 jours, et des stations 020302 et 040810 dans le cas des périodes de 30 jours. On ne présente donc pas de résultats pour ces stations.

Dans les tableaux qui suivent, on donne la liste des stations rejetées par les tests à un niveau de signification de 1%. Le tableau 4.1 et le tableau 4.2 montrent les résultats des tests de stationnarité (Kendall) et d'indépendance (Wald-Wolfowitz). Le tableau 4.3 et le tableau 4.4 montrent les résultats des tests d'homogénéité (Wilcoxon et Levene) pour l'ensemble des stations regroupées. Le tableau 4.1 et le tableau 4.3 correspondent aux périodes de 7 jours alors que le tableau 4.2 et le tableau 4.4 correspondent aux périodes de 30 jours.

Tableau 4.1. Stations rejetées à 1% par les tests de Kendall et/ou de Wald-Wolfowitz pour Q_7.

Période	Estivale				Hivernale				Annuelle			
	Kendall		Wald-Wolfowitz		Kendall		Wald-Wolfowitz		Kendall		Wald-Wolfowitz	
Stations (Q 7)	K	P-Value	U	P-Value	K	P-Value	U	P-Value	K	P-Value	U	P-Value
010801/010802	3.172	0.002										
011001/011003					3.889	0.000			3.746	0.000		
020401/020404	3.419	0.001										
021601	3.228	0.001										
021701/021702					3.228	0.001						
022003									2.965	0.003		
022701/022704	3.285	0.001							2.888	0.004		
030214/030234			0.565	0.006								
030215	3.827	0.000			2.609	0.009			4.068	0.000		
030242									2.737	0.006		
030309	3.461	0.001	3.306	0.001	2.907	0.004			3.062	0.002	3.069	0.002
040212	2.773	0.006										
040401/040406	3.342	0.001										
050117/050135	3.163	0.002	2.697	0.007								
051001	3.021	0.003										
051002	2.885	0.004	3.384	0.001								
051003	2.856	0.004										
051005			3.814	0.000								
051006											2.673	0.008
052202/052219	3.126	0.002										
052203/052212	3.495	0.000										
061020	3.079	0.002										
061022			2.930	0.003								
061901	2.888	0.004			2.931	0.003			2.916	0.004		
061906	2.819	0.005										
072301	3.636	0.000			2.650	0.008			2.968	0.003		
073502/073503							2.641	0.008			2.641	0.008
074903							2.690	0.007			2.690	0.007
076601							2.592	0.010			2.699	0.007
090605					2.651	0.008						
090606					3.068	0.002			3.068	0.002		

Tableau 4.2. Stations rejetées à 1% par les tests de Kendall et de Wald-Wolfowitz pour Q_{30}.

Période	Estivale				Hivernale				Annuelle			
	Kendall		Wald-Wolfowitz		Kendall		Wald-Wolfowitz		Kendall		Wald-Wolfowitz	
Stations (Q30)	K	P-Value	U	P-Value	K	P-Value	U	P-Value	K	P-Value	U	P-Value
010801/010802	3.143	0.002										
011001/011003					3.455	0.001						
020401/020404	3.364	0.001										
021601	2.928	0.003										
021701/021702					2.926	0.003						
022701/022704	3.239	0.001										
030215	3.778	0.000							3.854	0.000	2.631	0.009
030309			3.343	0.001	2.645	0.008					2.725	0.006
030316							2.826	0.005				
040401/040406	3.299	0.001										
041903									2.307	0.002		
050409	2.577	0.010										
051001	2.409	0.002										
051002			2.686	0.007								
051003	2.840	0.005										
051005	3.079	0.002										
052601											2.440	0.001
052806							2.592	0.010				
061602							2.700	0.007			2.739	0.006
061901	2.698	0.007			2.866	0.004			2.866	0.004		
061906	2.676	0.007										
072301	3.011	0.003							2.708	0.007		
072302											2.924	0.003
076601					2.639	0.008	2.625	0.009	2.604	0.009	2.688	0.007
090605					2.803	0.005						
090606					3.167	0.002			3.167	0.002		

Tableau 4.3. Résultats des tests d'homogénéité de Wilcoxon et de Levene pour Q_7.

Période	Estivale				Hivernale				Annuelle			
	Levene		Wilcoxon		Levene		Wilcoxon		Levene		Wilcoxon	
Stations (Q 7)	L	P-Value	W	P-Value	L	P-Value	W	P-Value	L	P-Value	W	P-Value
+010801/010802	4.520	0.041	3.330	0.001	0.684	0.414	0.982	0.326	0.589	0.448	1.363	0.173
010901/010902	0.468	0.499	1.034	0.301	3.066	0.091	1.383	0.167	4.044	0.054	1.445	0.148
+011001/011003	0.149	0.702	0.405	0.686	4.135	0.000	4.135	0.000	9.096	0.005	3.968	0.000
+020401/020404	2.724	0.108	3.168	0.002	2.624	0.009	2.624	0.009	0.525	0.474	2.605	0.009
020601/020602	1.405	0.241	0.857	0.391	1.814	0.070	1.814	0.070	3.279	0.076	0.983	0.326
+021701/021702	1.594	0.211	1.004	0.315	6.588	0.013	3.394	0.001	1.163	0.285	2.111	0.035
022504/022507	0.474	0.496	0.799	0.425	1.379	0.168	1.379	0.168	0.027	0.870	0.535	0.592
022701/022704	0.923	0.340	2.232	0.026	0.728	0.397	1.195	0.232	2.736	0.103	2.004	0.045
023101/023106	0.095	0.759	1.630	0.103	0.308	0.758	0.308	0.758	1.227	0.272	2.472	0.013
023301/023303	0.108	0.743	0.793	0.428	1.604	0.109	1.604	0.109	1.590	0.212	1.466	0.143
+024001/024007	8.081	0.006	5.344	0.000	5.676	0.000	5.676	0.000	21.190	0.000	5.852	0.000
+030214/030234	0.165	0.686	1.968	0.049	3.271	0.001	3.271	0.001	1.724	0.196	2.476	0.013
+030901/030905	0.367	0.546	0.732	0.464	0.241	0.625	2.604	0.009	0.281	0.597	1.292	0.196
+040202/040204	5.127	0.027	1.248	0.212	8.574	0.005	0.293	0.769	7.051	0.010	1.219	0.223
+040401/040406	1.114	0.296	2.986	0.003	4.726	0.034	0.238	0.812	0.979	0.327	2.720	0.007
041901/041902	0.471	0.496	1.530	0.126	2.156	0.031	2.156	0.031	1.407	0.241	2.230	0.026
+043009/043012	4.893	0.031	1.954	0.051	5.347	0.000	5.347	0.000	64.403	0.000	6.085	0.000
+050116/050144	1.988	0.163	2.108	0.035	11.372	0.001	0.233	0.816	2.656	0.108	0.149	0.881
+050117/050135	6.197	0.016	3.441	0.001	0.456	0.648	0.456	0.648	5.954	0.018	0.170	0.865
050302/050304	0.501	0.482	1.568	0.117	0.465	0.498	1.395	0.163	0.471	0.496	0.610	0.542
052202/052219	0.321	0.573	2.159	0.031	6.310	0.014	0.715	0.474	0.102	0.750	1.216	0.224
+052203/052212	13.563	0.000	2.574	0.010	2.476	0.120	0.242	0.809	7.436	0.008	2.830	0.005
+073301/073303	0.375	0.544	0.411	0.681	2.027	0.163	2.873	0.004	2.787	0.104	3.153	0.002
073502/073503	4.158	0.049	0.779	0.436	1.878	0.060	1.878	0.060	0.996	0.326	1.878	0.060
+075701/075702	7.085	0.015	3.086	0.002	4.013	0.000	4.013	0.000	17.418	0.001	3.767	0.000
+080101/080102	5.128	0.026	1.491	0.136	6.460	0.013	1.020	0.308	7.112	0.009	1.390	0.165
080705/080717	0.003	0.954	0.234	0.815	1.531	0.126	1.531	0.126	2.126	0.152	1.341	0.180

Tableau 4.4. Résultats des tests d'homogénéité de Wilcoxon et de Levene pour Q_{30}.

Période	Estivale				Hivernale				Annuelle			
	Levene		Wilcoxon		Levene		Wilcoxon		Levene		Wilcoxon	
Station (Q 30)	L	P-Value	W	P-Value	L	P-Value	W	P-Value	L	P-Value	W	P-Value
+010801/010802	3.976	0.055	3.364	0.001	0.809	0.375	0.824	0.410	1.563	0.220	1.432	0.152
010901/010902	1.459	0.237	1.034	0.301	1.888	0.180	0.888	0.375	1.984	0.170	0.849	0.396
+011001/011003	0.155	0.696	0.295	0.768	4.653	0.039	3.799	0.000	3.442	0.073	3.611	0.000
+020401/020404	3.283	0.079	3.104	0.002	1.950	0.172	2.426	0.015	0.480	0.493	2.398	0.016
020601/020602	1.624	0.208	1.230	0.219	6.378	0.015	1.742	0.081	3.130	0.083	1.331	0.183
021701/021702	0.474	0.494	0.497	0.619	4.467	0.039	2.329	0.020	0.233	0.631	0.817	0.414
022504/022507	0.007	0.933	0.548	0.584	0.004	0.949	1.476	0.140	0.824	0.370	0.860	0.390
022701/022704	1.037	0.312	2.546	0.011	0.696	0.408	0.966	0.334	2.079	0.155	1.452	0.147
023101/023106	0.723	0.398	0.750	0.454	2.186	0.143	0.723	0.470	0.031	0.860	0.959	0.337
023301/023303	0.427	0.516	0.012	0.990	0.033	0.857	1.396	0.163	0.389	0.535	1.796	0.072
+024001/024007	3.484	0.066	4.004	0.000	22.410	0.000	5.772	0.000	9.768	0.003	4.806	0.000
030214/030234	0.053	0.819	1.239	0.216	0.585	0.448	2.158	0.031	0.013	0.910	1.842	0.065
030901/030905	1.023	0.315	1.712	0.087	1.973	0.164	2.385	0.017	2.037	0.158	2.340	0.019
+040202/040204	1.594	0.211	0.547	0.585	4.392	0.040	0.328	0.743	9.011	0.004	0.548	0.584
+040401/040406	1.546	0.220	3.155	0.002	2.491	0.121	0.614	0.539	0.943	0.336	2.479	0.013
041901/041902	0.239	0.627	1.332	0.183	0.883	0.351	1.569	0.117	1.563	0.217	2.015	0.044
+043009/043012	0.633	0.429	1.389	0.165	12.677	0.001	5.009	0.000	39.829	0.000	5.728	0.000
+050116/050144	2.585	0.112	2.223	0.026	7.838	0.007	0.258	0.797	2.819	0.098	0.292	0.770
+050117/050135	4.970	0.029	3.303	0.001	2.061	0.156	0.339	0.735	1.452	0.233	0.530	0.596
050302/050304	0.094	0.760	1.437	0.151	0.287	0.594	1.974	0.048	0.219	0.642	1.230	0.219
052202/052219	0.136	0.713	2.023	0.043	1.423	0.237	1.226	0.220	0.052	0.820	1.344	0.179
052203/052212	2.861	0.095	1.863	0.062	1.484	0.227	0.140	0.889	1.257	0.266	2.233	0.026
+073301/073303	1.312	0.259	0.285	0.776	1.769	0.192	2.946	0.003	3.214	0.082	3.235	0.001
073502/073503	2.833	0.101	1.129	0.259	0.630	0.433	1.758	0.079	0.630	0.433	1.758	0.079
+075701/075702	6.611	0.018	3.218	0.001	24.408	0.000	4.013	0.000	18.376	0.000	3.767	0.000
080101/080102	2.377	0.127	1.523	0.128	5.829	0.018	0.895	0.371	6.932	0.010	1.117	0.264
080705/080717	0.039	0.843	0.170	0.865	4.809	0.034	1.826	0.068	3.532	0.067	1.768	0.077

À fin d'assurer que la base de données forme un échantillon de variables aléatoires d'une population, on élimine les stations que rejettent l'hypothèse nulle. Ainsi, nous avons procédé à la détermination des quantiles pour l'ensemble des stations retenues. Les résultats des tests d'hypothèses de stationnarité (Kendall) et d'indépendance (Wald-Wolfowitz) sont listés dans l'annexe C pour les périodes estivale, hivernale et estivale.

Dans les tableaux 4.3 et 4.4, les cellules de stations regroupées qui ne passent pas les tests d'homogénéité au niveau de signification de 1% sont identifiées par une croix, « + ». Selon les tests d'homogénéité, les conditions de mesure de débit ont changé très significativement. En conséquence, les lois de probabilité des débits avant et après la date de déplacement sont différentes. Alors, ces regroupements ont été aussi éliminés de la base de données.

4.2.3 Sélection des distributions de probabilité

4.2.3.1 Variable aléatoire

En hydrologie, il existe des phénomènes par lesquels la variable d'intérêt ne peut pas être déterminée uniquement comme fonction des variables et des conditions connues. Par exemple, les débits d'étiage qu'une certaine rivière pourrait atteindre dans les 5 prochaines années. Cet exemple correspond à une variable dont le résultat ne peut jamais être prédit à l'aide des lois physiques, quelle que soit la quantité d'information disponible. Ce type de variable est connu comme *variable aléatoire*. Mathématiquement, une variable aléatoire X est définie comme une fonction ($X : S \rightarrow \mathbf{R}$) qui associe à chaque élément, s, d'un espace d'échantillonnage, S, un nombre $X(s)$ de l'espace des nombres réels, $\mathbf{R}$.

Étant donné que le futur d'une variable aléatoire ne peut être prédit de façon certaine, on doit la décrire dans le domaine des valeurs possibles qu'elle peut prendre. La description de la variable aléatoire est alors faite à travers le concept de distribution de probabilité. Ainsi, on considère la probabilité d'occurrence d'un événement en particulier et on détermine les chances de son occurrence.

4.2.3.2 Fonction de répartition

Pour chaque variable aléatoire on associe une fonction connue comme *fonction de répartition* définie par $F_X(x) = P(X \leq x), \forall x$ (la probabilité que X soit plus petit ou égal à x). Cette fonction doit vérifier les trois conditions suivantes :

i) $\lim_{x \to -\infty} F(x) = 0; \lim_{x \to +\infty} F(x) = 1$ (4.16)

ii) $F(x)$ est une fonction non décroissante de x (4.17)

iii) $F(x)$ est continue à droite, soit $\lim_{x \to x_0} F(x) = F(x_0)$. (4.18)

4.2.3.3 Fonction de densité de probabilité

Une variable aléatoire est dite *discrète* si son domaine est dénombrable, alors qu'une variable est *continue* si son domaine est un intervalle (a,b) tels que $a,b \in \mathbf{R}$ et $b>a$. Dans notre étude, nous travaillons avec des variables aléatoires continues. Ainsi, il est possible d'associer une autre fonction $f_X(x)$ connue comme la *fonction de densité de probabilités* définie comme :

$$P(X \leq x) = F_X(x) = \int_{-\infty}^{x} f_X(t)dt, \forall x . \tag{4.19}$$

Cette fonction de densité de probabilité doit vérifier les 2 conditions suivantes :

$$i)\ f_X(x) \geq 0, \forall x \tag{4.20}$$

$$ii)\ \int_{-\infty}^{\infty} f_X(x) = 1 . \tag{4.21}$$

Si en plus la fonction de densité de probabilité est continue, le théorème fondamental du calcul montre que les propriétés suivantes sont satisfaites :

$$iii)\ \frac{d}{dx} F_X(x) = f_X(x) \tag{4.22}$$

$$iv)\ \int_a^b f_X(x)dx = F_X(b) - F_X(a) = P(a < X \leq b) \tag{4.23}$$

$$v)\ P(a < X < b) = P(a < X \leq b) = P(a \leq X < b) = P(a \leq X \leq b) \tag{4.24}$$

Cette dernière propriété nous donne la notion de la spécification d'un intervalle de probabilité.

Alors, les fonctions de répartition sont explicites seulement dans le cas que l'intégrale indéfinie existe. De ce fait, en pratique les lois de probabilité continues sont généralement définies en termes de fonctions de densité de probabilité, et le problème de modélisation des variables aléatoires associées aux données consiste à spécifier les répartitions possibles et leurs dépendances.

4.2.4 Estimation des paramètres des distributions

Intuitivement, la notion d'estimation est plutôt simple à comprendre. On observe les réalisations d'une variable aléatoire dont on connaît la distribution à l'exception de quelques paramètres. À l'aide des réalisations observées et d'une méthode d'estimation, on doit déterminer les valeurs des paramètres inconnus. Cependant, l'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de la loi de probabilité ainsi que de la taille et des caractéristiques de l'échantillon.

Il existe plusieurs méthodes pour ajuster les lois et pour estimer leurs paramètres. Le logiciel HYFRAN inclut les méthodes d'estimation les plus efficaces pour chaque loi. Pour une information plus détaillée, voir par exemple CHS (2002).

4.2.5 Estimation des quantiles

Pour atteindre l'objectif de l'analyse hydrologique de fréquences, on établit la relation entre les événements hydrologiques extrêmes (crues, étiages, etc.) et leurs probabilités au dépassement ou au non-dépassement. Étant donné que les événements extrêmes n'ont pas un patron fixe dans le temps pas plus qu'une amplitude fixe, les intervalles d'occurrence varient. Le temps moyen d'occurrence entre les événements extrêmes est défini comme étant la *période de retour* (Cunnane, 1989). Cette définition de la période de retour ne donne aucune relation entre la probabilité d'occurrence d'un événement extrême et sa période de retour. Cependant, on peut justifier la relation entre la probabilité d'occurrence des événements extrêmes et leur période de retour (Rao et Hamed, 2001).

L'interprétation de la période de retour dépend du type de risque que l'on désire étudier et de la variable aléatoire considérée. Dans le cadre du présent projet, on est intéressé par la gestion des ressources en eau lors d'une sécheresse. Notre variable aléatoire est alors le débit minimum annuel, estival ou hivernal. Un événement extrême survient alors lorsque ce débit minimum ne dépasse pas un débit minimum critique, q_c. Ainsi, la probabilité que l'événement extrême de période de retour T ne dépasse pas le débit minimum critique est donnée par :

$$P(Q_T \leq q_c) = 1/T. \tag{4.25}$$

Cette probabilité est reliée aux quantiles de la distribution statistique par la fonction de répartition :

$$F(Q_T \mid \underline{\theta}) = P(Q_T \leq q_c) = 1/T, \tag{4.26}$$

où $\underline{\theta}$ est le vecteur de paramètres de la loi. Ainsi, le quantile Q_T est calculé en appliquant la fonction inverse F^{-1} qui s'exprime de la façon suivante :

$$Q_T = F^{-1}\left(\tfrac{1}{T} \mid \underline{\theta}\right). \tag{4.27}$$

En pratique, les débits sont classés selon une statistique d'ordre $\left(x_{(1)}, x_{(2)}, ..., x_{(N)}\right)$ tel que $x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq ... \leq x_{(N)}$, et sont présentés sur des graphiques où l'échelle de l'axe des abscisses est représentée en coordonnées de probabilité (papier normal). Cette procédure permet de vérifier que les données suivent adéquatement le modèle statistique ajusté, ainsi que de détecter les erreurs et la présence possible de données singulières. Pour tracer un graphique sur papier de probabilité, on doit spécifier une probabilité initiale au non dépassement pour chaque valeur de l'échantillon à l'aide de la formule de probabilité empirique générale (Cunnane, 1978) :

$$P_i = \frac{i - \alpha}{N + 1 - 2\alpha} \tag{4.28}$$

où i est le rang de l'observation, N est la taille de l'échantillon, et $\alpha \in [0,1]$ est un coefficient. Pour notre étude, nous avons choisi la valeur de $\alpha = 2/5$ proposée par Cunnane (1978), car cette valeur est valable pour toutes les distributions de probabilité (formule de compromis). D'autres valeurs ont été proposées comme le montre le tableau 4.5.

Tableau 4.5. Formules de probabilité empiriques.

Noms	α	Formules
Weibull (1939)	0	$\frac{i}{N+1}$
Beard (1943)	0.31	$\frac{i-0.31}{N+0.38}$
Hazen (1914)	1/2	$\frac{i-1/2}{N}$
Benard et Bos-Levenbach (1953)	0.30	$\frac{i-0.3}{N+0.4}$
Blom (1958)	3/8	$\frac{i-3/8}{N+1/4}$
Tukey (1962)	1/3	$\frac{i-1/3}{N+1/3}$
Gringorten (1963)	0.44	$\frac{i-0.44}{N+0.12}$
Cunnane (1978)	2/5	$\frac{i-2/5}{N+1/5}$

4.2.6 Choix des lois les plus adaptées

En hydrologie, comme dans les autres domaines scientifiques où l'ajustement de lois de probabilité est nécessaire, existe le problème de choisir la distribution la plus adaptée aux données observées. Ainsi, nous avons choisi d'utiliser deux procédures basées sur le calcul de la fonction de vraisemblance et qui ont l'avantage d'être objectives et automatiques (Tsay, 1984). Ce sont le critère d'information Bayésien (BIC) proposé par Schwarz (1978) et le critère d'information d'Akaike (AIC; 1974). Ces deux critères permettent de construire un classement de modèles statistiques tenant compte du principe de parcimonie (Faraway et Chatfield, 1998).

4.2.6.1 Fonction de vraisemblance

Dans le calcul de la vraisemblance, on considère que $x_1, ..., x_n$ est un échantillon indépendant et identiquement distribué (i.i.d.) de taille n d'une population avec une fonction de densité de probabilité $f(x \mid \underline{\theta}) = f(x \mid \theta_1,...,\theta_k)$. La fonction de vraisemblance est alors définie par :

$$L(\underline{\theta} \mid x) = L(\theta_1,...,\theta_k \mid x_1,...,x_n) = \prod_{i=1}^{n} f(x_i \mid \theta_1,...,\theta_k) \tag{4.29}$$

Pour obtenir les valeurs optimales de la fonction, il faut satisfaire les conditions de premier et deuxième ordre du calcul différentiel. Cependant, la fonction de vraisemblance étant un produit de n fonctions, l'expression de la dérivée peut devenir confuse. Si on prend le logarithme de la fonction, lequel est une transformation qui conserve les points extrêmes de la fonction de vraisemblance (car le logarithme est une fonction monotone et strictement croissante), on peut utiliser les propriétés des logarithmes et remplacer le produit par la sommation.

Pour simplifier, on peut supposer que la fonction dépend seulement d'un paramètre. Ainsi la fonction de log-vraisemblance s'exprime comme suit :

$$\ln\left[L(\theta \mid x)\right] = \sum_{i=1}^{n} f(x_i \mid \theta), \tag{4.30}$$

et les conditions que la valeur optimale $\hat{\theta}$ doit satisfaire sont :

$$\left.\frac{\partial \ln(L)}{\partial \theta}\right|_{\theta=\hat{\theta}} = 0 \tag{4.31}$$

$$\left.\frac{\partial^2 \ln(L)}{\partial \theta^2}\right|_{\theta=\hat{\theta}} < 0 \tag{4.32}$$

Dans le cas de deux paramètres ou plus, la fonction doit satisfaire ces trois conditions (pour les expressions analytiques de ces conditions, voir par exemple Casella et Berger, 2001) :

1. toutes les dérivées partielles évaluées en son point extrême $\hat{\theta}_i$ sont nulles,

2. au moins une dérivée partielle de deuxième ordre évaluée en son point extrême $\hat{\theta}_i$ est négative,

3. le déterminant de la matrice des dérivées partielles de deuxième ordre (Hessienne) est positif.

4.2.6.2 Critères d'information Bayésien et d'Akaike

Les critères d'information sont définis par rapport à la fonction de vraisemblance (Tsay, 1984) comme :

$$AIC\left(\hat{\theta}\right) = -2\log\left(L\right) + 2k \tag{4.33}$$

$$BIC\left(\hat{\theta}\right) = -2\log\left(L\right) + 2k\log\left(N\right) \tag{4.34}$$

où $L = L\left(\hat{\theta} \mid x\right) = L\left(\hat{\theta}_1,...,\hat{\theta}_k \mid x_1,...,x_N\right)$ est la fonction de vraisemblance, $\hat{\theta}$ est le vecteur des paramètres estimés pour la distribution considérée, k est le nombre de paramètres indépendants du modèle et N est la taille de l'échantillon. Les meilleurs ajustements correspondent aux plus faibles valeurs de ces coefficients.

4.2.6.3 Résultats de sélection de lois les plus adaptées

Les critères AIC et BIC donnent en général la même sélection de lois statistiques. Ce résultat est dû à la propriété de parcimonie des critères. Cependant, étant donné que le critère de BIC tend à pénaliser plus sévèrement les lois ayant plusieurs paramètres que le critère AIC, il y a des stations où les lois retenues sont différentes et où le critère de BIC privilégie les lois toujours plus simples que le critère AIC. Conséquemment, en accord avec le principe de parcimonie, nous avons gardé les lois avec le moins de paramètres.

Les tableaux 4.6 et 4.7 montrent les proportions d'apparition de chaque loi par rapport au nombre total de stations pour les étiages annuels, estivaux et hivernaux. Le tableau 4.6 correspond à la période de 7 jours et le tableau 4.7 à la période de 30 jours. Les diagrammes en barres montrés dans la figure 4.3 et la figure 4.4 comparent les fréquences d'occurrence des lois retenues. Ces

résultats montrent que pour les trois saisons (annuelle, hivernale et estivale) les lois de probabilité à deux paramètres (log normale à 2 paramètres, Gumbel et gamma) sont les distributions les plus retenues pour les ajustements des débits d'étiages des stations hydrométriques. La loi Weibull est aussi retenue mais dans une proportion moindre. Cette répartition des lois suggère que les débits d'étiages hivernaux et annuels ont tendance à être ajustés par la même loi de probabilité. On constate que les lois à 3 paramètres (Pearson type 3, log-Pearson type 3, log-normale à 3 paramètres, Pareto généralisée et valeurs extrêmes généralisées) sont peu adaptées aux séries des débits d'étiage. Ceci est une conséquence directe du principe de parcimonie que nous avons accepté de suivre avec l'application des critères de AIC et BIC.

La province de Québec est composée d'une diversité de bassins versant dont leurs caractéristiques hydrologiques et physiographiques / météorologiques (annexe D.2). Ainsi, il n'est pas possible d'identifier une cohérence spatiale dans les lois ajustées. Les figures 4.5 et 4.6 montrent la distribution spatiale de lois de probabilité pour les débits d'étiage de 7 et 30 jours, respectivement. Comme on peut le constater dans les figures 4.5 ou 4.6, les différentes lois de probabilité sont reparties spatialement sans privilégier les bassins par rapport à leur taille ou leur localisation géographique. Cependant, si on compare les figures 4.5a (Q_7) et 4.6a (Q_{30}), la 4.5b (Q_7) et 4.6b (Q_{30}), et la 4.5c (Q_7) et 4.6c (Q_{30}), la seule structure dans la distribution géographique de lois de probabilité est identifiée dans le bouclier canadien (nord-est de la région d'étude). Ce comportement peut être dû à que cette région est caractérisée par de bassins versants de grande taille, alors le changements dans les débits sont plus lents et les lois de probabilité sont ainsi les mêmes pour les deux périodes.

Une caractéristique commune à toutes les lois retenues est qu'elles permettent d'ajuster les données pour des stations dont l'aire des bassins versants varie dans un intervalle étendu. On peut donc affirmer que le choix de la loi la mieux adaptée n'est pas affecté par la taille des bassins versants. Dans le tableau 4.8, on montre à titre d'exemple la gamme de taille de bassins versants en km^2 pour la loi Weibull à deux paramètres (W2). On peut y constater que cette loi s'applique autant pour les grands bassins (Nottaway, 57500 km^2) que pour les petits (Ruisseau des Aulnaies, 1.22 km^2).

Figure 4.3. Comparaison de la fréquence d'apparition des lois de probabilité ajustées pour la période Q_7.

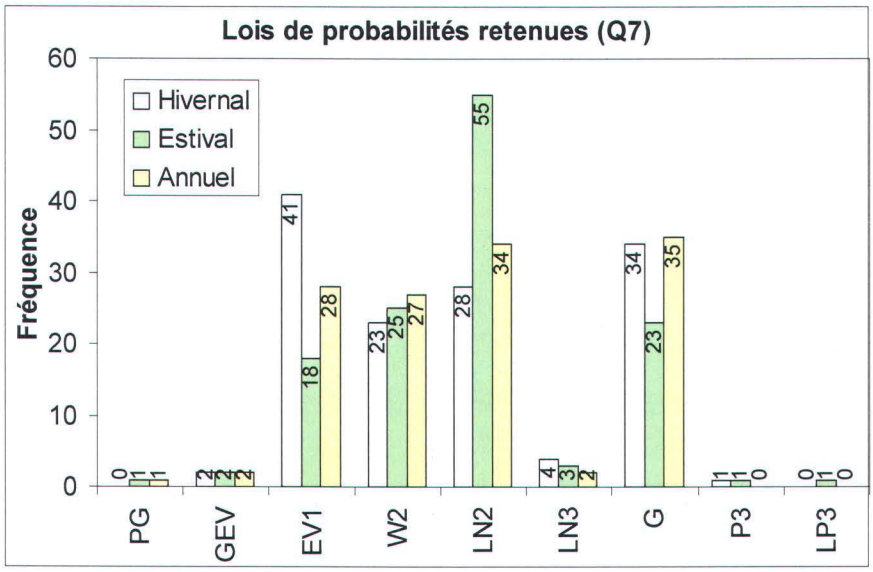


Tableau 4.6. Pourcentage d'apparition des lois de probabilité ajustées pour la période Q_7.

Loi de probabilité (Q7)		Hivernal		Estival		Annuel	
		Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Pareto Généralisée	(PG)	0	0	1	1	1	1
General extreme value	(GEV)	2	2	2	2	2	2
Gumbel	(EV1)	41	31	18	14	28	22
Weibull	(W2)	23	17	25	19	27	21
Log-Normale à 2 paramètres	(LN2)	28	21	55	43	34	26
Log-Normale à 3 paramètres	(LN3)	4	3	3	2	2	2
Gamma	(G)	34	26	23	18	35	27
Pearson type 3	(P3)	1	1	1	1	0	0
Log-Pearson type 3	(LP3)	0	0	1	1	0	0
Total		133	100	129	100	129	100

Figure 4.4. Comparaison de la fréquence d'apparition des lois de probabilité ajustées pour la période Q_{30}.

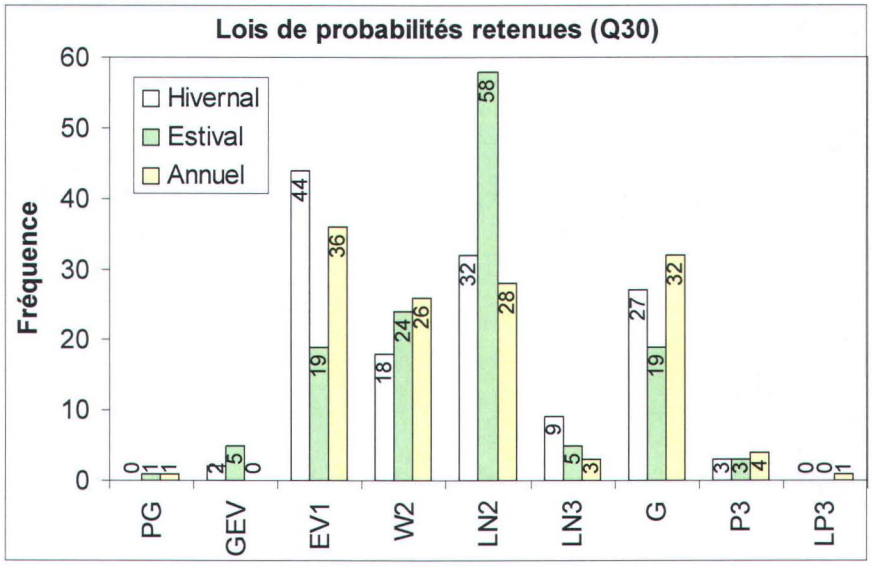


Tableau 4.7. Pourcentage d'apparition des lois de probabilité ajustées pour la période Q_{30}.

Loi de probabilité (Q30)		Hivernal		Estival		Annuel	
		Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Pareto Généralisée	(PG)	0	0	1	1	1	1
General extreme value	(GEV)	2	1	5	4	0	0
Gumbel	(EV1)	44	33	19	14	36	27
Weibull	(W2)	18	13	24	18	26	20
Log-Normale à 2 paramètres	(LN2)	32	24	58	43	28	21
Log-Normale à 3 paramètres	(LN3)	9	7	5	4	3	2
Gamma	(G)	27	20	19	14	32	24
Pearson type 3	(P3)	3	2	3	2	4	3
Log-Pearson type 3	(LP3)	0	0	0	0	1	1
Total		135	100	134	100	131	100

Figure 4.5. Distribution géographique des lois de probabilité ajustées aux débits d'étiage Q_7 pour les périodes : a) estivale, b) hivernale et c) annuelle.

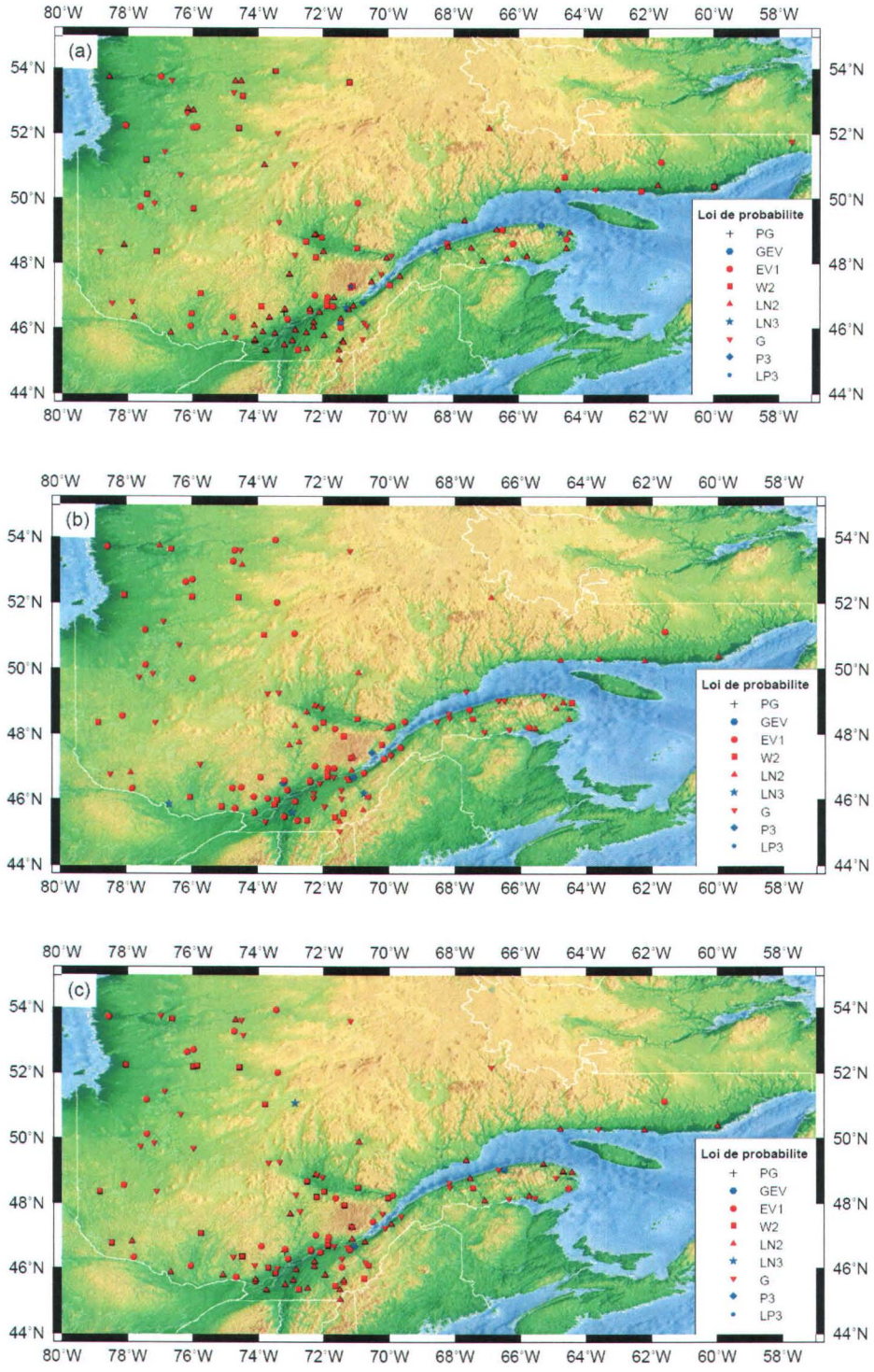


Figure 4.6. Distribution géographique des lois de probabilité ajustées aux débits d'étiage Q_{30} pour les périodes : a) estivale, b) hivernale et c) annuelle.

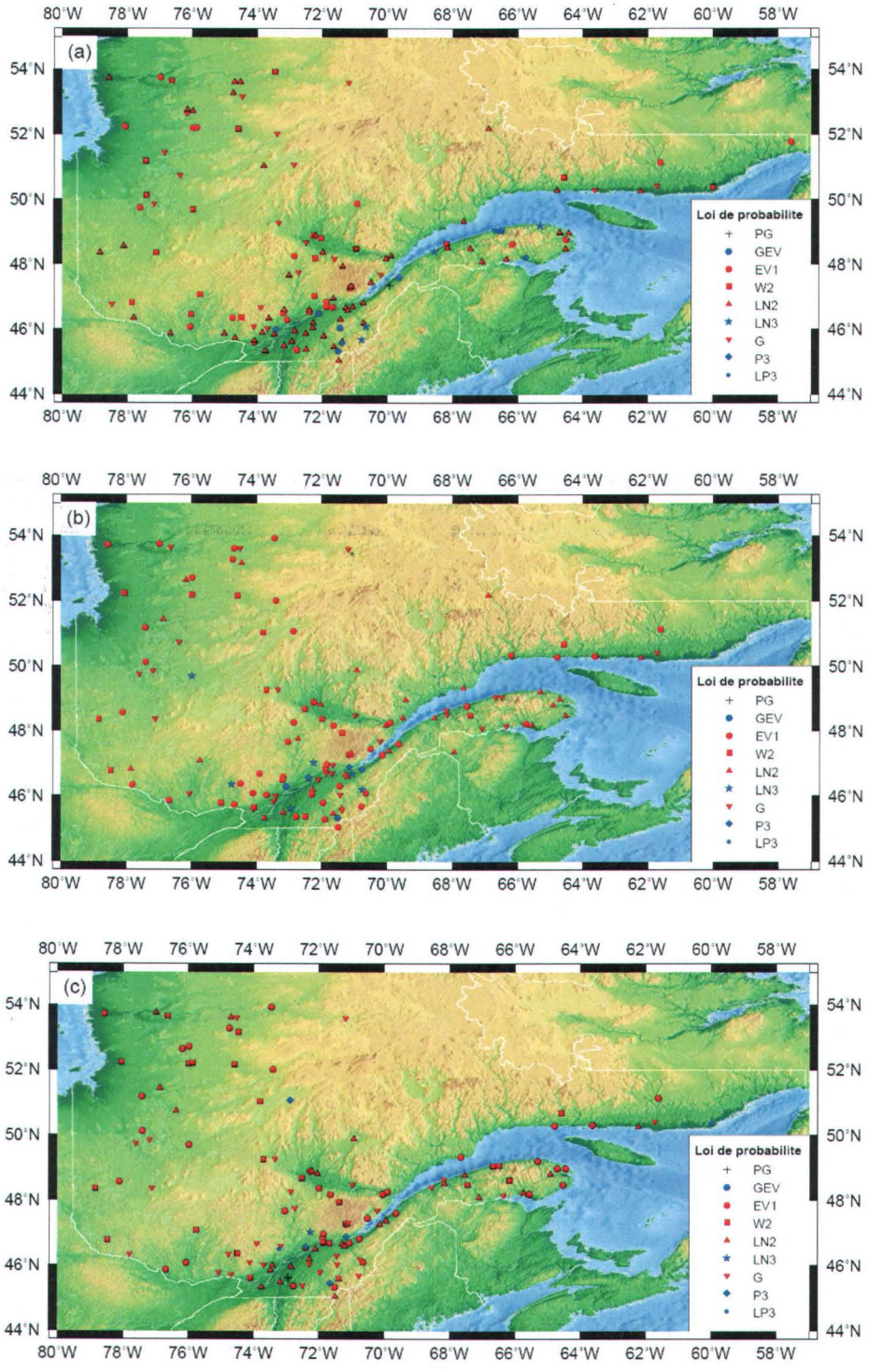


Tableau 4.8. Distribution de l'aire (km^2) des bassins versants pour la loi Weibull à deux paramètres (W2) .

Q30			Q7		
Est W2	Hiv W2	Ann W2	Est W2	Hiv W2	Ann W2
1.22	1.22	1.22	3.57	3.57	3.57
39.9	3.57	3.57	58.8	53.6	39.9
53.2	28	39.9	271	59.3	53.6
58.8	53.2	53.6	355	59.8	271
355	59.3	102	562	355	355
562	495	355	585	495	495
746	558	495	746	558	558
1090	585	558	783	642	562
1780	1330	585	1090	647	585
2110	2280	721	1390	738	642
2870	2590	774	1780	746	647
2950	2590	1680	2060	1290	736
3085	4330	1870	2950	1330	738
4580	7230	2280	3085	1340	746
6840	18100	2590	4580	1700	1170
7230	21400	2590	6840	2280	1270
8310	27700	3070	7230	2590	1870
9870	44300	4330	8310	3070	2280
10200		6840	10200	10900	2590
10900		7230	12800	18100	2590
17100		10900	13200	21400	3070
18700		13200	17100	27700	6840
21400		18100	18700	44300	10900
57500		21400	21400		18100
		27700	57500		21400
		44300			27700
					44300

5 APPLICATION DE LA MÉTHODOLOGIE A LA PROVINCE DE QUÉBEC : ANALYSE FRÉQUENTIELLE RÉGIONALE

La régionalisation des étiages appliquée aux bassins du Québec habité a été réalisée pour les étiages estivaux, hivernaux et annuels. Cette régionalisation a été faite pour les quantiles d'étiages de période de retour 2, 5 et 10 ans et d'une durée de 7 ou 30 jours. Dans la section 5.1 on trouve la méthodologie pour construire la base de données régionale (section 5.1.1) ainsi que le choix des variables explicatives physiographiques / météorologiques (section 5.1.2). Les résultats obtenus à l'aide des méthodologies retenues sont présentés comme suit : section 5.2, l'analyse canonique de corrélations (ACC-RM); section 5.3, la classification ascendante hiérarchique (CAH-RM); section 5.4, les régions d'influence (ROI-RM); section 5.5, la régionalisation par interpolation spatiale (RIS); et la section 5.6, l'approche par les L-moments.

5.1 Construction de la base de données

Le processus de régionalisation débute avec la construction d'une base de données de référence. Cette étape consiste tout d'abord en l'acquisition des variables physiographiques associées aux stations hydrométriques et météorologiques qu'on considère représentatives pour le type de phénomène étudié. Comme il est possible de retrouver des stations problématiques, il est nécessaire d'établir une procédure de choix des stations. L'étape suivante consiste donc en l'élimination des stations problématiques dans le but d'obtenir une base de données fiable et représentative du phénomène observé sur la région étudiée.

5.1.1 Choix des stations hydrométriques

La base de données pour la régionalisation est constituée par les stations utilisées lors de l'analyse fréquentielle locale avec un total de 189 stations (annexe, A). Parmi ces 189 stations, 27 ont été regroupées deux à deux puisqu'elles étaient localisées dans un environnement

physiographique, hydrologique et météorologique semblable. Les stations utilisées ont toutes été choisies selon les critères établis dans la section 4.1.1.

5.1.1.1 Tests statistiques

Lors de l'analyse fréquentielle locale, des tests d'indépendance (test de Wald-Wolfowitz) et de stationnarité (test de Kendall) ont été effectués pour vérifier si les stations disponibles respectaient les hypothèses de base des analyses d'indépendance ou de stationnarité. Les stations que rejettent l'hypothèse nulle au niveau de signification de 1% ne doivent pas alors être utilisées dans la régionalisation des étiages. Cependant, cette discrimination des stations est restreinte à la période où les stations n'ont pas passé les tests d'indépendance ou de stationnarité.

Par exemple, la station *030316* (tableau 5.1) ne sera pas utilisée lors de l'estimation de $Q_{T,30}$ pour la période hivernale, mais elle le sera pour $Q_{T,30}$ pour les périodes estivale et annuelle et pour les trois périodes (estivale, hivernale et annuelle) pour $Q_{T,7}$.

On retrouve *37* stations différentes n'ayant pas passé au moins un des deux tests. La liste de ces stations, selon la durée et la saison, est présentée au tableau 5.1.

Des stations restantes, *23* stations ont dû être éliminées pour différentes raisons. Le tableau 5.2 donne la liste de ces stations ainsi que les raisons de leur élimination. On remarque, entre autres, que pour les stations situées aux frontières des États-Unis ou du Nouveau-Brunswick, des données physiographiques et météorologiques étaient manquantes; ce qui empêchait l'extraction des variables nécessaires à l'estimation des débits d'étiage.

Tableau 5.1. Stations n'ayant pas passé les tests de stationnarité et/ou d'indépendance

$Q_{T,30}$			$Q_{T,7}$		
Estivale	Hivernale	Annuelle	Estivale	Hivernale	Annuelle
010801/010802	011001/011003	030215	010801/010802	011001/011003	011001/011003
020401/020404	021701/021702	030309	020401/020404	021701/021702	022003
021601	030309	041903	021601	030215	022701/022704
022701/022704	030316	052601	022701/022704	030309	030215
030215	061602	061602	030214/030234	061901	030242
030309	061901	061901	030215	072301	030309
040401/040406	076601	072301	030309	073502/073503	051006
050409	090605	072302	040212	074903	061901
051001	090606	076601	040401/040406	076601	072301
051002	052806	090606	050117/050135	090605	073502/073503
051003			051001	090606	074903
051005			051002		076601
061901			051003		090606
061906			051005		
072301			052202/052219		
			052203/052212		
			061020		
			061022		
			061901		
			061906		
			072301		

Tableau 5.2. Stations éliminées

Raisons	Stations
Données manquantes (frontière États-Unis / Canada)	030286, 030401, 030402/030403
Données manquantes (frontière Québec / Nouveau Brunswick)	011601
Séries de débits avec moins de 10 ans de données	040115, 040402, 043008, 043202, 050118, 050402, 052201, 052801, 070201, 072502, 076201, 080703
Données physiographiques / météorologiques ou hydrologiques incomplètes	073802, 075701/075702, 075703, 075704, 076101, 074901
Effet de laminage	042607

Par la suite, plusieurs stations jaugées ont également été éliminées de la base de données de référence dû à certaines anomalies. Parmi les anomalies se trouvent la composition du sol des rivières que pendant leur condition d'étiage ont une régime hydrologique plus complexe et c'est ainsi que les stations sont considérées comme ayant un régime hydrologique particulier. Ces stations problématiques sont présentées au tableau 5.3.

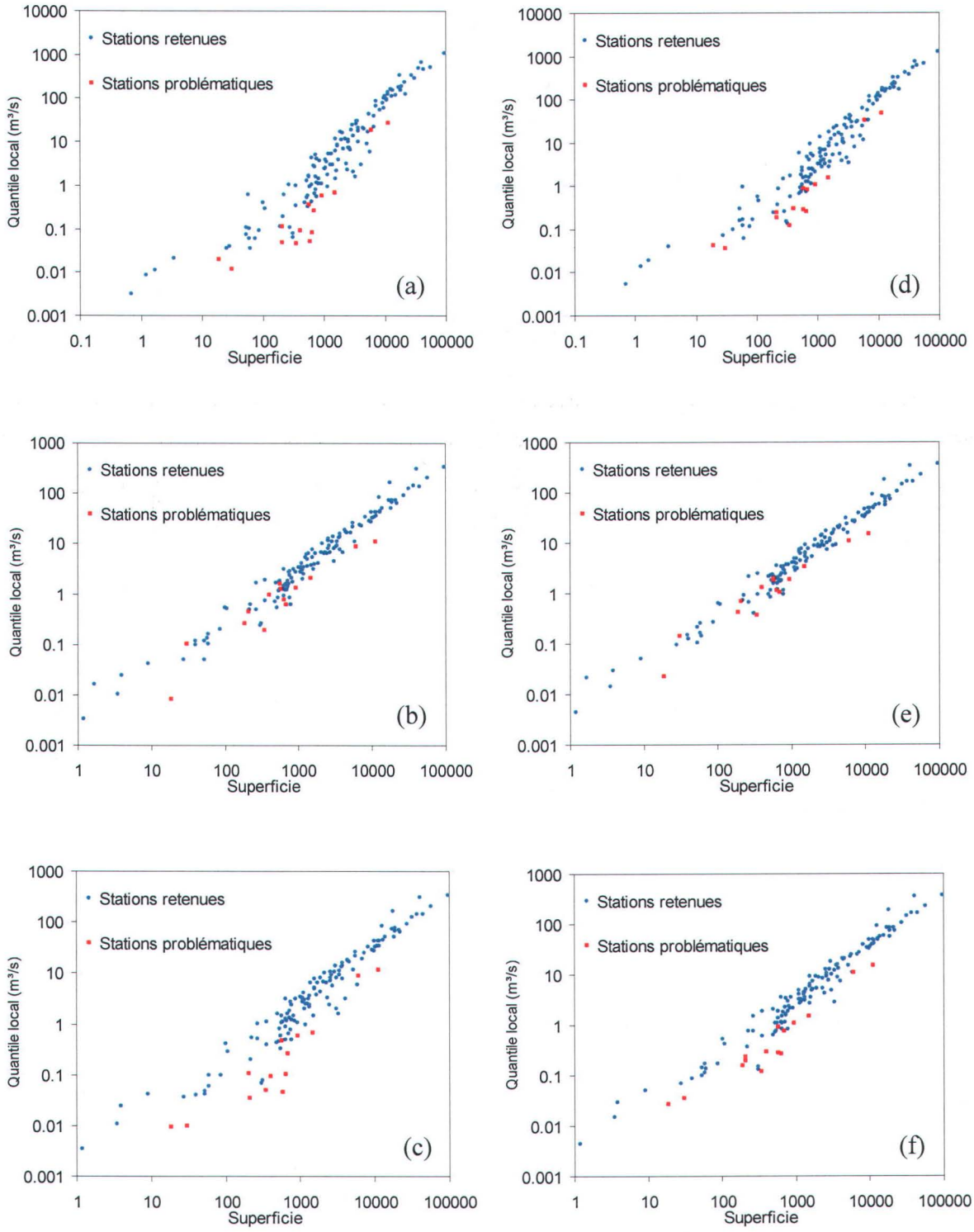
Tableau 5.3. Stations problématiques éliminées

Station	Rivière	Situation géographique	Type d'anomalie
021701/021702	Blanche	À 3,5 km en amont du pont-route 132	Régime hydrologique particulier
022301	Trois-Pistoles	À 2,1 km en amont du pont-route 132	
023422	Famine	À 6,3 km en amont du pont-route 173 à Saint-Georges	
030242	Eaton	En aval du pont-route 210 à Sawyerville	
030304	Noire	À 7,6 km de la Yamaska	
030314	Yamaska Sud	Au pont-route 202 à Cowansville	
030339	Noire	À 4,1 km en amont du ruisseau Runnels	
030343	Yamaska Nord	À 0,1 km en aval du barrage du lac Waterloo	
030420	Aux Brochets	À 0,7 km en aval du ruisseau Groat	
030421	De l'Acadie	À 3,0 km en amont du pont de l'autoroute 10	
030907	Des Anglais	À 1,1 km en aval du pont-route à Riverfield	
042103	Maganasipi	À la sortie du lac Johnson	
052806	Décharge du lac Sacacomie	En amont du lac Rouge	Effet de laminage
080104	Turgeon	À 14,3 km en amont de l'Harricana	Pourcentage de lac
081101	Pontax	À 60,4 km de l'embouchure	Pourcentage de lac

Les stations *081101* et *080104*, sont situées dans la zone de développement hydroélectrique au Québec. Le pourcentage de lac associé à ces stations présente des inconsistances dans les données mesurées avant et après la construction de barrage. De ce fait, ces stations ont été jugées problématiques pour la régionalisation des étiages.

En ce qui concerne les autres stations, plusieurs hypothèses peuvent être émises pour expliquer leur comportement particulier. On peut supposer qu'il existe des erreurs dans les données associées à ces stations. De plus, il est possible que malgré l'utilisation de variables caractérisant la température et le sol, des phénomènes particuliers se produisant dans cette région ne soient pas représentés par les variables utilisées. Dans la figure 5.1, on montre les quantiles $Q_{10,7}$ et $Q_{5,30}$ pour les périodes estivale, hivernale et annuelle, respectivement, en fonction de la superficie du bassin versant. Les points bleus représentent toutes les stations et les carrés rouges, les stations problématiques. On remarque que la plupart des stations problématiques présentent de faibles valeurs d'étiages.

Figure 5.1. Quantiles locaux en fonction de la superficie du bassin versant : a) $Q_{10,7}$ estivale, b) $Q_{10,7}$ hivernal, c) $Q_{10,7}$ annuel, d) $Q_{5,30}$ estival, e) $Q_{5,30}$ hivernal et f) $Q_{5,30}$ annuel



Après cette épuration, la base de données finale pour régionalisation contient les nombres de stations donnés au tableau 5.4.

Tableau 5.4. Nombre de stations disponibles selon la période et la durée

$Q_{T,30}$			$Q_{T,7}$		
Estivale	Hivernale	Annuelle	Estivale	Hivernale	Annuelle
134	135	131	129	133	129

5.1.2 Variables physiographiques et météorologiques

Pour chacune des stations jaugées, onze variables, dont six physiographiques et cinq météorologiques, ont été compilées pour caractériser la topographie, la morphologie, l'occupation du sol et la climatologie du bassin versant (tableau 5.5). Ces paramètres on été considérés comme les plus importants pour décrire la réponse hydrologique des sites. Le tableau 5.5 montre les variables considérées ainsi que les unités dans lesquelles elles sont exprimées et les abréviations assignées.

Tableau 5.5. Variables physiographiques et météorologiques considérées

Variable	Unité	Notation
Superficie du bassin versant	km^2	BV
Pente moyenne du bassin versant	degrés	PMBV
Latitude de la station	degrés	LAT
Pourcentage de superficie de forêt	%	PFOR
Pourcentage de superficie de lac (comprenant les marais)	%	PLAC
Précipitation totale (solide et liquide) moyenne annuelle	mm	PTMA
Précipitation liquide moyenne pour la saison d'été-automne (juillet-décembre)	mm	PLME
Degré-jour moyen annuel < 0°	dgr-jr	DJBZ
Degré-jour moyen annuel > 13°	dgr-jr	DJH13
Nombre de jours où la température est > 27 °	nb de jours	NJH27
Numéro de courbe moyen	-	NCM

5.1.2.1 Extraction des variables physiographiques et météorologiques

La méthode employée pour extraire les variables physiographiques et météorologiques est expliquée en détails à l'annexe (D.1). La variable représentant la localisation géographique de la station hydrométrique (latitude) a été extrait de la banque de données hydriques (BDH) du MDDEP (Ministère de l'Environnement du Québec, 2002). La superficie du bassin versant (BV) et la pente moyenne du bassin versant (PMBV) sont utilisées pour caractériser la configuration du bassin versant. La BV a été extraite de la BDH et la PMBV a été obtenue suite à un calcul de pente moyenne sur le bassin de drainage à partir d'un modèle numérique d'altitude (MNA) ayant une résolution de 1 km^2 (Ministère des Ressources Naturelles du Canada, 2001). L'occupation et la caractéristique du sol de l'aire de drainage (pourcentage de forêt, pourcentage de lac, numéro de courbe moyen), ont été extraites comme suit : les variables représentant le pourcentage de lacs et de forêts ont été extraites de Belzile et al. (1997) ou à partir de couches numériques des lacs à l'échelle du 1 : 1 000 000 (Ministère des Ressources Naturelles du Canada, 2002) et de la forêt à l'échelle du 1 : 1 000 000 (Ministère des Ressources Naturelles du Canada, 2002). Le numéro de courbe moyen a été obtenu pour chaque station à partir d'une classification des caractéristiques du sol du bassin concerné. En fait, un numéro de courbe moyen a été attribué à chaque station selon les caractéristiques du sol du bassin versant. Une classification américaine (Département d'Agriculture des États-Unis d'Amérique, 2004) des caractéristiques du sol a été adaptée au cas du Québec. Le tableau 5.6 montre les propriétés qui sont tenues en compte par cette variable et décrit aussi l'adaptation qui a été faite à partir de la classification américaine (Département d'Agriculture des États-Unis d'Amérique, 2004). On retrouve en caractères gras la classification canadienne (Ministère de l'agriculture et de l'agroalimentaire du Canada, 1998) et en caractères italiques la classification américaine. La description de ces diverses classifications est présentée dans l'annexe (E).

Tableau 5.6. Numéro de courbe moyen selon les caractéristiques du bassin

Classe d'utilisation du sol	Classe de végétation	Classe de drainage du sol			
		A	*B*	*C*	*D*
		E,R	**W,M**	**I, P**	**V**
agriculture	**A**	64	75	82	85
forêt	**C, D, M, S**	30	55	70	77
herbe, pâturage	**G, P, TA, TH, TM, TL, TB**	39	61	74	80
eau, terres et milieux humides	**B, F, R, SP, W**	0	0	0	0
aucune donnée	**H, L, U, #**	-	-	-	-

Un fait intéressant est que les variables physiographiques (BV, PMBV, LAT, PFOR, PLAC, NCM) peuvent être recueillies de façon quasi-instantanée à l'aide de certains Systèmes d'Information Géographique (SIG) ou directement de la BDH du ministère (annexe, D.2). Par exemple, l'extension « *Spatial Analyst* » développée par ESRI (2002) pour optimiser la modélisation du jeu de données dans des logiciels consacrés à la consultation (e.g. *ArcView*).

Les cinq variables météorologiques (précipitation totale moyenne annuelle, précipitation liquide moyenne pour la saison d'été/automne, degré-jour moyen inférieur à 0°, degré-jour moyen supérieur à 13°, nombre de jours moyen où la température est supérieure à 27°) ont été tirées d'une interpolation spatiale des données météorologiques du MDDEP (annexe, D.2). La méthode d'interpolation numérique employée est le krigeage universel linéaire sans cokrigeage. Cette estimation est faite à l'aide d'un SIG. En utilisant la localisation géographique de chaque station météorologique (latitude, longitude), une interpolation des isovaleurs pour tout le Québec peut être produite à une échelle de 1 : 1 000 000. Cette interpolation des valeurs ponctuelles météorologiques a été faite à l'aide d'une extension dans *ArcView* appelée « *Kriging Interpolation* ».

Les stations météorologiques ont été choisies avec un minimum de 15 ans de données à partir de 1940. Les données mensuelles de ces stations proviennent de la banque de données météorologiques du MDDEP (Ministère de l'Environnement du Québec, 2001). Le tableau 5.7 résume le nombre de stations climatologiques retenues pour chaque variable météorologique.

Tableau 5.7. Variable et nombre de stations météorologiques utilisées

Variable météorologique	Précipitation totale moyenne annuelle	Précipitation liquide moyenne en été/automne	Degré-jour moyen annuel < 0 °C	Degré-jour moyen annuel > 13 °C	Nombre de jour moyen > 27 °C
Nombre de stations météorologiques	449	439	416	426	632

Les grilles régulières résultantes représentent les isovaleurs météorologiques des moyens et grands bassins, avec une résolution de 1 km^2, sur projection cartographique conique de type Lambert conforme pour le Québec. La taille de grille est de 1826×1637 et comprend toute la région du Québec.

Une fois les objets ponctuels interpolés sur des surfaces continues, les valeurs devaient être ramenées à l'ensemble du bassin versant cible. Une méthode d'extraction de type matriciel (grille régulière ou maillage) a été utilisée. Comme le but de l'étude est l'analyse régionale, la structure vectorielle a été laissée de côté. La procédure matricielle est plus rapide, simple et s'effectue sur des grilles homogènes ayant des pixels de 1 km^2.

En fait, il s'agit de sélectionner le bassin cible, faire l'extraction des différentes couches (météorologique ou physiographique) et de calculer la moyenne arithmétique des pixels sur la totalité du bassin. Cette méthode d'intégration a également inspiré le calcul des valeurs physiographiques calculées sur le bassin de drainage, comme le pourcentage des lacs (PLAC), le numéro de courbe moyen (NCM), le pourcentage de forêt (PFOR) et la pente moyenne du bassin versant (PMBV). Ainsi ces variables sont disponibles sous forme de structure matricielle (pixels de 1 km^2).

5.1.2.1.1 Choix des variables explicatives

Le tableau 5.8 présente les statistiques descriptives pour chacune des variables disponibles.

Tableau 5.8. Statistiques descriptives des variables physiographiques et météorologiques

	BV	PMBV	PLAC	PTMA	DJBZ	PFOR	LAT	NJH27	DJH13	PLME	NCM
Moyenne	5655.52	2.40	6.33	1018.03	1635.15	85.78	48.30	12.28	322.51	464.51	45.08
Médiane	1390.00	2.21	4.00	1010.00	1428.10	90.30	47.94	12.20	328.60	460.00	44.00
Écart-Type	11685.7	1.10	6.57	177.80	529.29	15.97	2.35	7.57	147.69	77.40	12.56
Minimum	0.70	0.13	0.00	646.00	920.60	6.50	45.05	0.80	70.20	306.00	21.00
Maximum	96600	6.95	32.00	1520.00	2963.10	100.00	53.94	36.60	734.10	664.00	78.20
Asymétrie	4.58	0.93	1.34	0.65	1.00	-2.27	0.81	0.61	0.32	0.37	0.33
Kurtosis	27.68	1.84	1.40	1.01	-0.07	5.92	-0.27	0.25	-0.22	-0.17	-0.74

Ces statistiques donnent de l'information à propos de la distribution de chacune des variables. Par exemple, les coefficients d'asymétrie (*skewness*) et d'aplatissement (*kurtosis*) sont de bons indicateurs de la normalité d'une variable. La représentation sur papier normal d'une variable permet aussi de déterminer si une transformation doit être appliquée dans le but de normaliser la variable. En effet, une statistique de Filliben (1975) près de 1 et un nuage de points faisant ressortir une forme linéaire sont deux indicateurs de la normalité d'une variable. Ces graphiques (annexe, F) et les statistiques présentées au tableau 5.8 ont donc été utilisés dans le but de vérifier l'hypothèse de normalité pour chaque variable. Certains variables doivent être transformées avec une fonction logarithmique ou avec la racine carrée pour pouvoir les normaliser. Le tableau 5.9 résume les transformations utilisées pour normaliser les variables physiographiques / météorologiques.

À noter qu'une transformation logarithmique sera aussi appliquée à tous les quantiles d'étiages.

La superficie de drainage explique généralement une proportion importante de la variabilité des débits sur une région donnée. On montre dans le tableau 5.10 comme les quantiles d'étiage étudiés sont fortement corrélés à la superficie du bassin versant.

Tableau 5.9. Transformation à appliquer dans le but de normaliser les variables

Variables	Description	Transformation à appliquer
BV	Superficie du bassin versant	Logarithmique
PMBV	Pente moyenne du bassin versant	Aucune
PLAC	Pourcentage de superficie de lac (comprenant les marais)	Racine carrée
PTMA	Précipitation totale (solide et liquide) moyenne annuelle	Logarithmique
DJBZ	Degré-jour moyen annuel < 0°	Logarithmique
PFOR	Pourcentage de superficie de forêt	Aucune
LAT	Latitude de la station	Logarithmique
NJH27	Nombre de jours où la température est > 27 °	Aucune
DJH13	Degré-jour moyen annuel > 13°	Aucune
PLME	Précipitation liquide moyenne pour la saison d'été-automne (juillet-décembre)	Aucune
NCM	Numéro de courbe moyen	Aucune

Tableau 5.10. Corrélation des différents quantiles avec la variable BV

Estival			Hivernal			Annuel		
$Q_{5,30}$	$Q_{2,7}$	$Q_{10,7}$	$Q_{5,30}$	$Q_{2,7}$	$Q_{10,7}$	$Q_{5,30}$	$Q_{2,7}$	$Q_{10,7}$
0.94123	0.94395	0.92695	0.9812	0.98308	0.9754	0.96622	0.96297	0.94429

Le fait que les quantiles d'étiage soient fortement corrélés avec l'aire de drainage des bassins versants nous amène à un premier cas d'étude d'estimation régionale des débits d'étiage. Cette estimation sera basée seulement sur la variable de la superficie du bassin versant, BV. Ainsi l'affirmation que la superficie de drainage explique une proportion importante de la variabilité des débits d'étiage sera vérifiée, en particulier pour la période hivernale qui présente les corrélations plus fortes. Le deuxième cas d'étude sera développé en ajoutant d'autres variables physiographiques et météorologiques choisies parmi celles mentionnées au tableau 5.5.

Dans le but de choisir quelles variables seront utilisées en plus de la superficie de drainage, il faut tenir compte de deux critères suivants :

1. Les corrélations entre les variables physiographiques / météorologiques permet de trouver les variables fortement dépendantes les unes des autres. Cela permet d'identifier et d'éviter la redondance dans le choix des variables explicatives.

2. L'expérience de l'hydrologue. Car si le choix des variables explicatives n'est pas évident, il est préférable de baser le choix sur l'expérience des hydrologues pour identifier les variables qui ont un impact significatif sur les variables hydrologiques à régionaliser.

Tableau 5.11. Corrélations entre les variables physiographiques et météorologiques

	BV	PMBV	PLAC	PFOR	NCM	PTMA	PLME	LAT	DJBZ	NJH27	DJH13
BV	1.000	-0.107	0.514	-0.028	-0.188	-0.485	-0.430	0.559	0.574	-0.306	-0.380
PMBV		1.000	-0.229	0.327	-0.207	0.256	0.081	0.050	-0.045	-0.402	-0.295
PLAC			1.000	-0.066	-0.225	-0.587	-0.541	0.605	0.642	-0.257	-0.416
PFOR				1.000	-0.359	0.115	-0.024	0.168	0.152	-0.438	-0.408
NCM					1.000	0.150	0.224	-0.439	-0.385	0.467	**0.601**
PTMA						1.000	0.908	-0.623	-0.549	0.065	0.236
PLME							1.000	-0.676	-0.589	0.217	0.378
LAT								1.000	**0.903**	**-0.704**	**-0.829**
DJBZ									1.000	**-0.657**	**-0.784**
NJH27										1.000	**0.933**
DJH13											1.000

Le tableau 5.11, permet de souligner certaines particularités du choix des variables à considérer dans les modèles de régionalisation :

- la variable NCM est corrélée à la variable DJH13.
- les variables NJH27 et DJH13 sont fortement et positivement corrélées. Cela s'explique facilement puisque ce sont deux variables mesurant des températures relativement élevées. Si le nombre de jours où la température est supérieure à 27°C est grand, il y aura certainement un grand nombre de «degrés-jour supérieur à 13°C ». De plus, ces deux variables sont corrélées négativement avec la variable DJBZ, ce qui est logique puisque cette variable est aussi une variable de température mesurant plutôt les basses températures. Finalement, ces trois variables de température sont corrélées à la variable

latitude, LAT. Cette relation n'est pas surprenante puisque le bilan énergétique global montre que la température diminue avec la latitude.

De plus, pour orienter le choix des variables explicatives, les corrélations entre les quantiles spécifiques ($Q_{S_{d,T}} = \frac{Q_{d,T}}{BV}$) et les variables physiographiques et météorologiques ont aussi été calculées (tableau 5.12). Les quantiles spécifiques permettent d'éliminer l'effet important de la superficie de drainage. Ainsi le choix des variables à utiliser pour expliquer la variabilité de la réponse hydrologique peut se faire sans l'interférence de la superficie.

Tableau 5.12. Corrélations entre les variables physiographiques et météorologiques et les quantiles spécifiques pour les périodes annuelle, estivale et hivernale

	Estival			Hivernal			Annuel		
	$Ln(QS_{5,30})$	$Ln(QS_{2,7})$	$Ln(QS_{10,7})$	$Ln(QS_{5,30})$	$Ln(QS_{2,7})$	$Ln(QS_{10,7})$	$Ln(QS_{5,30})$	$Ln(QS_{2,7})$	$Ln(QS_{10,7})$
PMBV	0.146	0.092	0.091	-0.022	-0.033	-0.012	0.096	0.072	0.075
PLAC	**0.504**	**0.612**	**0.57**	**0.275**	**0.273**	**0.382**	**0.44**	**0.474**	**0.494**
PFOR	0.238	0.2	0.181	**0.161**	**0.178**	**0.191**	0.255	0.278	0.253
NCM	**-0.471**	**-0.445**	**-0.405**	-0.191	-0.213	-0.306	**-0.407**	**-0.437**	**-0.456**
PTMA	-0.157	-0.294	-0.272	0.132	0.146	0.012	-0.059	-0.078	-0.17
PLME	**-0.221**	**-0.343**	**-0.33**	0.16	0.166	0.031	-0.088	-0.114	-0.198
LAT	**0.72**	**0.783**	**0.76**	0.036	0.041	0.181	**0.393**	**0.396**	**0.478**
DJBZ	0.557	0.482	0.553	**0.143**	**0.135**	**0.288**	**0.469**	**0.474**	**0.552**
NJH27	**-0.731**	**-0.705**	**-0.704**	-0.154	-0.161	-0.244	**-0.498**	**-0.487**	**-0.515**
DJH13	**-0.791**	**-0.781**	**-0.768**	-0.139	-0.152	-0.266	**-0.531**	**-0.541**	**-0.576**

Comme on peut le constater au tableau 5.12, les variables les plus corrélées aux quantiles estivaux sont les suivantes : BV, PLAC, NCM, PLME, LAT, NJH27 et DJH13. Les deux dernières variables, NJH27 et DJH13, sont des variables caractérisant la température et sont corrélées entre elles. De plus, la latitude est aussi corrélée avec ces variables. Il faudrait donc en choisir une parmi ces 3 variables pour éviter la redondance. Cependant, la variable DJH13, la plus corrélée aux quantiles parmi les 3, est assez fortement reliée à la variable NCM. Cependant on suppose que la variable NCM a une importance non négligeable pour expliquer le phénomène des étiages. En plus la variable NJH27 est aussi assez fortement reliée aux quantiles estivaux

mais l'est moins à la variable NCM. Alors il est préférable de choisir la variable NJH27. Pour le cas estival, les variables choisies sont donc : BV, PLAC, NCM, PLME et NJH27.

Pour le cas hivernal, on remarque que les variables caractérisant le sol et la température (NCM, DJH13 et NJH27) ne sont pas très importantes en ce qui concerne l'explication de la variabilité des quantiles hivernaux. Par ailleurs, les variables les plus corrélées aux quantiles spécifiques sont : PLAC, PFOR et DJBZ. Ces variables ne sont pas fortement corrélées entre elles et peuvent donc être utilisées pour expliquer la variation des débits d'étiage pour le cas hivernal. On utilisera donc, pour cette saison, les variables suivantes : BV, PLAC, PFOR et DJBZ.

Pour la période annuelle, les variables les plus corrélées aux quantiles sont les suivantes : BV, PLAC, NCM, LAT, DJBZ, NJH27 et DJH13. Les trois dernières variables, DJBZ, NJH27 et DJH13, sont des variables caractérisant la température et sont corrélées entre elles. De plus, la latitude est aussi corrélée avec ce groupe de variables. Il faudrait donc en choisir une parmi ces 4 variables pour éviter la redondance. Cependant, la variable DJH13, la plus corrélée aux quantiles parmi les quatre, est assez fortement reliée à la variable NCM. La variable NJH27 est aussi assez fortement reliée aux quantiles annuels, mais l'est moins à la variable NCM. Alors il est préférable de choisir la variable NJH27 au lieu de DJH13. Pour le cas annuel, les variables choisies sont donc : BV, PLAC, NCM et NJH27. Le tableau 5.13 résume les variables explicatives retenues pour chaque période d'étude des étiages.

Tableau 5.13. Variables explicatives sélectionnées pour la régionalisation d'étiages selon la période d'étude.

Période	Variables physiographiques / météorologiques
Estivale	BV, PLAC, NCM, PLME et NJH27
Hivernale	BV, PLAC, PFOR et DJBZ
Annuelle	BV, PLAC, NCM et NJH27

Les caractéristiques physiographiques et climatiques pour toutes les stations de la base de données de référence sont présentées à l'annexe (D.2).

5.2 Application de l'analyse canonique des corrélations combinée à la régression multiple aux bassins du Québec habité

La méthodologie de l'analyse canonique des corrélations (ACC) a été utilisée pour déterminer les voisinages hydrologiques. L'ACC a été combinée à la régression multiple (RM) dans le but d'obtenir une estimation régionale des différents quantiles d'intérêt. Pour toutes les analyses effectuées, une procédure de type « Jackknife » a été utilisée, c'est-à-dire que chaque station de la base de données a été considérée tour à tour comme étant non jaugée. Une estimation régionale a ainsi été obtenue pour chaque station et nous avons pu la comparer avec la valeur locale calculée lors de l'analyse fréquentielle. Le biais relatif moyen (BRM) et l'erreur quadratique relative moyenne (EQRM) ont été utilisés pour mesurer la qualité des résultats obtenus.

$$BRM = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\left[\frac{\hat{X}_i - X_i}{X_i}\right] \tag{5.1}$$

$$EQRM = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\left[\frac{\hat{X}_i - X_i}{X_i}\right]^2 \tag{5.2}$$

où k représente le nombre total de stations cibles jaugées, X_i est la valeur de l'estimation locale pour la station cible jaugée et $\hat{X}_i$ est le résultat de l'estimation régionale obtenue par la combinaison de l'ACC au modèle de régression multiple.

À l'aide de cette méthode, deux cas d'estimations seront obtenus. Dans le premier cas, les résultats sont produits en faisant intervenir seulement la variable BV. On peut représenter la relation sous la forme additive suivante :

$$\log(Q_{T,d}) = \log(K) + \beta_{BV}\log(BV) + \varepsilon \tag{5.3}$$

où $Q_{T,d}$ est le quantile d'étiage de période de retour T et de durée d, K est la constante du modèle régressif, β_{BV} est le coefficient associé à la variable BV et ε représente l'erreur d'estimation du modèle.

Dans le second cas, les résultats sont obtenus à l'aide de plusieurs variables explicatives. Les variables sélectionnées pour chaque saison sont celles présentées au tableau 5.13. On applique donc les transformations décrites au tableau 5.9 pour normaliser les variables pour obtenir ainsi les trois équations régionales suivantes :

Période estivale

$$\log\left(Q_{T,d}^{est}\right) = \log(K) + \beta_{BV}\log(BV) + \beta_{NJH27}NJH27 + \beta_{PLAC}\sqrt{PLAC} + \\ + \beta_{NCM}NCM + \beta_{PLME}PLME + \varepsilon \qquad (5.4)$$

Période hivernale

$$\log\left(Q_{T,d}^{hiv}\right) = \log(K) + \beta_{BV}\log(BV) + \beta_{PLAC}\sqrt{PLAC} + \beta_{PFOR}PFOR + \beta_{DJBZ}\log(DJBZ) + \varepsilon \qquad (5.5)$$

Période annuelle

$$\log\left(Q_{T,d}^{ann}\right) = \log(K) + \beta_{BV}\log(BV) + \beta_{NJH27}NJH27 + \beta_{PLAC}\sqrt{PLAC} + \beta_{NCM}NCM + \varepsilon \qquad (5.6)$$

Les résultats obtenus pour les deux types d'analyses sont présentés au tableau 5.14. Le tableau 5.14 est une synthèse des résultats de l'étude.

On déduit des résultats présentés au tableau 5.14 que pour les périodes estivale et annuelle, l'utilisation de variables supplémentaires est nécessaire. Car les estimations obtenues sont de meilleure qualité par rapport à celles obtenues seulement avec la variable BV (tableau 5.10). Cependant, pour la période hivernale les résultats ne sont que légèrement améliorés par rapport à ceux obtenus lorsqu'on utilise seulement la superficie du bassin versant comme variable explicative (excepté pour $Q_{10,7}$).

La dépendance du phénomène des étiages avec la superficie (BV) est claire dans le tableau 5.14. On remarque que la performance est nettement meilleure pour les périodes hivernale et annuelle que pour la saison estivale. De plus, la saison estivale est très sensible à l'ajout de variables explicatives. Car les estimations faites seulement avec la variable BV pour la saison estivale donnent des erreurs d'environ deux fois l'estimation locale. Néanmoins, il faut souligner que

l'ordre de magnitude est le même. Très important car il nous permet de donner une première approximation du problème. En effet, le simple ordre de magnitude suffit par fois pour avoir une idée pour évaluer les besoins minimaux des régions.

Pour expliquer la dépendance de la performance avec la variable BV il faut noter que les rivières de la province du Québec se trouvent sur latitudes dites mi-nordiques (environ 45° nord) et la saison hivernale des étiages présente le gel des rivières, lacs ou du sol. Alors, la contribution des autres variables est moins importante. Cependant, le minimum annuel des débits peut coïncider avec l'étiage hivernal. De ce fait, la période annuelle est influencée par la saison hivernale.

Toutefois, le minimum peut se produire en dehors de la saison hivernale et on a ainsi que la performance pour la saison hivernale est meilleure que celle de la période annuelle. Tandis que pendant l'été les caractéristiques physiographiques / météorologiques ont un impact plus grand sur les étiages, car la couverture de neige et le gel ne sont plus présentes.

Tableau 5.14. BRM et EQRM pour les estimations des quantiles d'intérêt par l'ACC-RM

Modèle	Saison	$Q_{d,T}$	BRM (%)	EQRM (%)
ACC-RM BV seulement	Estivale	$Q_{5,30}$	35.47	148.51
		$Q_{2,7}$	37.96	171.15
		$Q_{10,7}$	53.35	306.07
	Hivernale	$Q_{5,30}$	8.42	20.33
		$Q_{2,7}$	6.84	15.94
		$Q_{10,7}$	14.60	52.15
	Annuelle	$Q_{5,30}$	16.04	64.75
		$Q_{2,7}$	17.40	75.96
		$Q_{10,7}$	30.07	156.51
ACC-RM avec plusieurs variables	Estivale	$Q_{5,30}$	9.46	20.04
		$Q_{2,7}$	10.02	20.61
		$Q_{10,7}$	13.82	33.90
	Hivernale	$Q_{5,30}$	8.79	21.81
		$Q_{2,7}$	7.10	16.52
		$Q_{10,7}$	9.62	39.32
	Annuelle	$Q_{5,30}$	11.98	30.86
		$Q_{2,7}$	8.64	22.70
		$Q_{10,7}$	15.40	40.90

Sur les figures 5.2 à 5.4, on remarque que, malgré le fait que pour certaines stations associées à de petites superficies de bassin versant de grandes erreurs soient obtenues, l'erreur d'estimation ne semble pas dépendre de façon générale de la taille du bassin versant. De plus, on pourrait prétendre d'emblée que le modèle est biaisé positivement du fait que les erreurs de surestimation du modèle dépassent en amplitude les erreurs de sous-estimation du même modèle. Afin de bien clarifier ce point, les fréquences de surestimation et de sous-estimation ont été comparées. Le tableau 5.15 montre que le modèle surestime et sous-estime le même nombre de fois.

Le comportement du BR dans les figures 5.2 à 5.4, peut être expliqué par les trois éléments suivants :

1. La méthode de régression multiple est une approche très efficace quand les variables explicatives sont le mieux adaptées au phénomène.

2. La normalisation de la variable BV fait à l'aide d'une transformation logarithmique (annexe F) montre que pour les valeurs inférieures à la valeur de 650 km^2 (~6.5 dans l'échelle logarithmique) la variable suivre un comportement différent. Ceci peut être vu comme la valeur limite pour classer les bassins en petits et grands.

3. Les voisinages hydrologiques peuvent contenir des stations que ne appartient pas au voisinage et constitue ainsi une contamination et pour tant l'erreur d'estimation s'incrément.

L'effet global du BR est donné par le BRM, dont on a une vision totale des écarts du modèle. Si le BRM est positif implique que le modèle surestime, tandis que si est négative le modèle sous-estime. Comme on peut le constater dans le tableau 5.14 pour tous le cas existe la surestimation.

Tableau 5.15. Fréquence de surestimation et de sous-estimation de quantiles d'étiages pour le modèle ACC-RM avec plusieurs variables explicatives

	Estivale			Hivernale			Annuelle		
	$Q_{5,30}$	$Q_{2,7}$	$Q_{10,7}$	$Q_{5,30}$	$Q_{2,7}$	$Q_{10,7}$	$Q_{5,30}$	$Q_{2,7}$	$Q_{10,7}$
Surestimation	74	65	65	70	64	66	73	67	69
Sous-estimation	60	64	64	65	69	67	58	62	60

Pour comparer visuellement l'ensemble des valeurs des quantiles estimés avec le modèle régional et ceux de l'analyse fréquentielle locale, le graphique de dispersion a été considéré. Cette méthode graphique est très pratique pour visualiser la surestimation et la sous-estimation des quantiles d'étiage. Les figures 5.5 à 5.7 donnent les graphiques de dispersion de l'analyse fréquentielle locale (AFL) et régionale pour les quantiles : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$ pour les périodes estivale (figure 5.5), hivernale (figure 5.6) et annuelle (figure 5.7). La ligne diagonale correspond à la valeur où l'erreur est nulle. Ainsi les points localisés au-dessus de la ligne sont les valeurs surestimées, tandis que les valeurs situées au-dessous de cette ligne sont les valeurs sous-estimées.

Figure 5.2. Biais relatif en % de l'ACC-RM pour les étiages estivaux en fonction de la superficie : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7

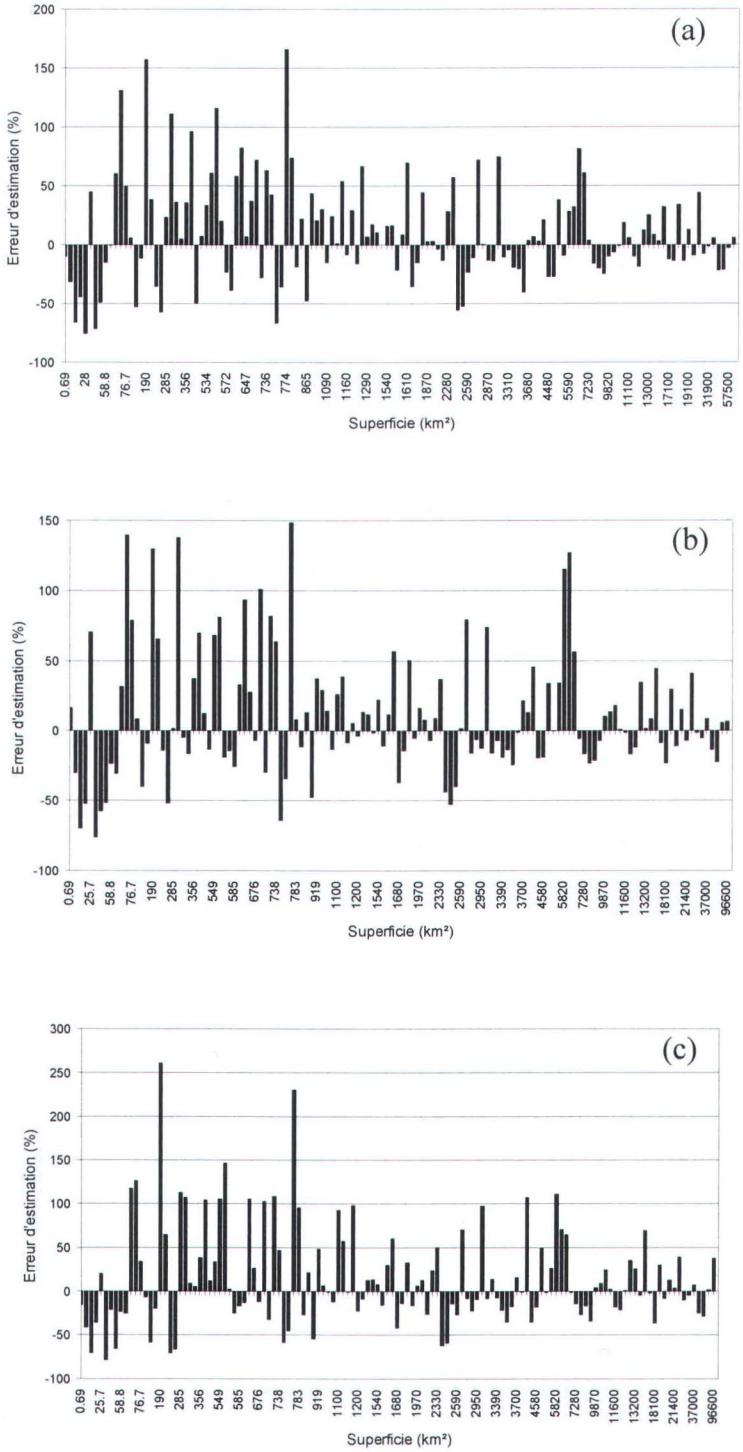
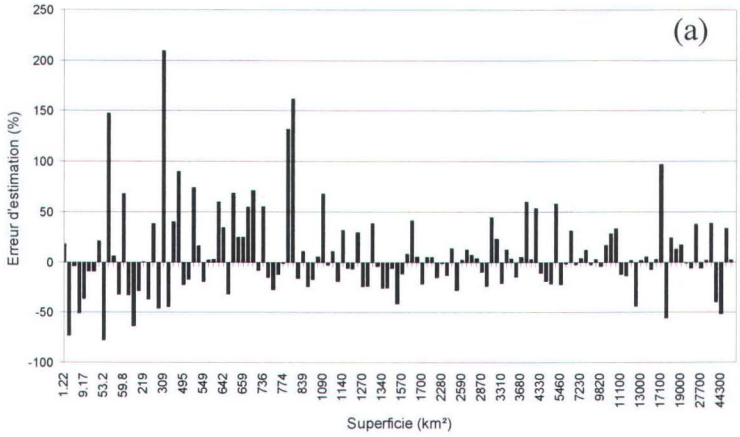
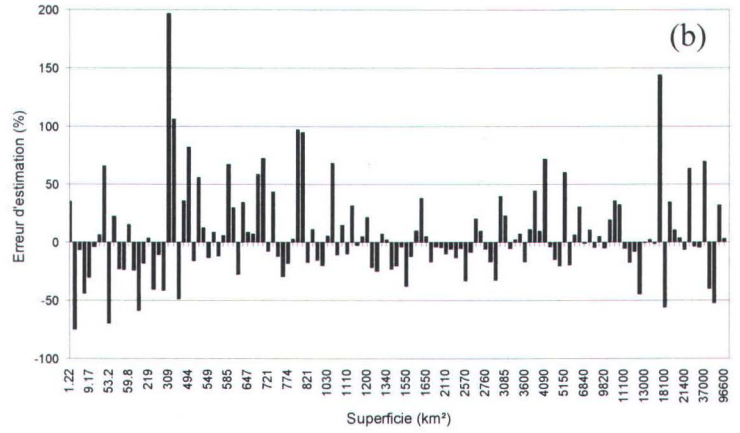


Figure 5.3. Biais relatif en % de l'ACC-RM pour les étiages hivernaux en fonction de la superficie : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7





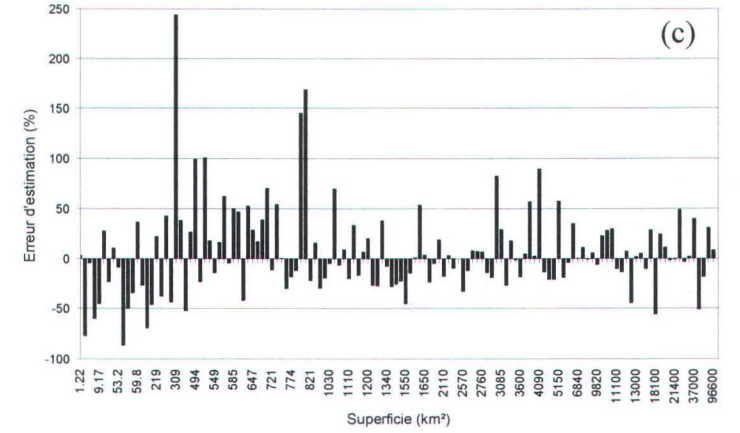


Figure 5.4. Biais relatif en % de l'ACC-RM pour les étiages annuels en fonction de la superficie : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7

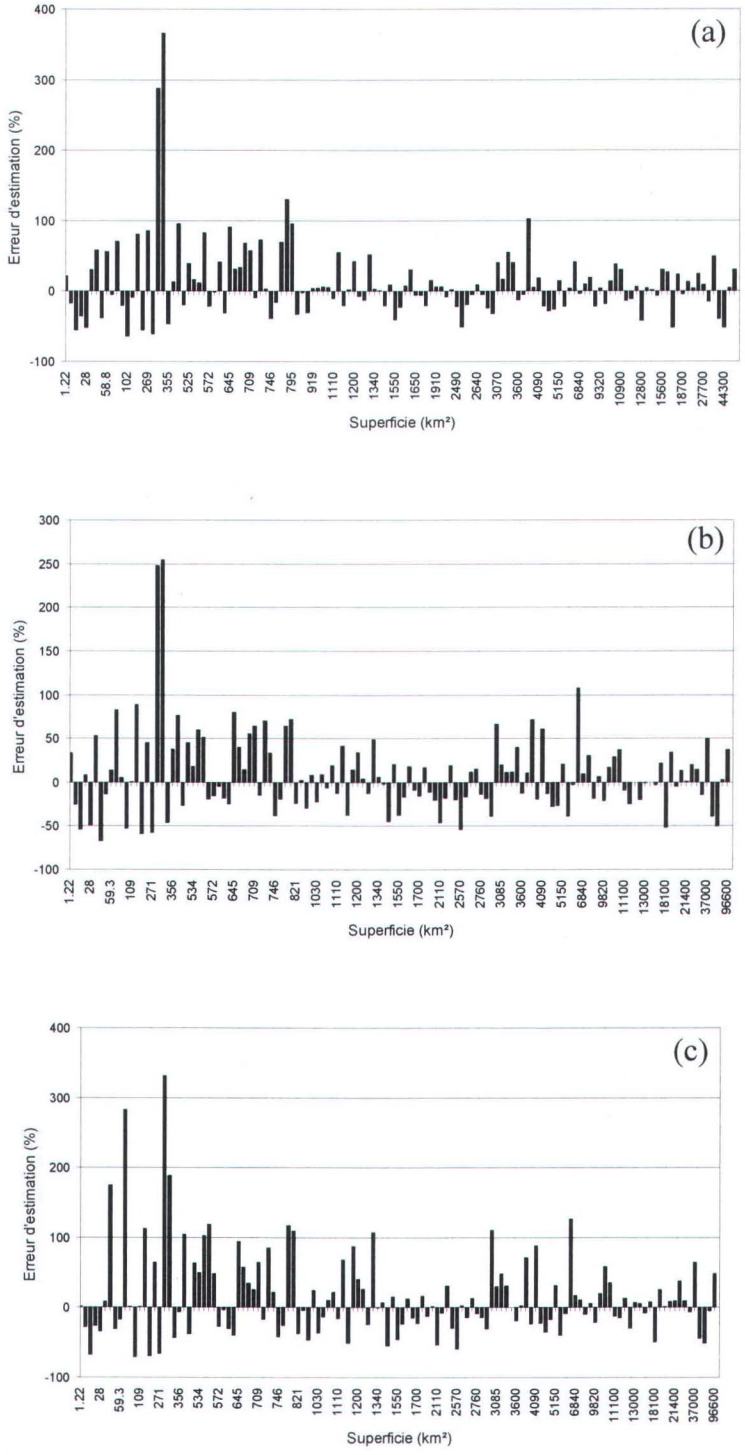
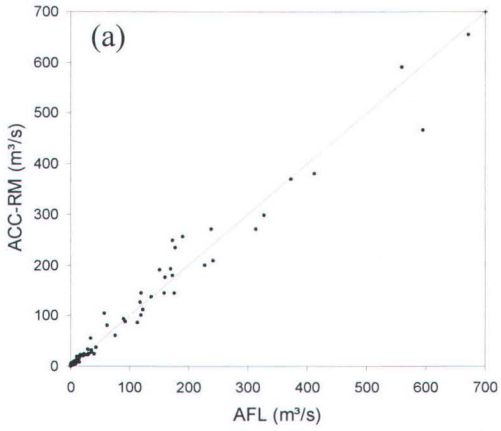
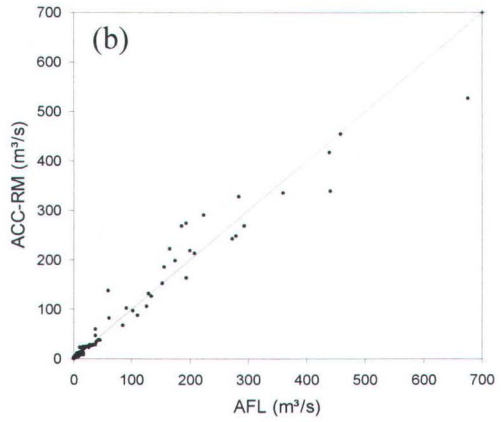


Figure 5.5. Graphique de dispersion des valeurs des quantiles estivaux estimées par le modèle ACC-RM vs l'analyse fréquentielle locale (AFL) : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$





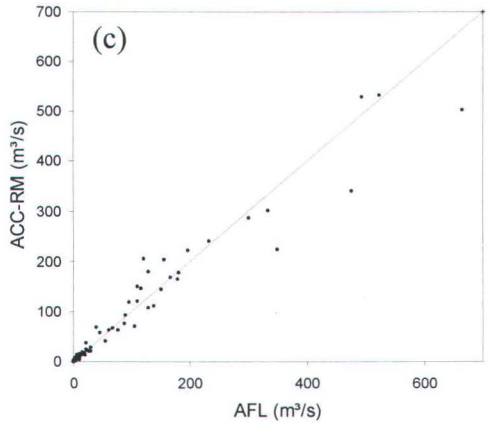


Figure 5.6. Graphique de dispersion des valeurs des quantiles hivernaux estimées par le modèle ACC-RM vs l'analyse fréquentielle locale (AFL) : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$

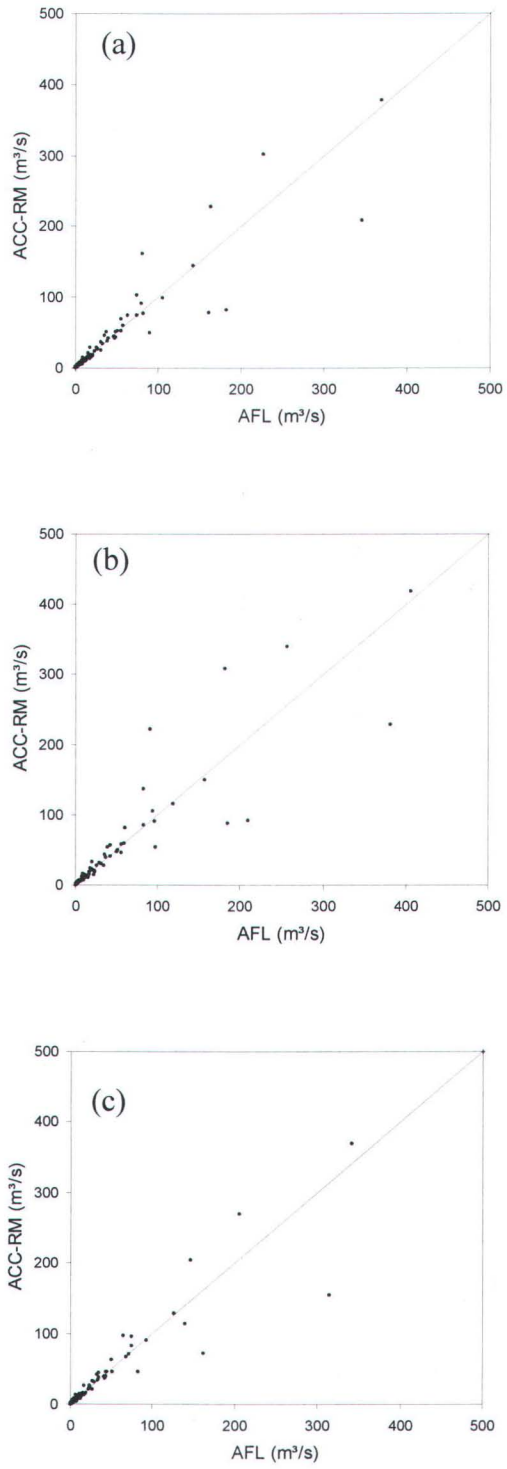
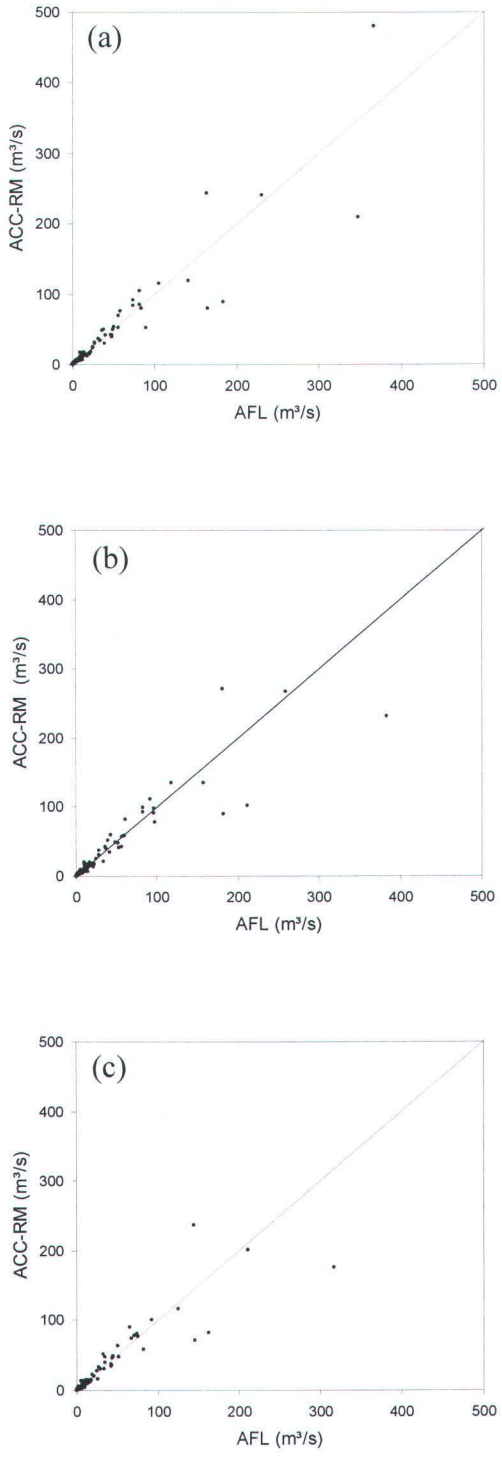


Figure 5.7. Graphique de dispersion des valeurs des quantiles annuels estimées par le modèle ACC-RM vs l'analyse fréquentielle locale (AFL) : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$



5.3 Application de la classification ascendante hiérarchique combinée à la régression multiple aux bassins du Québec habité

Tout d'abord, la méthode de classification ascendante hiérarchique (CAH) a été appliquée pour déterminer les régions hydrologiquement homogènes. La CAH a été combinée à la régression multiple (RM) dans le but d'obtenir une estimation régionale des différents quantiles d'intérêt. Pour toutes les analyses effectuées, une procédure de type « Jackknife » a été utilisée, c'est-à-dire que chaque station de la base de données a été considérée tour à tour comme étant non jaugée. Une estimation régionale a ainsi été obtenue pour chaque station et nous avons pu la comparer avec la valeur locale calculée lors de l'analyse fréquentielle. Le biais relatif moyen (BRM) et l'erreur quadratique relative moyenne (EQRM) ont été utilisés pour mesurer la qualité des résultats obtenus (équations 5.1 et 5.2).

Tout comme à la section précédente, un modèle régional utilisant seulement l'aire de drainage BV comme variable explicative a été considéré dans un premier temps (équation 5.3). Des résultats ont ensuite été obtenus pour les modèles incluant plusieurs variables explicatives (équations 5.4, 5.5 et 5.6). Les différentes régions homogènes obtenues sur la base de ces variables selon la durée et la saison sont présentées à l'annexe (G). Dans chaque cas, une distance de type euclidienne standardisée a été considérée (afin d'éliminer l'effet d'échelle entre les différentes variables) pour le couplage des stations, tandis que la méthodologie de Ward a été retenue comme algorithme de regroupement. Le résumé des résultats pour les deux types d'analyse est reporté au tableau 5.16.

La première chose qui ressort lorsqu'on effectue la comparaison entre les résultats présentés et ceux du tableau 5.14 et du tableau 5.16, c'est que l'approche par ACC-RM semble supérieure à l'approche par CAH-RM dans le cas du modèle utilisant plusieurs variables (et ce, indépendamment de la saison) tandis que l'inverse semble vrai dans le cas du modèle utilisant seulement BV comme variable explicative. Or, il est important de souligner avant d'aller plus loin que ce constat ne prouve pas nécessairement l'infériorité de l'approche par ACC par rapport à la CAH lorsqu'on se limite à l'aire du bassin versant pour effectuer la régionalisation des étiages.

Dans le cas de plusieurs variables, il est possible de construire le dendrogramme afin de déterminer les régions homogènes. À titre d'exemple, on montre dans la figure 5.8 le dendrogramme correspondant à la période annuelle. Dans ce groupement, nous avons utilisé une distance euclidienne standardisée et la méthode de Ward pour délimiter les groupes de stations. La coupe tracée à une distance de 3.5 représente la distance où chacun des 6 groupes contient environ 20 stations.

La performance (tableau 5.16) de la méthode CAH-RM montre deux faits importants :

1. la variable BV est la plus importante pour expliquer les étiages hivernaux. En effet, la meilleure performance corresponde à cette période et variable. Ce résultat est congruent avec l'analyse faite dans la méthode ACC-RM. Cependant, il nous apporte comme information supplémentaire que les régions homogènes fixes non-contiguës sont très instables. Car avec la considération de plusieurs variables explicatives, le regroupement change d'une façon telle que on passe de la meilleure performance à la pire. Sur ce point de plusieurs variables, il semble que la standardisation de variables explicatives produise comme effet de donner l'importance à variables que si bien sont importantes pour expliquer les étiages, ne le sont aussi que la BV. Alors, cette façon incorrecte d'incorporer l'information produise de très mauvais résultats.

2. les performances des périodes estivale et annuelle sont peu ou pas améliorées avec plusieurs variables explicatives. Ceci semble nous confirmer que la similarité de sites à la aide de la distance standardisée est une façon raisonnable de regrouper quand les variables explicatives ont une contribution comparable au phénomène.

Tableau 5.16. BRM et EQRM pour les estimations des quantiles d'intérêt par la CAH-RM

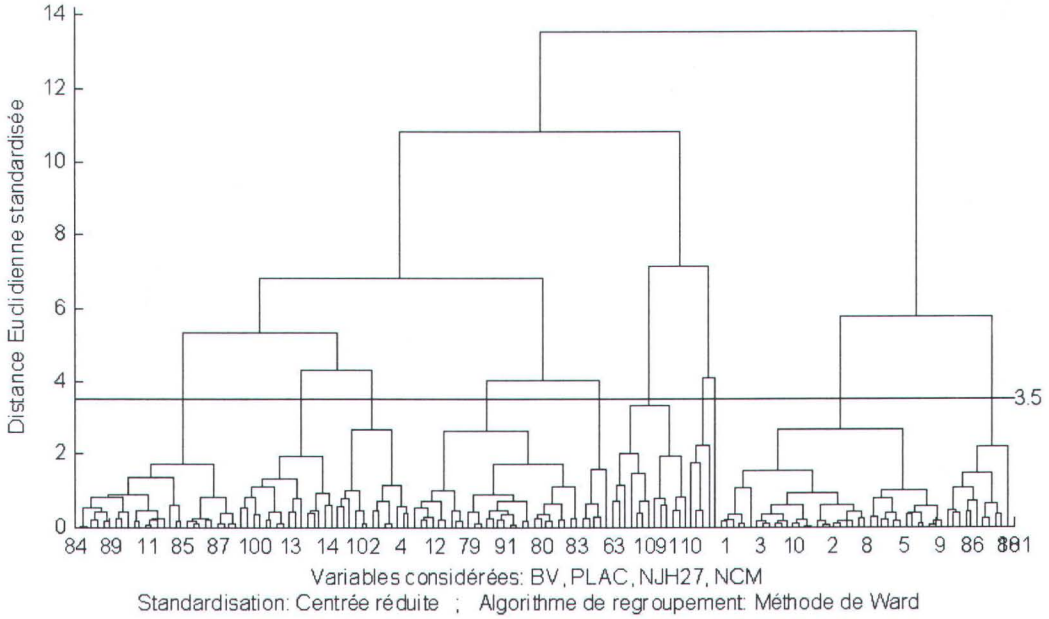
Modèle	saison	$Q_{d,T}$	BRM (%)	EQRM (%)
CAH-RM BV seulement	Estivale	$Q_{5,30}$	25.02	91.84
		$Q_{2,7}$	25.82	103.03
		$Q_{10,7}$	35.52	170.48
	Hivernale	$Q_{5,30}$	6.56	16.49
		$Q_{2,7}$	6.27	15.69
		$Q_{10,7}$	9.33	26.22
	Annuelle	$Q_{5,30}$	12.84	49.53
		$Q_{2,7}$	14.31	53.05
		$Q_{10,7}$	24.85	115.79
CAH-RM avec plusieurs variables	Estivale	$Q_{5,30}$	14.4	58.88
		$Q_{2,7}$	13.26	102.78
		$Q_{10,7}$	22.91	227.46
	Hivernale	$Q_{5,30}$	23.43	353.77
		$Q_{2,7}$	23.84	370.83
		$Q_{10,7}$	27.93	393.87
	Annuelle	$Q_{5,30}$	10.7	49.41
		$Q_{2,7}$	11.42	55.53
		$Q_{10,7}$	16.13	77.93

Le problème se situe alors au niveau de l'application de la technique de classification sur la base d'une variable unique en vue de former des régions homogènes. Dans ce cas-ci, la distribution de la variable BV est trop irrégulière pour que l'algorithme de regroupement puisse être appliqué efficacement. Il a donc fallu en arriver à un compromis consistant à déterminer les limites des classes pour constituer un minimum de 15 stations par classe; ce qui permet d'assurer du même coup la bonne représentativité du modèle régressif. Nommément, les limites des classes (peu importe la saison) sont les suivantes (en km²) : [0 – 200], [200 – 550], [550 – 750], [750 – 1 300], [1 300 – 2 500], [2 500 – 5 000], [5 000 – 1 2 000], [12 000 – 100 000].

Naturellement, en imposant ces limites qui permettent de catégoriser adéquatement les stations à notre disposition, il n'est pas étonnant alors de constater que la procédure de « Jackknife » favorise la CAH plutôt que l'ACC. Cependant, cette procédure de regroupement demeure

essentiellement subjective et ne permet pas d'inférer directement sur la performance future de la méthode avec des stations non-jaugées extérieures à cette étude. Par contre, l'approche par ACC demeure quant à elle objective et cherchera toujours à faire correspondre les stations (parmi celles présentes dans la base de données) se rapprochant le plus des futurs sites cibles pour lesquels on voudra obtenir des estimations régionales.

Figure 5.8. Exemple d'un dendrogramme pour déterminer les stations avec des caractéristiques physiologiques / météorologiques semblables. Le dendrogramme correspond aux étiages annuels avec une durée de 7 jours.

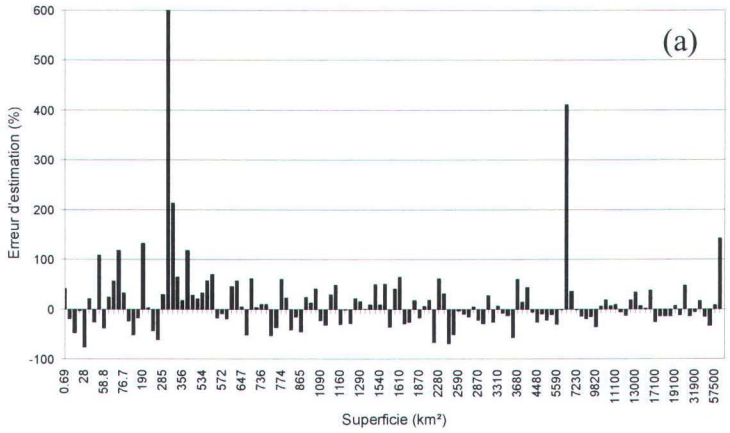


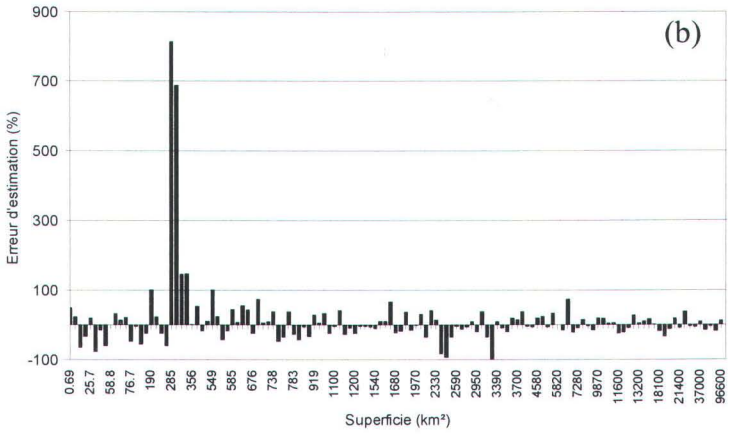
Les figures 5.9, 5.10 et 5.11 correspondent respectivement aux périodes estivale, hivernale et annuelle. Ces figures montrent le biais relatif du modèle CAH-RM. Les figures 5.12, 5.13 et 5.14 sont les graphiques de dispersion pour les mêmes périodes que les figures précédentes. Les figures 5.12 à 5.14 montrent la surestimation et la sous-estimation du modèle CAH-RM.

Tableau 5.17. Fréquence de surestimation et de sous-estimation de quantiles d'étiages pour le modèle CAH-RM avec plusieurs variables explicatives

	Estivale			Hivernale			Annuelle		
	$Q_{5,30}$	$Q_{2,7}$	$Q_{10,7}$	$Q_{5,30}$	$Q_{2,7}$	$Q_{10,7}$	$Q_{5,30}$	$Q_{2,7}$	$Q_{10,7}$
Surestimation	70	62	69	66	66	68	64	65	61
Sous-estimation	64	67	60	69	67	65	67	64	68

Figure 5.9. Biais relatif en % de CAH-RM pour les étiages estivaux en fonction de la superficie : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7





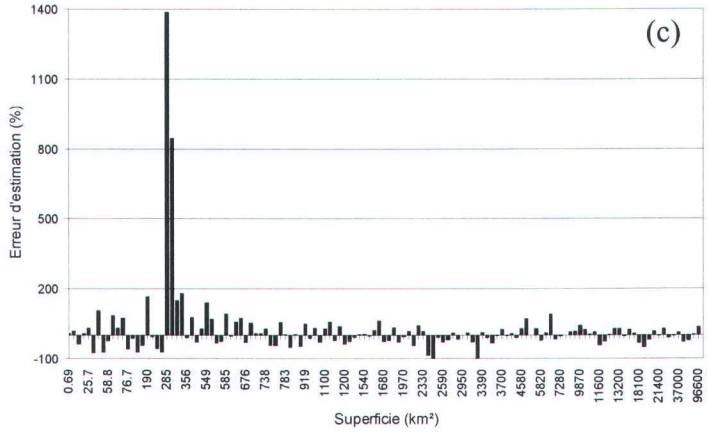


Figure 5.10. Biais relatif en % de CAH-RM pour les étiages hivernaux en fonction de la superficie : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7

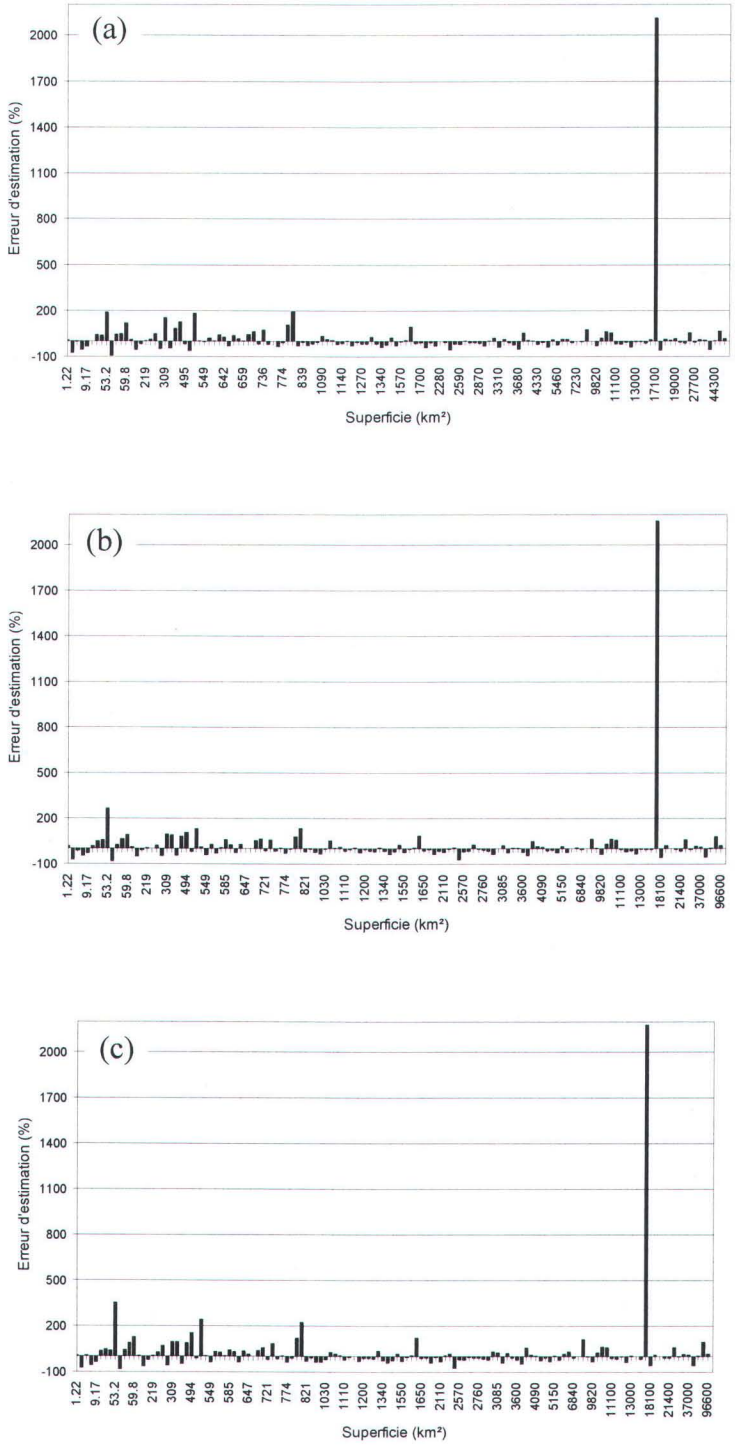
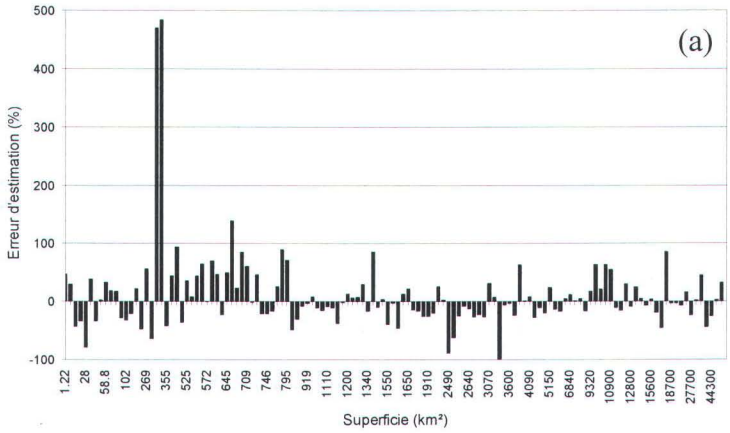
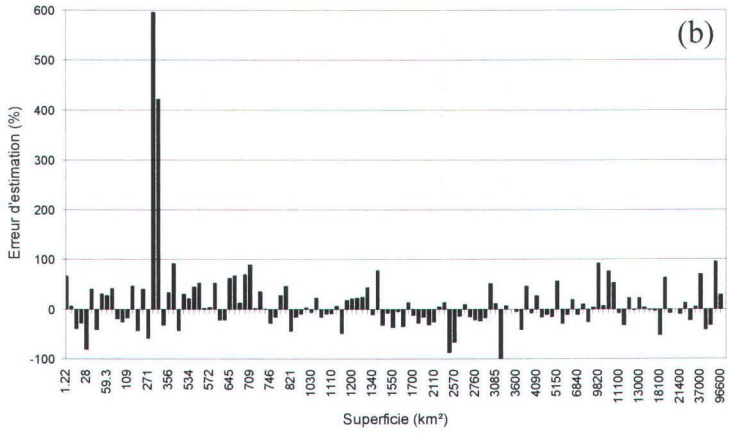


Figure 5.11. Biais relatif en % de CAH-RM pour les étiages annuels en fonction de la superficie : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7





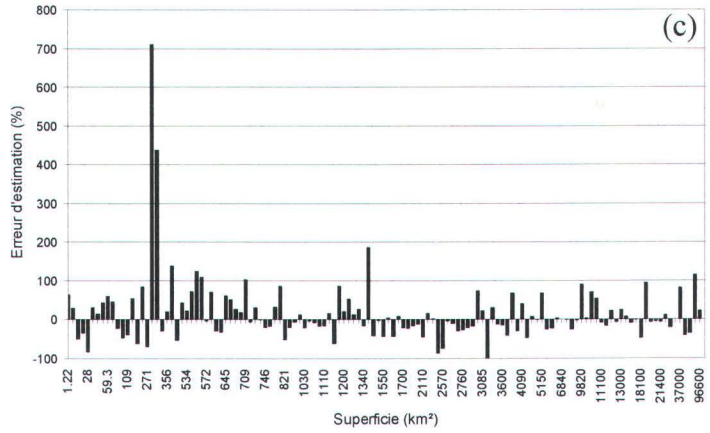


Figure 5.12. Graphique de dispersion des valeurs des quantiles estivaux estimées par le modèle CAH-RM vs l'analyse fréquentielle locale (AFL) : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$

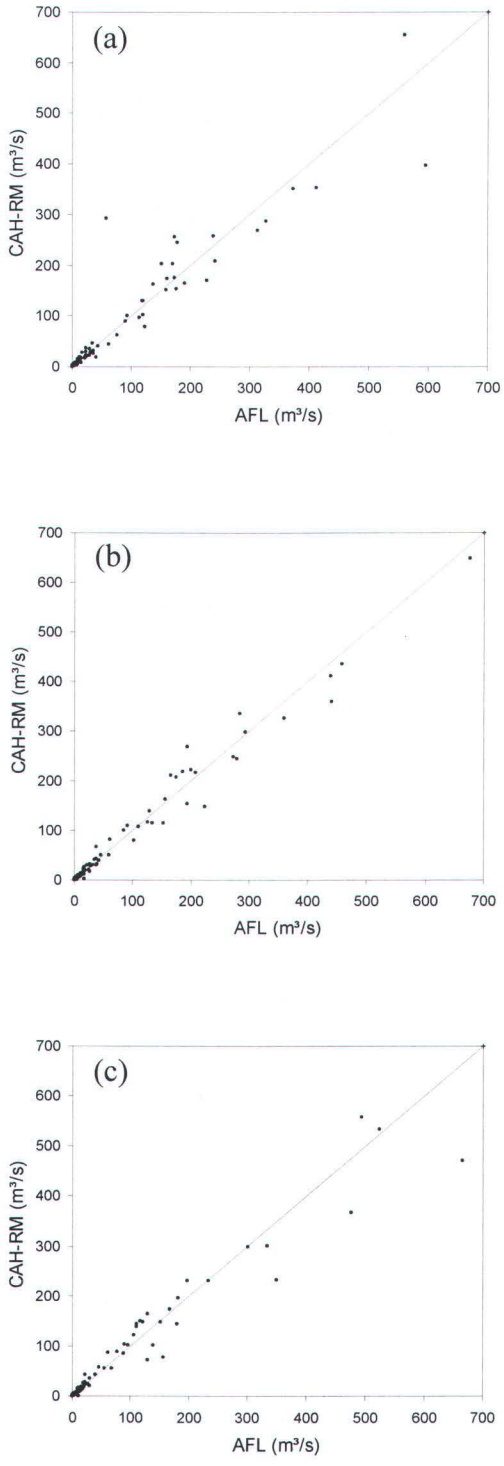


Figure 5.13. Graphique de dispersion des valeurs des quantiles hivernaux estimées par le modèle CAH-RM vs l'analyse fréquentielle locale (AFL) : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$

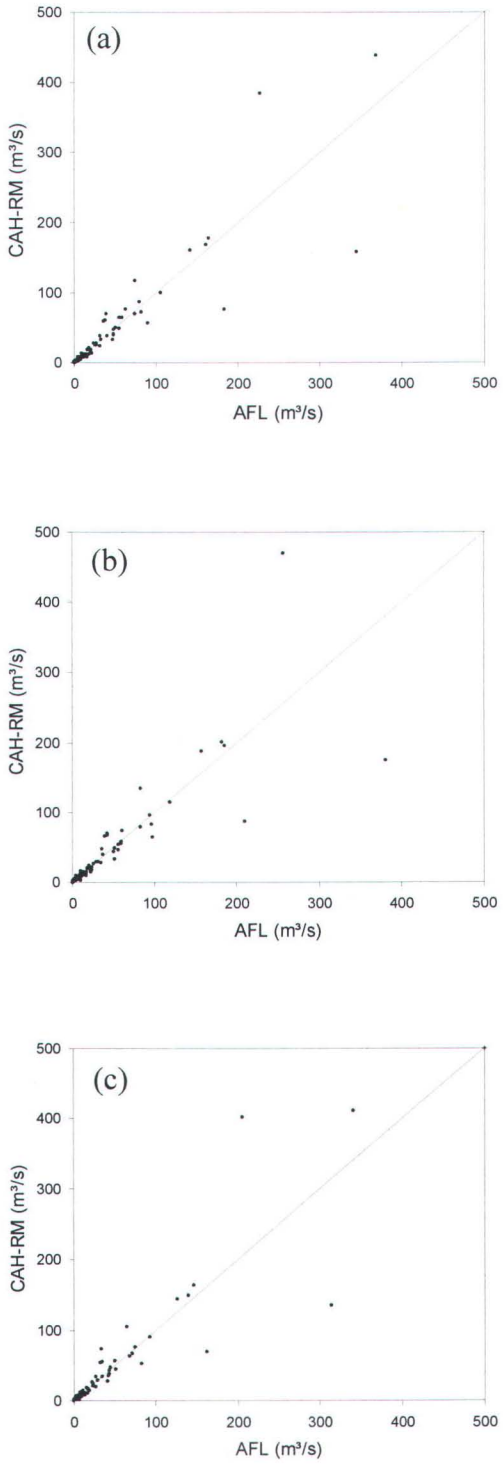
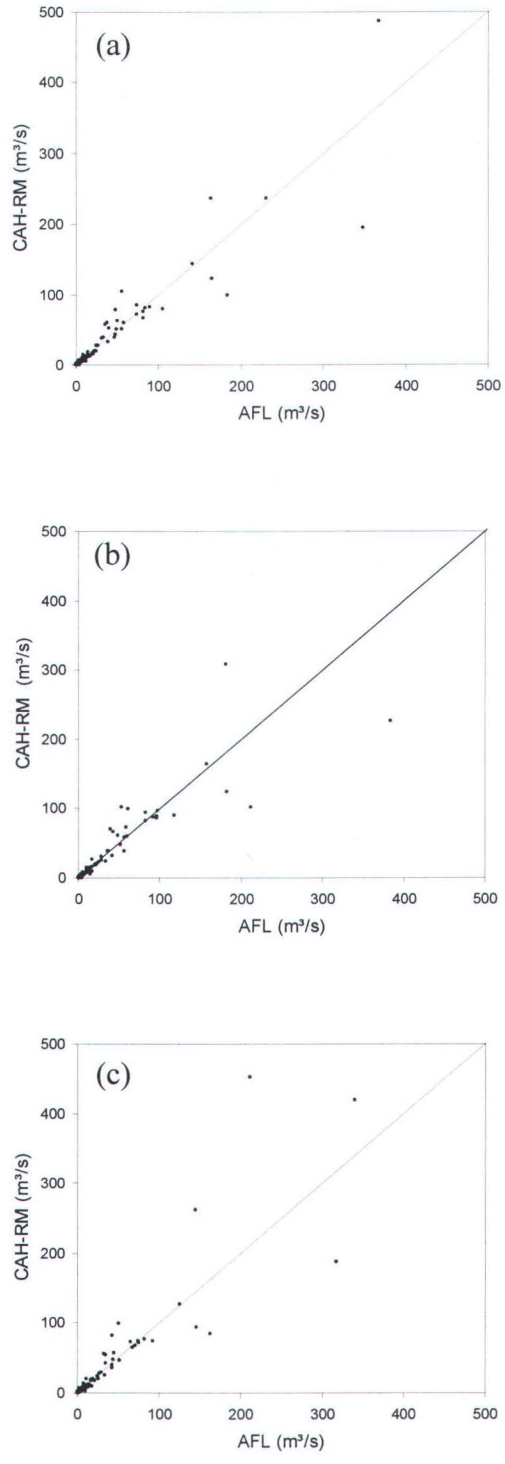


Figure 5.14. Graphique de dispersion des valeurs des quantiles annuels estimées par le modèle CAH-RM vs l'analyse fréquentielle locale (AFL) : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$



5.4 Application des régions d'influence combinée à la régression multiple aux bassins du Québec habité

La méthode des régions d'influence (ROI) a été utilisée pour déterminer les régions hydrologiquement homogènes. La ROI a été combinée à la régression multiple (RM) dans le but d'obtenir une estimation régionale des différents quantiles d'intérêt. Pour toutes les analyses effectuées, une procédure de type « Jackknife » a été utilisée pour estimer la performance de la méthode, c'est-à-dire que toutes les stations de la base de données ont été considérées tour à tour comme étant non jaugées. Une estimation régionale a ainsi été obtenue pour chaque station et elle a été comparée avec la valeur locale calculée lors de l'analyse fréquentielle. Le biais relatif moyen (BRM) et l'erreur quadratique relative moyenne (EQRM) ont été utilisés pour mesurer la qualité des résultats obtenus (équations 5.1 et 5.2).

Le modèle régional utilise les variables physiographiques / météorologiques choisies comme variables explicatives pour l'estimation de quantiles d'étiage. Nous avons d'abord calculé les distances euclidiennes normales standardisées (équation 3.33) entre toutes les stations. Ce calcul des distances a généré pour chaque cas d'étude une matrice symétrique carrée dont les valeurs de la diagonale sont zéro et les autres termes sont positifs.

Pour obtenir une *ROI* contenant des stations qui soient raisonnablement similaires, nous devons choisir une valeur de θ_j pour que soit établi un compromis entre la quantité d'information (nombre des stations voisines) et l'homogénéité hydrologique des stations.

5.4.1 Détermination de la valeur optimale du seuil

Le choix du seuil reste toujours arbitraire. Une façon de déterminer sa valeur est celle proposée par Burn (1990), qui choisit de couper à partir d'un percentile particulier. Ainsi, utiliser le 90-ième percentile des valeurs de la distance implique que seulement le 10% des valeurs de la distance dans la base de données sont plus grandes que la valeur choisie. Cependant le choix d'un percentile qu'on croit représentatifs ne nous assure pas que cette valeur est optimale.

De ce fait, nous proposons la méthodologie suivante pour obtenir la valeur optimale du seuil θ_j (équation 3.26). Nous réarrangeons la matrice de distances euclidiennes normales standardisées comme une matrice constituée par statistiques d'ordre. Chaque matrice carrée est constituée par $n \times n$ distances, où n est le nombre de stations dans chaque cas d'étude (tableau 5.4). De cette façon, nous pouvons fixer la valeur de θ_j pour limiter la quantité de stations à inclure dans la ROI de chaque site.

Ensuite, nous avons préféré considérer cette valeur du seuil comme un paramètre et trouver sa valeur optimale. Pour cela, les critères de performance EQRM et BRM ont été calculés pour différentes valeurs de cette distance avec la procédure Jackknife. Ils ont ensuite été représentés en fonction de la « distance standardisée ». Le domaine de variation de la distance standardisée est situé entre 1,50 et 5,00. Les valeurs limites ont été fixées de cette façon car des valeurs plus petites que 1,50 produisent des sites sans voisinage, tandis que pour des distances plus grandes que 5,00 on observe une augmentation considérable de l'erreur d'estimation. La valeur optimale de la distance correspond à celle pour laquelle les valeurs EQRM et BRM sont les plus proches de zéro. Cependant, la valeur optimale de l'EQRM et celle du BRM ne coïncideront pas nécessairement. Alors, un compromis doit être fait dans le choix de la valeur, dont la préférence a été donnée à l'EQRM, car cette erreur considère tous les biais des estimations. Tandis que le BRM montre plutôt l'écart des estimations par rapport à la valeur locale. De ce fait, la valeur optimale corresponde au minimum de l'EQRM mais avec la condition que ne soit pas un point isolé, mais plutôt une région bien définie. À titre de exemple, sur la figure 5.18b a été encerclé la valeur de seuil, $\theta_j = 3.55$, correspondant à la période annuelle de quantiles $Q_{2,7}$. Cette valeur du seuil minimise le EQRM. Du même établi un bon compromis avec le BRM, car la valeur se trouve environ au milieu du range de variation du BRM.

5.4.2 Résultats

Les figures 5.16 à 5.18 illustrent respectivement la performance de la méthode ROI en fonction de la distance standardisée des périodes estivale et hivernale, et ce pour les quantiles d'étiage suivants : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$, dont les cercles rouges correspondent aux valeurs optimales.

Le tableau 5.18 résume les valeurs optimales de la distance standardisée que minimisent le BRM et l'EQRM. La valeur de la distance standardisée de 3,00 correspond à un compromis pour tous les cas d'étude. Cette valeur a donc été choisie pour déterminer les voisins de chaque station. En appliquant les équations régionales, nous obtenons les résultats reportés au tableau 5.18. Les figures 5.19 à 5.21 montrent le biais relatif.

Pour s'assurer que le modèle n'est pas biaisé, les fréquences de surestimation ou de sous-estimation sont présentées au tableau 5.19. Comme nous pouvons le constater dans le tableau 5.19, le modèle ne privilégie pas la surestimation ou la sous-estimation. De la même façon, les figures 5.22 à 5.24 permettent de comparer visuellement l'ensemble des valeurs des quantiles estimé avec le modèle régional et celui de l'analyse fréquentielle locale. Ces figures (5.22 à 5.24) donnent les graphiques de dispersion de l'analyse fréquentielle locale (AFL) et régionale pour les quantiles : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$ pour les périodes estivale (figure 5.22), hivernale (figure 5.23) et annuelle (figure 5.24). La ligne diagonale correspond à la valeur où l'erreur est zéro. Ainsi, les points localisés au-dessus de la ligne sont les valeurs surestimées, tandis que les valeurs situées au-dessous de cette ligne sont les valeurs sous-estimées.

Le tableau 5.20, montre les performances de la méthode ROI-RM, dont on peut constater l'amélioration par la considération de plusieurs variables. De plus, on peut comprendre les faibles valeurs du biais relatif moyen avec les figures 5.22 à 5.24, car les valeurs surestimées et sous-estimées sont distribuées d'une manière symétrique. En ce qui concerne les valeurs de l'erreur quadratique relative moyenne, les valeurs sont plus petites que pour l'ACC-RM. Cependant, il est intéressant de souligner le fait que les deux méthodes, soit l'ACC et la ROI, produisent des surestimations et des sous-estimations sur 90% des mêmes stations. Alors, ceci nous permet d'affirmer que les deux méthodes confirment que les voisinages hydrologiques ont un comportement similaire. À titre d'exemple, la figure 5.15 nous montre une carte comparative des estimations régionales de la période hivernale sur la distribution géographique des stations entre le signe du biais relatif des méthodes de la ROI-RM et de l'ACC-RM. En bleue, on montre les stations dans lesquelles l'ACC et la ROI surestiment et en rouge correspond à la sous-estimation. On constate que en 91% des stations les méthodes ont le même signe du BR. En blanc, on indique les stations dont les méthodes montrent un BR de signe opposé. Les fréquences

du même signe du biais relatif pour les trois périodes ainsi que le pourcentage des stations avec le même signe se trouvent au tableau 5.21.

Tableau 5.18. Valeurs optimales de la distance standardisée que maximise la performance du modèle ROI-RM avec plusieurs variables explicatives pour l'estimation de quantiles d'étiages $Q_{5,30}$, $Q_{2,7}$ et $Q_{10,7}$

	Estivale			Hivernale			Annuelle		
	$Q_{5,30}$	$Q_{2,7}$	$Q_{10,7}$	$Q_{5,30}$	$Q_{2,7}$	$Q_{10,7}$	$Q_{5,30}$	$Q_{2,7}$	$Q_{10,7}$
Distance standardisée	3.00	2.95	3.05	2.35	2.95	2.85	3.35	3.55	3.00

Tableau 5.19. Fréquence de surestimation et de sous-estimation de quantiles d'étiages pour le modèle ROI-RM avec plusieurs variables explicatives

	Estivale			Hivernale			Annuelle		
	$Q_{5,30}$	$Q_{2,7}$	$Q_{10,7}$	$Q_{5,30}$	$Q_{2,7}$	$Q_{10,7}$	$Q_{5,30}$	$Q_{2,7}$	$Q_{10,7}$
Surestimation	71	67	72	64	68	66	56	60	57
Sous-estimation	63	62	57	71	65	67	75	69	72

Figure 5.15. Distribution géographique du signe de biais relatif (BR) des méthodes ROI-RM et ACC-RM. On trouve en rouge les stations avec le même signe et en blanc, les stations avec le signe contraire.

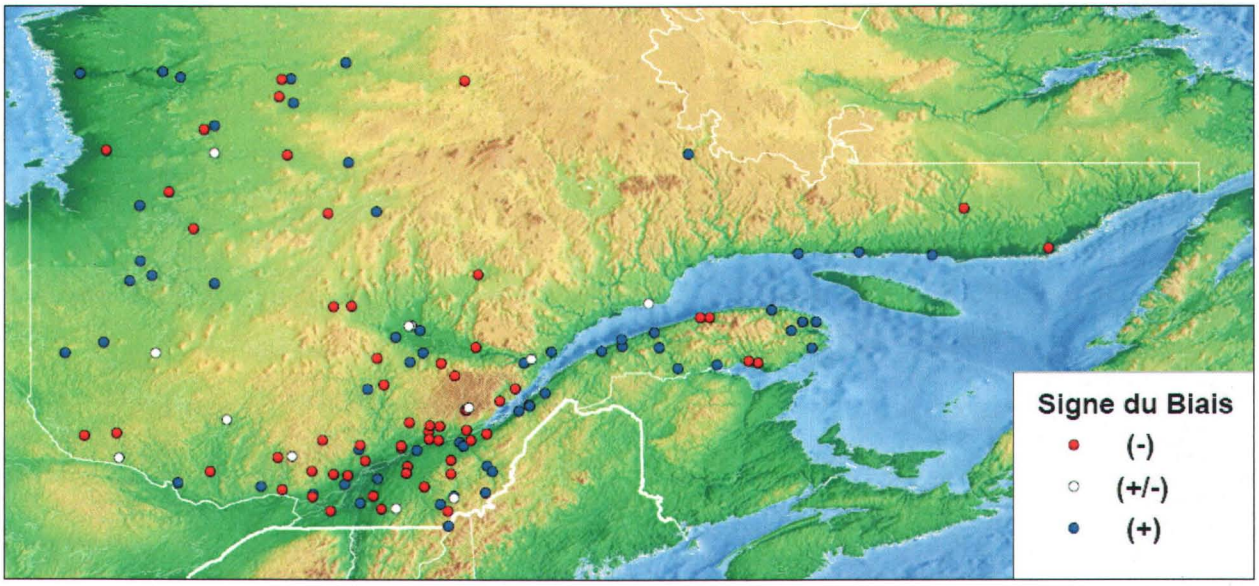


Tableau 5.20. BRM et EQRM pour les estimations des quantiles d'intérêt par la ROI-RM

Modèle	Saison	$Q_{d,T}$	BRM(%)	EQRM(%)
ROI-RM **BV seulement** $\theta_j = 3.00$	Estivale	$Q_{5,30}$	43.03	184.71
		$Q_{2,7}$	45.61	207.26
		$Q_{10,7}$	59.67	339.38
	Hivernale	$Q_{5,30}$	9.86	18.51
		$Q_{2,7}$	9.97	17.91
		$Q_{10,7}$	14.50	33.34
	Annuelle	$Q_{5,30}$	18.94	69.68
		$Q_{2,7}$	20.86	81.33
		$Q_{10,7}$	31.50	153.74
ROI-RM avec plusieurs variables $\theta_j = 3.00$	Estivale	$Q_{5,30}$	13.60	24.45
		$Q_{2,7}$	13.37	26.25
		$Q_{10,7}$	18.69	39.57
	Hivernale	$Q_{5,30}$	5.31	13.07
		$Q_{2,7}$	3.68	11.92
		$Q_{10,7}$	4.97	17.43
	Annuelle	$Q_{5,30}$	2.48	15.39
		$Q_{2,7}$	0.80	15.42
		$Q_{10,7}$	2.44	21.10

Tableau 5.21. Fréquence du même signe de biais relatif (BR) entre les méthodes ROI-RM et ACC-RM, ainsi que le pourcentage indiquant le nombre de stations avec le même signe.

Saison	$Q_{d,T}$	(+)	(+/-)	(-)	(%)
Estivale	$Q_{5,30}$	46	38	50	72
	$Q_{2,7}$	45	37	47	71
	$Q_{2,10}$	45	36	48	72
Hivernale	$Q_{5,30}$	61	16	58	88
	$Q_{2,7}$	58	17	58	87
	$Q_{2,10}$	60	12	61	91
Annuelle	$Q_{5,30}$	55	27	49	79
	$Q_{2,7}$	52	30	47	77
	$Q_{2,10}$	52	31	46	76

Figure 5.16. BRM et EQRM en % de l'estimation de quantiles avec la ROI-RM pour les étiages estivaux en fonction de la distance standardisée entre les variables physiographiques / météorologiques : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7

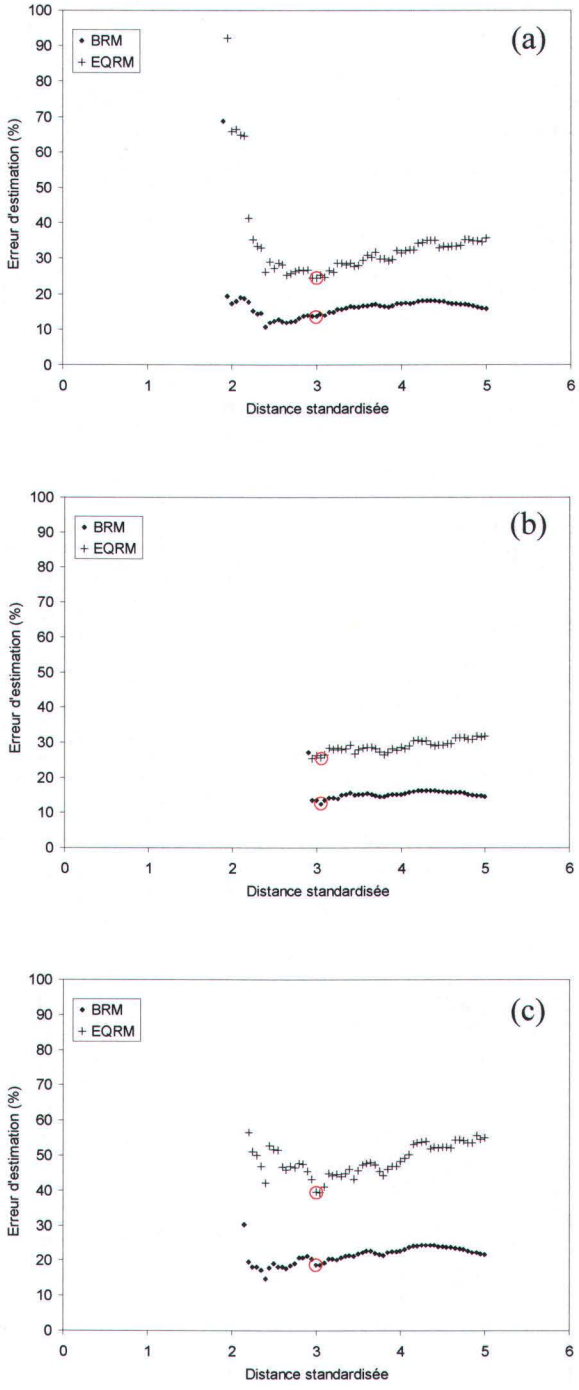


Figure 5.17. BRM et EQRM en % de l'estimation de quantiles avec la ROI-RM pour les étiages hivernaux en fonction de la distance standardisée entre les variables physiographiques / météorologiques : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7

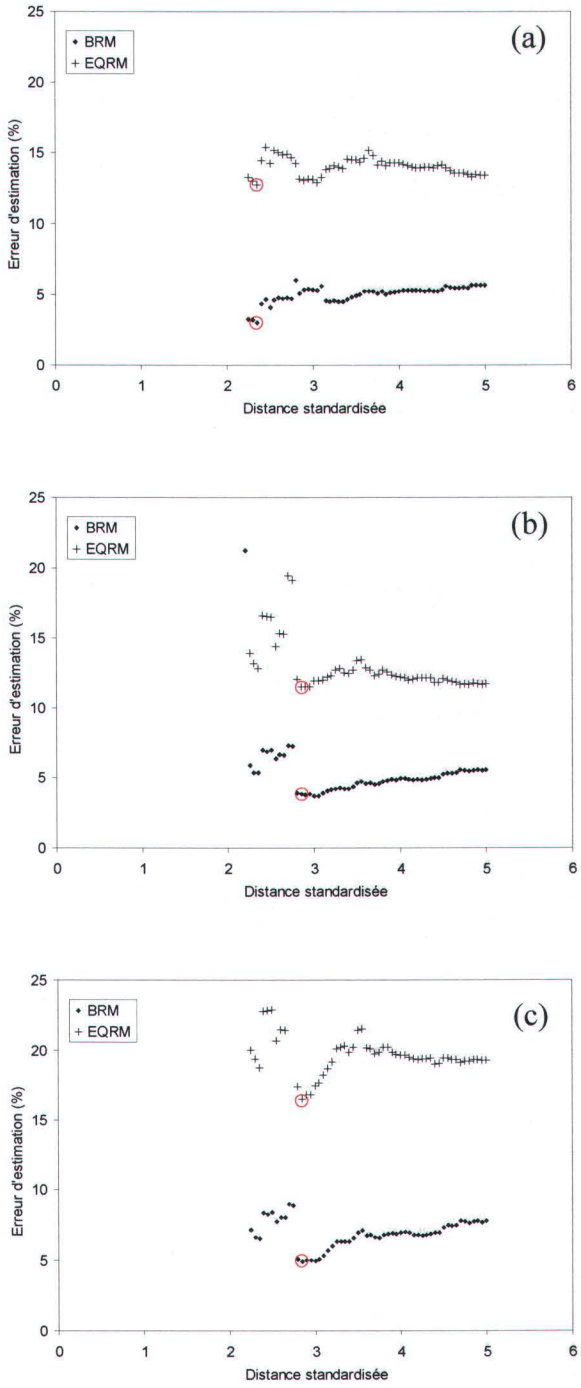


Figure 5.18. BRM et EQRM en % de l'estimation de quantiles avec la ROI-RM pour les étiages annuels en fonction de la distance standardisée entre les variables physiographiques / météorologiques : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7

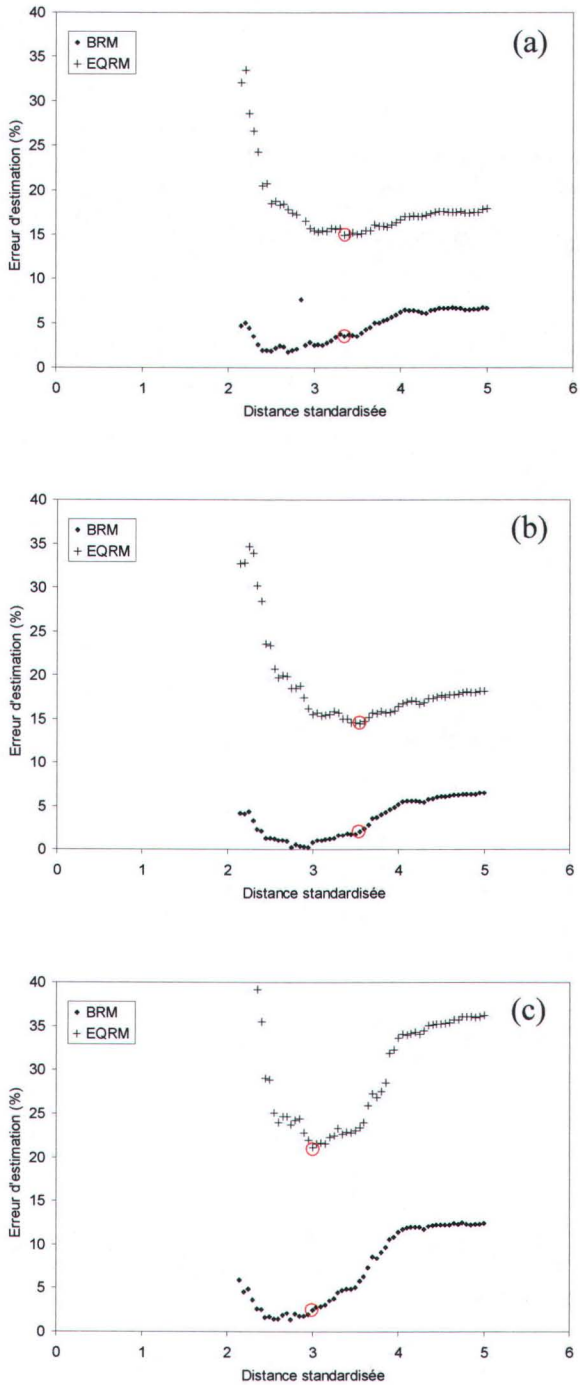


Figure 5.19. Biais relatif en % de la ROI-RM pour les étiages estivaux en fonction de la superficie : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7

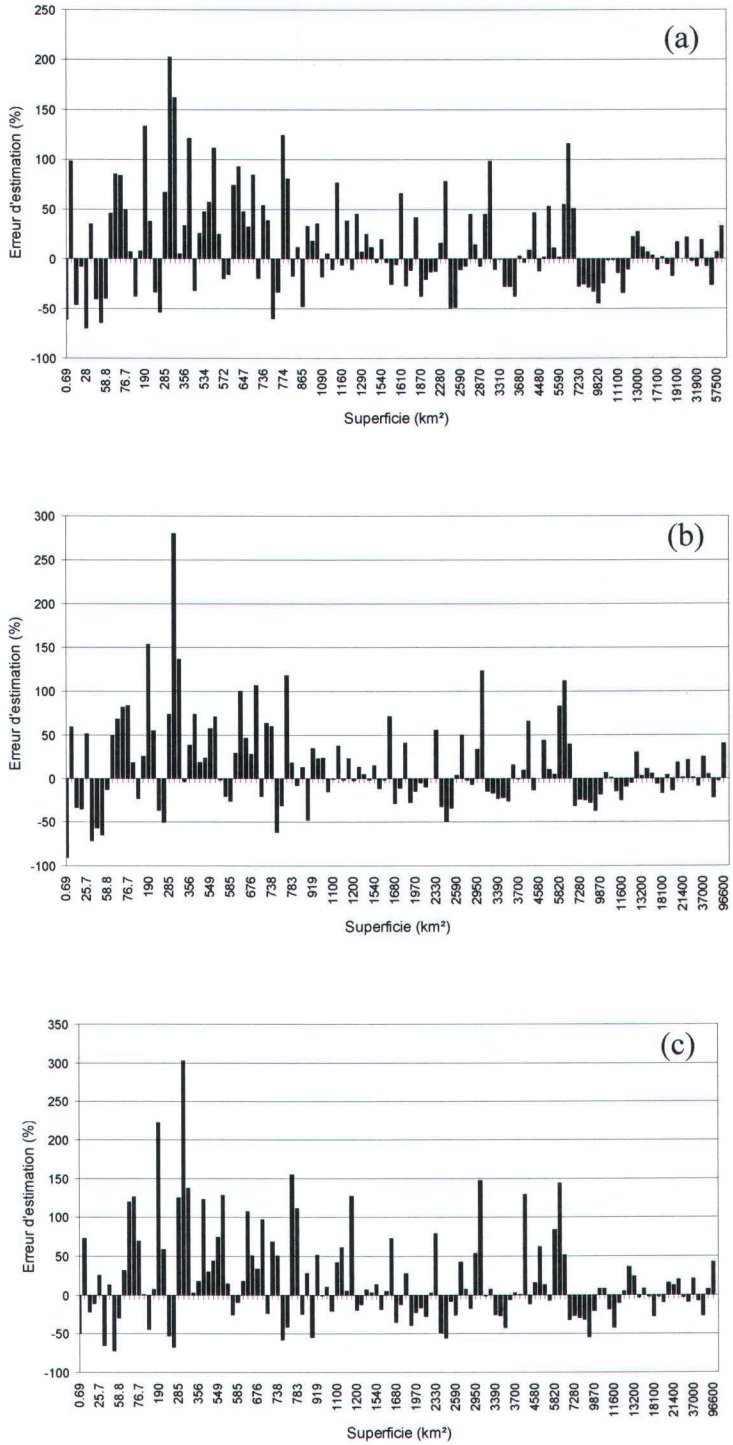


Figure 5.20. Biais relatif en % de la ROI-RM pour les étiages hivernaux en fonction de la superficie : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7

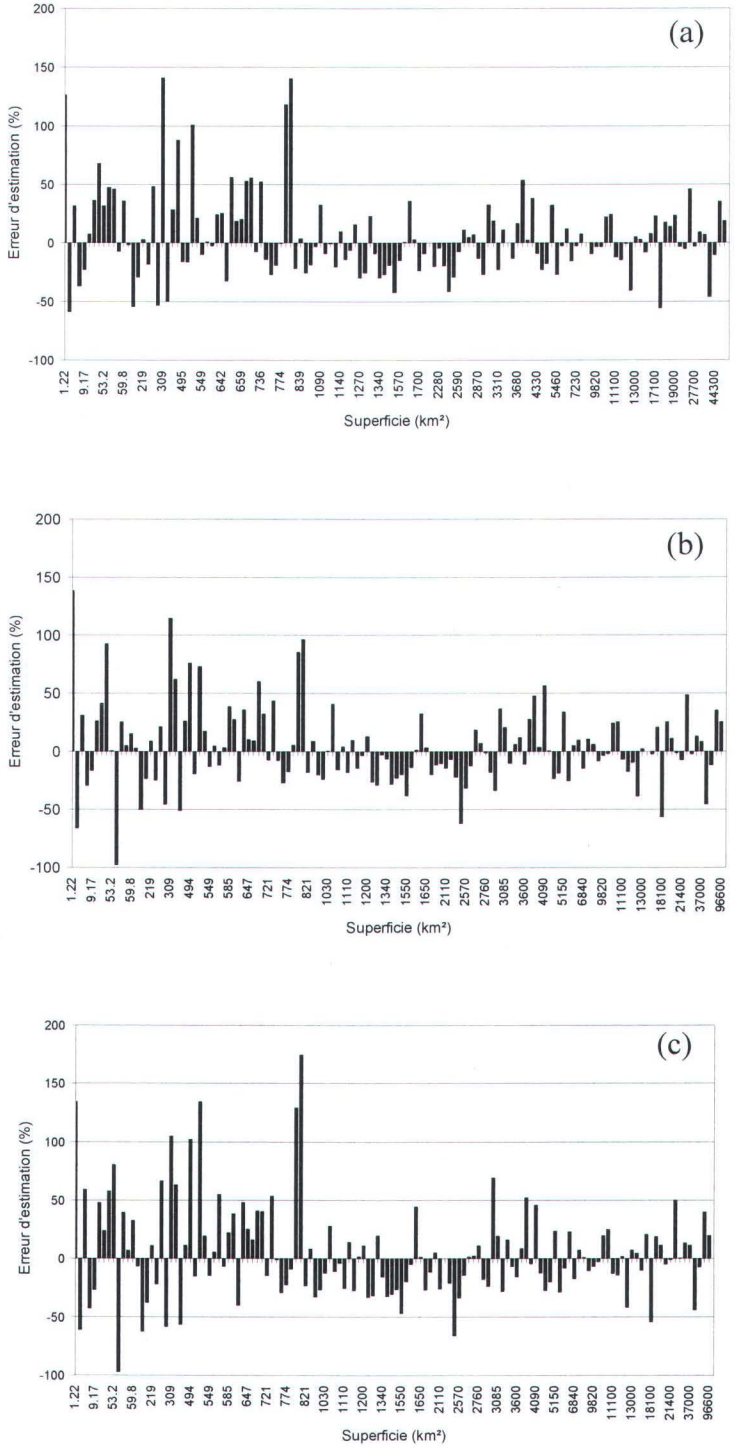


Figure 5.21 : Biais relatif en % de la ROI-RM pour les étiages annuels en fonction de la superficie : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7

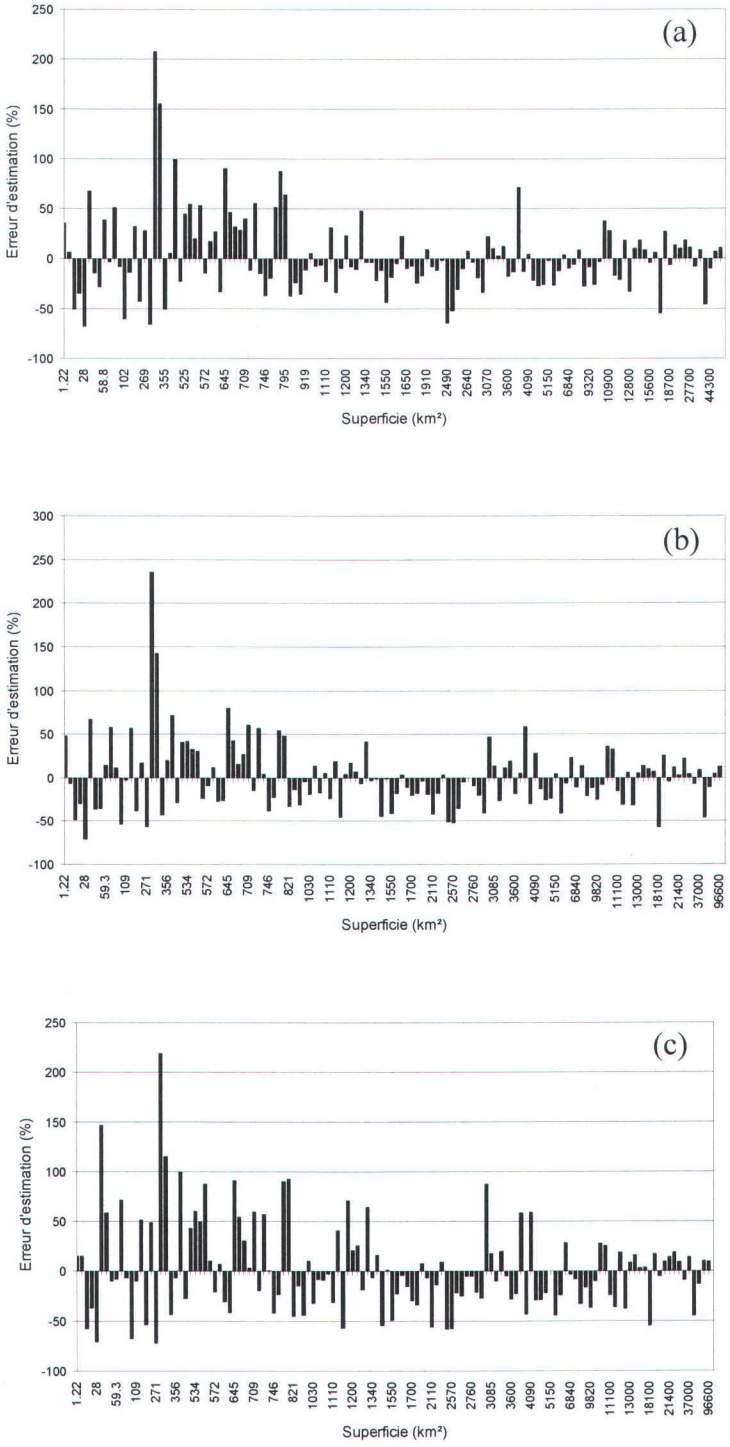


Figure 5.22. Graphique de dispersion des valeurs des quantiles estivaux estimées par le modèle ROI-RM vs l'analyse fréquentielle locale (AFL) : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$

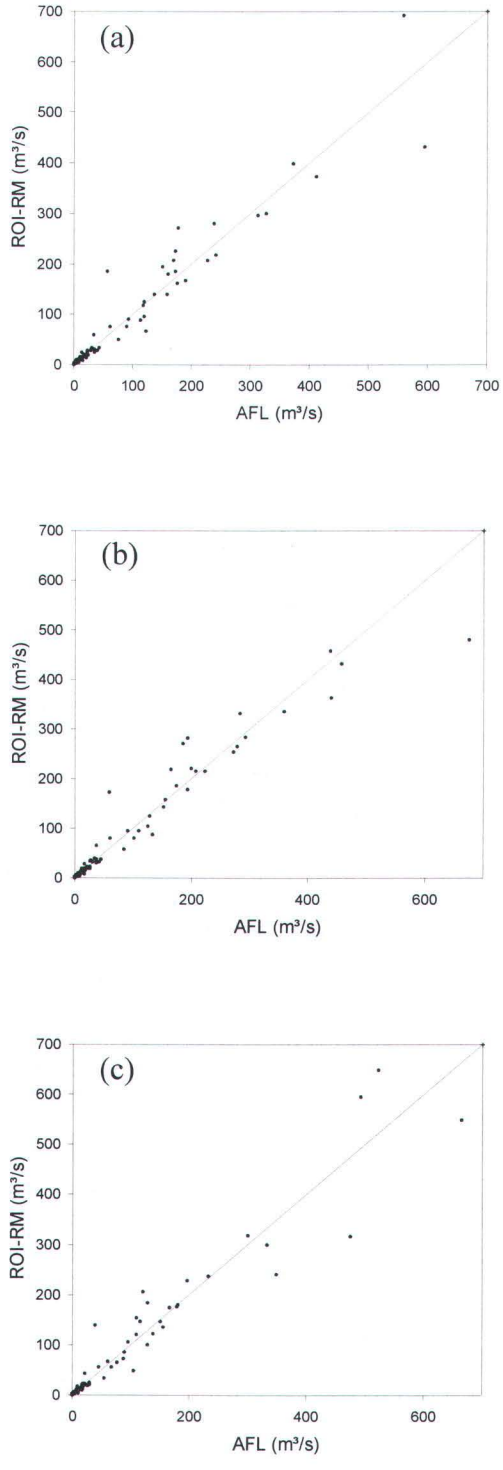


Figure 5.23. Graphique de dispersion des valeurs des quantiles hivernaux estimées par le modèle ROI-RM vs l'analyse fréquentielle locale (AFL) : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$

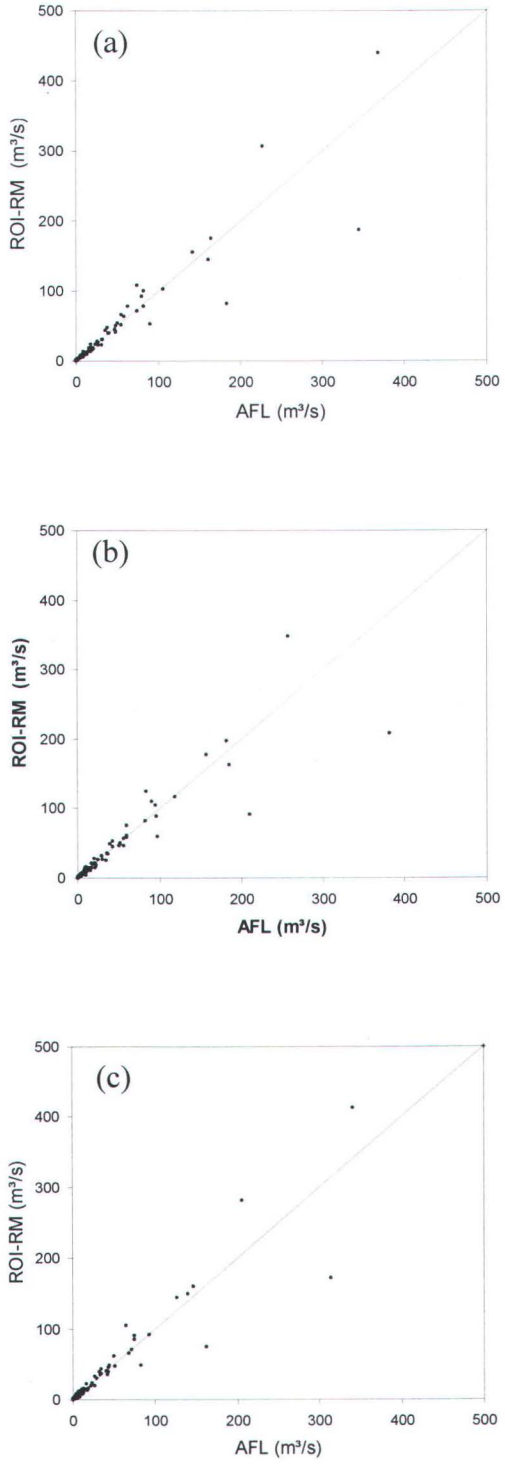
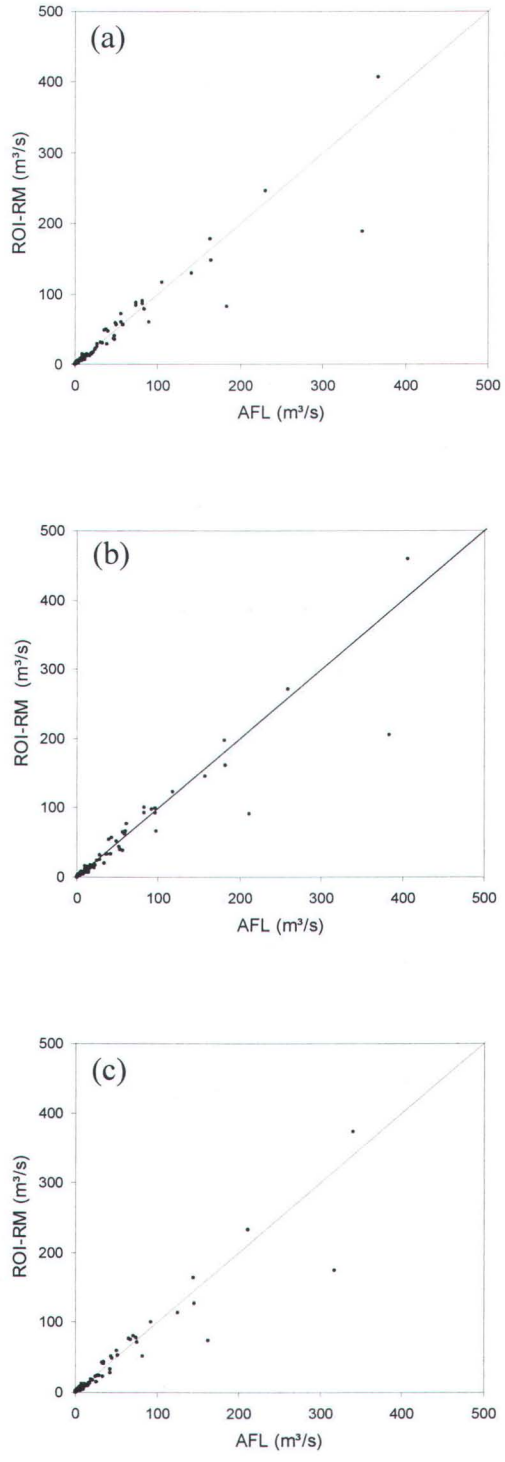


Figure 5.24. Graphique de dispersion des valeurs des quantiles annuels estimées par le modèle ROI-RM vs l'analyse fréquentielle locale (AFL) : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$



5.5 Application de la régionalisation par interpolation spatiale aux bassins du Québec habité

La méthode de régionalisation par interpolation spatiale (RIS) a été utilisée pour obtenir une estimation des différents quantiles d'intérêt. Pour toutes les analyses effectuées, une procédure de type « Jackknife », le biais relatif moyen (BRM) et l'erreur quadratique relative moyenne (EQRM) ont été utilisés pour mesurer la qualité des résultats obtenus (équations 5.1 et 5.2).

Pour pouvoir appliquer la méthode de Jackknife, il a été nécessaire d'adopter la projection cartographique la plus convenable à nos calculs. Les projections cartographiques les plus communes dans les latitudes moyennes sont :

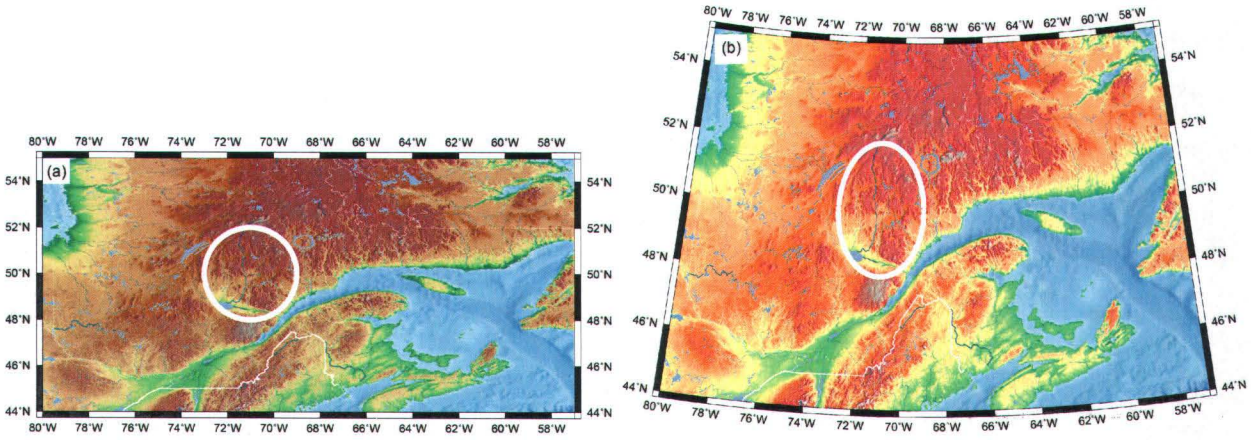
- Rectangulaire. Connue aussi comme latitudinale-longitudinale (lat-lon). Dans cette projection, nous avons une métrique égale à celle de l'espace euclidien. Ainsi, aucun facteur d'échelle ou transformation de coordonnées n'est nécessaire,

- Conique. Connue aussi comme Lambert conforme. Dans cette projection, seulement deux latitudes sont réelles (intersection du conne avec la sphère), ainsi il faut appliquer une transformation à la métrique pour préserver les distances, et

- Stéréographique polaire. Connue aussi comme la projection au plan projective. Cette projection est caractérisée par une intersection circulaire dans la sphère.

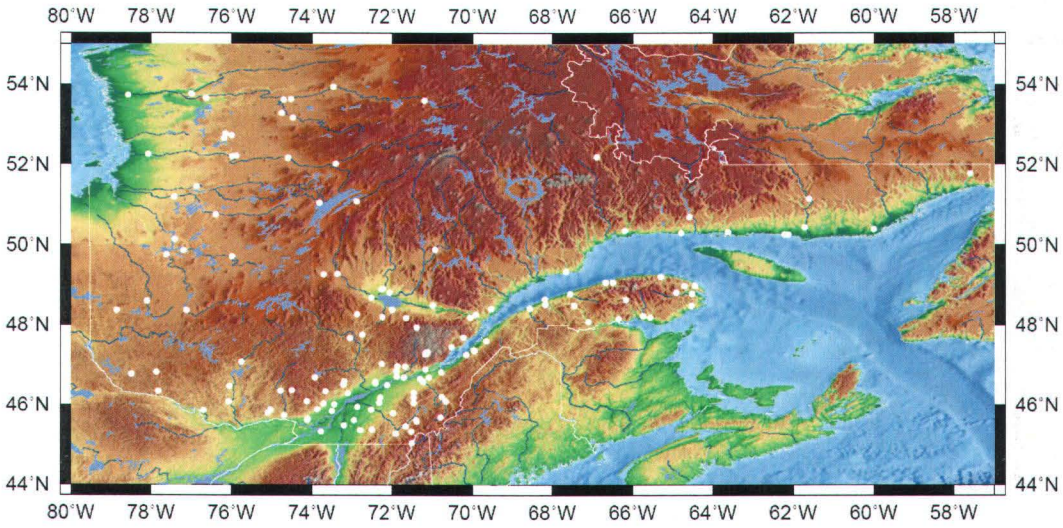
Dans notre cas, la projection cartographique la mieux adaptée est la lat-lon; car avoir une métrique égale à l'euclidienne facilite aussi le calcul de moyennes pondérées. Dans la figure 5.25, on compare un cercle de rayon 2° tracé sur une projection rectangulaire (figure 5.25a) par rapport à celui tracé sur une projection conique (figure 5.25b). La figure 5.25 montre comment les différentes projections changent la forme géographique du cercle.

Figure 5.25. Déformation de la figure géométrique d'un cercle dû au type de projection : a) lat-lon et b) conique



Nous avons pris l'ensemble des stations hydrométriques dont la localisation géographique est donnée à la figure 5.26. La figure 5.26 montre les rivières principales. À cause la très haute résolution du relief (topographie de 30" et bathymétrie de 2') on peut aussi remarquer les cours d'eau des rivières plus petites.

Figure 5.26. Localisation géographique des stations hydrométriques



Nous avons fait la normalisation des quantiles de débits d'étiage par l'aire des bassins versants (équation 3.45) et nous avons interpolé les débits spécifiques vers une grille régulière, de $2' \times 2'$ lat-lon ($\Delta x = \Delta y = 5' \approx 9km$, car $1°$ à $45°$ de latitude correspond approximativement à $111km$) de

résolution selon la méthode de la courbure minimale de Smith et Wessel (1990). Sur les figures 5.27 à 5.29, on donne les cartes se rapportant aux 9 cas étudiés. Pour évaluer la performance de la méthode RIS, à l'aide de la technique de Jackknife, nous avons refait la grille rectangulaire à chaque fois qu'on a enlevé une station. On a ensuite appliqué la technique du voisin le plus proche à la station manquante pour estimer la valeur du quantile spécifique du débit d'étiage. Le rayon, R, que nous avons utilisé pour ne retenir que les premiers voisins est :

$$R = \sqrt{2} \cdot \Delta x \tag{5.7}$$

Dans l'analyse des figures, il faut remarquer que l'interprétation physique est fondamentale pour éviter les situations aberrantes. On peut ainsi détecter les limitations de la méthode. Les valeurs négatives n'ont pas d'interprétation physique. Cette limitation est une conséquence de valeurs proches à zéro des champs de débits et à l'algorithme différentiel. Cependant, tous le contours correspondants aux valeurs négatives se trouvent à l'extérieur de la région d'étude. Pour tant la méthode est aussi sensible à la quantité et distribution de stations disponibles. De ce fait, l'échelle minimale dans les figures 5.27 à 5.30 a été fixée à zéro et les contours en dehors de la région d'étude ont été masqués en gris.

Figure 5.27. Carte régionale pour les étiages spécifiques estivaux : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10, d=7

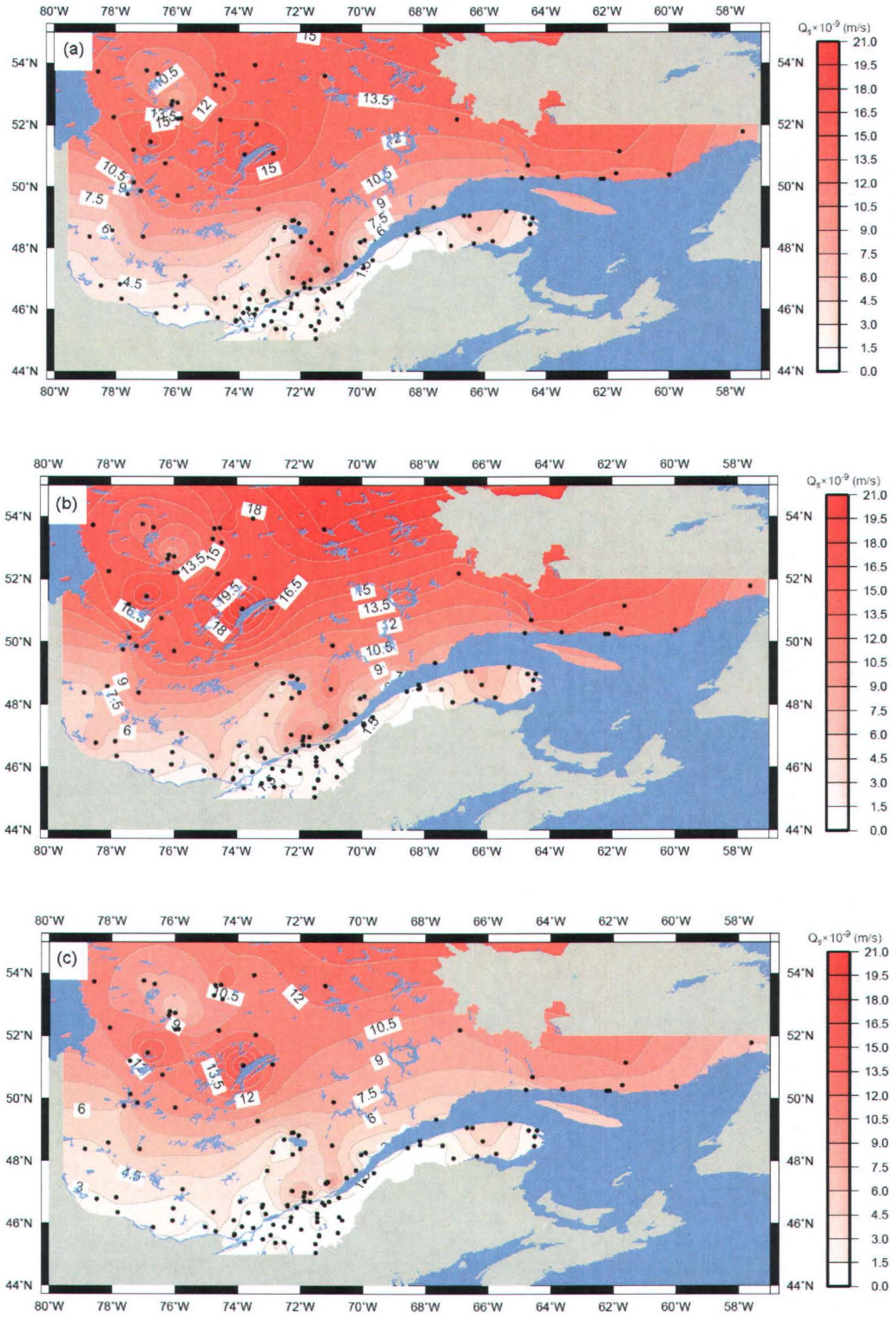


Figure 5.28. Carte régionale pour les étiages spécifiques hivernaux : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10, d=7

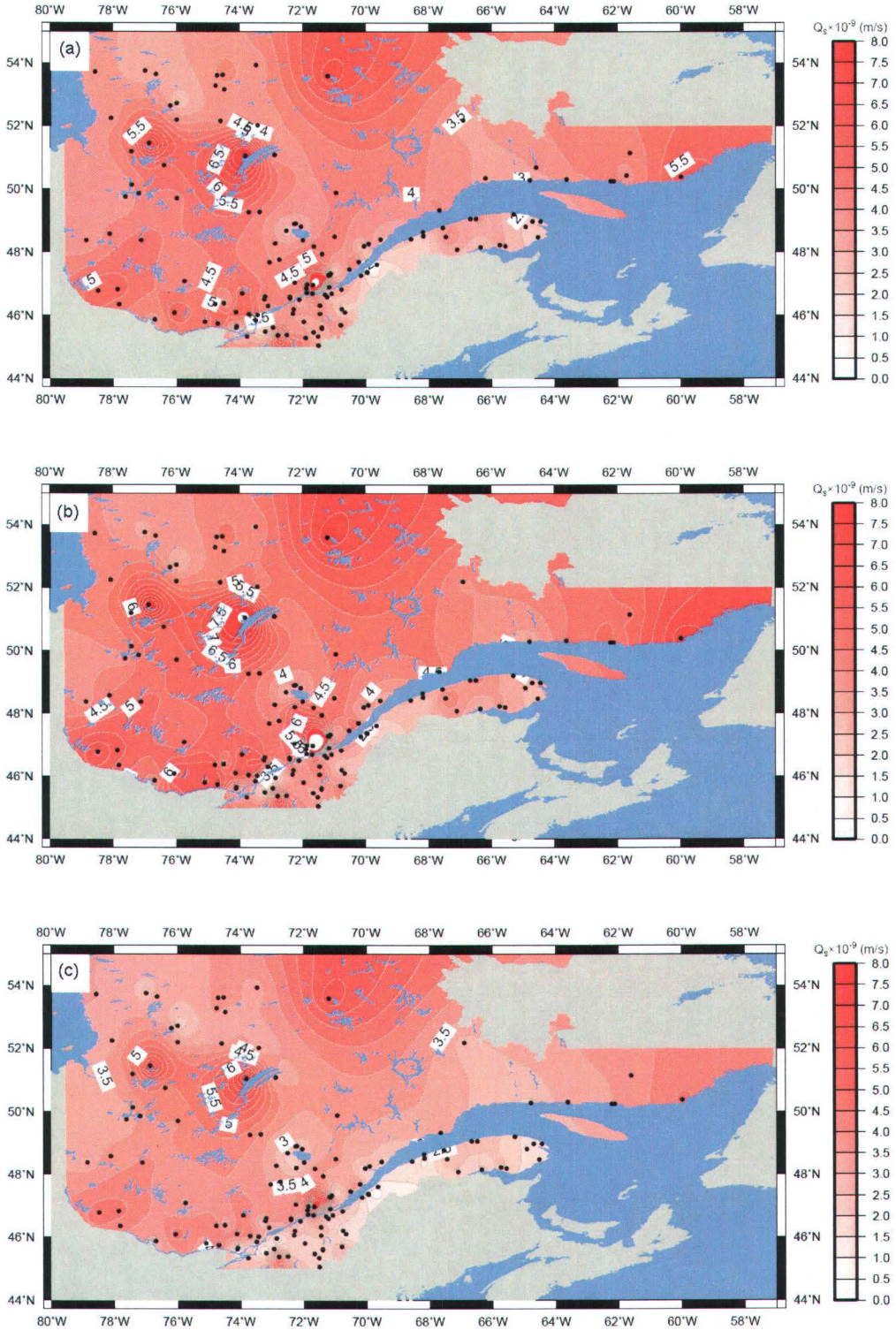
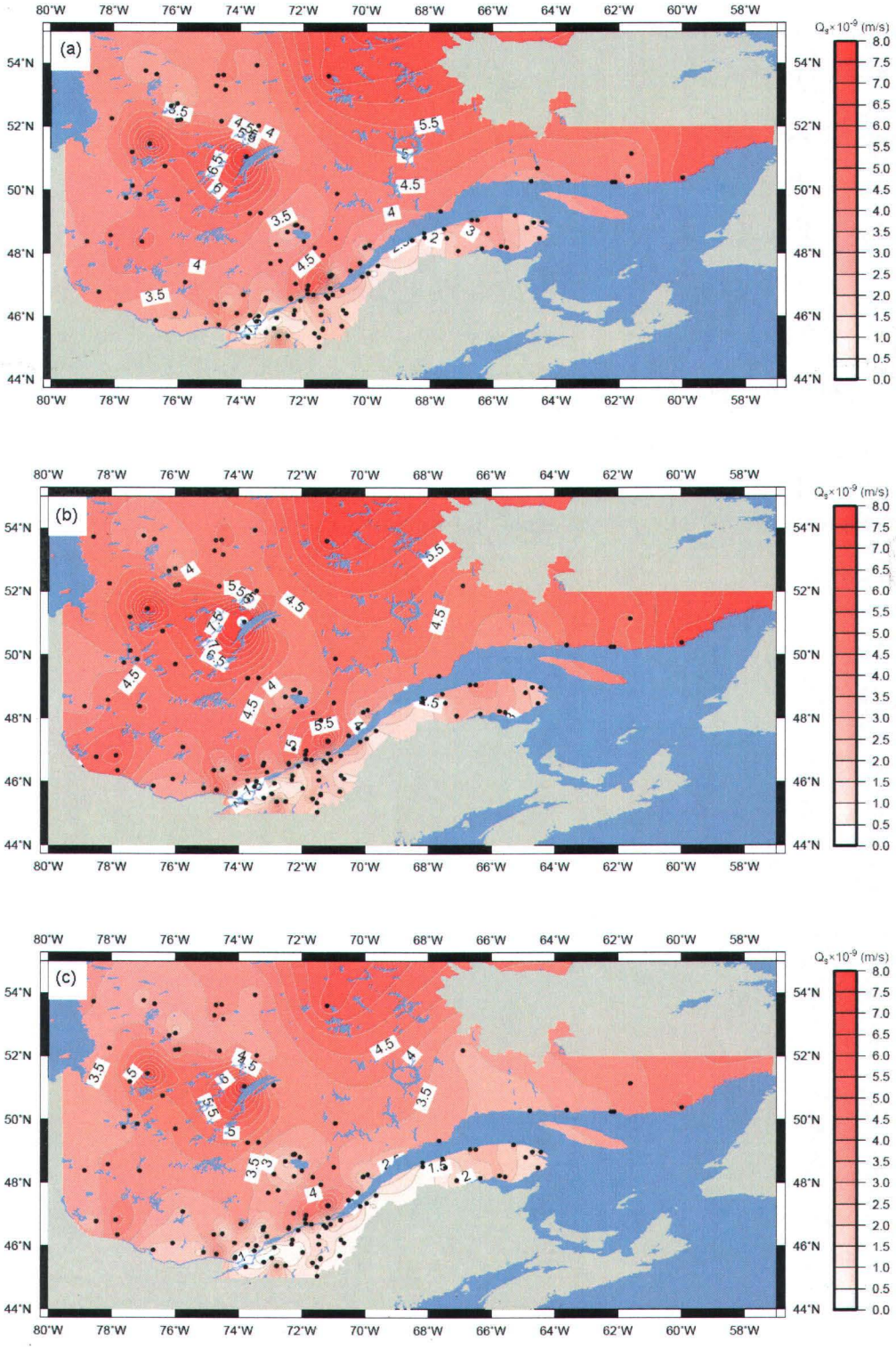
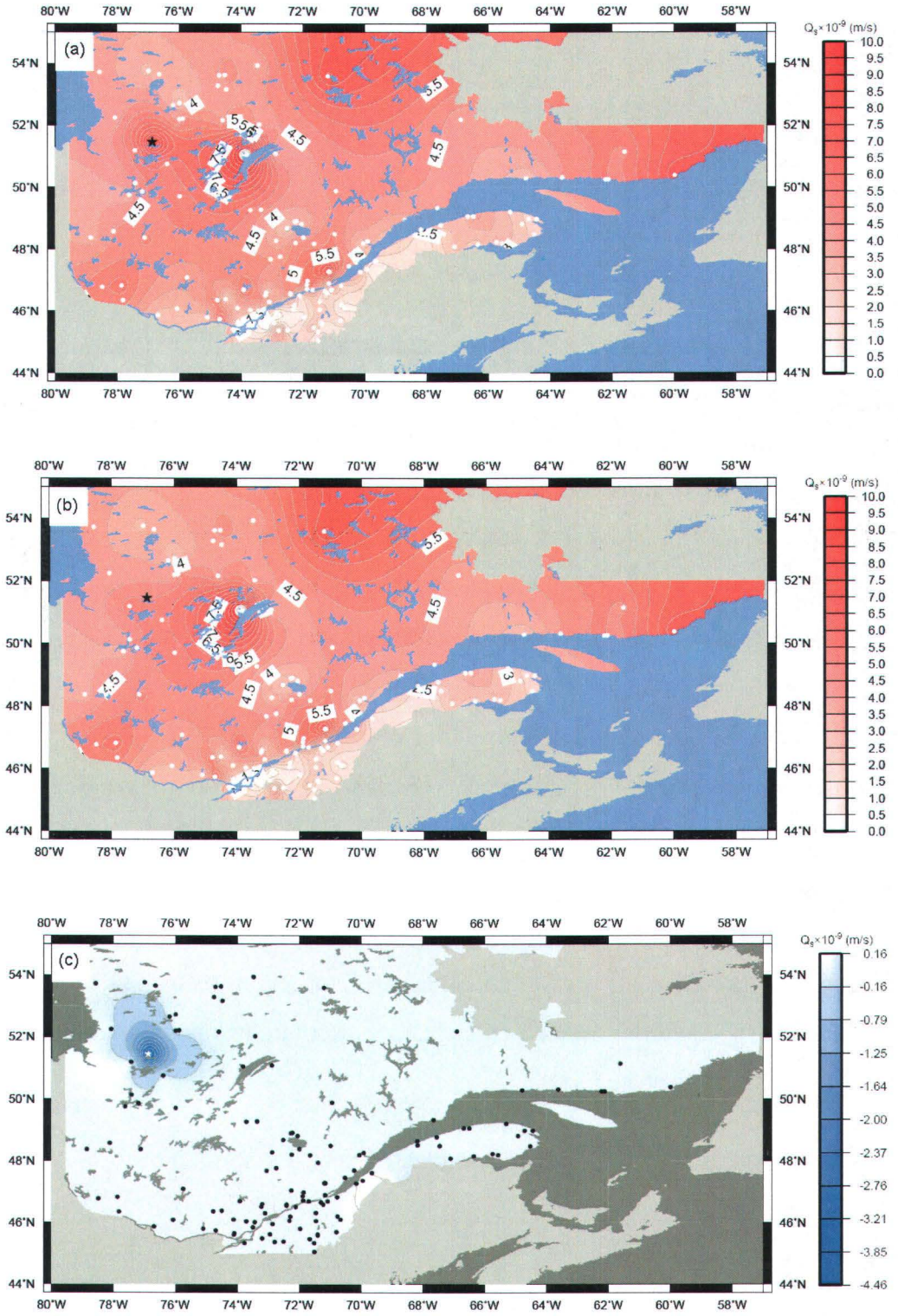


Figure 5.29. Carte régionale pour les étiages spécifiques annuels : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10, d=7



À titre d'exemple, on montre la procédure de Jackknife avec la station hydrométrique localisée sur les coordonnées géographiques 51° 26' 55''N et 76° 51' 59''W (*Rupert*) située à *11,4km* en aval du lac Nemiscau. L'identification provinciale est *081002* et l'identification fédérale est *03BC002*. Dans cet exemple, on considère la période annuelle et le quantile spécifique correspondant à une durée de *7* jours consécutifs et une période de retour de *2* ans. Sur la figure 5.30, on donne la localisation de la station avec une étoile. La figure montre l'effet que produit sur la grille le retrait d'une station et l'estimation de la valeur de cette station avec la méthode du voisin le plus proche. La figure 5.30a donne l'ensemble des stations, tandis que la figure 5.30b montre la valeur estimée à partir de premiers voisins. La figure 5.30c, quant à elle, montre les anomalies, c'est-à-dire les différences entre l'estimation régionale et la grille originale. Dans cet exemple, la valeur du quantile spécifique est $Q_{s_{2.7_{ann}}} = 9.36 \frac{m}{s}$ tandis que la valeur estimée par les voisins les plus proches est $Q^{RIS}_{s_{2.7_{ann}}} = 4.97 \frac{m}{s}$. Alors l'anomalie est $Q^{anom}_{s_{2.7_{ann}}} = -4.39 \frac{m}{s}$. Le signe négatif indique que la méthode RIS produit une sous-estimation de la valeur du quantile avec un biais relatif de *46.95%*.

Figure 5.30. Exemple de l'application de la méthode de Jackknife



Il faut noter que le calcul du BRM et EQRM (équations 5.1 et 5.2, respectivement) est invariante au changement de variable du débit vers le débit spécifique.

$$BRM_S = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\left[\frac{\hat{X}_{s_i} - X_{s_i}}{X_{s_i}}\right] = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\left[\frac{\frac{\hat{X}_i}{A} - \frac{X_i}{A}}{\frac{X_i}{A}}\right] = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\left[\frac{\hat{X}_i - X_i}{X_i}\right] = BRM \tag{5.8}$$

$$EQRM_S = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\left[\frac{\hat{X}_{s_i} - X_{s_i}}{X_{s_i}}\right]^2 = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\left[\frac{\frac{\hat{X}_i}{A} - \frac{X_i}{A}}{\frac{X_i}{A}}\right]^2 = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\left[\frac{\hat{X}_i - X_i}{X_i}\right]^2 = EQRM \tag{5.9}$$

Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau 5.22. Les figures 5.31, 5.32 et 5.33 correspondent aux périodes estivale, hivernale et annuelle, respectivement. Ces figures montrent le biais relatif du modèle RIS. Les figures 5.34 à 5.36 sont les graphiques de dispersion pour les mêmes périodes que les figures précédentes. Le tableau 5.23 présente les fréquences de surestimation et de sous-estimation. Ce tableau a été nécessaire car les figures 5.34 à 5.36 ne permettent pas de bien conclure quant au comportement du modèle. Ce tableau indique que dans 8 cas sur 9, le modèle surestime avec une proportion moyenne de 55% de surestimation; ce qui ne constitue pas une valeur très grande. Cette surestimation, croit-on, est due à la distribution de l'amplitude de quantiles locaux des débits d'étiage. Malgré le terme de tension présent dans l'équation différentielle (3.45), les ajustements continuent à donner des points d'inflexion inexistants. Ce type de comportement est en fait un des principaux problèmes dans les méthodes numériques. Cependant, il faut noter que cette valeur est un compromis, car si la valeur est proche de l'unité on perd tous les extrêmes de la surface. Tandis que si la valeur est proche de zéro, nous avons la présence du bruit numérique. De plus, le tableau 5.22 et les figures de dispersion (5.34 à 5.36) montrent que le modèle est en effet une très bonne option comme outil d'analyse, d'estimation et de géomatique.

Les limitations de la méthode RIS sont possibles d'identifier avec les trois caractéristiques suivantes :

1. les champs interpolés sont très dépendants de la densité de stations.

2. l'interprétation physique doit être restreint à la région d'étude.

3. la performance dépende des gradients de champs de quantiles spécifiques des débits d'étiage.

Ces limitations nous aident à mieux expliquer les résultats du tableau 5.22. Pendant la saison estivale, les débits sont champs avec gradients plus intenses et ainsi les valeurs ont de variations abruptes, situation que nous produise les erreurs plus significatives pour la méthode. En contraste la saison hivernale est caractérisée par champs de débits avec faibles gradients, ainsi l'algorithme produise de meilleurs résultats. Pendant la saison annuelle, il peut arriver que la valeur minimale soit la même que celle de la saison hivernale. Cependant, le décalage du calendrier annuel avec le débout de la saison hivernale (mois de décembre) ne le garanti pas. Ainsi la performance de la saison annuelle se trouve entre celles des saisons estivale et hivernale.

Afin de comparer cette méthode avec les autres, nous présentons le tableau 5.24. Ce tableau donne une comparaison des performances entre les quatre modèles, soit la CAH-RM, l'ACC-RM, la ROI-RM et la RIS. Comme nous pouvons le constater, la performance de la RIS se trouve proche mais inférieur des méthodes de l'ACC et de la ROI. Ceci est un comportement intéressant, car la méthode suit la philosophie des méthodes de régionalisation géographique. Cependant, une caractéristique fondamentale est que chaque station possède son propre voisinage. C'est-à-dire, nous avons aussi modifié l'hypothèse que la régionalisation par critères géographiques est faite avec des régions fixes (comme dans la CAH) ou avec des régions contiguës. Dans ce type de cartographie, le voisinage de chaque station est formé par les points de la grille régulière autour de chaque station. Donc cette grille a été formée d'après l'interpolation de l'information de toute la région. Alors, d'une certaine façon chaque station reçoit l'information de toute la région. Pourtant, l'hypothèse que les voisinages non contigus améliorent l'estimation que chaque station doit posséder son propre voisinage est vérifiée.

Le tableau 5.24, montre que pour la période estivale l'ACC-RM donne la meilleure performance, tandis que pour les périodes annuelle et hivernale est la ROI-RM. Il est clair que les méthodes avec un voisinage hydrologique sont les mieux adaptées à l'étude des étiages.

Tableau 5.22. BRM et EQRM pour l'estimation de quantiles d'intérêt par la RIS

Modèle	Saison	$Q_{d,T}$	BRM (%)	EQRM (%)
RIS	Estivale	$Q_{5,30}$	20.16	54.98
		$Q_{2,7}$	19.24	51.19
		$Q_{10,7}$	25.40	79.88
	Hivernale	$Q_{5,30}$	7.92	13.49
		$Q_{2,7}$	8.16	13.72
		$Q_{10,7}$	11.91	25.37
	Annuelle	$Q_{5,30}$	13.17	29.42
		$Q_{2,7}$	14.37	36.07
		$Q_{10,7}$	24.33	76.18

Tableau 5.23. Fréquence de surestimation et de sous-estimation de quantiles d'étiages pour le modèle RIS avec plusieurs variables explicatives

	Estivale			Hivernale			Annuelle		
	$Q_{5,30}$	$Q_{2,7}$	$Q_{10,7}$	$Q_{5,30}$	$Q_{2,7}$	$Q_{10,7}$	$Q_{5,30}$	$Q_{2,7}$	$Q_{10,7}$
Surestimation	66	69	69	75	73	72	72	71	70
Sous-estimation	68	60	60	60	60	61	59	58	59

Tableau 5.24. Tableau comparatif de BRM et EQRM en % pour les estimations des quantiles d'intérêt par les modèles CAH-RM, RIS, ACC-RM et ROI-RM.

Modèle		CAH-RM		RIS		ACC-RM		ROI-RM	
Saison	$Q_{d,T}$	BRM (%)	EQRM (%)	BRM (%)	EQRM (%)	BRM (%)	EQRM (%)	BRM (%)	EQRM (%)
Estivale	$Q_{5,30}$	14.40	58.88	20.16	54.98	9.46	20.04	13.60	24.45
	$Q_{2,7}$	13.26	102.78	19.24	51.19	10.02	20.61	13.37	26.25
	$Q_{10,7}$	22.91	227.46	25.40	79.88	13.82	33.90	18.69	39.57
Hivernale	$Q_{5,30}$	23.43	353.77	7.92	13.49	8.79	21.81	5.31	13.07
	$Q_{2,7}$	23.84	370.83	8.16	13.72	7.10	16.52	3.68	11.92
	$Q_{10,7}$	27.93	393.87	11.91	25.37	9.62	39.32	4.97	17.43
Annuelle	$Q_{5,30}$	10.70	49.41	13.17	29.42	11.98	30.86	2.48	15.39
	$Q_{2,7}$	11.42	55.53	14.37	36.07	8.64	22.70	0.80	15.42
	$Q_{10,7}$	16.13	77.93	24.33	76.18	15.40	40.90	2.44	21.10

Figure 5.31. Biais relatif en % de RIS pour les étiages estivaux en fonction de la superficie : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7

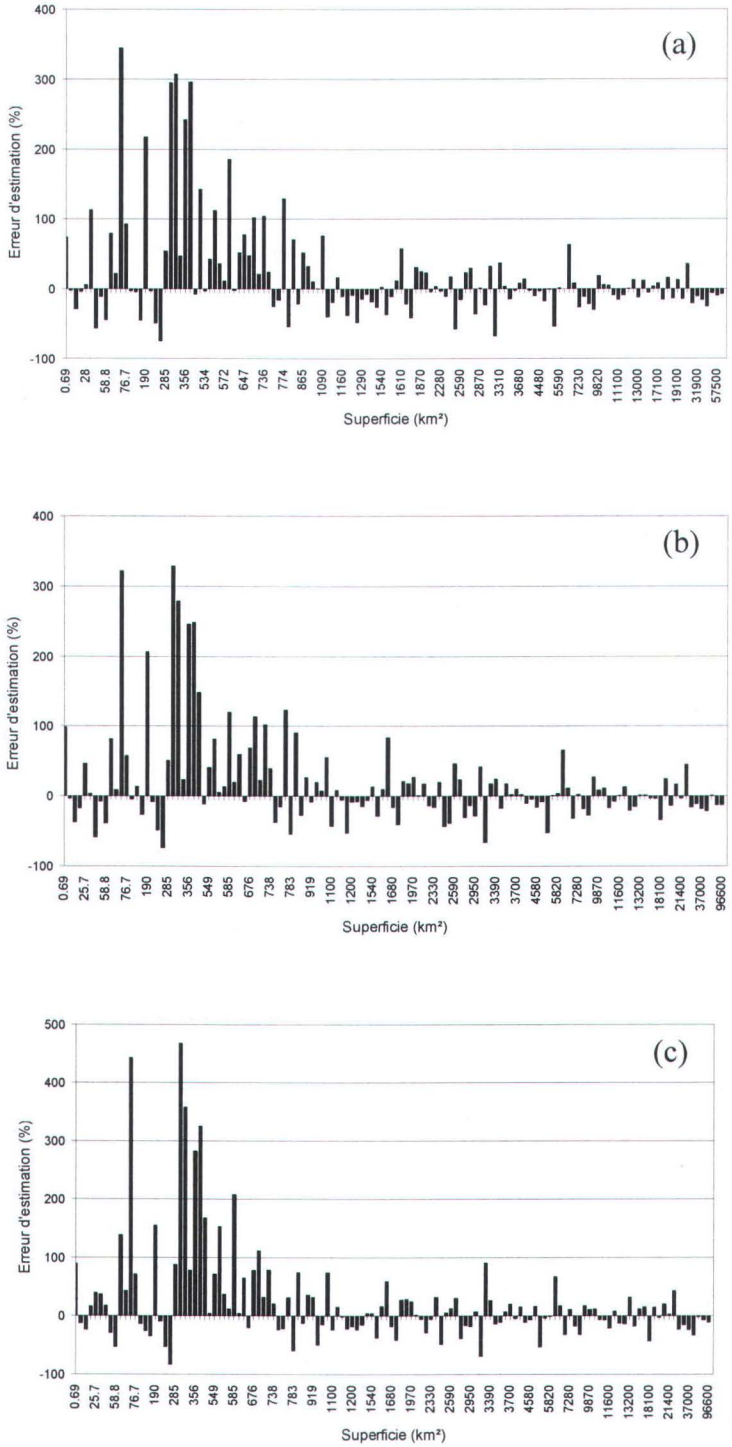
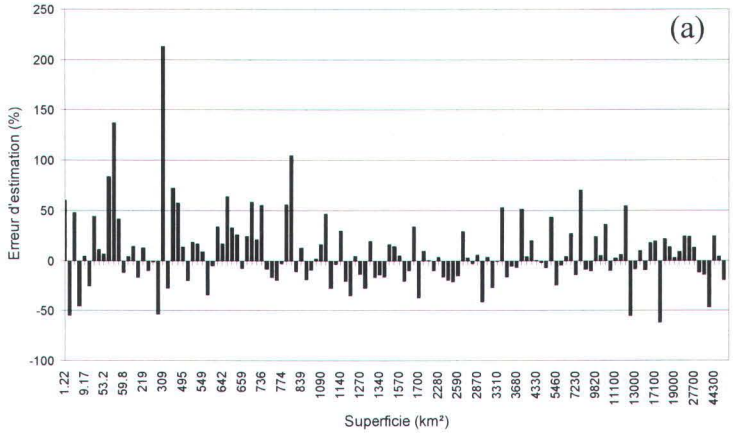
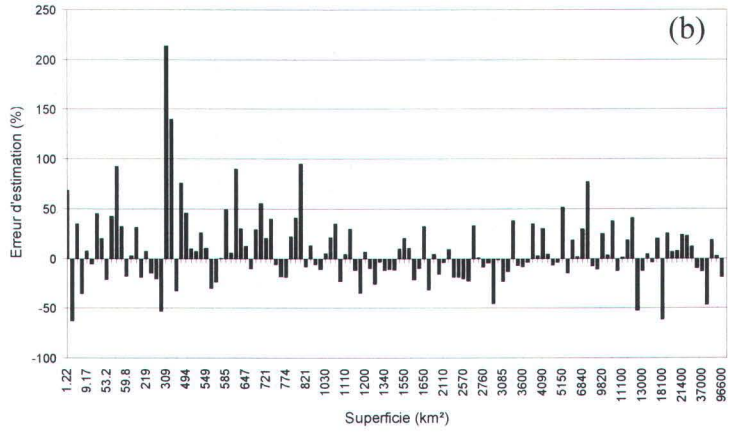


Figure 5.32. Biais relatif en % de RIS pour les étiages hivernaux en fonction de la superficie : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7





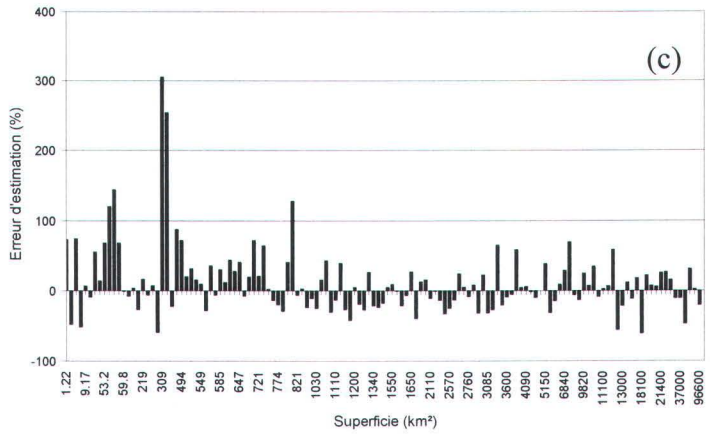


Figure 5.33. Biais relatif en % de RIS pour les étiages annuels en fonction de la superficie : a) T=5 et d=30, b) T=2 et d=7, et c) T=10 et d=7

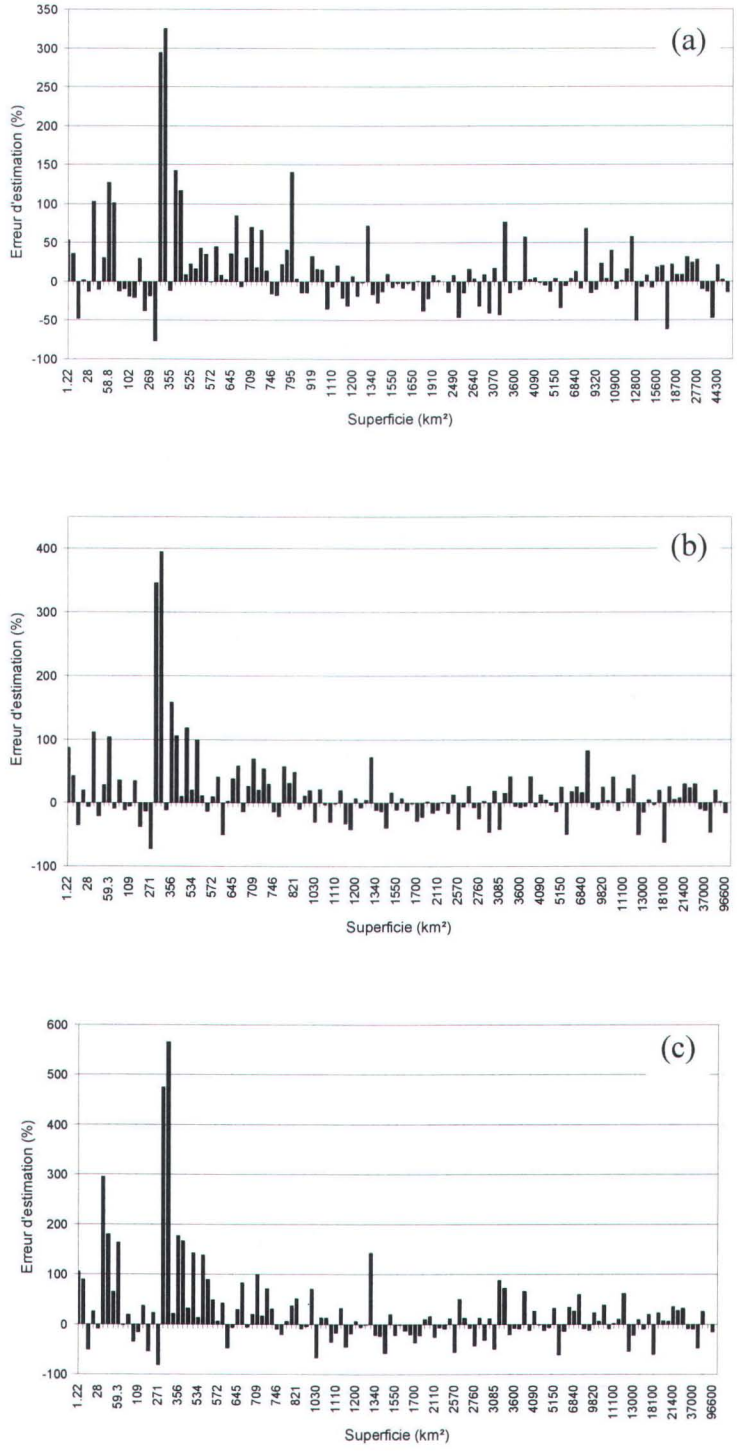


Figure 5.34. Graphique de dispersion des valeurs des quantiles estivaux estimées par le modèle RIS-RM vs l'analyse fréquentielle locale (AFL) : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$

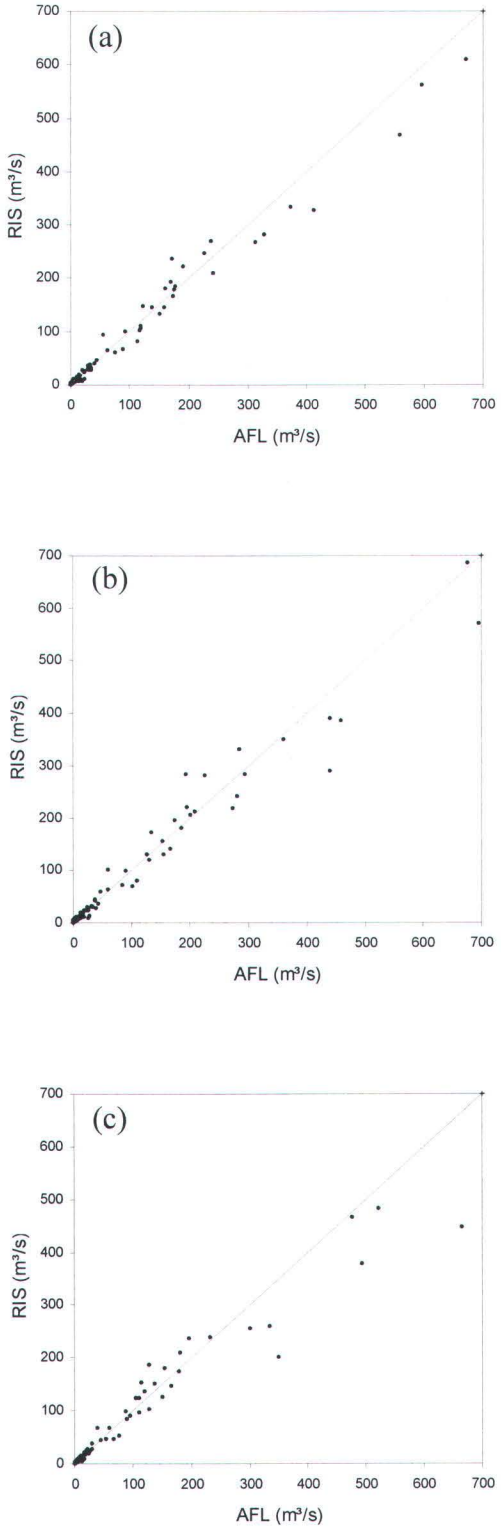


Figure 5.35. Graphique de dispersion des valeurs des quantiles hivernaux estimées par le modèle RIS-RM vs l'analyse fréquentielle locale (AFL) : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$

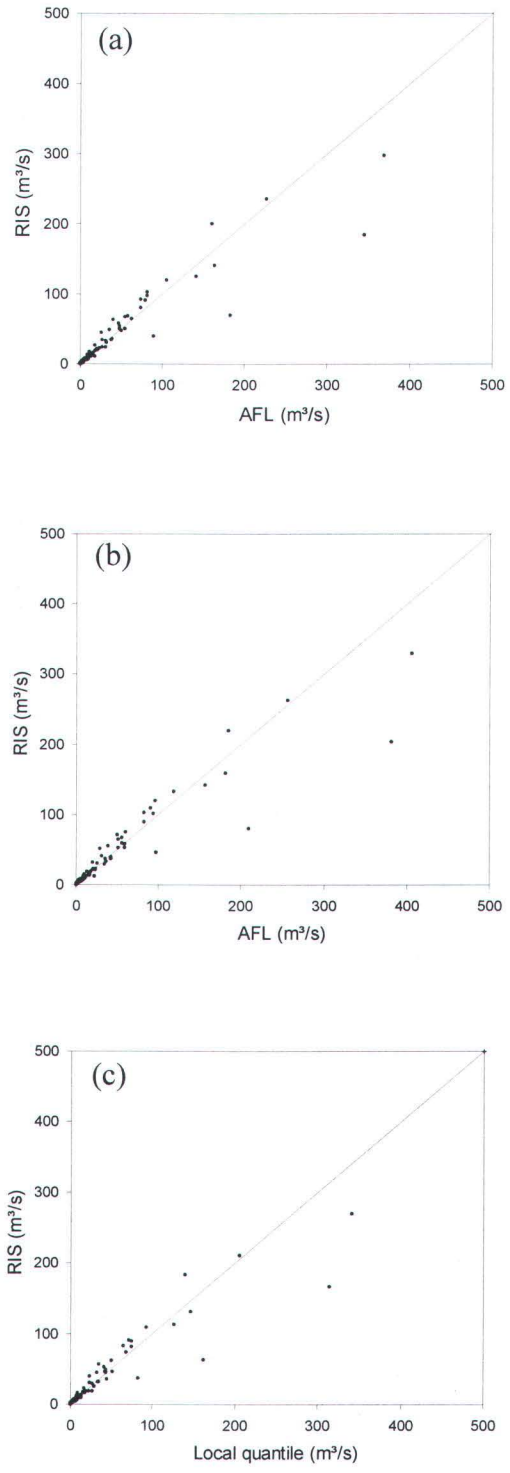
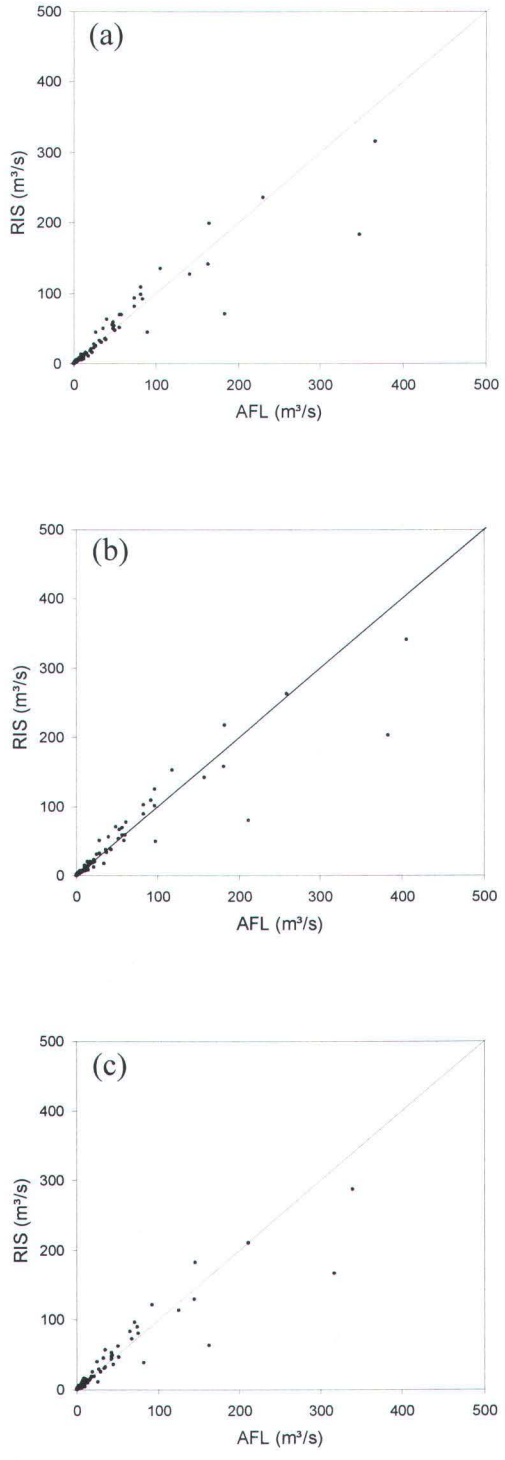


Figure 5.36. Graphique de dispersion des valeurs des quantiles annuels estimées par le modèle RIS-RM vs l'analyse fréquentielle locale (AFL) : a) $Q_{5,30}$, b) $Q_{2,7}$ et c) $Q_{10,7}$



5.6 Application de la méthode des L-moments aux bassins du Québec habité

Bien que l'approche de régionalisation basée sur les L-moments offre un test d'homogénéité (section 3.1.2) afin de valider le choix des régions hydrologiquement homogènes, elle n'offre pas de méthodologie en tant que telle pour former ces régions. On pourrait donc simplement appliquer le test d'homogénéité sur les régions obtenues avec la méthode de la classification ascendante hiérarchique. Or, puisque l'un des objectifs principal de cette étude est de comparer différentes approches de régionalisation, il a été convenu qu'il serait plus approprié de considérer une autre technique pour la détermination des régions homogènes avant d'appliquer les étapes de l'approche de régionalisation basée sur les L-moments.

L'algorithme retenu à cette fin est connu sous le nom de « *partitionnement objectif* ». Le partitionnement objectif consiste à former des régions en séparant les différents sites en deux groupes, où l'on assigne un site donné à l'un des deux groupes dépendamment de s'il excède ou non un certain seuil pour une variable caractérisant le bassin versant (dans ce cas-ci, il peut s'agir de l'une ou l'autre des variables identifiées à la section 3.1.2.2). Wiltshire (1985) utilise la superficie des bassins versants, les précipitations et le type de sol pour classer les stations. La superficie d'un bassin versant sert à les classer en stations petites et grandes; la moyenne annuelle des précipitations, en stations sèches et humides; et le type du sol, en stations perméables et imperméables. Pour chaque variable, il teste plusieurs valeurs et utilise un test statistique jusqu'à ce qu'il trouve la valeur optimale de la statistique.

Alors, le seuil en question doit correspondre à une valeur que minimise un critère d'hétérogénéité intra-groupe, tel qu'une statistique basée sur le rapport de vraisemblance (Wiltshire, 1985), ou plus simplement la variance du coefficient de variation à l'intérieur du groupe (Wiltshire, 1986), ou encore la variance intra-groupe des coefficients de L-variation (L-CV) et de L-asymétrie (L-CS) (Pearson, 1991). Cette dernière option devrait normalement s'avérer plus accommodante dans la formation des régions homogènes étant donné que le test d'homogénéité est basé sur les rapports de L-moments. Enfin, les deux groupes ainsi déterminés sont à leur tour subdivisés en

de nouveaux sous-groupes, i.e. que le processus est effectué de façon itérative jusqu'à ce qu'on obtienne une partition acceptable de groupes homogènes.

Un exemple d'une telle partition résultant de l'application de cet algorithme sur l'ensemble des 129 stations retenues pour l'estimation des étiages annuels d'une durée de 7 jours ($Q_{T,7}$) est présenté au tableau 5.25. Au lieu de faire un choix parmi les quatre variables explicatives retenues dans le cas annuel (soit BV, PLAC, NJH27 et NCM ; section 5.1.2.1.1) comme caractéristiques à considérer pour le bassin, une solution permettant de contourner ce problème a été considérée :

- effectuer une analyse en composantes principales sur la matrice de variables explicatives, et

- ne retenir que la première composante (i.e. celle qui explique le plus fort pourcentage du jeu de données) comme critère d'assignation pour la procédure de partitionnement.

Tableau 5.25. Exemple d'application de l'algorithme de partitionnement objectif

Région 1	Région 2	Région 3	Région 4	Région 5	Région 6
022504/022507	011507	010101	010801/010802	050116/050144	061905
022703	021915	011508	010901/010902	050409	072302
023101/023106	024001/024007	020401/020404	011201	051001	073801
023301/023303	030214/030234	021407	020502	051003	074601
023401	030219	021502	020601/020602	051004	074701
023402	030282	021601	020802	051005	075601
023403	040201	040129	040830	061020	080701
023426	040814	040202/040204	050305	061906	080704
023429	041301	040212	050408	062101	080707
023701	041901/041902	040401/040406	051502	062102	080718
024003	041903	043009/043012	052803	062209	080801
024013	042606	050117/050135	052805	071401	081002
030101	050119	050301	060101	073301/073303	081006
030103	050701	050302/050304	061502	074902	081007
030238	050812	051002	062802	080101/080102	090601
030316	051301	051007	070401	080705/080717	090602
030335	052202/052219	052203/052212		080809	090605
030340	052601	061022			090607
030341	060601	061602			090609
030415	061909	061801			090610
030901/030905	062701				090613
031401					092703
046706					092704
046707					092706
052233					092707
					092708
					092711
					092715
					092717
					092722

Les valeurs du test de discordance (section 3.1.2.1) pour chaque station de chacune des régions du tableau 5.25 sont reportées quant à elles au tableau 5.26. Les valeurs marquées en caractères gras correspondent aux stations pouvant être considérées comme problématiques (i.e. lorsque $D > 3$) à l'intérieur du groupe auquel elles sont associées. Dans ce cas-ci, il s'agit des valeurs *030340*, *052803* et *074601*. Elles ne constituent que l'exception et étant donné que la plus forte valeur observée pour D n'excède pas 4.5, on peut donc affirmer avec une certaine confiance qu'il n'y a pas de station se devant d'être écartée impérativement du lot. En fait, cela est cohérent avec le travail d'identification et d'élimination des stations problématiques effectué à l'étape de la constitution de la base de données (section 5.1).

Tableau 5.26. Valeurs de la statistique D du test de discordance pour les stations du tableau 5.25

Région 1	Région 2	Région 3	Région 4	Région 5	Région 6
0.15	0.25	1.04	0.00	0.19	0.24
0.78	0.42	2.69	0.16	2.26	1.62
0.51	2.05	0.06	0.10	1.89	0.04
2.14	0.54	2.00	1.60	0.09	**3.31**
0.70	0.81	1.65	0.40	1.27	2.37
0.49	0.43	0.79	0.53	2.99	2.62
0.85	1.90	0.36	1.45	0.05	0.62
1.65	1.76	0.55	1.80	1.39	1.99
0.29	0.09	1.37	0.73	1.10	0.45
0.73	0.35	0.95	0.66	0.36	0.07
0.12	0.60	0.47	**3.91**	0.12	0.82
1.87	0.87	0.06	2.13	0.18	0.30
1.07	0.66	2.34	0.61	1.01	1.39
0.15	1.14	0.60	0.94	2.47	0.40
0.74	0.93	0.90	0.84	0.63	1.04
2.37	1.94	1.27	0.13	0.42	1.92
0.40	0.35	0.17		0.56	0.48
4.14	2.88	0.77			2.50
2.31	0.89	1.41			0.74
0.48	1.52	0.56			0.73
0.15	0.62				0.75
0.32					0.03
0.69					0.41
0.84					0.24
1.00					1.13
					0.73
					1.20
					0.16
					1.35
					0.36

Selon la méthode des L-moments, l'étape suivante consiste à appliquer le test d'homogénéité aux groupements du tableau 5.26. Les valeurs de la statistique H (en fixant le nombre de simulations à 1000 pour la détermination des paramètres de la distribution kappa, section 3.1.2.2) pour chaque région sont données au tableau 5.27. Ainsi, on y constate que le critère d'homogénéité ($H < 2$) n'est satisfait pour aucun des groupes.

Tableau 5.27. Valeurs de la statistique H du test d'homogénéité pour les régions du tableau 5.26

Région 1	Région 2	Région 3	Région 4	Région 5	Région 6
5.56	11.16	13.00	15.10	6.11	8.00

Conséquemment, l'obtention d'estimations régionales sur la base de ces régions ne peut donc pas être considérée comme étant valide selon les standards de l'approche basée sur les L-moments (cf. 3.12).

CONCLUSIONS

Les étiages sont d'une grande importance pour conserver l'habitat du poisson et celui de d'autres espèces aquatiques Ils indiquent si la pollution déversée dans le cours d'eau va se diluer et si l'approvisionnement en eau sera suffisante. De ce fait, nous avons proposé une méthodologie pour aborder l'estimation des débits d'étiage. L'objectif général de cette recherche était de « développer une méthode d'estimation des étiages aux sites non-jaugés ou partiellement jaugés sur une base régionale qui combine les forces des différentes méthodes existantes ». Pour atteindre cet objectif, nous avons fixé les objectifs spécifiques suivants :

- faire une analyse comparative des méthodes existantes,

- développer une méthode pour l'estimation des débits d'étiage d'un point de vue régional et l'appliquer à la Province de Québec. L'idée est de voir comment l'information disponible en différents sites peut être intégrée dans le modèle que nous avons développé, afin de pouvoir l'utiliser sur des bassins pour lesquels pas ou peu d'information est disponible sur les débits.

- produire des conclusions et des recommandations générales pour les études d'estimation régionale des débits d'étiage.

L'approche choisie a été l'analyse fréquentielle régionale. Nous avons donc construit une base de données régionale, avant de faire des estimations à l'aide de régressions basées sur les caractéristiques physiographiques / météorologiques des bassins versants.

Si nous récapitulons les résultats de ces travaux de recherche, nous avons premièrement fait une revue de littérature qui nous a permis de mettre en évidence que les débits d'étiage sont un sujet peu étudié par rapport aux crues. C'est une des principales raisons pour laquelle il y a un manque de méthodes et peu de compréhension du phénomène, comme la confusion des notions de sécheresse et d'étiage.

Pour cette raison, le développement d'une méthodologie était nécessaire. Le problème a été abordé comme suit : a) la constitution d'une base de données régionale et b), le développement de la méthodologie de régionalisation.

Analyse fréquentielle locale

Le critère qui exige un seuil de dix ans dans la longueur des séries temporelles n'est pas suffisant pour assurer une quantification fiable des fréquences des phénomènes extrêmes comme les étiages. Ainsi, il est nécessaire d'utiliser les fonctions théoriques pour extrapoler les probabilités observées. Or, la distribution de probabilité réelle est inconnue et la solution pratique consiste à identifier une distribution raisonnable et quantifier ces paramètres.

Afin de produire une bonne régionalisation des étiages, il est crucial de compter sur une base de données fiable. La très rigoureuse méthodologie développée dans l'analyse fréquentielle locale nous l'a apportée. D'après la revue de littérature et à notre connaissance, c'est la première fois qu'une étude aussi exhaustive est réalisée. Ceci nous permet de souligner la contribution de cette recherche à l'hydrologie. Ainsi, il est important de souligner les principaux aspects de cette méthodologie :

- les séries temporelles d'étiages doivent avoir une durée minimale de 10 ans et un régime hydrologique naturel;

- chacune des séries a été l'objet de tests statistiques d'indépendance, de stationnarité et d'homogénéité (pour les stations regroupées);

- nous n'avons pas tenu compte du préjugé selon lequel les lois de probabilité utilisées normalement dans les crues ne peuvent pas être applicables dans le cas des étiages. De la même façon, l'ajustement des paramètres des lois choisies n'a pas été limité à une seule technique. L'estimation de quantiles a été faite avec la formule de probabilité empirique générale proposée par Cunnane (1978), qui est valable pour toutes les distributions de probabilité;

- nous avons préféré utiliser les critères BIC et AIC (ainsi qu'adopter le principe de parcimonie) pour choisir la loi de probabilité la mieux ajustée à chaque série de données avant de faire l'estimation de quantiles.

Le principe de parcimonie a une implication plus profonde que seulement le choix de lois avec le moins de paramètres nécessaires pour ajuster les données observées. En effet, ce principe donne aussi un sens physique au choix de lois. Car la statistique mathématique est un outil au service de l'hydrologie et son utilisation ne peut pas remplacer le manque ou l'insuffisance de données observées. Autrement dit, il faut éviter d'ajuster une loi à plus de deux paramètres sur des petits échantillons (quelques dizaines de valeurs). Autrement, ce que l'on croit gagner en souplesse de l'estimation de quantiles, on le perd en précision avec la loi dans l'estimation des paramètres d'ajustement.

Analyse fréquentielle régionale

Le choix de méthodes pour déterminer le voisinage hydrologique a été basé sur leur formulation analytique. De ce fait, nous avons privilégié les méthodes dites mathématiques. Les méthodes choisies sont : la classification hiérarchique ascendante (CAH), l'analyse canonique de corrélations (ACC), les régions d'influence (ROI), les L-moments et la régionalisation par interpolation spatiale (RIS).

La méthode de régression multiple (RM) a démontré une bonne performance. Comme la disponibilité de variables physiographiques / météorologiques était vaste, on a décidé d'utiliser celles qui étaient les moins corrélées entre elles. Par la suite, il a été possible d'exprimer chaque quantile régional comme une combinaison linéaire de variables indépendantes plus l'erreur et une constante. Ceci semble être une hypothèse forte, mais au vu des performances, nous pouvons conclure qu'elle est raisonnable.

Le transfert d'information locale vers les sites non-jaugés ou partiellement jaugés a été fait à l'aide de la technique de régression multiple (RM). De cette façon, les méthodes sont référées comme la méthode de calcul du voisinage avec la méthode d'estimation régionale, soit l'ACC-RM, la ROI-RM et la CAH-RM.

La RIS est la seule méthode qui dans sa formulation originale est purement cartographique : elle utilise l'interpolation linéaire. Nous avons repris cette technique (intéressante à cause de ses possibilités de représentation visuelle) pour la reformuler et en faire une méthode mathématique. La bonne performance de cette méthode peut être attribuée à la répartition géographique, à la densité des stations ainsi qu'à l'algorithme d'interpolation qui peut gérer des variables avec des changements abrupts (champs de flux, orographie, etc.).

La méthode de L-moments n'a pas pu être appliquée au cas des étiages. Il semble que cette méthode n'est pas sensible aux événements extrêmes de minima, mais plutôt aux crues. Ceci peut être dû au fait que la méthode des L-moments privilégie le choix de la loi GEV (Klemes, 2000), tandis que, comme on a vu, les étiages du Québec sont très peu ajustés par cette loi.

Le modèle CAH-RM est une méthode dont on attendait une mauvaise performance. Nous avons cependant décidé de le tester pour démontrer la déficience de considérer que les régions fixes peuvent représenter une bonne option de régionalisation. De plus, même une méthode avec de telles déficiences peut toujours être améliorée avec une bonne méthodologie pour construire la base de données régionale et avec le choix de bonnes variables explicatives.

La formulation de la méthode ROI-RM a été analysée et nous avons trouvé des faiblesses dans la version originale de Burn (1990), particulièrement au niveau des fonctions de poids et de la définition du seuil. Les fonctions de poids ont été pendant des décennies une de principales raisons citées dans les études comme responsables des mauvaises performances. De plus, la définition des fonctions de poids reste toujours très subjective et en certains cas n'ont aucun sens physique. Quant au seuil, dans toutes les études consultées, il est défini à partir d'approches qui n'offrent aucune garantie d'optimisation des voisinages. De ce fait, nous avons fait un calcul analytique pour reformuler la définition de la distance entre stations du voisinage, ainsi qu'une méthode d'optimisation de la valeur du seuil. Les résultats de cette méthode ont montré la grande sensibilité lorsqu'appliquée aux étiages.

La méthode de l'ACC est une méthode de régionalisation pour laquelle le voisinage hydrologique est unique pour chaque site. La taille de chaque voisinage est déterminée par la valeur du paramètre α. En moyenne chaque station possède une région homogène de 40 stations.

Nous aimerons ajouter aussi une série de conclusions que nous avons tiré de la comparaison entre les méthodes :

- L'utilisation d'un voisinage hydrologique améliore significativement les estimations de quantiles du débit d'étiage.

- Les méthodes de régionalisation basées sur un voisinage hydrologique (ACC-RM et ROI-RM) ont une performance supérieure à celles avec les régions homogènes fixes (CAH-RM et RIS).

- Les méthodes de régionalisation d'analyse canonique des corrélations et de régions d'influence combinées à la régression multiple (ACC-RM et ROI-RM) permettent d'obtenir des estimations précises.

- La détermination de régions homogènes demeure un sujet ouvert.

- Parmi les variables explicatives des étiages, la superficie du bassin versant est une variable très corrélée avec les quantiles locaux d'étiage.

Contributions personnelles

Les méthodes de l'ACC-RM et de la ROI-RM n'ont jamais été utilisées pour l'étude de régionalisation des débits d'étiage.

La méthode ROI a été reformulée en éliminant les éléments subjectifs de sa formulation afin d'obtenir sa performance optimale. Ainsi les erreurs sont dues aux limitations propres de la méthode.

La reformulation de la méthode RIS a été motivée par les bons résultats obtenus dans le domaine de la climatologie en utilisant l'algorithme de la courbure minimale appliqué aux champs de variables physiques (comme le flux de la chaleur, les précipitations, etc.) ou aux champs très difficiles à traiter par décompositions spectrales (orographie escarpée). Nous avons décidé d'adapter cet algorithme au débit d'étiage qui est une variable hydrologique avec ses propres caractéristiques (aussi complexes que les variables climatologiques). De plus, on sait que les

outils géomatiques ne sont pas toujours disponibles et dans le cas des étiages, ils doivent encore être optimisés.

Ce travail apporte une nouvelle connaissance pertinente aux caractéristiques des débits d'étiage, autant au niveau théorique que pour le cas particulier appliqué aux écoulements de la province du Québec, Canada. Ces nouvelles méthodes contribuent donc à améliorer la compréhension du phénomène hydrologique d'étiage.

Perspectives

Afin d'améliorer les estimations régionales, il serait pertinent de se pencher sur la manière de classifier les bassins versants selon leur superficie. En effet, nous pouvons constater dans les figures du biais relatif (BR) de chaque méthode de régionalisation, que les valeurs du BR les plus grandes se trouvent pour les bassins avec une faible superficie. Ainsi, il serait pertinent de réaliser des études spécifiques, d'une part pour les petits bassins versants, d'autre part pour les grands bassins versants. Dans le cas des stations hydrométriques du Québec, une première analyse faite en représentation sur papier normal (c.f. annexe F), permet de constater que le comportement normal de la superficie finit à une valeur d'environ 650 km^2 ($\sqcup$ 6.5 en échelle logarithmique). Cependant, il est nécessaire de définir une méthodologie objective pour classer les bassins versants.

Dans la méthode ROI, il serait intéressant de tester un autre type de métrique. Par exemple, la distance de Mahalonobis est un type de métrique qui est plus adapté aux études hydrologiques (Solin, 2005).

Dans l'analyse fréquentielle locale et régionale, nous avons constaté l'extrême sensibilité à la stationnarité et l'indépendance des séries de données, comme observé à la section 5.1.1 où environ 30 stations ont été ôtées. Cependant, nous devons envisager le scénario de changement climatique, où les séries ne sont pas stationnaires et/ou indépendantes. Alors, il est très important de développer des distributions de probabilité non stationnaires.

Un critère fondamental dans notre travail a été le seuil de dix ans de données. Une façon de tenir compte des stations avec une longueur plus petite et d'enrichir notre base de données est de

considérer la génération de données synthétiques. Ainsi les séries temporelles ont la même structure et le même comportement des données observées.

Le couplage des méthodes de régionalisation peut être envisagé, plus particulièrement l'ACC ou la ROI avec la RIS, pour produire des cartes de débits spécifiques. En effet, l'ACC et la ROI ont montré leur bonne performance pour la régionalisation des étiages. De plus, la RIS nous a aussi montré sa grande versatilité pour produire des cartes régionales. Malgré le caractère géographique intrinsèque de la méthode de RIS, sa performance a été améliorée énormément par rapport à l'approche linéaire classique. Dans cette proposition de couplage, il est pensé d'utiliser l'ACC ou la ROI pour obtenir la valeur régionalisée et la RIS seulement pour produire la carte régionale. Ainsi il sera possible de donner non seulement la valeur estimée pour un site non-jaugé ou partiellement jaugé, mais aussi une carte régionale.

RÉFÉRENCES

Acreman, M.C. et S.E. Wiltshire, 1987 : Identification of regions for regional flood frequency analysis, (abstract), *Eos Trans. AGU*, **68(44)**, 1262.

Acreman, M.C., 1987 : Regional flood frequency analysis in de UK : Recent research – new ideas, report, Inst. of Hydrol., Wallingford, United Kingdom.

Adamowski, K., 1996 : Nonparametric estimation of low-flow frequencies. *J. Hydraul. Eng.*, **122(1)**, 46-49.

Akaike, H., 1974 : A new look at the statistical model information. *IEEE Transac. On Autom. Control*, **19**, 716-723.

Anctil, F., W. Larouche et V.D. Hoang, 2000 : Analyse régionale des étiages 7-jours de la province de Québec. *Water Qual. Res. J. Canada*, **35(1)**, 125-146.

Arnell, N.W., 1995 : Grid mapping of river discharge. *J. Hydrol.* **167**, 39–56.

ASCE, 1980 : Characteristics of low flows. Task committee on low flow evaluation, methods and needs. *ASCE J. Hydraul. Div.*, **105(HY5)**, 717-731.

Atlas du Canada, 2006 : http://atlas.nrcan.gc.ca/site/index.html. Ressources naturelles Canada. Ottawa, Canada.

Beard, L.R., 1943 : Statistical analysis in hydrology. *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.*, **108**, 1110-1160.

Beaubien, J., J. Cihlar, Q. Xiao, K.B. Fung, et P. Hurlburt, 1997 : A new nationally consistent, satellite-derived land cover of Canada: a comparison of methodologies. *In Proceedings of International Symposium of Geomatics in the Era of Radarsat* (GER'97), May 1997, Ottawa, Ont.

Belzile, L., P. Bérubé, V.D. Hoang et M. Leclerc, (1997) : Méthode écohydrologique de détermination des débits réservés pour la protection dans les habitats du poisson dans les rivières du Québec. Rapport présenté par l'INRS-Eau et le Groupe-conseil Génivar au ministère de l'Environnement et de la Faune et à Pêches et Océans Canada, 83 p. + 8 annexes.

Benard, A. et E.C. Bos-Levenbach, 1953 : The plotting of observations on probability paper. *Statistica*, **7**, 163-173.

Benson, M.A., 1962 : Evolution of methods for evaluating the occurrence of floods. *USGS Wat.-Supply Pap.* **1580A**. Washington, DC : US Govt. Printing Office.

Blom, G., 1958 : Statistical estimates and transformed beta variables. Wiley, New York, N.Y., pp. 68-75 et 143-146.

Bobée, B., 1973 : Sample error of T-years events computed by fitting a Pearson type-3 distribution, *Wat. Resour. Res.*, **9(5)**, 1264-1270.

Bobée, B. et F. Ashkar, 1991 : The Gamma familly and derived distributions applied in hydrology, *Water Resources Publications*, Littleton, CO.

Bras, R.L., 1990 : An introduction to hydrologic sciences. Addison-Wesley, New York.

Brown, M.B. et A.B. Forsythe, 1974 : Robust test for the equality of variances, *J. of the Amer. Stat. Assoc.*, **69**, 364-367.

Brutsaert, W. et J.L. Nieber, 1977 : Regionalized drought flow hydrographs from a mature glaciated plateau. *Wat. Resour. Res.* **3(3)**, 637-643.

Burges, S.J., D.P. Lattenmaier and C.L. Bates, 1975 : Properties of the three-parameter log Normal probability distribution. *Wat. Resour. Res.*, **11(2)**, 229-235.

Burn, D. H, 1990a : An appraisal of the "region of influence" approach to flood frequency analysis. *Hydrol. Scien. J.*, **35(2)**, 149-165.

Burn, D. H. 1990b : Evaluation of regional flood frequency analysis with a region of influence approach. *Wat. Resour. Res.*, **26(10)**, 2257-2256.

Casella, G. et R.L. Berger, 2001 : Statistical inference. USA, Duxbury, 660pp.

Cavadias, G.S., 1990 : The canonical correlation approach to regional flood estimation. Regionalisation in hydrology. *Proc. of the Ljubljana Symposium, IAHS, Publ. n°* 91, 171-178.

Chang, M. et P.G. Boyer, 1977 : Estimates of low flow using watershed and climatic parameters. *Wat. Resour. Res.*, **13(6)**, 997-1001.

Choquette, A.F., 1988 : Regionalization of peak discharges for streams in Kentucky. USGS Water-Resources Investigations Report 88-4209, 105 pp.

Chow, V.T., 1954 : The log-Probability law and its engineering applications. *Proceedings of the ASCE*, **80(5)**, 1-25.

CHS. Chaire en Hydrologie Statistique, 2002 : HYFRAN: Software for frequency analysis in hydrology. [In French] INRS-Eau. *Technical report.*

Cihlar, J., et J. Beaubien, 1998 : Land cover of Canada Version 1.1. Special Publication, NBIOME Project. Produced by the Canada Centre for Remote Sensing and the Canadian Forest Service, *Natural Resources Canada*. Available on CD ROM from the Canada Centre for Remote Sensing, Ottawa, Ontario.

Clausen, B. et C.P. Pearson, 1995 : Regional frequency analysis of annual maximum streamflow drought. *J. Hydrol.*, **173**, 111-130.

Cunnane, C., 1978 : Unbiased plotting positions – a review. *J. Hydrol.*, **37**, 205-222.

Cunnane, C., 1989 : Statistical distribution for flood frequency analysis. Geneva, Switzerland. Operational Hydrology Report, 33-WMO no.718, 73pp.

Dalen, J., 1987 : Algebraic bounds on standardized sample moments. *Statistics and Probability Letters*, **5**, 329-331.

Dalrymple, T., 1960 : Flood frequency analysis. *US Geol. Surv. Wat. Supply Pap.*, 1543A.

Dawdy, D.R., 1961 : Variation of flood ratios with size of drainage area. *USGS Res. Pap.* C36. Reston VA.

Département d'agriculture des Etats-Unis, 2004 : (SCS curve number method), http://www.ecn.purdue.edu/runoff/documentation/scs.htm.

Dingman, S.L. et S.C. Lawlor, 1995 : Estimating low flow quantiles from drainage basin characteristics in New Hampshire and Vermont. *Wat. Resour. Bull.*, **31(2)**, 243-256.

Dingman, S.L., 1978 : Synthesis of flow-duration curves for unregulated streams in New Hampshire. *Water Resour. Bull.*, **14(6)**, 1481–1502.

Dracup, J.A., K.S. Lee et E.G. Paulson, 1980 : On the definition of doughts. *Wat. Resour. Res.*, **16**, 297-302.

Durrans, S.R. et S. Tomic, 1996 : Regionalization of low-flow frequency estimates : an Alabama case study. *J. Amer. Water Resour. Assoc.*, **32(1)**, 23-37.

Durrans, S.R., 1996 : Low-flow analysis with a conditional Weibull tail model. *Water Resour. Res.*, **32(6)**, 1749-1760.

Efron, B. et R. Tibshirani, 1993 : An Introduction to the Bootstrap. Chapman and Hall, London.

Efron, B., 1979 : Bootstrap methods : Another look at the jackknife. *Ann. Stat.*, **7**, 1-26.

ESRI, 2002 : Building a Geodatabase. ESRI Press, *Redlands*, CA. 460 pp.

Faraway, J. et C. Chatfield, 1998 : Time series forecasting with neuronal networks : a comparative study using the airline data. *Appl. Stat.*, **47(2)**, 231-250.

Farvolden, R.N., 1963 : Geologic controls on groundwater storage and base flow. *J. Hydrol.*, **1**, 219-249.

Fetter, C.W., 1994 : Applied Hydrology. Macmillan College Publishing Company, New York, NY.

Filliben, J.J., 1975 : The probability plot correlation coefficient test for normality. *Technometrics*, **17(1)**, 111-117.

Forsythe, A. et J.A. Hartigan, 1970 : Efficiency of confidence intervals generated by repeated subsample calculations. *Biometrika*, **57**, 629–639.

Girard, C, T.B.M.J. Ouarda et B. Bobée, 2000 : Une approche par classification à la constitution de voisinages homogènes basés sur l'ACC. INRS-ETE, Rapport de recherche No R-576.

Greenwood, J.A., J.M. Landwehr, N.C. Matalas et J.R. Wallis, 1979 : Probability weighted moments : definition and relation to parameters of several distributions expressable in inverse form. *Water Resour. Res.*, **15**, 1049-1054.

Gregory, K.J. et D.E. Walling, 1973 : Drainage basin form and process : A geomorphological approach. Edward Arnold Publishers Ltd., London.

GREHYS, 1996a : Presentation and Review of Some Methods for Regional Flood Frequency Analysis, *J. of Hydrol.*, **186**, 63-84.

GREHYS, 1996b : Inter-comparison of regional flood frequency procedures for Canadian rivers. *J. of Hydrol.*, **186**, 85-103.

Gringorten, I.I., 1963 : A plotting rule for extreme probability paper. *J. Geophys. Res.*, **68(3)**, 813-814.

Gumbel, E.J., 1958 : Statistics of extremes, *Columbia University Press*, New York, NY.

Guo, S.L., R.K. Kachroo et R.J. Mgngodo, 1996 : Nonparameric kernel estimation of low flow quantiles. *J. Hydrol.*, **185**, 335-348.

Hamza, A., T.B.M.J. Ouarda, S.R. Durrans et B. Bobée, 2001 : Développement de modèles de queues et d'invariance d'échelle pour l'estimation régionale des débits d'étiage. *Can. J. Civ. Eng.*, **28**, 291-304.

Hazen, A., 1914 : Storage to be provided in impounding reservoirs for municipals water supply. *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.*, **77**, 1547-1550.

Herrera, E., T.B.M.J. Ouarda, H. Gingras et B. Bobée, 2003 : Développement d'un modèle hydrologique visant l'estimation des débits d'étiage pour le Québec habité. INRS-ETE. *Rapport de recherche n°* R-684-e1, 479pp.

Hirsch, R.M., 1979 : An evaluation of some record reconstruction techniques. *Wat. Resour. Res.*, **15(6)**, 1781-1790.

Hirsch, R.M., J.M. Slack et R.A. Smith, 1982 : Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Wat. Resour. Res.*, **18(1)**, 107-121.

Hoang, V.D. et R. Tremblay, 1976 : Estimation des débits d'étiages d'été des rivières du Québec Méridional. Québec : Service de l'hydrométrie, Ministère des Richesses naturelles, Direction générale des Eaux.

Hosking, J.R.M. et J.R. Wallis, 1987 : Parameter and quantile estimation for the Generalized Pareto distribution. *Technometrics*, **29(3)**, 339-349.

Hosking, J.R.M. et J.R. Wallis, 1988 : The effect of intersite dependence on regional flood frequency analysis. *Water Resources Research*, **24**, 588-600.

Hosking, J.R.M. et J.R. Wallis, 1993 : Some statistics useful in regional frequency analysis. *Wat. Resour. Res.*, **29(2)**, 271-281.

Hosking, J.R.M. et J.R. Wallis, 1997 : Regional frequency analysis, Cambridge University Press. 224pp.

Hosking, J.R.M. et J.R. Wallis, 1998 : The effect of intersite dependence on regional flood frequency analysis. *Wat. Resour. Res.*, **24**, 588-600.

Hosking, J.R.M., 1986 : The theory of probability weighted moments, Res. Rep. RC 12210, *IBM Research Division*, Yorktown Heights, NY. 10598.

Hosking, J.R.M., 1990 : L-moments : Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. *J. of the Roy. Stat. Soc.*, **B-52**, 105-124.

Institute of Hydrology, 1980 : Low flows studies. Institute of Hydrology, Wallingford, UK. Institute of Hydrology. Research Report 1, variously paged.

Jenkinson, A.F., 1955 : The frequency distributionof the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements, *Quart. Jour. of the Roy. Met. Soc.*, **87**, 158.

Johnston, T.M.S. et M.A. Merrifield, 2000 : Interannual Geostrophic Current Anomalies in the Near-Equatorial Western Pacific. *Jour. of Phys. Ocean.*, **30**, 3-14.

Kelman, J., 1980 : A stochastic model for daily streamflow. *J. Hydrol.*, **47**, 235–249.

Kendall, M.G., 1938 : A new measure of rank correlation. *Biometrika*, **30**, 81-93.

Kendall, M.L. et A. Stuart, 1963 : The advanced theory of statistics, Vol. I. *Distribution theory*, Griffin, London.

Khan, M.H., 1989 : Evaluation of rainfall-discharge models with discrimination. *J. Hydrol.*, **108**, 63–78.

Klemes, V., 2000 : Tall tales about tails of hydrological distributions, II, *J. Hydrol. Eng.*, **5**, 225-239.

Koltun, G.F. et J.W. Roberts, 1990 : Techniques for estimating flood-peak discharges of rural, unregulated stream in Ohio. USGS Water- Resources Investigations Report **89-4126**, 68 p.

Koltun, G.F. et R.R. Schwartz, 1986 : Multiple-regression equations for estimating low flows at ungaged stream sites in Ohio. USGS Water-Resources Investigations Report 86-4354, 39 p.

Kroll, C.N. et J.R. Stedinger, J.R., 1998 : Regional hydrologic analysis : ordinary and generalized least squares revisited. *Water Resour. Res.*, **34 (1)**, 121-128.

Kroll, C.N. et M. Voyel, 2002 : Probability distribution of low streamflow series in the United States. *J. Hydrologic Eng.*, **7(2)**, 137-146.

Lacey, G.C. et R.B. Grayson, 1998 : Relating baseflow to catchment properties in south-eastern Australia. *J. Hydrol.*, **204**, 231-250.

Landwehr, J.M., N.C. Matalas et J.R. Wallis, 1979 : Probability-weighted moments compared with some traditional techniques in estimating Gumbel parameters and quantiles. *Wat. Resour. Res.*, **15**, 1055-1064.

Lawal, S.A. et E. Watt, 1996a : Non-zero lower limit in low flow frequency analysis?. *Water Resour. Res.*, **32(6)**, 1159-1166.

Lawal, S.A. et E. Watt, 1996b : Frequency analysis of low flows using the Akaike information criterion. *Can. J. Civ. Eng.*, **23**, 1180-1189.

Lawal, S.A., 1994 : A simulation approach to low flow frequency analysis. PhD thesis, Department of Civil Engineering, Queen's University, Kingston.

Lawal, S.A., W.E. Watt et D.G. Watt, 1997 : A stochastic model of low flows. *Stoc. Hydrol and Hydraul.*, **11**, 303-321.

Lebart, L., A. Morineau et M. Piron, 2000 : Statistique exploratoire multidimensionnelle. Ed. Dunod.

Lettenmaier, D.P. et K.W. Potter, 1985 : Testing flood frequency estimation methods using a regional flood generation model. *Wat. Resour. Res.*, **9**, 1534-1542.

Lettenmaier, D.P., J.R. Wallis et E.F. Wood, 1987 : Effect of regional heterogeneity on flood frequency estimation. *Wat. Resour. Res.*, **23**, 313-323.

Levene, H., 1960 : In Contributions to Probability and Statistics : Essays in Honor of Harold Hotelling, I. Olkin et al. eds., Stanford University Press, pp. 278-292.

Loganathan, G.V., C.Y. Kuo et T.C. McCormik, 1985 : Frequency analysis of low flows. *Nord. Hydrol.*, **16**, 105-128.

Loganathan, G.V., P. Mattejat, C.Y. Kuo et M.H. Diskin, 1986 : Frequency analysis of low flows : hypothetical distribution methods and a physically based approach. *Nordic Hydrology*, **17**, 129-150.

Lumia, Richard, 1991 : Regionalization of flood discharges for rural, unregulated streams in New York, excluding Long Island. USGS Water-Resources Investigations Report 90-4197, 119 p.

Mahalanobis, P.C., 1936 : On the generalized distance in statistics. *Proc. Natl. Inst.Sci. India*, **12**, 49-55.

Mann, H.B. et D.R. Whitney, 1947 : On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Ann. Math. Stat.*, **18**, 50-60.

Mann, H.B., 1945 : Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, **3**, 245-259.

Maritz, J.S., 1979 : A note on exact robust confidence intervals for location. *Biometrika*, **66**, 163–166.

Matalas, N.C., 1963 : Probability distribution of low flows. *U.S. Geological survey, professional*, report no. 434 A.

Matalas, N.C., J.R. Slack et J.R. Wallis, 1975 : Regional skew in search of a parent. *Wat. Resour. Res.*, **11**, 815-826.

McCuen, R.H. et W.M. Snyder, 1986 : Hydrologic Modeling : Statistical Methods and Applications. Prentice-Hall, Englewood, NJ, 568 pp.

Mimikou, M. et S. Kaemaki, 1985 : Regionalization of flow duration characteristics. *J. Hydrol.* **82**, 77–91.

Ministère de l'agriculture et de l'agroalimentaire du Canada, 1998 : (pédo-paysage du Canada), http://sis.agr.gc.ca/siscan/nsdb/slc/intro.html.

Ministère de l'Environnement du Québec, 2001 : Banque de données météorologiques du ministère de l'Environnement du Québec. Gouvernement du Québec.

Ministère de l'Environnement du Québec, 2002 : Banque de données hydriques du ministère de l'Environnement du Québec. Gouvernement du Québec.

Ministère des Ressources Naturelles du Canada, 2001 : CANADA3D. Modèle numérique d'altitude avec une résolution de 1 km pour tout le Canada.

Ministère des Ressources Naturelles du Canada, 2002 : Cartes vectorielles de l'Atlas du Canada. VMAP0 et cartes de base de l'Atlas du Canada. 1 : 1 000 000, 1 : 2 000 000.

Morgenthaler, S., 2001 : Introduction à la statistique, Deuxième Édition, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 333p.

Mosley, M.P. et A.I. McKerchar, 1993 : Streamflow. Handbook of Hydrology. D.R. Maidment ed., McGraw-Hill, New York.

Muirhead, R. J. 1982. Aspects of multivariate statistical theory. John Wiley & Sons, 673 pp.

Nathan, R.J. et T.A. McMahon, 1990 : Identification of homogeneous regions for the purposes of regionalisation. *J. Hydrol.* **121**, 217-238.

Nathan, R.J., et T.A. McMahon, 1992 : Estimating low flow characteristics in ungauged catchments. *Water Resour. Manag.* **6(2)**, 85-100.

Ouarda, T.B.M.J., C. Girard, G.S. Cavadias et B. Bobée, 2001 : Regional flood frequency estimation with canonical correlation analysis. *J. Hydrol.*, **254**, 157-173.

Pearson, C.P., 1991 : New Zeland regional flood frequency analysis using L-moments. *J. Hydrol. (New Zealand)*, **30**, 53-64.

Piechota, T.C., J.A. Dracup et R.G. Foveli, 1997 : Western US streamflow and atmospheric circulation patterns during El Nino-Southern Oscillation. *J. Hydrol.*, **201**, 249-271.

Pilon, P.J., 1990 : The Weibull distribution applied to regional low flow frequency analysis. *Region. Hydrol.*, **191**, 227-237.

Potter, K.W. et D.P. Lettenmaier, 1990 : A comparison of regional flood frequency estimation methods using a resampling method. *Wat. Resour. Res.*, **23**, 415-424.

Py, B., 1996 : Statistique descriptive, Quatrième Édition, Ed. Economica, 353p.

Quenouille, M., 1949 : Approximate tests of correlations in time series. *J. Roy. Stat. Soc.*, **B11**, 18-84.

Quenouille, M., 1956 : Notes on bias in estimation. *Biometrika*, **43**, 353–360.

Quimpo, R.G., A.A. Alejandrino et T.A. McNally, 1983 : Regionalised flow duration curves for Philippines. *J. Water Resour. Plan. Manag.*, **109 (4)**, 320–330.

Rao, A.R. et K.H. Hamed, 2001 : Flood frequency analysis. New York, CRC press, 350pp.

Ries III, K.G. et P.J. Friesz, 2000 : Methods for estimating low-flow statistics for Massachusetts streams. USGS, Water-Resources Investigations Report 00-4135.

Ries, K.G. et M.Y. Crouse, 2002 : The National flood frequency program, version 3 : A Computer program for estimating Magnitude and Frequency Floods for Ungauged Sites. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations, Report 02 02-4168, 42 p.

Ries, K.G. III et P.J. Friesz, 2000 : Methods for estimating low-flow statistics for Massachusetts streams. USGS Water-Resources Investigations. Report 00-4135, 81 p.

Ries, K.G. III, 1999 : Streamflow measurements, basin characteristics, and streamflow statistics for low-flow partial-record stations operated in Massachusetts from 1989 through 1996. USGS Water-Resources Investigations. Report 00-994006, 168 p.

Rifai, H.S., S.M. Brock, K.B. Ensor et P.B. Bedient, 2000 : Determination of low-flow characteristics for Texas streams. *J. of Wat. Resour. Plann. and Manag.*, **126(5)**, 310-319.

Riggs, H.C., 1972 : Low-flow investigations. USGS Techniques of Water-Resources Investigations, book 4, chap. B1, 18 p.

Schaefer, M. G., 1990 : Regional analyses of precipitation annual maxima in Washington State. *Water Resour. Res*, **26**, 119-131.

Schwarz, G., 1978 : Estimating the dimension of a model. *The Annals of Statis.*, **6**, 461-464.

Siegel, S. et N.J. Castellan, 1988 : Nonparametric statistics for the behavioral sciences. New York, McGraw-Hill, 399pp.

Singh, K.P., 1971 : Model flow duration and streamflow variability. *Water Resour. Res.*, **7(4)**, 1031–1036.

Smakhtin, V.U., 2001 : Low flow hydrology : a review. *J. Hydrol.*, **240**, 147-186.

Smakhtin, V.Y., D.A. Watkins, D.A. Hughes, K. Sami et O.Y. Smakhtina, 1998 : Methods of catchment-wide assessment of daily low-flow regimes in South Africa. *Water S.A.*, **24(3)**, 173-185.

Smith, W. H. F. et P. Wessel, 1990 : Gridding with continuous curvature splines in tension. Geophysics, **55**, 293–305.

Snedecor, G.W. et W.G. Cochran, 1989 : Statistical Methods, Eighth Edition, Iowa State University Press.

Solin, L'Ubomir, 2005 : Identification of homogeneous regional classes for flood frequency analysis in the light of regional taxonomy. *Hydrol. Scien. J.*, **50(6)**, 1105-1118.

Stedinger, J.R. et G.D. Tasker, 1985 : Regional hydrologic analysis. 1 Ordinary, weighted and generalized least squares compared. *Water Resour. Res.*, **21 (9)**, 1421-1432.

Stedinger, J.R. et G.D. Tasker, 1986 : Regional hydrologic analysis. 2 Model-error estimation of sigma and log-Pearson type 3 distributions. *Water Resour. Res.*, **22 (10)**, 1487-1499.

Task Committee of the Hydraulics Division, 1980 : Characteristics of Low Flows, *ASCE J. of the Hydraul. Div.*, **106 (HY5)**, pp. 717-737.

Tasker, G.D., 1980 : Hydrologic regression with weighted least squares. *Water Resour. Res.* **16 (6)**, 1107–1113.

Tasker, G.D., 1987 : A comparison of methods for estimating low flow characteristics of streams. *Wat. Resour. Res.*, **26(6)**, 1077-1083.

Thomas, D.M. et M.A. Benson, 1970 : Generalization of streamflow characteristics from drainage-basin characteristics. *USGS Water Supp. Pap.*, **1975**.

Tran, L.T. et S. Yakowitz, 1993 : Nearest neighbor estimators for random fields. *Jour. of Multivar. Anal.* **44**, 23-46.

Tsay, R.S., 1984 : Order selection on nonstationary autoregressive models. *The Ann. of Stat.*, **12(4)**, 1425-1433.

Tukey, J.W., 1958 : Bias and confidence in not quite large samples. Abstract. *Ann. Math. Stat.*, **29**, 614.

Tukey, J.W., 1962 : The future of data analysis. *Ann. Math. Stat.*, **33(1)**, 21-24.

U.S. Water Resources Council, 1967 : A uniform technique for determining flood flow frequencies, Bulletin 15, Washington, D.C.

Vandewiele, G.L. et A. Elias, A., 1995. Monthly water balance of ungauged catchments obtained by geographical regionalisation. *J. Hydrol.*, **170**, 277–291.

Vogel, R.M. et C.N. Kroll, 1989 : Low-flow frequency analysis using probability-plot correlation coefficients. *J. of Water Resour. Plann. And Managem.*, **115**, 338-357.

Vogel, R.M. et C.N. Kroll, 1990 : Generalised low-flow frequency relationships for ungauged sites in Massachusetts. *Water Resour. Bull.* **26 (2)**, 241–253.

Vogel, R.M. et C.N. Kroll, 1992 : Regional geohydrologic-geomorphic relations for the estimation of low flow statistics. *Water Res. Res.* **28 (9)**, 2451–2458.

Wald A. et J. Wolfowitz, 1943 : An exact test for randomness in the non-parametric case based on serial correlation. *The Annals of Mathem. Statis.*, **14**, 378-388.

Weibull, W., 1939 : A statistical theory of strength of materials. Ing. Vet. Ak. Handl. (Stockholm), 151.

Wilcoxon, F., 1945 : Individual comparisons by ranking methods. *Biometrica Bulletin*, **1**, 80-83.

Wiltshire, S.E., 1985 : Grouping basins for regional flood frequency analysis. *Hydrol. Scien. J.*, **30(1)**, 151-159.

Wiltshire, S.E., 1986 : Regional flood frequency analysis I: Homogeinity ststistics. *Hydrol. Scien. J.*, **31(3)**, 321-333.

Wright, C.E., 1970 : Catchment characteristics influencing low flows. *Water and Water Eng.*, **74**, 468-471.

Zaidman, M.D., V. Keller, A.R. Young et D. Cadman, 2003 : Flow-duration-frequency behaviour of British rivers based on annual minima data. *J. Hydrol.*, **277**, 195-213.

Zecharias, Y.B. et W. Brutsaert, 1988 : The influence of basin morphology on groundwater outflow, *Wat. Resour. Res.* **24 (10)**, 1645–1650.

Zrinji, Z. et D.H. Burn, 1994 : Flood frequency analysis for ungauged sites using a region of influence approach. *J. Hydrol.*, **153**, 1-21.

ANNEXES

Stations		Nom	BV		Longueur	Latitude	Longitude	Altitude
Provincial	WSC		(Km²)	Tot	Déb - Fin	(Nord)	(Ouest)	(m)
010101	01BH007	La Grande Rivière	534	24	1973 - 1997	48° 28' 40"	64° 31' 43"	50.3
010801/010802	01BG002/01BG009	Bonaventure	1910	34	1966 - 2001	48° 11' 10"	65° 33' 31"	40
010901/010902	01BG001/01BG008	Cascapédia	1340	30	1971 - 2001	48° 13' 51"	65° 44' 06"	27.4
011001/011003	01BG003/01BG005	Cascapédia	1680	34	1967 - 2001	48° 37' 42"	66° 10' 05"	140.2
011201	01BF001	Nouvelle	1140	37	1964 - 2000	48° 09' 26"	66° 20' 58"	15.2
011507	01BD002	Matapédia	2760	25	1970 - 1999	48° 05' 12"	67° 06' 02"	42.7
011508	01BD008	Matapédia	558	18	1983 - 2001	48° 29' 30"	67° 27' 00"	157
020302	01BH012	Saint-Jean	1090	11	1991 - 2002	48° 46' 08"	64° 30' 54"	25.9
020401/020404	01BH002/01BH010	York	659	36	1965 - 2001	48° 48' 24"	64° 55' 16"	104
020502	02QC014	Renard	59.8	17	1979 - 1997	48° 58' 30"	64° 26' 09"	12.2
020601/020602	01BH001/01BH005	Dartmouth	645	55	1946 - 2001	48° 58' 47"	64° 41' 55"	18.3
020802	02QC001	Madeleine	1200	30	1965 - 1996	49° 12' 10"	65° 17' 44"	39.6
021407	02QC009	Sainte-Anne	774	28	1974 - 2001	49° 03' 32"	66° 29' 12"	42.7
021502	02QB011	Cap-chat	721	30	1967 - 1996	49° 03' 23"	66° 40' 20"	15.2
021601	02QB001	Matane	1650	36	1966 - 2001	48° 46' 29"	67° 32' 31"	18.3
021915	02QA017	Neigette	494	24	1975 - 1998	48° 31' 03"	68° 09' 44"	77.7
022003	02OA002	Rimouski	1610	36	1965 - 2001	48° 24' 48"	68° 33' 22"	24.4
022504/022507	02PG004/02PG006	Du Loup	525	37	1965 - 2001	47° 36' 45"	69° 38' 45"	126.2
022701/022704	02PG002/02PG022	Ouelle	795	64	1921 - 2001	47° 22' 52"	69° 57' 29"	70
022703	02PG019	Rimouski	783	11	1971 - 1981	47° 21' 39"	69° 56' 40"	90.2
023101/023106	02PH001/02PH010	Du Sud	821	37	1966 - 2002	46° 49' 14"	70° 45' 25"	83.8
023301/023303	02PH004/02PH011	Etchemin	1160	31	1969 - 2001	46° 41' 28"	71° 04' 08"	77.7
023401	02PJ007	Beaurivage	709	37	1965 - 2001	46° 39' 25"	71° 17' 19"	91.4
023402	02PJ005	Chaudière	5820	36	1965 - 2000	46° 35' 16"	71° 12' 59"	114.3
023403	02PJ002	Chaudière	1170	19	1965 - 1983	45° 41' 30"	70° 47' 09"	322.5
023426	02PJ018	Chaudière	4090	16	1966 - 1981	46° 12' 04"	70° 44' 42"	152.4
023429	02PJ014	Chaudière	3070	25	1969 - 2001	46° 05' 52"	70° 39' 22"	161
023701	02PK005	Petite rivière du Chêne	356	24	1975 - 2001	46° 30' 00.2"	72° 06' 28"	19.8
024001/024007	02PL001/02PL007	Bécancour	2330	29	1970 - 2000	46° 11' 41"	72° 17' 02"	35.1
024003	02PL005	Bécancour	919	34	1967 - 2001	46° 18' 22"	71° 27' 00.2"	179.8
024010	02PL012	Bécancour	25.7	12	1978 - 1994	46° 10' 32"	71° 27' 28"	259
024013	02PL009	Bécancour	227	18	1980 - 2001	46° 02' 39"	71° 26' 51"	207
030101	02OD001	Nicolet Sud ouest	549	39	1962 - 2001	45° 47' 30"	71° 58' 09"	152.4
030103	02OD003	Nicolet	1540	35	1967 - 2001	46° 03' 23"	72° 18' 23"	64
030214/030234	02OE026/02OE027	Eaton	642	37	1965 - 2001	45° 28' 02"	71° 39' 19"	198.1
030215	02OE022	Coaticook	519	34	1965 - 2001	45° 17' 06"	71° 53' 58"	190.5
030219	02OE016	Au saumon	839	13	1965 - 1977	45° 37' 18"	71° 23' 36"	251.5
030238	02OE034	Eaton	87.2	13	1966 - 1978	45° 20' 03"	71° 30' 51"	281.9
030262	02OF020	Eaton	285	15	1973 - 2002	45° 52' 36"	72° 30' 40"	71.6
030282	02OE032	Au Saumon	738	27	1975 - 2001	45° 34' 50"	71° 23' 12"	274.3
030316	02OG026	David	316	33	1969 - 2001	45° 57' 13"	72° 51' 34"	12.2
030335	02OG011	Yamaska Nord	59.3	17	1979 - 1996	45° 23' 02"	72° 30' 06"	197
030340	02OG042	Yamaska Nord	271	18	1984 - 2001	45° 21' 52"	72° 47' 04"	80
030341	02OG043	Yamaska	3310	11	1984 - 1994	45° 37' 16"	72° 56' 44"	21.5
030415	02OJ024	Des Hurons	309	27	1974 - 2001	45° 29' 25"	73° 11' 13"	23.2
030901/030905	02OA001/02OA054	Châteauguay	2490	30	1972 - 2001	45° 19' 55"	73° 45' 43"	34
031401	02OE018	Hall	219	26	1965 - 1990	45° 02' 41"	71° 29' 54"	326.1
040129	02LC027	Doncaster	109	22	1976 - 2000	46° 05' 45"	74° 07' 19"	359.7
040201	02LC007	Rouge	2570	17	1966 - 1982	46° 21' 14"	74° 46' 46"	228.6
040202/040204	02LC002/02LC029	Rouge	5460	34	1967 - 2001	45° 44' 11"	74° 41' 23"	121.9
040212	02LC043	Saint-Luis	39.9	33	1969 - 2001	46° 22' 29"	74° 30' 12"	371.9
040401/040406	02LD002/02LD005	De la Petite Nation	1330	52	1926 - 2002	45° 47' 30"	75° 05' 29"	161.5
040409	02LD006	Suffolk	61.6	21	1977 - 2002	45° 53' 00"	75° 01' 22"	195.1
040810	02LH002	Désert	1780	23	1965 - 1996	46° 28' 25"	76° 02' 35"	179.8
040814	02LH004	Picanoc	1290	26	1976 - 2001	46° 04' 39"	76° 04' 10"	167.6
040830	02LG005	Gatineau	6840	25	1976 - 2001	47° 05' 01"	75° 45' 13"	231.6
041301	02KG001	Coulonge	5150	29	1966 - 1995	45° 52' 26"	76° 41' 09"	137.2
041901/041902	02KA011/02KJ004	Dumoine	3760	24	1978 - 2001	46° 20' 45"	77° 48' 56"	182.9
041903	02KJ003	Dumoine	2110	18	1980 - 1997	46° 49' 20"	77° 52' 06"	320
042606	02JE023	Kipawa	2590	10	1966 - 1975	46° 46' 40"	78° 29' 15"	274.3

Stations Provicncial	WSC	Nom	BV (Km²)	Longueur Tot	Déb - Fin	Latitude (Nord)	Longitude (Ouest)	Altitude (m)
043009/043012	02JB003/02JB013	Kinojevis	2590	34	1965 - 2002	48° 22' 00"	78° 51' 12"	274.3
046706	02OA028	du Chêne	53.6	12	1972 - 1984	45° 36' 48"	74° 06' 17"	36.6
046707	02OA025	Belle (Rivière)	28	15	1972 - 1988	45° 39' 07"	74° 05' 32"	67.1
050116/050144	02ND001/02ND003	Vermillon	2640	37	1965 - 2002	47° 40' 35"	73° 02' 34"	243
050117/050135	02NE007/02NE011	Croche	1570	36	1965 - 2000	47° 46' 02"	72° 44' 12"	182.9
050119	02NF003	Matawin	1390	31	1970 - 2001	46° 41' 09"	73° 54' 41"	365.8
050301	02PA003	Batiscan	4580	24	1965 - 1991	46° 32' 55"	72° 24' 37"	15.2
050302/050304	02PA001/02PA007	Batiscan	4480	53	1924 - 2002	46° 35' 01"	72° 24' 17"	97.5
050305	02PA006	Batiscan	2870	16	1968 - 1983	47° 02' 25"	72° 14' 46"	166.1
050408	02PB019	Sainte-Anne	1550	37	1966 - 2002	46° 51' 10"	71° 52' 39"	129.5
050409	02PB006	Sainte-Anne (Bras du nord)	642	37	1965 - 2001	46° 58' 18"	71° 51' 16"	161.5
050701	02PC009	Portneuf	355	36	1967 - 2002	46° 42' 33"	71° 52' 29"	30.5
050812	02PC019	aux Pommes	102	14	1988 - 2001	46° 41' 45"	71° 41' 20"	49.5
050813	02PC018	Outlet of Clair	1.68	10	1990 - 2001	46° 57' 52"	71° 40' 05"	262.1
051001	02PD002	Montmorency	1100	38	1965 - 2002	46° 53' 39"	71° 09' 05"	61
051002	02PD012	des Eaux Volées	3.94	35	1966 - 2001	47° 16' 18"	71° 09' 41"	731.5
051003	02PD013	des Eaux Volées	9.17	35	1967 - 2001	47° 16' 15"	71° 08' 16"	563.9
051004	02PD014	des Aulnaies	1.22	31	1967 - 2001	47° 17' 22"	71° 09' 42"	762
051005	02PD004	Montmorency	269	20	1967 - 2002	47° 15' 33"	70° 08' 13"	442
051006	02PD006	Noire	58.8	16	1967 - 1982	47° 19' 36"	71° 06' 10"	670.6
051007	02PD015	des Aulnaies	3.57	26	1972 - 2001	47° 16' 21"	71° 09' 39"	731.5
051011	02PD018	Laflamme	0.69	10	1981 - 1990	47° 19' 27"	71° 07' 37"	780
051301	02PE009	Du Gouffre	865	29	1968 - 1996	47° 26' 51"	70° 30' 38"	15.2
051502	02PF001	Malbaie	1700	35	1968 - 2002	47° 41' 39"	70° 13' 01"	30.5
052202/052219	02OB002/02OB008	Assomption	1340	33	1964 - 2002	46° 00' 37"	73° 25' 39"	53.3
052203/052212	02OB003/02OB017	Ouareau	1270	38	1964 - 2002	46° 01' 48"	73° 42' 19"	152.4
052228	02OB032	Noire	190	24	1975 - 2001	46° 20' 22"	73° 39' 07"	237.7
052231	02OB035	Beauport	76.7	18	1977 - 2001	45° 53' 43"	73° 51' 47"	143.3
052233	02OB037	De l'Achigan	647	23	1980 - 2002	45° 50' 47"	73° 29' 35"	16.8
052601	02OC002	Maskinongé	1030	27	1967 - 2001	46° 18' 04"	73° 05' 48"	76.2
052803	02OC010	Sacacomie	53.2	26	1966 - 1991	46° 30' 43"	73° 12' 39"	283.5
052805	02OC004	Du Loup	774	36	1966 - 2001	46° 36' 02"	73° 11' 11"	182.9
060101	02RH049	Petit Saguenay	736	26	1975 - 2000	48° 11' 10"	70° 03' 02"	42.7
060601	02RH048	Des ha! ha!	572	19	1977 - 1995	48° 16' 29"	72° 52' 04"	155
061020	02RH035	Aux Écorces	1110	31	1972 - 2002	48° 10' 56"	71° 38' 43"	359.7
061022	02RH027	Pikauba	495	29	1970 - 2002	47° 56' 28"	71° 22' 55"	554.7
061502	02RG005	Métabetchouane	2280	32	1965 - 2002	48° 22' 30"	71° 59' 37"	219.5
061602	02RG008	Ouiatchouan	562	34	1967 - 2002	48° 12' 22"	72° 14' 20"	323.1
061801	02RC011	Petite Péribonca	1090	27	1975 - 2002	48° 48' 51"	72° 02' 52"	103.6
061905	02RF002	Chamouchouane	11100	40	1963 - 2002	49° 16' 35"	73° 21' 24"	304.8
061906	02RF006	Chamouchouane	4330	31	1963 - 1993	49° 15' 24"	73° 42' 30"	368.8
061909	02RF009	Aux Saumons	585	14	1983 - 2000	48° 41' 01"	72° 30' 50"	120
062101	02RD002	Mistassibi	9320	48	1955 - 2002	48° 53' 58"	72° 12' 42"	115.8
062102	02RD003	Mistassini	9870	46	1955 - 2002	48° 53' 16"	72° 15' 49"	117.3
062209	02RB004	Manouane	3600	23	1980 - 2002	49° 52' 53"	70° 55' 40"	241
062701	02RH045	Valin	746	27	1975 - 2001	48° 29' 20"	70° 58' 27"	99.1
062802	02RH046	Sainte-Marguerite Nord-Est	1100	21	1977 - 1998	48° 16' 02"	69° 54' 28"	18.3
070202	02SC003	Cassette	40.7	10	1984 - 1993	48° 24' 30"	69° 31' 25"	115
070401	02SC002	Portneuf	3085	20	1974 - 1993	48° 38' 54"	68° 10' 57"	65.5
071401	02UA003	Godbout	1570	27	1975 - 2001	49° 19' 51"	67° 39' 16"	5
072301	02UC002	Moisie	19000	35	1966 - 2002	50° 21' 01"	66° 11' 25"	30.5
072302	02UC003	Aux Pékans	3390	17	1966 - 1982	52° 11' 20"	66° 53' 29"	502.9
073301/073303	02VA001/02VA003	Tonnerre	676	24	1966 - 1993	50° 16' 57"	64° 46' 58"	15.2
073502/073503	02UC005/02VB004	Magpie	7230	37	1966 - 2002	50° 41' 09"	64° 34' 51"	210
073801	02VC001	Romaine	13000	45	1957 - 2002	50° 18' 28"	63° 37' 21"	15.2
074601	02WA001	Nabisipi	2060	19	1970 - 1988	50° 15' 11"	62° 12' 44"	15.2
074701	02WA002	Aguanus	5590	13	1970 - 1982	50° 14' 51"	62° 07' 03"	15.2
074902	02WB002	Natashquan	11600	14	1970 - 1983	51° 08' 30"	61° 36' 40"	152.4
074903	02WB003	Natashquan	15600	21	1982 - 2002	50° 25' 38"	61° 42' 49"	42.7
075601	02WC001	Étamamiou	2950	14	1980 - 1993	50° 23' 01"	59° 59' 27"	76.2

Stations Provicncial	WSC	Nom	BV (Km²)	Longueur Tot	Déb - Fin	Latitude (Nord)	Longitude (Ouest)	Altitude (m)
076601	02XC001	Saint-Paul	6630	27	1968 - 2001	51° 46' 21"	57° 36' 00"	30.5
080101/080102	04NA001/04NA002	Harricana	3680	37	1965 - 2002	48° 36' 02"	78° 06' 34"	304.8
080701	03AD001	Nottaway	57500	22	1961 - 1982	50° 08' 04"	77° 25' 16"	243.8
080704	03AB003	Waswanipi	18700	20	1962 - 1982	49° 41' 48"	75° 59' 06"	275.2
080705/080717	03AC002/03AC007	Mégiscane	8310	17	1966 - 1982	48° 22' 16"	77° 07' 07"	304.8
080707	03AC004	Bell	22200	38	1962 - 2001	49° 45' 11"	77° 36' 52"	249.9
080718	03AB002	Waswanipi	31900	34	1968 - 2002	49° 51' 27"	77° 11' 14"	289.6
080801	03BE001	Broadback	17100	21	1962 - 1982	51° 11' 06"	77° 25' 59"	208.8
080809	03BD002	Broadback	9820	27	1973 - 2002	50° 44' 45"	76° 23' 16"	253
081002	03BC002	De Rupert	40900	37	1964 - 2002	51° 26' 55"	76° 51' 59"	219.5
081006	03BA003	Témiscamie	7280	23	1968 - 1993	51° 05' 00"	72° 52' 40"	396.2
081007	03BB001	De Rupert	18100	24	1970 - 1993	51° 02' 31"	73° 48' 37"	365.8
090601	03CC001	Eastmain	44300	21	1960 - 1980	52° 14' 44"	78° 04' 21"	33.5
090602	03CB001	Eastmain	27700	20	1961 - 1980	52° 11' 50"	75° 59' 31"	213.4
090605	03CB002	A l'eau claire	1870	18	1962 - 1981	52° 12' 56"	75° 52' 39"	243.8
090606	03CD001	Giard	1970	15	1961 - 1975	52° 46' 14"	76° 09' 37"	243.8
090607	03CE001	Gipouloux	3390	20	1961 - 1980	52° 39' 08"	76° 11' 10"	243.8
090609	03CD002	Opinaca	3700	15	1961 - 1975	52° 43' 20"	75° 59' 40"	243.8
090610	03CA001	Eastmain	11600	17	1967 - 1983	52° 01' 35"	73° 24' 38"	365.8
090613	03CB004	Eastmain	21400	22	1980 - 2002	52° 10' 16"	74° 35' 32"	304.8
092703	03DC002	La Grande Rivière	37000	21	1961 - 1981	53° 37' 40"	74° 31' 39"	243.8
092704	03DF001	La Grande Rivière	96600	18	1960 - 1978	53° 43' 48"	78° 34' 24"	30.5
092706	03DB003	Kanaaupscow	18600	16	1962 - 1978	53° 45' 23"	76° 59' 39"	121.9
092707	03DE001	Sakami	10900	18	1961 - 1978	53° 39' 16"	76° 38' 37"	152.4
092708	03DD003	De pontois	19100	21	1961 - 1981	53° 37' 14"	74° 42' 19"	243.8
092711	03DD005	De pontois	13800	15	1961 - 1975	53° 17' 04"	74° 44' 52"	335.3
092715	03DD002	De pontois	13200	30	1961 - 1993	53° 10' 03"	74° 28' 23"	365.8
092717	03DC003	Laforge	10200	15	1966 - 1982	53° 56' 10"	73° 28' 08"	335.3
092722	03DA002	La Grande Rivière	12800	19	1973 - 1991	53° 35' 58"	71° 11' 36"	472.4

Stations (Q 30 est)	BV (km²)	Années	Max	Min	Médiane	Moyenne	Écart-type	Asymétrie	Aplatissement	Variation
010101	534	22	6.48	1.17	2.60	2.98	1.47	1.09	0.52	0.49
010901/010902	1340	30	24.01	5.20	9.35	10.59	4.58	1.36	1.71	0.43
011001/011003	1680	34	43.69	7.53	15.75	17.24	7.21	1.86	4.62	0.42
011201	1140	36	21.67	3.39	6.91	7.93	4.00	1.48	2.83	0.50
011507	2760	24	40.88	7.20	14.15	17.06	9.12	1.36	1.44	0.53
011508	558	18	7.12	0.64	1.75	2.26	1.62	1.80	3.85	0.72
020302	1090	11	9.27	2.66	3.68	4.65	1.92	1.64	2.60	0.41
020502	59.8	15	0.64	0.13	0.25	0.31	0.17	0.89	-0.18	0.55
020601/020602	645	55	9.01	0.95	2.47	2.83	1.62	1.63	3.13	0.57
020802	1200	29	23.35	5.25	9.28	10.08	4.31	1.89	3.88	0.43
021407	774	28	23.46	4.11	7.40	8.13	3.78	2.72	9.66	0.46
021502	721	29	15.69	3.38	5.31	6.28	2.76	1.55	3.37	0.44
021915	494	23	4.27	0.45	1.02	1.46	1.02	1.39	1.58	0.70
022003	1610	36	20.71	2.47	5.54	6.55	4.03	1.87	3.76	0.61
022504/022507	525	37	5.93	0.70	1.40	1.76	1.16	1.82	3.65	0.66
022703	783	10	6.61	0.54	3.36	3.24	2.15	0.29	-1.22	0.66
023101/023106	821	37	16.81	1.81	3.79	4.54	2.82	2.46	9.01	0.62
023301/023303	1160	31	17.58	1.90	5.68	6.35	3.22	1.38	3.37	0.51
023401	709	37	8.36	0.74	1.96	2.36	1.55	2.02	5.33	0.66
023402	5820	36	45.43	6.80	16.10	18.79	8.60	1.15	1.37	0.46
023403	1170	18	16.75	1.95	4.52	5.76	4.16	1.67	2.31	0.72
023426	4090	15	34.63	4.05	12.45	14.69	8.32	1.11	0.86	0.57
023429	3070	25	18.81	3.79	7.06	8.02	4.16	1.03	0.31	0.52
023701	356	24	2.29	0.47	0.74	0.90	0.46	1.65	2.51	0.51
024001/024007	2330	29	31.91	3.24	7.89	10.25	6.50	1.74	3.34	0.63
024003	919	34	10.66	1.14	3.28	3.91	2.24	1.25	1.21	0.57
024013	227	17	2.47	0.80	1.17	1.27	0.51	1.51	1.71	0.40
030101	549	39	5.25	0.40	1.33	1.63	1.15	1.28	1.31	0.70
030103	1540	35	14.34	1.32	3.91	5.19	3.25	1.42	1.33	0.63
030214/030234	642	37	6.01	0.89	1.90	2.12	1.15	1.59	2.90	0.54
030219	839	12	11.53	1.34	3.83	4.38	2.70	1.81	4.21	0.62
030238	87.2	12	0.80	0.15	0.22	0.31	0.21	1.77	2.45	0.67
030262	285	14	1.95	0.18	0.40	0.55	0.46	2.41	6.61	0.84
030282	738	27	9.42	1.11	2.51	2.98	1.81	1.88	4.98	0.61
030316	316	33	0.82	0.06	0.20	0.26	0.18	1.82	2.95	0.68
030335	59.3	17	0.46	0.07	0.18	0.21	0.11	0.91	0.40	0.51
030340	271	18	2.49	1.32	1.61	1.70	0.29	1.12	1.40	0.17
030341	3310	10	19.11	2.38	7.00	8.01	5.47	0.91	0.20	0.68
030415	309	27	1.15	0.08	0.21	0.34	0.27	1.71	2.72	0.79
030901/030905	2490	30	17.39	1.96	5.85	6.34	3.12	1.55	4.12	0.49
031401	219	26	2.06	0.26	0.58	0.77	0.51	1.21	0.69	0.66
040129	109	22	1.15	0.30	0.64	0.71	0.28	0.27	-1.34	0.39
040201	2570	16	63.90	7.18	21.67	23.27	11.99	2.73	9.80	0.52
040202/040204	5460	34	102.91	15.18	36.88	37.77	16.95	1.64	5.38	0.45
040212	39.9	33	0.44	0.02	0.19	0.20	0.11	0.33	-0.88	0.56
040409	61.6	19	0.56	0.03	0.13	0.15	0.12	2.31	6.56	0.84
040810	1780	23	13.31	3.39	7.60	7.45	2.43	0.24	0.08	0.33
040814	1290	26	8.87	3.08	4.78	5.26	1.61	0.71	-0.44	0.31
040830	6840	25	92.35	16.45	47.55	50.36	19.64	0.19	-0.60	0.39
041301	5150	29	68.21	6.46	22.07	24.78	14.06	1.55	2.58	0.57
041901/041902	3760	24	40.51	8.89	17.44	19.67	7.95	1.02	0.70	0.40
041903	2110	17	17.04	6.11	12.00	11.76	3.35	0.04	-0.62	0.28
042606	2590	10	51.25	6.01	18.59	22.91	14.78	1.00	0.19	0.65
043009/043012	2590	34	34.96	9.55	14.95	16.56	5.44	1.55	3.00	0.33
046706	53.6	12	0.34	0.14	0.18	0.21	0.07	0.86	-0.36	0.31
046707	28	15	0.23	0.05	0.10	0.12	0.06	0.56	-0.99	0.46
050116/050144	2640	37	60.76	6.51	16.17	16.91	9.35	2.94	12.99	0.55

Stations (Q 30 est)	BV (km²)	Années	Max	Min	Médiane	Moyenne	Écart-type	Asymétrie	Aplatissement	Variation
050117/050135	1570	35	25.47	4.39	12.62	12.73	5.06	0.61	-0.05	0.40
050119	1390	31	14.84	3.08	7.78	7.81	3.11	0.44	-0.35	0.40
050301	4580	21	71.95	21.40	44.50	44.99	16.45	-0.05	-1.49	0.37
050302/050304	4480	53	79.97	17.90	39.98	42.79	15.48	0.54	-0.68	0.36
050305	2870	15	52.88	18.97	32.57	34.26	11.40	0.12	-1.57	0.33
050408	1550	37	39.56	13.51	22.30	23.13	6.64	0.76	-0.03	0.29
050701	355	36	5.09	0.50	2.64	2.70	1.07	0.29	-0.14	0.40
050812	102	14	1.00	0.47	0.65	0.69	0.15	0.63	-0.45	0.23
050813	1.68	10	0.04	0.02	0.02	0.03	0.01	0.55	-1.66	0.39
051004	1.22	29	0.03	0.01	0.02	0.02	0.01	0.19	-0.49	0.30
051006	58.8	15	1.39	0.75	1.15	1.10	0.19	-0.49	-0.44	0.17
051007	3.57	26	0.11	0.03	0.06	0.06	0.02	0.60	-0.43	0.37
051011	0.69	10	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	2.10	5.35	0.44
051301	865	28	11.78	3.50	6.16	6.91	2.38	0.68	-0.41	0.34
051502	1700	35	31.01	7.25	15.67	17.00	5.78	0.55	-0.24	0.34
052202/052219	1340	33	14.64	2.42	4.47	5.90	3.30	1.21	0.61	0.56
052203/052212	1270	38	14.08	2.62	5.83	6.94	3.30	0.68	-0.67	0.48
052228	190	23	1.69	0.14	0.38	0.53	0.38	1.64	2.76	0.73
052231	76.7	16	0.41	0.07	0.16	0.20	0.11	0.70	-0.55	0.52
052233	647	23	4.40	0.51	1.12	1.42	0.93	1.77	3.60	0.65
052601	1030	27	11.72	2.13	4.00	4.60	1.99	2.05	5.53	0.43
052803	53.2	24	1.08	0.11	0.58	0.53	0.26	0.14	-0.60	0.49
052805	774	36	7.86	0.63	2.74	3.51	1.98	0.90	-0.15	0.57
060101	736	24	10.28	1.31	3.41	4.10	1.99	1.35	2.61	0.49
060601	572	19	6.91	1.25	3.29	3.49	1.48	1.04	1.17	0.42
061020	1110	31	28.82	9.90	17.16	17.75	5.10	0.35	-0.75	0.29
061022	495	29	12.55	4.36	7.75	7.72	2.16	0.56	-0.15	0.28
061502	2280	31	44.47	11.76	23.11	24.27	9.09	0.56	-0.67	0.37
061602	562	34	8.92	0.41	3.87	4.14	1.70	0.65	1.42	0.41
061801	1090	27	13.96	3.18	8.19	8.30	2.83	0.22	-0.61	0.34
061905	11100	40	254.90	79.89	148.88	157.23	44.94	0.50	-0.39	0.29
061909	585	14	5.91	0.82	2.53	2.80	1.53	0.69	-0.18	0.55
062101	9320	47	290.70	76.10	141.87	148.76	42.19	0.99	1.95	0.28
062102	9870	44	197.17	66.73	122.83	122.43	33.50	0.06	-0.97	0.27
062209	3600	23	90.90	33.91	50.98	54.39	15.96	0.79	-0.13	0.29
062701	746	27	22.39	4.85	13.51	13.04	4.49	0.10	-0.73	0.34
062802	1100	20	24.60	4.61	9.65	12.49	6.25	0.48	-1.14	0.50
070401	3085	19	49.67	11.34	33.67	31.63	12.22	0.08	-1.37	0.39
071401	1570	27	37.83	6.77	15.73	16.71	7.90	0.74	0.27	0.47
072302	3390	16	98.35	34.12	54.74	59.48	18.06	0.59	-0.40	0.30
073301/073303	676	23	15.84	3.48	6.71	7.25	3.18	1.08	0.93	0.44
073502/073503	7230	37	192.28	61.09	119.73	119.95	34.95	0.13	-0.66	0.29
073801	13000	45	365.67	87.29	205.00	207.96	64.57	0.33	-0.20	0.31
074601	2060	18	48.27	18.17	30.32	30.83	7.99	0.51	-0.21	0.26
074701	5590	12	140.28	52.17	84.67	85.38	27.00	0.83	0.13	0.32
074902	11600	13	263.63	147.03	192.57	192.08	38.80	0.59	-0.83	0.20
074903	15600	21	388.70	127.43	221.90	244.78	79.75	0.40	-0.73	0.33
075601	2950	13	62.47	26.70	48.65	46.01	12.92	-0.25	-1.54	0.28
076601	6630	27	147.57	42.01	70.91	76.96	24.78	1.16	1.23	0.32
080101/080102	3680	37	70.17	17.55	30.22	32.03	11.52	1.16	1.94	0.36
080701	57500	21	1267.33	434.70	876.47	876.86	251.03	-0.01	-1.28	0.29
080704	18700	20	471.63	152.90	315.47	314.86	90.63	-0.18	-0.85	0.29
080705/080717	8310	17	165.85	49.50	105.91	102.15	30.41	0.17	0.04	0.30
080707	22200	38	523.73	101.42	217.50	245.09	88.57	1.13	1.66	0.36
080718	31900	34	777.04	236.57	478.34	485.87	130.96	0.21	-0.60	0.27
080801	17100	20	470.10	123.43	311.50	306.94	94.91	-0.08	-0.54	0.31
080809	9820	26	207.92	83.43	150.16	149.75	30.20	0.05	-0.40	0.20

Stations (Q 30 est)	BV (km²)	Années	Max	Min	Médiane	Moyenne	Écart-type	Asymétrie	Aplatissement	Variation
081002	40900	37	1134.67	561.90	858.90	856.19	137.91	-0.02	-0.20	0.16
081006	7280	22	256.17	70.28	151.63	154.29	40.92	0.49	1.08	0.27
081007	18100	23	551.10	258.20	392.67	381.10	78.41	0.38	-0.64	0.21
090601	44300	20	1290.00	472.90	731.93	786.50	231.63	0.74	-0.08	0.29
090602	27700	19	888.33	330.93	504.10	536.78	152.34	0.74	0.07	0.28
090605	1870	18	50.86	14.92	26.43	29.65	10.17	0.79	-0.14	0.34
090606	1970	15	53.30	11.17	19.91	23.42	10.81	1.68	3.29	0.46
090607	3390	18	77.99	24.82	47.63	48.58	15.88	0.32	-1.01	0.33
090609	3700	15	102.42	20.63	43.46	48.66	24.31	1.35	1.26	0.50
090610	11600	16	330.47	149.73	217.55	223.37	55.72	0.29	-0.98	0.25
090613	21400	22	603.23	197.17	413.77	414.50	105.86	-0.27	-0.26	0.26
092703	37000	20	906.13	466.10	661.20	675.29	136.53	0.31	-1.03	0.20
092704	96600	18	2256.20	1080.77	1599.33	1595.86	373.60	0.31	-1.20	0.23
092706	18600	15	409.23	161.67	232.13	245.94	66.57	1.02	1.20	0.27
092707	10900	17	217.87	81.41	142.63	154.32	40.57	-0.02	-0.84	0.26
092708	19100	20	510.33	185.97	304.60	311.56	86.22	0.64	0.07	0.28
092711	13800	15	295.80	145.77	201.23	205.87	38.08	0.62	1.08	0.18
092715	13200	29	426.40	94.37	238.93	230.16	79.49	0.41	0.07	0.35
092717	10200	15	278.87	93.90	184.73	179.57	49.01	0.03	-0.02	0.27
092722	12800	19	396.73	129.93	243.47	247.70	90.89	0.27	-1.14	0.37

Stations (Q 30 hiv)	BV (km²)	Années	Max	Min	Médiane	Moyenne	Écart-type	Asymétrie	Aplatissement	Variation
010101	534	24	2.98	0.90	1.41	1.64	0.60	0.63	-0.73	0.36
010801/010802	1910	34	13.07	3.75	6.77	7.54	2.57	0.64	-0.52	0.34
010901/010902	1340	29	9.01	3.39	5.64	5.75	1.58	0.68	-0.37	0.28
011201	1140	36	5.64	1.85	3.70	3.79	1.17	0.16	-1.28	0.31
011507	2760	25	20.86	5.11	11.58	11.99	3.93	0.46	0.02	0.33
011508	558	17	4.39	1.32	3.17	2.99	0.74	-0.45	0.35	0.25
020401/020404	659	35	5.51	1.12	2.19	2.40	1.05	1.33	1.93	0.44
020502	59.8	17	0.67	0.10	0.22	0.25	0.15	1.67	3.23	0.58
020601/020602	645	53	5.62	0.64	1.64	1.94	1.02	1.77	3.74	0.52
020802	1200	30	7.01	2.36	4.02	4.15	1.19	0.61	-0.02	0.29
021407	774	27	6.10	2.07	3.59	3.82	1.04	0.54	-0.01	0.27
021502	721	30	4.94	1.69	2.98	2.95	0.84	0.33	-0.65	0.28
021601	1650	35	12.42	3.81	6.06	6.48	1.93	0.92	0.99	0.30
021915	494	24	2.86	0.51	1.22	1.46	0.60	0.67	-0.27	0.41
022003	1610	35	11.41	2.58	5.44	5.81	1.89	0.81	0.93	0.32
022504/022507	525	36	3.49	0.33	1.20	1.36	0.66	1.30	2.07	0.49
022701/022704	795	61	5.36	0.28	1.56	1.84	1.11	1.31	1.47	0.60
022703	783	11	4.27	0.76	1.77	2.17	1.20	0.73	-0.68	0.55
023101/023106	821	35	7.15	2.07	3.49	3.79	1.32	1.09	0.50	0.35
023301/023303	1160	30	12.57	2.96	4.44	5.52	2.25	1.41	1.88	0.41
023401	709	36	6.21	0.97	2.42	2.77	1.28	1.12	0.89	0.46
023402	5820	36	50.67	9.12	21.77	23.85	10.24	1.05	0.52	0.43
023403	1170	19	13.67	3.87	6.24	6.85	2.62	1.37	1.52	0.38
023426	4090	16	36.46	7.61	12.90	15.66	8.74	1.46	1.23	0.56
023429	3070	25	26.13	3.66	9.65	10.99	4.49	1.50	4.31	0.41
023701	356	19	2.24	0.64	1.24	1.32	0.43	0.55	-0.11	0.33
024001/024007	2330	29	29.88	4.40	12.61	13.58	5.32	1.44	2.90	0.39
024003	919	33	11.52	1.88	4.99	5.26	1.90	1.50	3.43	0.36
024013	227	16	3.03	0.55	1.32	1.43	0.65	0.95	0.99	0.46
030101	549	39	6.36	0.62	2.27	2.73	1.12	1.25	2.17	0.41
030103	1540	34	17.55	2.26	6.72	7.95	3.44	1.17	1.17	0.43
030214/030234	642	35	8.17	0.87	2.77	3.05	1.43	1.70	4.23	0.47
030215	519	34	6.69	1.71	2.92	3.19	1.19	1.37	1.78	0.37
030219	839	13	8.23	1.75	3.38	3.83	1.81	1.54	2.16	0.47
030238	87.2	13	1.19	0.23	0.36	0.45	0.27	2.10	4.38	0.60
030282	738	26	6.12	1.43	3.57	3.49	1.25	0.56	-0.20	0.36
030335	59.3	17	0.65	0.09	0.35	0.36	0.11	0.39	4.47	0.30
030340	271	17	3.72	1.73	2.43	2.58	0.58	0.51	-0.61	0.22
030341	3310	11	30.41	10.92	14.43	15.87	5.65	1.91	4.19	0.36
030415	309	27	2.35	0.18	0.61	0.75	0.48	2.13	5.00	0.63
030901/030905	2490	29	33.80	5.05	10.70	13.20	7.46	1.89	2.90	0.56
031401	219	26	2.35	0.32	0.97	1.14	0.49	0.95	0.66	0.43
040129	109	19	1.12	0.49	0.70	0.76	0.19	0.53	-0.92	0.25
040201	2570	17	33.84	12.47	16.45	18.48	6.10	1.27	0.98	0.33
040202/040204	5460	34	67.19	24.65	37.24	39.73	10.79	0.95	0.36	0.27
040212	39.9	31	0.50	0.11	0.18	0.21	0.08	1.93	4.32	0.40
040401/040406	1330	49	20.07	2.13	9.40	9.36	3.69	0.38	0.22	0.39
040814	1290	25	13.93	5.56	9.28	8.89	1.96	0.26	0.76	0.22
040830	6840	25	49.47	21.56	32.50	33.26	7.13	0.52	0.25	0.21
041301	5150	28	40.45	15.55	20.95	24.00	7.03	0.89	-0.04	0.29
041901/041902	3760	23	33.16	15.07	21.75	21.79	4.95	0.51	-0.35	0.23
041903	2110	18	16.83	9.98	12.46	12.93	1.87	0.52	-0.06	0.14
042606	2590	10	26.16	11.00	18.45	18.28	4.84	-0.07	-0.71	0.26
043009/043012	2590	34	15.60	7.16	10.23	10.42	1.82	0.78	0.81	0.17
046706	53.6	11	0.54	0.04	0.21	0.22	0.14	1.38	2.15	0.65
046707	28	14	0.25	0.06	0.14	0.15	0.06	0.17	-0.66	0.41
050116/050144	2640	35	21.40	8.86	12.63	13.25	3.05	0.64	0.08	0.23

Stations (Q 30 hiv)	BV (km²)	Années	Max	Min	Médiane	Moyenne	Écart-type	Asymétrie	Aplatissement	Variation
050117/050135	1570	36	11.83	4.69	7.59	7.69	1.75	0.36	-0.19	0.23
050119	1390	31	15.65	6.60	8.97	9.42	2.37	1.05	0.73	0.25
050301	4580	24	56.97	18.00	26.03	28.35	9.39	1.59	2.71	0.33
050302/050304	4480	52	45.69	17.80	25.14	25.95	6.49	1.02	0.95	0.25
050305	2870	16	31.62	11.33	15.89	17.62	6.28	1.20	0.78	0.36
050408	1550	35	18.36	7.55	9.88	10.87	2.52	1.44	1.96	0.23
050409	642	35	7.53	3.03	4.03	4.20	0.90	1.69	4.17	0.21
050701	355	32	4.72	1.41	2.90	3.03	0.68	0.37	1.06	0.22
050812	102	12	0.92	0.53	0.73	0.73	0.11	0.03	-0.33	0.16
050813	1.68	10	0.06	0.01	0.03	0.03	0.01	0.82	0.83	0.43
051001	1100	34	11.31	3.23	5.37	5.79	2.04	0.94	0.33	0.35
051002	3.94	33	0.06	0.02	0.03	0.03	0.01	1.35	2.76	0.21
051003	9.17	33	0.11	0.03	0.06	0.06	0.02	0.93	1.70	0.24
051004	1.22	27	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	-0.13	-0.31	0.24
051005	269	20	2.47	0.24	1.12	1.15	0.58	0.98	0.98	0.50
051006	58.8	16	0.49	0.11	0.24	0.25	0.10	0.93	1.18	0.40
051007	3.57	25	0.04	0.01	0.02	0.02	0.01	0.48	1.61	0.33
051301	865	29	7.54	3.27	4.24	4.42	0.96	1.41	2.76	0.22
051502	1700	33	11.68	6.00	8.51	8.72	1.41	0.08	-0.50	0.16
052202/052219	1340	32	14.77	4.50	7.65	7.81	2.16	1.09	2.14	0.28
052203/052212	1270	37	14.87	5.26	8.03	8.42	2.16	1.04	1.14	0.26
052233	647	21	5.11	1.52	2.70	3.01	1.11	0.32	-1.23	0.37
052601	1030	25	12.07	3.28	5.09	5.38	1.85	2.25	6.50	0.34
052803	53.2	26	0.69	0.03	0.36	0.36	0.16	0.24	0.01	0.45
052805	774	35	7.06	2.68	3.96	4.11	1.02	1.12	0.97	0.25
060101	736	26	6.14	1.30	2.52	2.63	1.06	1.63	3.72	0.40
060601	572	19	4.08	1.73	2.56	2.72	0.69	0.50	-1.02	0.25
061020	1110	29	9.78	4.17	6.08	5.99	1.43	0.73	0.43	0.24
061022	495	29	4.38	1.21	2.70	2.76	0.76	-0.17	0.02	0.28
061502	2280	23	14.31	5.45	10.49	10.26	2.60	-0.25	-1.18	0.25
061801	1090	26	5.67	2.52	3.81	3.87	0.77	0.63	0.31	0.20
061905	11100	38	68.43	39.60	55.68	54.61	7.15	0.04	-0.47	0.13
061906	4330	31	27.34	17.49	22.26	22.85	2.62	-0.11	-0.86	0.11
061909	585	14	2.27	1.27	1.81	1.79	0.32	-0.14	-1.34	0.18
062101	9320	38	61.44	24.95	39.20	39.40	7.51	0.81	1.79	0.19
062102	9870	38	76.35	21.78	37.42	39.00	9.44	1.81	5.93	0.24
062209	3600	21	25.05	12.51	17.26	17.70	3.21	0.57	0.06	0.18
062701	746	26	6.02	2.44	4.12	4.21	0.99	0.11	-0.46	0.23
062802	1100	21	9.21	3.34	5.01	5.24	1.42	1.17	1.99	0.27
070202	40.7	10	0.22	0.10	0.15	0.15	0.03	0.61	0.21	0.22
070401	3085	20	17.41	7.55	11.97	12.21	2.85	0.35	-0.65	0.23
071401	1570	26	12.43	4.73	7.75	8.05	1.94	0.47	-0.44	0.24
072301	19000	33	131.27	50.77	75.92	81.01	21.77	0.78	0.16	0.27
072302	3390	17	22.19	8.24	13.94	14.47	4.18	0.43	-0.77	0.29
073301/073303	676	24	3.32	1.45	2.06	2.30	0.55	0.37	-1.24	0.24
073502/073503	7230	35	50.82	19.47	34.29	34.25	8.75	0.02	-0.85	0.26
073801	13000	44	136.37	36.20	61.28	64.03	16.92	1.93	6.84	0.26
074601	2060	19	33.09	5.72	10.75	13.14	6.42	2.11	4.88	0.49
074701	5590	13	63.85	22.06	28.40	31.83	12.08	1.99	3.64	0.38
074902	11600	14	93.08	35.89	58.60	60.78	15.69	0.99	1.27	0.26
074903	15600	19	108.82	45.77	77.41	74.83	19.59	0.09	-1.17	0.26
075601	2950	14	53.63	15.13	23.30	26.37	12.32	1.64	1.89	0.47
080101/080102	3680	35	30.82	13.14	17.92	18.52	3.59	1.49	3.07	0.19
080701	57500	22	455.00	177.30	261.72	273.60	58.75	1.49	3.43	0.21
080704	18700	20	157.60	77.57	96.29	100.12	21.39	1.01	1.03	0.21
080705/080717	8310	17	53.10	30.49	44.15	43.88	6.24	-0.57	-0.17	0.14
080707	22200	36	124.10	62.24	89.70	88.32	16.46	0.05	-0.90	0.19

Stations (Q 30 hiv)	BV (km²)	Années	Max	Min	Médiane	Moyenne	Écart-type	Asymétrie	Aplatissement	Variation
080718	31900	33	222.57	113.27	164.07	164.33	27.02	0.20	-0.22	0.16
080801	17100	21	148.67	70.26	94.20	96.15	18.49	1.52	3.03	0.19
080809	9820	25	70.77	38.44	53.16	54.21	8.99	0.18	-0.70	0.17
081002	40900	36	513.27	287.37	389.20	395.86	59.16	0.27	-0.73	0.15
081006	7280	23	52.12	21.21	30.08	31.07	6.62	1.71	3.99	0.21
081007	18100	24	264.33	142.37	209.52	210.47	33.98	-0.17	-0.65	0.16
090601	44300	21	252.90	118.87	193.50	186.99	30.12	-0.17	0.55	0.16
090602	27700	20	152.33	64.38	124.30	120.48	20.21	-1.03	1.79	0.17
090607	3390	20	15.72	11.14	12.96	13.25	1.35	0.17	-1.04	0.10
090609	3700	15	18.48	7.27	11.10	11.23	3.08	0.92	0.67	0.27
090610	11600	17	93.46	31.60	51.18	54.46	16.93	0.89	0.25	0.31
090613	21400	21	125.73	53.42	99.18	96.64	18.54	-0.50	-0.07	0.19
092703	37000	21	255.90	126.73	182.33	190.20	31.48	0.21	0.05	0.17
092704	96600	18	630.60	325.40	422.37	426.30	69.50	1.31	3.45	0.16
092706	18600	16	81.96	50.07	61.43	62.66	8.21	0.62	0.36	0.13
092707	10900	18	54.50	32.58	43.85	43.33	6.25	-0.09	-0.46	0.14
092708	19100	21	123.07	63.60	85.83	86.52	14.86	0.87	1.21	0.17
092711	13800	15	85.53	50.48	60.52	63.00	9.07	1.09	1.53	0.14
092715	13200	30	92.48	38.09	59.46	58.98	12.28	0.54	0.50	0.21
092717	10200	15	54.92	32.19	41.78	41.56	7.14	0.56	-0.45	0.17
092722	12800	19	121.63	75.57	97.05	100.29	12.60	0.00	-0.46	0.13

Stations (Q 30 ann)	BV (km²)	Années	Max	Min	Médiane	Moyenne	Écart-type	Asymétrie	Aplatissement	Variation
010101	534	22	2.43	0.90	1.32	1.50	0.52	0.80	-0.90	0.34
010801/010802	1910	33	12.98	3.75	6.69	7.20	2.33	0.85	0.10	0.32
010901/010902	1340	28	7.95	3.39	5.30	5.38	1.17	0.43	-0.25	0.22
011001/011003	1680	32	10.05	3.42	6.59	6.66	1.77	-0.13	-0.64	0.27
011201	1140	36	5.64	1.85	3.40	3.72	1.16	0.33	-1.20	0.31
011507	2760	22	19.68	5.11	9.78	10.58	3.46	0.75	0.66	0.33
011508	558	16	3.17	0.64	1.55	1.81	0.86	0.18	-1.62	0.47
020401/020404	659	34	4.81	1.02	2.05	2.15	0.79	1.11	2.53	0.36
020502	59.8	15	0.35	0.12	0.17	0.19	0.06	1.11	1.35	0.34
020601/020602	645	53	2.97	0.64	1.50	1.54	0.53	0.96	0.72	0.34
020802	1200	28	7.01	2.36	3.93	4.05	1.18	0.84	0.50	0.29
021407	774	27	5.33	2.07	3.59	3.71	0.87	0.04	-0.56	0.23
021502	721	29	4.36	1.69	3.02	2.92	0.78	0.02	-1.38	0.27
021601	1650	35	9.51	3.81	6.03	6.27	1.61	0.35	-1.06	0.26
021915	494	23	2.39	0.45	0.99	1.04	0.49	1.13	1.23	0.47
022003	1610	34	8.00	2.47	4.65	4.58	1.26	0.24	0.21	0.27
022504/022507	525	36	2.37	0.33	1.03	1.05	0.40	1.16	2.56	0.38
022701/022704	795	61	5.36	0.28	1.32	1.49	0.91	2.25	6.31	0.61
022703	783	10	3.68	0.54	1.38	1.77	1.14	0.75	-1.12	0.64
023101/023106	821	35	7.15	1.90	2.72	3.10	1.06	2.17	5.99	0.34
023301/023303	1160	29	8.62	1.90	3.83	4.36	1.36	1.27	2.38	0.31
023401	709	36	3.33	0.74	1.55	1.73	0.66	0.63	-0.38	0.38
023402	5820	36	26.69	6.80	14.30	15.26	4.87	0.58	-0.35	0.32
023403	1170	18	6.87	1.95	3.88	4.18	1.57	0.39	-0.92	0.38
023426	4090	15	16.30	4.05	9.31	10.02	3.41	0.53	-0.15	0.34
023429	3070	24	10.11	3.66	6.46	6.50	2.10	0.10	-1.52	0.32
023701	356	19	1.35	0.48	0.72	0.83	0.27	0.59	-0.91	0.33
024001/024007	2330	28	17.21	3.24	7.78	8.35	3.47	0.77	0.14	0.42
024003	919	32	7.18	1.14	3.25	3.34	1.46	0.88	0.75	0.44
024013	227	15	1.75	0.55	0.97	1.02	0.31	0.73	0.89	0.31
030101	549	38	2.80	0.40	1.31	1.34	0.68	0.47	-0.80	0.51
030103	1540	34	9.51	1.32	3.90	4.20	1.74	0.85	1.20	0.41
030214/030234	642	35	4.52	0.87	1.68	1.83	0.78	1.41	2.86	0.43
030219	839	12	5.47	1.34	2.69	3.11	1.18	0.55	-0.07	0.38
030238	87.2	12	0.35	0.15	0.21	0.24	0.07	0.49	-1.37	0.31
030282	738	26	3.69	1.11	2.16	2.25	0.80	0.57	-0.66	0.35
030316	316	31	0.58	0.06	0.20	0.24	0.14	1.36	1.25	0.57
030335	59.3	17	0.37	0.07	0.18	0.19	0.09	0.55	-0.66	0.47
030340	271	17	2.48	1.42	1.62	1.70	0.28	1.40	2.24	0.16
030341	3310	10	15.57	2.38	7.00	7.59	4.67	0.49	-1.14	0.62
030415	309	26	0.62	0.08	0.21	0.27	0.15	0.76	-0.62	0.55
030901/030905	2490	29	10.48	1.96	5.76	6.08	2.29	0.16	-0.90	0.38
031401	219	26	1.01	0.26	0.53	0.56	0.23	0.56	-0.82	0.41
040129	109	18	0.85	0.30	0.53	0.54	0.14	0.41	0.33	0.26
040201	2570	16	27.81	7.18	15.70	16.40	4.56	0.65	2.24	0.28
040202/040204	5460	33	54.76	15.18	31.10	30.48	8.94	0.54	0.71	0.29
040212	39.9	31	0.31	0.02	0.15	0.14	0.06	0.45	1.10	0.43
040401/040406	1330	48	12.46	2.00	4.88	5.21	2.45	0.72	0.16	0.47
040814	1290	25	8.47	3.08	4.83	5.24	1.49	0.52	-0.80	0.28
040830	6840	24	41.89	16.45	31.40	30.10	6.58	-0.02	-0.47	0.22
041301	5150	27	33.38	12.17	18.40	19.37	5.20	0.87	0.70	0.27
041901/041902	3760	23	25.90	8.89	16.16	16.97	4.62	0.32	-0.26	0.27
042606	2590	10	26.16	6.01	15.39	15.45	6.02	0.14	0.01	0.39
043009/043012	2590	32	13.93	7.16	10.08	10.15	1.49	0.33	0.00	0.15
046706	53.6	11	0.26	0.04	0.15	0.15	0.06	-0.07	0.51	0.38
046707	28	13	0.20	0.05	0.09	0.11	0.05	0.41	-1.17	0.44
050116/050144	2640	34	21.40	7.34	11.30	11.65	2.77	1.26	3.21	0.24

Stations (Q 30 ann)	BV (km²)	Années	Max	Min	Médiane	Moyenne	Écart-type	Asymétrie	Aplatissement	Variation
050117/050135	1570	35	11.83	4.39	7.36	7.38	1.73	0.48	0.27	0.23
050119	1390	30	13.82	3.08	7.15	7.09	2.31	0.49	1.27	0.33
050301	4580	19	44.37	18.00	25.20	26.61	7.66	1.24	1.16	0.29
050302/050304	4480	51	45.69	17.80	25.10	24.80	5.44	1.17	2.83	0.22
050305	2870	15	31.62	11.33	15.77	16.69	5.44	1.56	2.98	0.33
050408	1550	35	18.36	7.55	9.88	10.87	2.52	1.44	1.96	0.23
050409	642	35	7.53	3.03	4.03	4.20	0.90	1.69	4.17	0.21
050701	355	32	3.49	0.93	2.45	2.41	0.65	-0.42	-0.26	0.27
050812	102	12	0.71	0.47	0.61	0.60	0.07	-0.27	-0.88	0.12
051001	1100	34	11.31	3.23	5.37	5.75	1.98	0.97	0.58	0.34
051002	3.94	32	0.06	0.02	0.03	0.03	0.01	1.30	2.57	0.21
051003	9.17	33	0.11	0.03	0.06	0.06	0.02	0.92	1.69	0.24
051004	1.22	26	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	-0.19	-0.33	0.24
051005	269	17	2.47	0.53	1.14	1.23	0.58	1.06	0.64	0.47
051006	58.8	15	0.44	0.11	0.25	0.25	0.09	0.42	-0.22	0.37
051007	3.57	23	0.04	0.01	0.02	0.02	0.01	0.41	1.81	0.32
051301	865	28	5.40	3.27	4.09	4.13	0.61	0.50	-0.54	0.15
051502	1700	33	10.96	6.00	8.26	8.57	1.35	0.08	-0.70	0.16
052202/052219	1340	30	11.04	2.42	5.31	5.24	2.04	1.16	1.52	0.39
052203/052212	1270	36	11.14	3.22	5.83	6.08	2.00	0.61	-0.12	0.33
052233	647	21	2.42	0.56	1.12	1.29	0.55	0.54	-0.96	0.43
052803	53.2	24	0.63	0.02	0.34	0.32	0.17	-0.11	-0.79	0.53
052805	774	35	7.06	0.63	2.74	2.90	1.21	1.05	2.81	0.42
060101	736	24	4.46	1.30	2.23	2.26	0.70	1.23	2.87	0.31
060601	572	19	3.62	1.25	2.33	2.42	0.60	0.35	0.11	0.25
061020	1110	29	9.78	4.17	6.08	5.99	1.43	0.73	0.43	0.24
061022	495	27	4.38	1.21	2.68	2.71	0.77	-0.06	0.12	0.28
061502	2280	23	14.31	5.45	10.49	10.22	2.56	-0.28	-1.16	0.25
061801	1090	25	5.67	2.52	3.84	3.90	0.76	0.68	0.29	0.20
061905	11100	38	68.43	39.60	55.68	54.61	7.15	0.04	-0.47	0.13
061906	4330	30	27.34	17.49	22.41	22.87	2.66	-0.13	-0.91	0.12
061909	585	12	2.27	0.82	1.71	1.69	0.40	-0.69	0.65	0.24
062101	9320	38	61.44	24.95	39.20	39.40	7.51	0.81	1.79	0.19
062102	9870	38	76.35	21.78	37.42	39.00	9.44	1.81	5.93	0.24
062209	3600	21	25.05	12.51	17.26	17.70	3.21	0.57	0.06	0.18
062701	746	26	6.02	2.44	4.12	4.20	0.97	0.12	-0.35	0.23
062802	1100	20	8.42	3.34	4.94	5.17	1.35	0.90	0.75	0.26
070401	3085	19	17.41	7.55	11.96	12.32	2.86	0.29	-0.65	0.23
071401	1570	26	11.02	4.73	7.31	7.63	1.64	0.64	-0.14	0.22
073301/073303	676	22	3.32	1.45	2.06	2.26	0.56	0.53	-1.08	0.25
073502/073503	7230	35	50.82	19.47	34.29	34.25	8.75	0.02	-0.85	0.26
073801	13000	43	122.00	36.20	61.20	63.20	15.28	1.43	4.17	0.24
074601	2060	18	26.05	5.72	10.43	12.75	5.47	1.55	2.03	0.43
074701	5590	12	63.39	22.06	28.55	32.46	12.27	1.87	3.09	0.38
074902	11600	13	93.08	35.89	57.20	60.50	16.29	1.03	1.12	0.27
074903	15600	19	108.82	45.77	77.41	74.83	19.59	0.09	-1.17	0.26
075601	2950	13	52.74	15.13	23.35	26.52	11.35	1.48	1.61	0.43
080101/080102	3680	34	25.41	13.14	17.93	18.18	2.85	0.71	0.52	0.16
080701	57500	21	434.70	177.30	261.87	275.59	55.49	1.24	2.50	0.20
080704	18700	19	152.90	77.57	97.27	100.85	20.85	0.79	0.38	0.21
080705/080717	8310	17	53.10	30.49	44.15	43.83	6.19	-0.59	-0.13	0.14
080707	22200	35	124.10	62.24	88.48	87.95	16.41	0.07	-0.89	0.19
080718	31900	32	222.57	113.27	161.17	163.53	27.05	0.28	-0.13	0.17
080801	17100	20	148.67	70.26	94.57	96.82	18.71	1.46	2.85	0.19
080809	9820	24	70.77	40.57	54.75	54.87	8.55	0.26	-0.73	0.16
081002	40900	35	513.27	287.37	390.77	398.10	58.46	0.24	-0.68	0.15
081006	7280	21	52.12	25.77	30.65	31.59	6.56	1.88	4.11	0.21

Stations (Q 30 ann)	BV (km²)	Années	Max	Min	Médiane	Moyenne	Écart-type	Asymétrie	Aplatissement	Variation
081007	18100	23	264.33	142.37	214.20	211.27	34.51	-0.24	-0.67	0.16
090601	44300	20	224.07	118.87	189.43	183.70	26.74	-0.72	0.23	0.15
090602	27700	19	152.33	64.38	120.27	119.70	20.45	-0.95	1.67	0.17
090605	1870	17	12.73	7.21	10.73	10.30	1.71	-0.32	-0.83	0.17
090607	3390	18	15.72	11.14	12.89	13.11	1.32	0.35	-0.83	0.10
090609	3700	15	18.48	7.27	11.10	11.23	3.08	0.92	0.67	0.27
090610	11600	16	93.46	31.60	49.76	52.88	16.15	1.15	1.37	0.31
090613	21400	20	125.73	53.42	99.64	96.61	19.02	-0.48	-0.23	0.20
092703	37000	20	255.90	126.73	182.00	189.35	32.04	0.29	0.04	0.17
092704	96600	17	630.60	325.40	418.43	426.30	71.64	1.28	3.14	0.17
092706	18600	15	81.96	50.07	64.01	63.21	8.20	0.53	0.42	0.13
092707	10900	17	54.50	32.58	43.93	43.65	6.29	-0.22	-0.33	0.14
092708	19100	20	117.40	63.60	85.09	84.69	12.59	0.58	1.36	0.15
092711	13800	15	85.53	50.48	60.52	63.00	9.07	1.09	1.53	0.14
092715	13200	28	78.15	38.09	59.46	58.30	10.60	-0.05	-0.63	0.18
092717	10200	14	54.92	32.19	40.90	41.42	7.39	0.61	-0.56	0.18
092722	12800	19	121.63	75.57	97.05	100.29	12.60	0.00	-0.46	0.13

Stations (Q 7 est)	BV (km²)	Années	Max	Min	Médiane	Moyenne	Écart-type	Asymétrie	Aplatissement	Variation
010101	534	23	5.33	0.99	2.17	2.52	1.18	0.84	-0.11	0.47
010901/010902	1340	30	18.29	4.43	7.99	9.02	3.58	1.23	0.91	0.40
011001/011003	1680	34	27.96	6.53	12.73	13.64	4.77	1.25	1.56	0.35
011201	1140	37	16.14	3.01	5.93	6.62	3.05	1.25	1.60	0.46
011507	2760	24	35.93	5.58	11.89	13.99	7.48	1.50	2.38	0.53
011508	558	18	6.20	0.47	1.53	1.94	1.48	1.63	3.00	0.76
020302	1090	11	7.49	2.39	3.44	3.99	1.45	1.52	2.56	0.36
020502	59.8	15	0.53	0.09	0.21	0.24	0.13	0.88	0.10	0.55
020601/020602	645	55	8.73	0.82	1.80	2.14	1.34	2.66	10.10	0.62
020802	1200	30	19.54	4.42	7.32	8.21	3.35	2.28	5.80	0.41
021407	774	28	11.41	3.54	5.82	6.20	1.88	1.23	1.80	0.30
021502	721	29	8.94	2.18	4.20	4.55	1.72	0.93	0.22	0.38
021915	494	23	3.20	0.23	0.82	1.14	0.74	1.28	1.50	0.65
022003	1610	36	18.84	1.80	4.28	5.01	3.49	2.26	6.33	0.70
022504/022507	525	37	3.43	0.43	0.91	1.19	0.69	1.43	2.03	0.58
022703	783	10	4.36	0.41	1.55	1.92	1.27	0.67	-0.32	0.66
023101/023106	821	37	7.58	1.29	2.22	2.69	1.42	1.72	3.28	0.53
023301/023303	1160	31	12.33	1.18	3.52	3.81	2.12	2.27	7.81	0.56
023401	709	37	5.73	0.54	1.22	1.46	0.99	2.61	9.12	0.68
023402	5820	36	25.81	3.98	10.03	11.33	4.97	1.01	1.05	0.44
023403	1170	18	9.73	0.60	3.01	3.70	2.67	0.86	-0.15	0.72
023426	4090	15	17.11	2.29	7.15	7.89	4.50	0.66	-0.29	0.57
023429	3070	25	8.46	1.00	4.00	4.26	1.91	0.66	0.04	0.45
023701	356	24	1.23	0.31	0.53	0.62	0.27	1.10	0.26	0.43
024001/024007	2330	29	20.86	2.17	5.64	6.96	4.17	1.76	3.43	0.60
024003	919	34	5.43	0.77	2.14	2.44	1.33	1.04	0.27	0.54
024010	25.7	12	0.17	0.03	0.05	0.07	0.04	1.32	0.25	0.62
024013	227	18	1.56	0.60	0.91	0.90	0.26	0.85	0.88	0.29
030101	549	39	1.85	0.28	0.63	0.81	0.46	0.83	-0.58	0.57
030103	1540	35	6.66	0.98	2.61	2.98	1.48	1.14	0.56	0.50
030219	839	12	5.41	1.05	1.97	2.47	1.31	1.05	0.77	0.53
030238	87.2	12	0.33	0.09	0.14	0.16	0.07	1.66	3.06	0.42
030262	285	15	0.72	0.09	0.24	0.32	0.21	0.92	-0.57	0.67
030282	738	27	3.45	0.64	1.28	1.38	0.57	1.78	5.81	0.41
030316	316	33	0.55	0.05	0.16	0.18	0.12	1.87	3.40	0.63
030335	59.3	17	0.25	0.05	0.12	0.12	0.06	0.81	-0.09	0.46
030340	271	18	1.70	0.85	1.41	1.36	0.25	-0.63	-0.23	0.18
030341	3310	10	10.40	1.42	3.78	4.86	3.29	0.84	-0.63	0.68
030415	309	27	0.48	0.04	0.14	0.17	0.11	1.26	1.17	0.64
030901/030905	2490	30	9.96	1.54	4.06	4.41	1.94	1.05	1.22	0.44
031401	219	26	0.93	0.17	0.33	0.40	0.21	1.22	0.73	0.53
040129	109	22	0.99	0.25	0.48	0.51	0.19	0.86	0.87	0.36
040201	2570	16	41.83	6.93	17.07	18.42	7.43	2.06	6.80	0.40
040202/040204	5460	34	67.84	11.33	30.71	30.18	11.66	0.80	1.70	0.39
040409	61.6	21	0.23	0.03	0.08	0.09	0.06	1.33	1.17	0.63
040810	1780	23	10.46	2.69	6.67	6.50	2.02	-0.09	-0.56	0.31
040814	1290	26	8.42	2.88	4.13	4.68	1.51	0.81	-0.14	0.32
040830	6840	25	58.03	14.92	38.81	37.88	12.21	-0.19	-0.91	0.32
041301	5150	29	53.24	4.60	17.66	20.23	11.05	1.36	1.94	0.55
041901/041902	3760	24	36.16	7.48	15.05	17.57	7.25	1.09	0.70	0.41
041903	2110	17	16.57	5.95	10.20	10.83	3.24	0.39	-0.64	0.30
042606	2590	10	45.74	5.35	17.94	20.56	12.91	0.89	0.16	0.63
043009/043012	2590	34	22.34	8.72	12.77	13.57	3.09	1.42	2.39	0.23
046706	53.6	12	0.25	0.10	0.14	0.17	0.05	0.34	-1.48	0.31
046707	28	15	0.17	0.03	0.08	0.09	0.05	0.50	-1.36	0.52
050116/050144	2640	37	40.86	5.89	13.17	13.55	6.34	2.33	8.68	0.47
050119	1390	31	11.70	1.96	6.30	5.99	2.29	0.41	0.01	0.38
050301	4580	21	50.29	14.86	33.61	34.05	11.73	0.04	-1.39	0.34
050302/050304	4480	53	65.59	15.57	32.36	34.27	11.92	0.63	-0.25	0.35
050305	2870	15	39.61	17.14	23.84	27.70	7.88	0.29	-1.72	0.28

Stations (Q 7 est)	BV (km²)	Années	Max	Min	Médiane	Moyenne	Écart-type	Asymétrie	Aplatissement	Variation
050408	1550	37	29.87	10.32	15.36	16.54	4.49	0.99	0.75	0.27
050409	642	37	9.45	3.81	5.78	6.19	1.65	0.49	-0.94	0.27
050701	355	36	3.33	0.40	1.87	1.89	0.71	-0.21	-0.21	0.38
050812	102	14	0.76	0.38	0.50	0.51	0.10	1.12	1.47	0.20
050813	1.68	10	0.04	0.01	0.02	0.02	0.01	0.48	-1.85	0.46
051004	1.22	31	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.36	-0.29	0.29
051006	58.8	15	0.93	0.58	0.80	0.78	0.11	-0.46	-0.74	0.14
051007	3.57	26	0.08	0.01	0.04	0.04	0.02	0.24	-0.90	0.40
051011	0.69	10	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	2.35	6.23	0.52
051301	865	28	9.96	3.09	5.19	5.80	1.92	0.68	-0.41	0.33
051502	1700	35	26.43	6.56	13.24	13.67	4.58	0.66	0.42	0.34
052228	190	24	0.90	0.06	0.26	0.34	0.23	1.20	0.40	0.69
052231	76.7	18	0.36	0.04	0.12	0.13	0.07	1.78	4.26	0.56
052233	647	23	2.69	0.34	0.92	1.03	0.58	1.22	1.62	0.56
052601	1030	27	7.81	1.80	3.65	3.86	1.29	1.11	2.14	0.33
052803	53.2	24	0.99	0.02	0.46	0.43	0.28	0.13	-0.92	0.64
052805	774	36	6.96	0.58	2.31	2.84	1.66	0.98	0.05	0.59
060101	736	24	7.30	1.16	2.52	3.12	1.49	1.13	1.17	0.48
060601	572	19	5.50	1.06	2.63	2.85	1.13	0.92	1.09	0.40
061502	2280	32	34.87	8.98	17.56	19.08	6.83	0.77	-0.30	0.36
061602	562	34	6.45	0.40	3.68	3.59	1.52	-0.04	0.09	0.42
061801	1090	27	10.34	2.84	6.48	6.56	2.06	0.20	-0.84	0.31
061905	11100	40	226.71	67.75	130.09	132.86	35.33	0.49	0.14	0.27
061909	585	14	3.76	0.56	2.02	2.16	1.00	0.24	-0.54	0.47
062101	9320	48	225.71	58.20	111.93	114.39	32.72	0.94	1.82	0.29
062102	9870	46	200.43	46.61	91.47	96.14	30.98	0.93	1.51	0.32
062209	3600	23	58.10	27.54	37.21	39.21	8.39	0.70	-0.42	0.21
062701	746	27	15.99	3.34	9.84	9.28	3.37	0.06	-1.02	0.36
062802	1100	20	17.80	3.06	7.26	9.08	4.98	0.39	-1.42	0.55
070401	3085	19	40.84	7.64	28.76	26.17	9.83	-0.10	-1.19	0.38
071401	1570	27	26.76	5.24	12.20	12.84	5.88	0.71	-0.28	0.46
072302	3390	16	75.69	27.87	48.24	48.99	16.05	0.38	-1.16	0.33
073301/073303	676	24	9.10	2.56	4.76	4.91	1.86	1.00	0.48	0.38
073502/073503	7230	37	150.43	54.17	102.53	101.17	26.09	-0.07	-0.92	0.26
073801	13000	45	305.71	79.89	161.14	170.50	49.85	0.47	-0.01	0.29
074601	2060	18	30.24	12.07	22.53	22.32	4.79	-0.39	-0.12	0.21
074701	5590	12	90.20	41.30	63.28	62.48	14.82	0.28	-0.29	0.24
074902	11600	13	211.14	122.71	157.14	157.32	25.22	0.78	0.38	0.16
074903	15600	21	321.57	102.31	172.14	196.64	65.25	0.43	-0.92	0.33
075601	2950	13	55.03	21.81	38.09	38.52	11.70	0.02	-1.59	0.30
076601	6630	27	101.64	29.06	60.13	62.19	19.34	0.59	-0.09	0.31
080101/080102	3680	37	57.71	15.17	27.57	28.31	9.63	0.91	1.11	0.34
080701	57500	21	1141.43	408.29	801.43	814.03	228.84	0.01	-1.20	0.28
080704	18700	20	400.57	126.14	278.29	277.32	78.23	-0.23	-0.74	0.28
080705/080717	8310	17	156.86	40.44	88.57	89.15	29.10	0.38	0.50	0.33
080707	22200	38	423.86	90.40	187.59	205.45	71.02	1.28	2.30	0.35
080718	31900	34	736.77	222.00	439.36	451.01	123.75	0.26	-0.54	0.27
080801	17100	20	434.71	115.57	306.64	291.96	88.30	-0.23	-0.53	0.30
080809	9820	27	197.27	77.06	134.43	136.60	26.17	0.30	0.53	0.19
081002	40900	37	1240.00	543.00	820.29	841.63	143.83	0.42	0.70	0.17
081006	7280	23	237.00	61.16	124.43	130.04	36.06	0.99	2.66	0.28
081007	18100	23	683.14	300.71	447.00	447.47	81.12	0.67	2.25	0.18
090601	44300	20	1212.86	439.14	657.50	712.06	214.57	0.78	0.03	0.30
090602	27700	19	756.14	306.00	449.14	480.44	132.57	0.71	-0.18	0.28
090605	1870	18	46.11	14.33	24.11	26.92	9.32	0.86	-0.26	0.35
090606	1970	15	43.34	9.40	16.64	19.68	8.34	1.74	3.95	0.42
090607	3390	18	74.23	22.46	43.31	44.72	15.73	0.35	-1.12	0.35
090609	3700	15	91.51	16.99	34.74	41.34	20.08	1.54	2.23	0.49
090610	11600	16	292.71	128.86	203.50	198.94	50.08	0.13	-1.12	0.25
090613	21400	22	547.03	174.71	356.21	357.57	96.75	-0.16	-0.26	0.27

Stations (Q 7 est)	BV (km²)	Années	Max	Min	Médiane	Moyenne	Écart-type	Asymétrie	Aplatissement	Variation
092703	37000	20	1154.29	429.57	735.64	719.86	193.44	0.58	-0.05	0.27
092704	96600	18	2640.00	1006.14	1621.43	1626.21	476.67	0.58	-0.37	0.29
092706	18600	15	376.86	142.29	213.43	237.13	74.06	0.82	-0.17	0.31
092707	10900	17	303.43	78.09	171.00	162.23	57.88	0.68	0.60	0.36
092708	19100	20	475.57	173.57	280.36	295.49	85.06	0.58	-0.03	0.29
092711	13800	15	285.14	137.57	204.00	203.38	43.45	0.36	-0.05	0.21
092715	13200	29	374.71	80.66	213.71	209.31	71.99	0.34	0.00	0.34
092717	10200	15	253.43	84.10	178.86	173.14	49.35	-0.19	-0.43	0.29
092722	12800	19	398.00	132.14	276.43	271.88	83.68	-0.03	-1.03	0.31

Stations (Q 7 hiv)	BV (km²)	Années	Max	Min	Médiane	Moyenne	Écart-type	Asymétrie	Aplatissement	Variation
010101	534	24	2.37	0.77	1.24	1.46	0.52	0.43	-1.24	0.36
010801/010802	1910	34	12.80	3.53	6.29	6.70	2.17	0.72	0.31	0.32
010901/010902	1340	29	8.88	3.21	4.90	5.17	1.38	0.93	0.57	0.27
011201	1140	36	5.15	1.52	3.13	3.32	1.05	0.18	-1.07	0.32
011507	2760	25	20.74	4.91	11.11	10.91	3.64	0.68	1.01	0.33
011508	558	18	3.80	1.19	2.67	2.60	0.72	-0.35	-0.49	0.27
020401/020404	659	35	4.52	1.03	2.00	2.14	0.85	1.11	1.33	0.40
020502	59.8	17	0.33	0.08	0.21	0.20	0.07	0.15	-0.69	0.37
020601/020602	645	53	4.28	0.61	1.54	1.69	0.74	1.40	2.28	0.44
020802	1200	30	6.19	2.03	3.83	3.77	1.05	0.52	-0.03	0.28
021407	774	27	5.86	1.92	3.41	3.39	0.84	0.78	1.95	0.25
021502	721	30	3.86	1.61	2.62	2.60	0.65	0.19	-1.18	0.25
021601	1650	35	11.10	3.46	5.57	5.80	1.70	0.90	1.09	0.29
021915	494	24	2.38	0.46	1.10	1.24	0.47	0.64	0.15	0.37
022003	1610	35	9.75	1.98	5.06	5.11	1.66	0.66	0.65	0.32
022504/022507	525	36	3.14	0.29	1.05	1.18	0.59	1.29	2.40	0.49
022701/022704	795	61	4.90	0.28	1.39	1.55	0.92	1.52	2.84	0.59
022703	783	11	2.82	0.72	1.66	1.67	0.70	0.37	-0.99	0.42
023101/023106	821	35	5.84	1.67	2.86	3.14	0.97	1.04	0.65	0.31
023301/023303	1160	30	8.28	2.56	3.77	4.44	1.46	1.13	0.27	0.33
023401	709	36	3.85	0.90	2.02	2.14	0.79	0.43	-0.43	0.37
023402	5820	36	33.89	7.79	16.86	18.88	6.94	0.59	-0.60	0.37
023403	1170	19	9.91	2.85	5.42	5.66	1.94	0.60	-0.20	0.34
023426	4090	16	23.10	6.26	8.92	11.27	5.18	1.25	0.64	0.46
023429	3070	25	13.40	2.65	8.01	8.18	2.89	-0.16	-0.41	0.35
023701	356	19	1.62	0.57	1.04	1.06	0.27	0.29	-0.24	0.26
024001/024007	2330	29	23.84	3.71	10.57	11.14	3.73	1.32	4.00	0.33
024003	919	33	8.30	1.78	4.13	4.31	1.29	0.93	2.06	0.30
024013	227	16	2.00	0.47	1.03	1.09	0.42	0.86	0.75	0.39
030101	549	39	3.81	0.54	1.80	1.98	0.67	0.52	0.74	0.34
030103	1540	34	10.93	1.96	5.70	5.85	1.73	0.80	1.74	0.30
030214/030234	642	35	3.22	0.71	1.97	2.13	0.65	0.08	-0.71	0.31
030219	839	13	5.62	1.57	2.48	2.83	1.05	1.63	3.34	0.37
030238	87.2	13	0.47	0.17	0.27	0.31	0.09	0.47	-0.99	0.30
030282	738	26	3.74	1.18	2.35	2.56	0.77	0.11	-1.22	0.30
030316	316	31	1.27	0.10	0.45	0.55	0.26	0.97	0.67	0.48
030335	59.3	17	0.43	0.08	0.28	0.27	0.08	-0.42	0.85	0.31
030340	271	17	3.12	1.57	2.09	2.20	0.47	0.66	-0.80	0.21
030341	3310	11	25.03	8.53	11.33	12.60	4.70	2.13	5.09	0.37
030415	309	27	1.28	0.15	0.43	0.47	0.23	2.10	5.67	0.49
030901/030905	2490	29	21.79	4.97	9.62	10.19	3.65	1.27	2.32	0.36
031401	219	26	1.51	0.28	0.79	0.82	0.28	0.58	0.48	0.34
040129	109	19	0.95	0.46	0.66	0.68	0.15	0.41	-1.13	0.22
040201	2570	17	28.97	11.46	15.37	17.07	5.11	1.09	0.31	0.30
040202/040204	5460	34	55.23	24.04	34.35	35.87	8.69	0.76	-0.08	0.24
040212	39.9	31	0.38	0.10	0.16	0.18	0.06	1.74	4.58	0.32
040401/040406	1330	50	14.70	2.37	8.71	8.71	2.93	0.01	-0.39	0.34
040814	1290	25	11.97	5.19	8.99	8.55	1.71	-0.17	0.19	0.20
040830	6840	25	45.91	19.56	31.71	31.29	6.59	0.46	0.40	0.21
041301	5150	28	37.71	15.21	20.06	22.75	6.36	0.91	0.02	0.28
041901/041902	3760	23	30.90	14.46	20.64	20.65	4.48	0.59	-0.10	0.22
041903	2110	18	15.84	9.37	12.04	12.36	1.83	0.34	-0.16	0.15
042606	2590	10	25.29	11.17	17.83	17.58	4.28	0.24	-0.30	0.24
043009/043012	2590	34	14.13	6.97	9.95	10.02	1.67	0.55	0.01	0.17
046706	53.6	11	0.32	0.03	0.15	0.15	0.08	0.73	0.98	0.55
046707	28	14	0.22	0.05	0.10	0.11	0.05	0.97	0.60	0.50
050116/050144	2640	35	18.59	8.10	11.69	12.24	2.64	0.45	-0.36	0.22
050117/050135	1570	36	10.26	4.42	7.02	7.11	1.46	0.22	-0.28	0.20
050119	1390	31	13.84	6.01	8.38	8.58	2.02	0.94	0.52	0.24
050301	4580	24	47.71	15.54	22.29	24.42	7.70	1.55	2.53	0.32

Stations (Q 7 hiv)	BV (km²)	Années	Max	Min	Médiane	Moyenne	Écart-type	Asymétrie	Aplatissement	Variation
050302/050304	4480	52	38.50	15.41	23.47	23.93	5.52	0.73	0.29	0.23
050305	2870	16	24.93	10.67	14.89	15.95	4.63	0.69	-0.58	0.29
050408	1550	35	15.54	7.25	9.54	9.89	1.93	1.12	1.19	0.19
050409	642	35	5.85	2.98	3.67	3.84	0.61	1.27	2.04	0.16
050701	355	32	3.98	1.32	2.73	2.72	0.54	0.01	0.86	0.20
050812	102	12	0.83	0.51	0.66	0.66	0.10	-0.01	-0.59	0.15
050813	1.68	10	0.05	0.01	0.03	0.03	0.01	0.92	1.04	0.41
051001	1100	34	10.24	2.68	5.05	5.18	1.71	0.85	0.73	0.33
051002	3.94	33	0.05	0.02	0.03	0.03	0.01	0.96	1.67	0.19
051003	9.17	33	0.09	0.03	0.06	0.06	0.01	0.72	0.60	0.23
051004	1.22	27	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.23	0.07	0.25
051005	269	20	2.35	0.23	1.03	1.05	0.51	1.18	2.02	0.49
051006	58.8	16	0.46	0.11	0.23	0.24	0.09	0.81	0.66	0.39
051007	3.57	25	0.03	0.01	0.02	0.02	0.01	0.37	1.12	0.33
051301	865	29	7.21	3.06	3.99	4.10	0.94	1.55	3.12	0.23
051502	1700	33	10.47	5.21	8.00	8.11	1.29	-0.07	-0.39	0.16
052202/052219	1340	32	12.16	4.11	6.69	6.85	1.79	0.86	1.11	0.26
052203/052212	1270	37	13.54	4.97	7.01	7.59	2.00	1.15	1.03	0.26
052233	647	21	3.92	1.30	2.39	2.51	0.84	0.05	-1.39	0.34
052601	1030	25	8.62	3.04	4.36	4.71	1.26	1.61	2.86	0.27
052803	53.2	26	0.65	0.00	0.32	0.32	0.16	0.06	-0.26	0.50
052805	774	35	6.54	2.69	3.56	3.81	0.88	1.26	1.69	0.23
060101	736	26	5.42	1.20	2.42	2.39	0.92	1.59	3.64	0.39
060601	572	19	3.25	1.70	2.26	2.42	0.52	0.25	-1.45	0.21
061020	1110	29	9.59	3.94	5.71	5.62	1.27	0.98	1.93	0.23
061022	495	29	3.66	1.10	2.52	2.53	0.66	-0.41	-0.18	0.26
061502	2280	23	13.96	5.13	9.63	9.62	2.40	-0.06	-0.92	0.25
061602	562	32	8.82	0.45	3.42	3.51	2.02	1.10	1.48	0.58
061801	1090	26	4.81	2.32	3.58	3.54	0.63	-0.03	-0.08	0.18
061905	11100	38	66.14	37.49	52.24	52.24	7.21	-0.07	-0.47	0.14
061906	4330	31	26.73	16.90	21.44	21.84	2.52	0.03	-0.93	0.12
061909	585	14	2.23	1.25	1.61	1.64	0.29	0.37	-0.56	0.18
062101	9320	38	56.47	23.23	37.88	37.74	7.06	0.58	1.34	0.19
062102	9870	38	66.69	17.97	35.99	36.73	8.27	1.24	4.11	0.23
062209	3600	21	23.16	12.10	16.83	17.10	2.95	0.42	-0.33	0.17
062701	746	26	5.33	2.21	3.78	3.80	0.78	-0.18	-0.28	0.20
062802	1100	21	7.65	3.06	4.52	4.71	1.19	1.10	1.43	0.25
070202	40.7	10	0.20	0.10	0.12	0.13	0.03	1.16	0.74	0.25
070401	3085	20	16.74	7.04	11.24	11.41	2.72	0.25	-0.51	0.24
071401	1570	26	11.01	4.28	7.35	7.44	1.70	0.25	-0.44	0.23
072302	3390	17	20.76	8.02	13.14	13.75	3.95	0.45	-0.87	0.29
073301/073303	676	24	2.87	1.44	2.00	2.10	0.42	0.30	-1.11	0.20
073801	13000	44	92.19	35.90	59.86	60.91	13.04	0.52	0.00	0.21
074601	2060	19	29.76	5.53	10.37	11.97	5.51	2.16	5.58	0.46
074701	5590	13	50.09	21.24	25.11	28.40	8.72	1.93	2.96	0.31
074902	11600	14	91.03	35.14	57.38	58.72	14.56	1.03	1.57	0.25
075601	2950	14	46.44	12.87	21.51	23.50	9.61	1.37	1.51	0.41
080101/080102	3680	35	25.49	12.70	16.64	17.20	3.07	0.94	0.69	0.18
080701	57500	22	426.29	175.29	257.79	265.90	54.60	1.29	2.53	0.21
080704	18700	20	151.14	73.76	95.18	97.90	20.99	0.84	0.41	0.21
080705/080717	8310	17	52.40	29.07	43.29	42.05	6.25	-0.38	-0.26	0.15
080707	22200	36	121.00	58.87	87.09	84.13	15.31	0.06	-0.67	0.18
080718	31900	33	221.00	108.14	153.43	158.55	26.55	0.26	0.01	0.17
080801	17100	21	144.71	68.54	92.86	93.77	18.14	1.47	2.78	0.19
080809	9820	25	70.01	37.10	52.14	52.60	8.75	0.15	-0.54	0.17
081002	40900	36	502.57	269.14	378.25	383.72	56.97	0.18	-0.64	0.15
081006	7280	23	50.69	20.29	28.27	29.96	6.77	1.65	3.35	0.23
081007	18100	24	262.57	139.14	207.50	206.74	33.30	-0.24	-0.55	0.16
090601	44300	21	249.14	114.71	190.00	182.33	30.48	-0.14	0.44	0.17
090602	27700	20	148.86	61.26	121.00	117.36	20.01	-1.08	1.91	0.17

Stations (Q 7 hiv)	BV (km²)	Années	Max	Min	Médiane	Moyenne	Écart-type	Asymétrie	Aplatissement	Variation
090607	3390	20	15.30	11.00	12.51	12.89	1.35	0.22	-1.31	0.10
090609	3700	15	17.14	7.15	10.93	10.85	2.88	0.68	-0.09	0.27
090610	11600	17	89.56	30.13	51.00	53.38	16.51	0.79	-0.06	0.31
090613	21400	21	119.86	52.74	96.44	94.68	18.10	-0.50	-0.17	0.19
092703	37000	21	240.29	121.14	176.00	183.37	30.75	0.11	-0.32	0.17
092704	96600	18	620.43	320.00	408.50	417.41	69.22	1.36	3.35	0.17
092706	18600	16	80.06	46.09	59.56	60.78	8.44	0.50	0.38	0.14
092707	10900	18	51.47	31.40	42.77	42.03	5.80	-0.35	-0.38	0.14
092708	19100	21	120.43	63.00	85.00	84.86	14.49	0.91	1.22	0.17
092711	13800	15	84.23	47.99	59.50	61.41	9.06	1.11	1.74	0.15
092715	13200	30	90.30	36.93	57.91	57.73	12.06	0.55	0.49	0.21
092717	10200	15	54.03	31.53	39.97	40.84	7.23	0.63	-0.53	0.18
092722	12800	19	121.00	74.20	95.00	98.03	12.40	0.11	-0.36	0.13

Stations (Q 7 ann)	BV (km²)	Années	Max	Min	Médiane	Moyenne	Écart-type	Asymétrie	Aplatissement	Variation
010101	534	22	2.05	0.77	1.19	1.28	0.41	0.69	-0.87	0.32
010801/010802	1910	33	10.36	3.53	6.16	6.34	1.77	0.42	-0.55	0.28
010901/010902	1340	28	7.33	3.21	4.63	4.87	1.02	0.56	-0.11	0.21
011201	1140	36	5.15	1.52	3.07	3.27	1.04	0.35	-0.93	0.32
011507	2760	22	16.97	4.91	8.61	9.20	3.09	0.72	0.22	0.34
011508	558	17	2.99	0.47	1.39	1.55	0.83	0.21	-1.49	0.53
020401/020404	659	34	3.84	0.82	1.88	1.90	0.62	0.69	1.45	0.33
020502	59.8	15	0.25	0.09	0.14	0.16	0.05	0.43	-1.08	0.32
020601/020602	645	53	2.15	0.61	1.29	1.30	0.35	0.59	-0.07	0.27
020802	1200	28	6.19	2.03	3.61	3.65	1.02	0.81	0.81	0.28
021407	774	27	4.09	1.92	3.41	3.26	0.61	-0.73	-0.17	0.19
021502	721	29	3.77	1.61	2.75	2.55	0.60	0.07	-1.24	0.24
021601	1650	35	8.36	3.46	5.32	5.46	1.37	0.43	-0.87	0.25
021915	494	23	1.75	0.23	0.77	0.85	0.37	0.66	0.32	0.43
022504/022507	525	36	1.71	0.29	0.74	0.80	0.30	0.82	1.08	0.37
022703	783	10	2.70	0.41	1.10	1.29	0.76	0.92	-0.05	0.59
023101/023106	821	35	4.39	1.29	2.15	2.21	0.67	1.07	1.71	0.30
023301/023303	1160	29	4.57	1.18	3.27	3.02	0.85	-0.38	-0.57	0.28
023401	709	36	2.08	0.54	1.17	1.18	0.45	0.42	-0.84	0.38
023402	5820	36	21.97	3.98	9.87	10.46	4.09	1.06	1.70	0.39
023403	1170	18	6.40	0.60	2.76	2.87	1.64	0.63	-0.09	0.57
023426	4090	15	14.01	2.29	7.06	6.51	3.01	0.75	1.61	0.46
023429	3070	24	8.06	1.00	4.10	4.21	1.75	0.40	-0.07	0.42
023701	356	19	1.04	0.33	0.56	0.62	0.20	0.71	-0.50	0.33
024001/024007	2330	28	11.90	2.17	5.59	5.99	2.42	0.64	-0.24	0.40
024003	919	32	4.74	0.77	2.14	2.25	1.05	0.67	-0.25	0.46
024013	227	15	1.17	0.47	0.72	0.78	0.22	0.47	-1.07	0.29
030101	549	38	1.66	0.28	0.61	0.80	0.45	0.79	-0.81	0.57
030103	1540	34	5.98	0.98	2.59	2.83	1.29	0.94	0.13	0.45
030214/030234	642	35	2.39	0.62	1.11	1.12	0.44	1.07	0.88	0.39
030219	839	12	3.41	1.05	1.93	2.06	0.79	0.53	-0.86	0.38
030238	87.2	12	0.24	0.09	0.14	0.15	0.05	0.68	0.14	0.30
030282	738	26	2.06	0.64	1.25	1.31	0.40	0.08	-0.70	0.31
030316	316	31	0.44	0.05	0.15	0.17	0.10	1.48	1.96	0.56
030335	59.3	17	0.25	0.05	0.11	0.12	0.05	1.16	1.00	0.47
030340	271	17	1.65	0.85	1.35	1.30	0.22	-0.71	-0.09	0.17
030341	3310	10	10.08	1.42	3.78	4.73	3.06	0.75	-0.76	0.65
030415	309	26	0.37	0.04	0.14	0.16	0.09	1.01	0.17	0.56
030901/030905	2490	29	8.77	1.54	4.08	4.42	1.79	0.76	0.34	0.40
031401	219	26	0.72	0.17	0.32	0.36	0.15	0.98	0.13	0.42
040129	109	18	0.66	0.25	0.44	0.43	0.12	0.26	0.02	0.27
040201	2570	16	23.06	6.93	14.74	14.62	3.44	0.23	2.64	0.24
040202/040204	5460	33	42.33	11.33	27.77	26.80	7.72	-0.06	-0.60	0.29
040212	39.9	31	0.27	0.01	0.10	0.11	0.06	0.84	1.27	0.52
040401/040406	1330	49	10.90	1.84	4.14	4.72	2.29	0.73	-0.17	0.49
040814	1290	25	7.51	2.88	4.20	4.67	1.39	0.63	-0.71	0.30
040830	6840	24	40.27	14.92	28.76	27.46	6.12	-0.12	-0.34	0.22
041301	5150	27	29.19	10.28	16.63	17.12	4.84	0.69	0.33	0.28
041901/041902	3760	23	23.90	7.48	14.59	15.43	4.29	0.33	-0.30	0.28
041903	2110	17	14.26	5.95	10.20	10.12	2.34	-0.18	-0.49	0.23
042606	2590	10	25.29	5.35	14.39	14.35	5.87	0.26	0.22	0.41
043009/043012	2590	32	12.41	6.97	9.75	9.73	1.35	0.12	-0.65	0.14
046706	53.6	11	0.20	0.03	0.11	0.11	0.05	0.26	-0.54	0.47
046707	28	13	0.17	0.03	0.06	0.08	0.04	1.03	-0.12	0.53
050116/050144	2640	34	18.59	6.41	10.27	10.46	2.52	1.01	1.79	0.24
050117/050135	1570	35	10.26	3.75	6.60	6.68	1.44	0.43	0.51	0.22
050119	1390	30	9.05	1.96	6.08	5.74	1.81	-0.20	-0.55	0.31

Stations (Q 7 ann)	BV (km²)	Années	Max	Min	Médiane	Moyenne	Écart-type	Asymétrie	Aplatissement	Variation
050301	4580	19	37.21	14.86	21.43	22.59	6.54	1.07	0.66	0.29
050302/050304	4480	51	37.97	15.41	22.39	22.53	4.78	0.90	1.14	0.21
050305	2870	15	24.30	10.67	14.76	15.31	4.08	0.77	-0.21	0.27
050408	1550	35	15.54	7.25	9.54	9.78	1.75	1.13	2.03	0.18
050409	642	35	5.85	2.98	3.67	3.82	0.59	1.41	2.88	0.15
050701	355	32	2.96	0.44	1.88	1.88	0.61	-0.39	-0.12	0.32
050812	102	12	0.62	0.38	0.50	0.49	0.07	0.26	0.32	0.13
051001	1100	34	7.79	2.68	5.05	5.01	1.43	0.26	-1.11	0.28
051002	3.94	32	0.05	0.02	0.03	0.03	0.01	0.92	1.53	0.19
051003	9.17	33	0.09	0.03	0.06	0.06	0.01	0.69	0.52	0.23
051004	1.22	26	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.16	0.03	0.25
051005	269	17	2.09	0.36	1.00	0.98	0.42	0.93	1.96	0.42
051007	3.57	23	0.03	0.01	0.02	0.02	0.01	0.13	0.98	0.32
051301	865	28	5.18	3.06	3.69	3.76	0.57	0.62	-0.33	0.15
051502	1700	33	10.17	5.21	7.89	7.90	1.22	0.06	-0.33	0.15
052202/052219	1340	30	8.50	2.05	3.95	4.33	1.80	0.78	-0.04	0.42
052203/052212	1270	36	9.59	2.24	4.56	4.76	1.96	0.58	-0.54	0.41
052233	647	21	1.72	0.37	0.94	0.99	0.40	0.13	-0.94	0.41
052601	1030	24	4.85	1.80	3.58	3.42	0.72	-0.52	0.24	0.21
052803	53.2	24	0.54	0.00	0.26	0.26	0.18	0.03	-1.40	0.69
052805	774	35	6.54	0.58	2.34	2.45	1.15	1.32	3.31	0.47
060101	736	24	2.69	1.16	1.90	1.90	0.44	0.05	-0.97	0.23
060601	572	19	3.25	1.06	2.11	2.10	0.51	0.36	1.07	0.24
061020	1110	29	9.59	3.94	5.71	5.62	1.27	0.98	1.93	0.23
061022	495	27	3.66	1.10	2.47	2.48	0.66	-0.30	-0.18	0.27
061502	2280	23	13.96	5.13	9.63	9.59	2.37	-0.09	-0.89	0.25
061602	562	30	5.79	0.40	2.59	2.77	1.39	0.32	-0.45	0.50
061801	1090	25	4.81	2.40	3.59	3.56	0.62	0.12	-0.21	0.17
061905	11100	38	66.14	37.49	52.24	52.24	7.21	-0.07	-0.47	0.14
061906	4330	30	26.73	16.90	21.22	21.78	2.53	0.09	-0.90	0.12
061909	585	12	2.23	0.73	1.61	1.58	0.39	-0.62	1.17	0.24
062101	9320	38	56.47	23.23	37.88	37.70	7.03	0.59	1.42	0.19
062102	9870	38	66.69	17.97	35.99	36.73	8.27	1.24	4.11	0.23
062209	3600	21	23.16	12.10	16.83	17.10	2.95	0.42	-0.33	0.17
062701	746	26	5.13	2.21	3.75	3.75	0.75	-0.14	-0.31	0.20
062802	1100	20	7.12	3.06	4.30	4.45	1.18	0.92	0.26	0.27
070401	3085	19	16.74	7.04	11.09	11.35	2.83	0.23	-0.67	0.25
071401	1570	26	10.44	4.28	6.65	6.91	1.52	0.67	0.09	0.22
072302	3390	16	20.76	8.02	13.52	13.91	4.03	0.34	-0.98	0.29
073301/073303	676	22	2.71	1.44	1.96	2.06	0.40	0.34	-1.18	0.20
073801	13000	43	89.63	35.90	59.71	59.99	12.03	0.42	0.08	0.20
074601	2060	18	20.73	5.53	10.14	11.23	3.90	1.15	0.95	0.35
074701	5590	12	50.09	21.24	25.54	28.86	8.94	1.83	2.49	0.31
074902	11600	13	91.03	35.14	56.60	58.65	15.15	1.02	1.30	0.26
075601	2950	13	39.73	12.87	21.81	23.09	8.11	1.09	0.69	0.35
080101/080102	3680	34	23.73	12.70	16.58	16.74	2.46	0.64	0.64	0.15
080701	57500	21	408.29	175.29	258.57	267.75	51.89	1.06	1.71	0.19
080704	18700	19	126.14	73.76	96.70	97.48	18.32	0.17	-1.41	0.19
080705/080717	8310	17	52.40	29.07	41.60	41.52	5.97	-0.27	0.04	0.14
080707	22200	35	121.00	58.87	86.31	83.63	15.19	0.10	-0.58	0.18
080718	31900	32	221.00	108.14	153.21	158.07	26.83	0.31	0.01	0.17
080801	17100	20	144.71	68.54	93.17	94.43	18.36	1.40	2.61	0.19
080809	9820	24	70.01	39.16	53.40	53.24	8.31	0.23	-0.51	0.16
081002	40900	35	502.57	269.14	380.00	385.94	56.19	0.15	-0.57	0.15
081006	7280	21	50.69	24.03	28.27	30.42	6.75	1.79	3.37	0.22
081007	18100	23	262.57	139.14	212.43	207.51	33.83	-0.31	-0.57	0.16
090601	44300	20	217.43	114.71	184.86	178.99	27.04	-0.68	0.04	0.15

Stations (Q 7 ann)	BV (km²)	Années	Max	Min	Médiane	Moyenne	Écart-type	Asymétrie	Aplatissement	Variation
090602	27700	19	148.86	61.26	115.86	116.48	20.16	-1.01	1.84	0.17
090605	1870	17	12.60	7.05	10.50	10.14	1.68	-0.33	-0.77	0.17
090607	3390	18	15.30	11.00	12.34	12.76	1.34	0.40	-1.16	0.11
090609	3700	15	17.14	7.15	10.93	10.85	2.88	0.68	-0.09	0.27
090610	11600	16	87.10	30.13	49.32	51.69	15.35	0.93	0.57	0.30
090613	21400	20	119.86	52.74	96.79	94.59	18.57	-0.47	-0.32	0.20
092703	37000	20	240.29	121.14	176.00	182.71	31.39	0.17	-0.39	0.17
092704	96600	17	620.43	320.00	402.86	417.61	71.34	1.32	3.03	0.17
092706	18600	15	80.06	46.09	61.04	61.27	8.51	0.38	0.40	0.14
092707	10900	17	51.47	31.40	43.00	42.31	5.85	-0.49	-0.20	0.14
092708	19100	20	115.14	63.00	84.34	83.08	12.29	0.65	1.45	0.15
092711	13800	15	84.23	47.99	59.50	61.41	9.06	1.11	1.74	0.15
092715	13200	28	77.27	36.93	57.91	57.07	10.44	0.01	-0.51	0.18
092717	10200	14	54.03	31.53	39.28	40.69	7.48	0.69	-0.62	0.18
092722	12800	19	121.00	74.20	95.00	98.03	12.40	0.11	-0.36	0.13

Période	Estivale				Hivernale				Annuelle			
	Kendall		Wald-Wolfowitz		Kendall		Wald-Wolfowitz		Kendall		Wald-Wolfowitz	
Stations (Q 30)	K	P-Value	U	P-Value	K	P-Value	U	P-Value	K	P-Value	U	P-Value
010101	0.169	0.866	0.099	0.922	1.463	0.143	0.934	0.350	0.677	0.499	0.760	0.447
010801/010802	-	-	1.735	0.083	0.474	0.635	0.549	0.583	0.677	0.499	0.760	0.447
010901/010902	0.749	0.454	1.289	0.197	1.144	0.253	0.948	0.343	0.765	0.444	0.940	0.347
011001/011003	0.889	0.374	1.288	0.198	-	-	1.773	0.076	1.607	0.108	0.423	0.672
011201	2.302	0.021	0.972	0.331	0.395	0.693	1.654	0.098	0.613	0.540	1.514	0.130
011507	0.372	0.710	2.305	0.021	1.518	0.129	0.104	0.917	0.113	0.910	0.292	0.770
011508	1.742	0.081	0.948	0.343	0.371	0.711	0.322	0.748	2.206	0.027	1.759	0.079
020302	0.934	0.350	0.238	0.812	-	-	-	-	-	-	-	-
020401/020404	-	-	1.974	0.048	1.591	0.112	1.145	0.252	0.179	0.858	0.240	0.810
020502	0.594	0.553	0.685	0.493	0.041	0.967	1.096	0.273	0.891	0.373	0.059	0.953
020601/020602	0.857	0.392	0.380	0.704	1.005	0.315	0.525	0.600	1.609	0.108	0.485	0.627
020802	1.032	0.302	0.710	0.478	0.642	0.521	0.290	0.772	1.324	0.186	0.657	0.511
021407	0.771	0.441	1.541	0.123	0.125	0.900	1.195	0.232	0.417	0.677	1.511	0.131
021502	0.469	0.639	0.167	0.867	0.214	0.830	0.999	0.318	0.206	0.837	1.125	0.260
021601	-	-	1.300	0.194	0.284	0.776	0.997	0.319	0.994	0.320	0.919	0.358
021915	0.370	0.712	0.323	0.746	0.174	0.862	0.611	0.541	0.000	1.000	0.398	0.691
022003	1.403	0.161	0.342	0.732	1.363	0.173	0.023	0.982	2.431	0.015	0.753	0.451
022504/022507	1.373	0.170	0.361	0.718	2.438	0.015	1.535	0.125	0.902	0.367	0.141	0.888
022701/022704	-	-	0.803	0.422	0.809	0.419	0.404	0.686	0.613	0.540	1.514	0.130
022703	0.716	0.474	0.281	0.779	0.156	0.876	0.518	0.604	0.716	0.474	1.249	0.212
023101/023106	2.098	0.036	0.293	0.769	0.735	0.463	1.339	0.181	0.113	0.910	0.292	0.770
023301/023303	0.199	0.842	1.701	0.089	1.608	0.108	0.810	0.418	2.206	0.027	1.759	0.079
023401	0.667	0.505	1.331	0.183	1.076	0.282	0.751	0.453	0.586	0.558	2.406	0.016
023402	0.586	0.558	1.792	0.073	1.117	0.264	0.078	0.938	0.041	0.967	1.875	0.061
023403	0.303	0.762	0.156	0.876	1.120	0.263	1.769	0.077	0.152	0.880	1.215	0.224
023426	0.594	0.553	1.394	0.163	0.045	0.964	1.074	0.283	0.891	0.373	1.420	0.156
023429	0.584	0.559	0.022	0.983	0.817	0.414	0.643	0.520	0.868	0.385	0.008	0.994
023701	0.273	0.785	0.559	0.576	0.700	0.484	1.351	0.177	0.420	0.675	2.236	0.025
024001/024007	3.761	0.017	0.773	0.440	5.151	0.026	5.373	0.078	1.015	0.310	0.157	0.875
024003	0.415	0.678	1.427	0.154	1.534	0.125	1.878	0.060	0.341	0.733	1.448	0.148
024013	0.453	0.650	1.109	0.267	1.306	0.192	1.477	0.140	0.792	0.428	0.951	0.341
030101	0.508	0.611	0.280	0.779	0.823	0.411	0.844	0.398	0.075	0.940	0.775	0.438
030103	0.824	0.410	1.345	0.179	1.156	0.248	0.907	0.364	0.296	0.767	1.731	0.083
030214/030234	0.502	0.616	0.021	0.983	1.093	0.274	2.767	0.057	1.396	0.163	0.107	0.915
030215	-	-	1.386	0.166	2.105	0.035	1.430	0.153	-	-	-	-
030219	0.069	0.945	0.705	0.481	0.305	0.760	1.638	0.101	0.000	1.000	0.033	0.974
030238	1.029	0.304	1.000	0.317	0.793	0.428	1.774	0.076	1.714	0.086	0.052	0.959
030262	1.095	0.274	1.419	0.156	-	-	-	-	-	-	-	-
030282	0.625	0.532	0.426	0.670	2.292	0.022	0.792	0.428	1.014	0.311	1.366	0.172
030316	0.108	0.914	1.175	0.240	0.408	0.683	-	-	0.884	0.377	1.591	0.112
030335	1.112	0.266	0.534	0.593	0.371	0.711	1.052	0.293	0.453	0.650	0.084	0.933
030340	1.061	0.289	1.022	0.307	0.371	0.711	0.092	0.927	0.700	0.484	0.960	0.337
030341	0.537	0.592	0.142	0.887	0.156	0.876	1.418	0.156	0.537	0.592	0.104	0.917
030415	0.334	0.739	0.961	0.337	0.584	0.559	0.084	0.933	1.058	0.290	0.723	0.469
030901/030905	1.386	0.166	0.386	0.700	2.730	0.063	1.849	0.065	0.891	0.373	0.059	0.953
031401	0.573	0.567	0.670	0.503	0.132	0.895	1.384	0.166	1.234	0.217	0.997	0.319
040129	0.733	0.463	0.529	0.596	1.050	0.294	0.408	0.683	2.045	0.041	0.169	0.866
040201	0.405	0.685	0.644	0.520	1.854	0.064	1.376	0.169	1.486	0.137	0.076	0.939
040202/040204	0.662	0.508	1.285	0.199	0.529	0.597	0.805	0.421	1.612	0.107	0.891	0.373
040212	1.581	0.114	0.134	0.893	0.408	0.683	1.397	0.162	1.462	0.144	0.294	0.769

Période	Estivale				Hivernale				Annuelle			
	Kendall		Wald-Wolfowitz		Kendall		Wald-Wolfowitz		Kendall		Wald-Wolfowitz	
Stations (Q 30)	K	P-Value	U	P-Value	K	P-Value	U	P-Value	K	P-Value	U	P-Value
040401/040406	-	-	0.923	0.356	1.129	0.259	1.758	0.079	0.071	0.943	0.714	0.475
040409	0.700	0.484	0.554	0.580	-	-	-	-	-	-	-	-
040810	1.109	0.267	0.723	0.469	-	-	-	-	-	-	-	-
040814	0.838	0.402	0.081	0.936	2.546	0.011	1.694	0.090	0.537	0.591	0.128	0.898
040830	1.705	0.088	0.071	0.943	2.546	0.011	1.555	0.120	1.513	0.130	0.910	0.363
041301	1.782	0.075	0.291	0.771	1.126	0.260	1.675	0.094	0.167	0.868	0.935	0.350
041901/041902	2.857	0.043	0.284	0.776	1.378	0.168	0.573	0.566	1.324	0.186	0.657	0.511
041903	3.302	0.096	0.520	0.603	0.749	0.454	1.629	0.103	-	-	1.538	0.124
042606	0.716	0.474	1.554	0.120	0.716	0.474	0.891	0.373	0.537	0.592	0.437	0.662
043009/043012	0.498	0.619	0.517	0.605	5.583	0.024	3.765	0.017	0.417	0.677	1.511	0.131
046706	1.303	0.193	0.724	0.469	1.246	0.213	1.643	0.100	0.467	0.640	0.961	0.337
046707	2.474	0.013	2.104	0.035	1.095	0.274	0.176	0.861	1.525	0.127	1.472	0.141
050116/050144	2.329	0.020	1.353	0.176	1.112	0.266	0.357	0.721	0.206	0.837	1.125	0.260
050117/050135	2.788	0.053	2.079	0.038	0.036	0.972	1.323	0.186	0.994	0.320	0.919	0.358
050119	1.590	0.112	0.485	0.628	1.970	0.049	0.611	0.541	0.164	0.870	0.062	0.950
050301	0.403	0.687	1.036	0.300	2.347	0.019	0.481	0.630	2.217	0.027	1.175	0.240
050302/050304	2.109	0.035	0.721	0.471	1.570	0.116	0.618	0.537	1.020	0.308	1.645	0.100
050305	0.990	0.322	1.731	0.083	0.405	0.685	0.647	0.518	0.297	0.767	0.576	0.565
050408	2.106	0.035	0.969	0.333	1.647	0.099	1.199	0.231	1.647	0.099	1.199	0.230
050409	-	-	1.419	0.156	0.682	0.495	1.019	0.308	0.682	0.495	1.019	0.308
050701	2.166	0.030	0.835	0.404	1.216	0.224	0.202	0.840	0.859	0.390	1.217	0.224
050812	0.000	1.000	0.100	0.921	0.343	0.732	0.589	0.556	0.617	0.537	0.144	0.885
050813	0.894	0.371	1.043	0.297	1.610	0.107	0.086	0.932	-	-	-	-
051001	-	-	1.571	0.116	0.330	0.741	1.090	0.276	0.492	0.622	1.293	0.196
051002	2.357	0.018	-	-	1.162	0.245	0.499	0.618	1.184	0.236	0.516	0.606
051003	-	-	0.933	0.351	1.038	0.299	0.525	0.599	1.038	0.299	0.517	0.605
051004	1.557	0.119	0.476	0.634	0.375	0.707	0.713	0.476	0.662	0.508	0.598	0.550
051005	-	-	2.064	0.039	0.811	0.417	0.268	0.789	1.936	0.053	0.204	0.838
051006	0.099	0.921	0.135	0.892	1.576	0.115	2.340	0.019	1.979	0.048	2.328	0.020
051007	1.499	0.134	1.292	0.196	1.309	0.191	0.881	0.378	2.194	0.028	1.370	0.171
051011	1.252	0.210	1.118	0.263	-	-	-	-	-	-	-	-
051301	1.442	0.149	0.700	0.484	0.657	0.511	1.093	0.274	1.087	0.277	0.423	0.672
051502	2.130	0.033	0.053	0.958	1.007	0.314	2.044	0.041	1.193	0.233	1.950	0.051
052202/052219	2.579	0.099	1.639	0.101	0.131	0.896	1.071	0.284	0.081	0.935	0.856	0.392
052203/052212	2.786	0.053	0.693	0.488	1.292	0.196	2.053	0.040	0.000	1.000	0.398	0.691
052228	0.264	0.792	0.002	0.999	-	-	-	-	-	-	-	-
052231	0.225	0.822	0.139	0.889	-	-	-	-	-	-	-	-
052233	0.581	0.561	0.731	0.465	1.842	0.065	0.191	0.848	0.272	0.786	0.996	0.319
052601	2.388	0.017	1.134	0.257	1.328	0.184	0.742	0.458	2.225	0.026	-	-
052803	2.704	0.069	1.845	0.065	3.879	0.010	2.506	0.012	3.894	0.098	2.845	0.044
052805	2.002	0.045	0.523	0.601	0.653	0.514	0.816	0.415	2.073	0.038	0.579	0.563
060101	1.116	0.264	0.393	0.694	2.248	0.025	2.017	0.044	0.372	0.710	1.291	0.197
060601	0.350	0.726	0.146	0.884	1.120	0.263	0.191	0.849	0.770	0.441	0.531	0.596
061020	2.040	0.041	1.792	0.073	1.107	0.268	1.091	0.275	1.107	0.268	1.091	0.275
061022	1.369	0.171	1.349	0.177	2.195	0.028	0.764	0.445	2.293	0.022	1.063	0.288
061502	0.850	0.395	0.265	0.791	1.056	0.291	1.091	0.275	1.215	0.224	0.964	0.335
061602	0.237	0.813	0.331	0.741	0.795	0.427	-	-	0.214	0.830	-	-
061801	1.209	0.227	0.663	0.507	2.160	0.031	0.322	0.747	1.658	0.097	0.642	0.521
061905	1.107	0.268	0.282	0.778	0.302	0.763	0.077	0.938	0.302	0.763	0.077	0.938

Période	Estivale				Hivernale				Annuelle			
	Kendall		Wald-Wolfowitz		Kendall		Wald-Wolfowitz		Kendall		Wald-Wolfowitz	
Stations (Q 30)	K	P-Value	U	P-Value	K	P-Value	U	P-Value	K	P-Value	U	P-Value
061906	-	-	1.706	0.088	0.731	0.465	1.146	0.252	0.732	0.464	1.192	0.233
061909	0.219	0.827	0.482	0.630	0.000	1.000	0.027	0.979	1.166	0.244	0.958	0.338
062101	2.091	0.037	1.485	0.138	1.835	0.066	2.278	0.023	1.835	0.066	2.278	0.023
062102	1.204	0.229	0.847	0.397	1.458	0.145	1.552	0.121	1.458	0.145	1.552	0.121
062209	0.581	0.561	1.836	0.066	0.393	0.695	0.523	0.601	0.393	0.695	0.523	0.601
062701	0.083	0.934	1.242	0.214	0.353	0.724	0.348	0.728	0.441	0.659	0.291	0.771
062802	0.097	0.922	0.490	0.624	0.151	0.880	1.252	0.211	0.357	0.721	1.271	0.204
070202	-	-	-	-	1.610	0.107	1.335	0.182	-	-	-	-
070401	0.840	0.401	0.974	0.330	0.097	0.922	0.985	0.324	0.070	0.944	1.204	0.229
071401	0.042	0.967	0.233	0.816	0.044	0.965	0.355	0.723	0.088	0.930	1.022	0.307
072301	-	-	1.621	0.105	2.557	0.011	0.929	0.353	-	-	0.915	0.360
072302	1.846	0.065	0.131	0.896	0.288	0.773	2.032	0.042	0.000	1.000	-	-
073301/073303	0.012	0.991	0.471	0.638	0.823	0.411	0.321	0.748	2.431	0.015	0.753	0.451
073502/073503	1.321	0.187	0.603	0.547	2.017	0.044	2.498	0.012	0.640	0.522	0.405	0.686
073801	0.245	0.807	1.683	0.092	2.175	0.030	1.265	0.206	1.905	0.057	1.571	0.116
074601	0.631	0.528	0.250	0.803	0.529	0.597	0.019	0.985	0.724	0.469	0.015	0.988
074701	0.280	0.780	0.310	0.756	0.357	0.721	0.369	0.712	0.000	1.000	0.257	0.797
074902	0.045	0.964	0.512	0.608	0.453	0.650	1.512	0.130	0.135	0.893	1.536	0.125
074903	0.211	0.833	1.455	0.146	0.770	0.441	2.477	0.013	0.770	0.441	2.477	0.013
075601	0.152	0.880	0.613	0.540	2.099	0.036	0.265	0.791	1.364	0.173	0.095	0.924
076601	1.668	0.095	0.523	0.601	-	-	-	-	-	-	-	-
080101/080102	1.835	0.066	0.023	0.982	0.738	0.461	0.750	0.453	1.072	0.284	0.383	0.702
080701	0.513	0.608	0.748	0.455	0.338	0.735	0.573	0.567	0.936	0.349	0.954	0.340
080704	1.104	0.270	0.453	0.651	0.292	0.770	1.151	0.250	0.560	0.576	1.508	0.132
080705/080717	0.552	0.581	0.146	0.884	2.428	0.015	0.072	0.942	1.350	0.177	0.532	0.595
080707	1.559	0.119	1.603	0.109	0.558	0.577	0.815	0.415	0.398	0.691	1.259	0.208
080718	1.542	0.123	0.798	0.425	0.325	0.745	1.039	0.299	0.114	0.910	0.940	0.347
080801	0.552	0.581	0.273	0.785	0.393	0.695	0.236	0.813	0.811	0.417	0.562	0.574
080809	0.220	0.826	0.521	0.603	1.658	0.097	0.162	0.872	1.463	0.143	0.365	0.715
081002	1.687	0.092	1.439	0.150	0.014	0.989	0.117	0.907	0.227	0.820	0.051	0.959
081006	0.451	0.652	0.345	0.730	0.528	0.597	0.285	0.776	0.091	0.928	0.772	0.440
081007	0.687	0.492	0.319	0.750	0.471	0.637	0.261	0.794	0.739	0.460	0.702	0.483
090601	0.681	0.496	1.292	0.196	0.211	0.833	0.956	0.339	0.876	0.381	0.548	0.584
090602	0.770	0.441	1.677	0.094	0.681	0.496	0.178	0.859	0.280	0.780	0.012	0.990
090605	0.606	0.544	1.141	0.254	-	-	0.798	0.425	2.348	0.019	0.449	0.653
090606	0.594	0.553	0.729	0.466	-	-	2.409	0.016	-	-	2.409	0.016
090607	0.909	0.363	1.585	0.113	0.292	0.770	1.450	0.147	0.379	0.705	1.175	0.240
090609	0.000	1.000	0.788	0.431	0.297	0.767	0.596	0.552	0.297	0.767	0.596	0.552
090610	1.576	0.115	0.986	0.324	0.700	0.484	0.653	0.514	0.135	0.893	1.180	0.238
090613	0.169	0.866	0.684	0.494	1.298	0.194	1.302	0.193	1.395	0.163	1.114	0.265
092703	1.460	0.144	1.481	0.139	0.453	0.651	1.378	0.168	0.227	0.820	1.346	0.178
092704	0.379	0.705	0.838	0.402	0.000	1.000	0.264	0.791	0.041	0.967	0.081	0.935
092706	0.693	0.488	0.138	0.890	0.135	0.893	0.923	0.356	0.396	0.692	1.097	0.273
092707	1.112	0.266	1.061	0.289	1.364	0.173	0.421	0.674	1.112	0.266	0.661	0.508
092708	0.876	0.381	1.088	0.276	0.060	0.952	0.334	0.738	0.520	0.603	0.895	0.371
092711	0.396	0.692	0.128	0.899	0.594	0.553	1.821	0.069	0.594	0.553	1.821	0.069
092715	0.169	0.866	1.052	0.293	0.214	0.830	0.591	0.554	0.929	0.353	1.152	0.249
092717	1.287	0.198	0.544	0.586	1.584	0.113	0.861	0.389	1.533	0.125	0.306	0.759
092722	0.490	0.624	0.471	0.638	0.840	0.401	0.239	0.811	0.840	0.401	0.239	0.811

Période	Estivale				Hivernale				Annuelle			
	Kendall		Wald-Wolfowitz		Kendall		Wald-Wolfowitz		Kendall		Wald-Wolfowitz	
Stations (Q 7)	K	P-Value	U	P-Value	K	P-Value	U	P-Value	K	P-Value	U	P-Value
010101	0.053	0.958	1.256	0.209	1.960	0.050	1.180	0.238	1.015	0.310	0.645	0.519
010801/010802	-	-	1.854	0.064	0.356	0.722	0.688	0.491	0.108	0.914	0.112	0.911
010901/010902	0.892	0.372	1.676	0.094	1.669	0.095	1.444	0.149	1.719	0.086	0.265	0.791
011001/011003	1.008	0.313	1.402	0.161	-	-	2.547	0.011	-	-	2.361	0.018
011201	2.210	0.027	1.042	0.297	0.150	0.881	1.461	0.144	0.095	0.924	1.387	0.166
011507	0.868	0.385	2.020	0.043	1.611	0.107	0.328	0.743	0.395	0.693	0.360	0.719
011508	1.515	0.130	0.813	0.416	0.000	1.000	0.226	0.821	2.101	0.036	1.754	0.079
020302	0.623	0.533	0.251	0.802	-	-	-	-	-	-	-	-
020401/020404	-	-	2.182	0.029	1.591	0.112	1.022	0.307	1.986	0.047	1.769	0.077
020502	0.693	0.488	0.866	0.386	0.453	0.650	0.036	0.971	0.693	0.488	1.309	0.191
020601/020602	0.704	0.481	1.498	0.134	0.882	0.378	0.574	0.566	0.338	0.735	1.115	0.265
020802	0.999	0.318	0.440	0.660	0.357	0.721	0.222	0.824	1.047	0.295	0.520	0.603
021407	0.968	0.333	1.495	0.135	0.042	0.967	0.771	0.441	0.625	0.532	1.374	0.169
021502	0.094	0.925	0.607	0.544	0.232	0.817	0.210	0.834	0.638	0.524	0.481	0.631
021601	-	-	1.499	0.134	0.227	0.820	0.581	0.561	1.733	0.083	0.137	0.891
021915	0.158	0.874	0.212	0.832	0.124	0.901	0.665	0.506	0.158	0.874	0.592	0.554
022003	1.621	0.105	0.504	0.615	1.789	0.074	0.748	0.454	-	-	0.439	0.661
022504/022507	1.635	0.102	0.021	0.983	2.220	0.026	1.082	0.279	0.286	0.775	0.197	0.844
022701/022704	-	-	0.935	0.350	1.288	0.198	0.088	0.930	-	-	0.759	0.448
022703	0.358	0.721	0.137	0.891	0.000	1.000	0.765	0.445	0.537	0.592	1.086	0.277
023101/023106	2.472	0.013	1.995	0.046	0.506	0.613	1.294	0.196	3.114	0.018	2.053	0.040
023301/023303	0.851	0.395	0.761	0.447	1.236	0.216	1.199	0.231	0.801	0.423	0.735	0.462
023401	0.955	0.340	0.969	0.333	1.348	0.178	1.104	0.270	1.294	0.196	1.719	0.086
023402	0.449	0.653	1.313	0.189	1.866	0.062	0.552	0.581	0.177	0.859	1.198	0.231
023403	1.061	0.289	0.413	0.680	1.329	0.184	1.820	0.069	0.985	0.325	0.257	0.797
023426	0.396	0.692	1.665	0.096	0.495	0.620	0.068	0.945	0.000	1.000	1.277	0.202
023429	0.537	0.591	0.468	0.640	1.004	0.315	1.709	0.087	1.067	0.286	0.123	0.902
023701	0.868	0.385	0.492	0.623	0.700	0.484	1.300	0.194	1.679	0.093	0.936	0.349
024001/024007	4.847	0.013	1.824	0.068	4.250	0.021	5.259	0.015	4.527	0.060	3.194	0.014
024003	0.593	0.553	1.342	0.180	1.193	0.233	1.502	0.133	0.211	0.833	1.556	0.120
024010	0.343	0.732	1.215	0.224	-	-	-	-	-	-	-	-
024013	0.152	0.880	1.441	0.150	0.765	0.444	1.394	0.163	0.990	0.322	1.011	0.312
030101	0.435	0.663	0.023	0.982	1.355	0.175	0.548	0.584	0.830	0.407	0.458	0.647
030103	0.085	0.932	1.758	0.079	1.216	0.224	0.721	0.471	0.089	0.929	1.911	0.056
030214/030234	0.251	0.802	-	-	1.342	0.180	2.772	0.056	0.165	0.869	2.006	0.045
030219	0.480	0.631	1.278	0.201	0.305	0.760	1.196	0.232	0.754	0.451	0.851	0.395
030238	0.754	0.451	1.598	0.110	1.281	0.200	0.673	0.501	0.891	0.373	0.946	0.344
030262	0.891	0.373	1.014	0.310	-	-	-	-	-	-	-	-
030282	0.459	0.646	0.180	0.857	1.587	0.113	1.376	0.169	0.220	0.826	0.559	0.576
030316	0.418	0.676	0.578	0.563	0.340	0.734	0.260	0.795	1.326	0.185	0.937	0.349
030335	0.865	0.387	1.427	0.154	0.865	0.387	0.956	0.339	0.124	0.902	1.891	0.059
030340	0.000	1.000	1.921	0.055	0.865	0.387	0.235	0.814	0.288	0.773	1.480	0.139
030341	0.537	0.592	0.649	0.517	0.156	0.876	0.160	0.873	0.358	0.721	0.668	0.504
030415	0.125	0.900	0.849	0.396	1.709	0.087	0.249	0.803	0.617	0.537	0.909	0.363
030901/030905	0.565	0.572	0.700	0.484	2.634	0.084	0.620	0.535	1.205	0.228	0.464	0.642
031401	0.749	0.454	0.369	0.712	0.199	0.842	0.800	0.424	0.970	0.332	0.295	0.768
040129	0.564	0.573	0.702	0.483	0.560	0.576	0.619	0.536	1.667	0.096	0.760	0.447
040201	0.495	0.620	0.841	0.400	1.524	0.127	1.430	0.153	1.306	0.192	0.588	0.557
040202/040204	0.300	0.764	2.275	0.023	0.174	0.862	0.801	0.423	0.315	0.753	1.957	0.050
040212	-	-	1.148	0.251	0.323	0.746	1.019	0.308	2.379	0.017	0.749	0.454

Période	Estivale				Hivernale				Annuelle			
	Kendall		Wald-Wolfowitz		Kendall		Wald-Wolfowitz		Kendall		Wald-Wolfowitz	
Stations (Q 7)	K	P-Value	U	P-Value	K	P-Value	U	P-Value	K	P-Value	U	P-Value
040401/040406	-	-	1.478	0.140	0.636	0.525	1.399	0.162	2.425	0.015	2.157	0.031
040409	0.574	0.566	0.015	0.988	-	-	-	-	-	-	-	-
040810	1.373	0.170	0.233	0.815	-	-	-	-	-	-	-	-
040814	1.058	0.290	0.208	0.835	2.546	0.011	1.074	0.283	0.490	0.624	0.414	0.679
040830	1.658	0.097	0.095	0.925	2.388	0.017	1.790	0.073	0.745	0.456	0.141	0.888
041301	2.007	0.045	0.364	0.716	1.148	0.251	1.673	0.094	0.542	0.588	0.837	0.403
041901/041902	2.969	0.030	0.036	0.971	1.831	0.067	0.542	0.588	2.969	0.030	1.286	0.199
041903	3.283	0.010	0.811	0.417	0.642	0.521	1.884	0.060	2.478	0.013	1.796	0.072
042606	0.537	0.592	1.687	0.092	0.537	0.592	1.221	0.222	0.358	0.721	0.853	0.394
043009/043012	1.326	0.185	0.628	0.530	5.619	0.019	4.162	0.032	5.951	0.027	4.914	0.089
046706	1.661	0.097	1.198	0.231	1.401	0.161	1.682	0.093	0.000	1.000	0.916	0.360
046707	3.563	0.037	2.815	0.049	1.204	0.228	2.164	0.030	2.867	0.041	2.211	0.027
050116/050144	1.863	0.063	0.929	0.353	0.794	0.427	0.253	0.800	0.606	0.544	0.278	0.781
050117/050135	-	-	-	-	0.243	0.808	1.627	0.104	0.492	0.623	1.463	0.143
050119	1.866	0.062	0.197	0.844	1.616	0.106	1.076	0.282	0.957	0.339	0.064	0.949
050301	0.149	0.881	0.486	0.627	2.031	0.042	0.345	0.730	1.405	0.160	1.308	0.191
050302/050304	2.150	0.032	0.182	0.855	0.947	0.344	0.703	0.482	0.220	0.826	1.156	0.248
050305	0.891	0.373	1.872	0.061	0.405	0.685	0.662	0.508	0.198	0.843	0.523	0.601
050408	2.094	0.036	0.404	0.686	1.862	0.063	1.589	0.112	1.804	0.071	1.825	0.068
050409	2.472	0.013	0.751	0.453	0.611	0.541	1.232	0.218	0.611	0.541	1.344	0.179
050701	1.185	0.236	0.897	0.370	1.832	0.067	0.625	0.532	0.081	0.935	0.974	0.330
050812	0.766	0.443	0.384	0.701	0.206	0.837	1.427	0.153	0.343	0.732	0.980	0.327
050813	1.431	0.152	0.818	0.414	1.610	0.107	0.003	0.998	-	-	-	-
051001	-	-	2.484	0.013	0.615	0.539	1.406	0.160	0.938	0.348	2.080	0.038
051002	-	-	-	-	0.651	0.515	0.621	0.534	0.714	0.475	0.645	0.519
051003	-	-	1.309	0.191	0.651	0.515	0.546	0.585	0.651	0.515	0.519	0.603
051004	0.969	0.332	0.515	0.606	0.169	0.866	0.482	0.630	0.448	0.654	0.591	0.554
051005	2.449	0.014	-	-	1.006	0.315	0.098	0.922	0.700	0.484	1.278	0.201
051006	0.946	0.344	1.642	0.101	1.643	0.100	2.462	0.014	2.094	0.036	-	-
051007	1.896	0.058	1.314	0.189	1.212	0.226	0.776	0.438	2.133	0.033	1.152	0.249
051011	1.369	0.171	1.178	0.239	-	-	-	-	-	-	-	-
051301	1.758	0.079	0.406	0.685	0.056	0.955	1.342	0.179	0.200	0.842	0.608	0.543
051502	2.386	0.017	0.524	0.600	0.635	0.525	1.917	0.055	0.387	0.698	1.649	0.099
052202/052219	-	-	1.136	0.256	0.611	0.541	1.819	0.069	1.744	0.081	1.893	0.058
052203/052212	-	-	1.802	0.072	1.683	0.092	2.518	0.012	3.217	0.013	3.188	0.014
052228	0.322	0.747	0.082	0.935	-	-	-	-	-	-	-	-
052231	0.000	1.000	0.666	0.505	-	-	-	-	-	-	-	-
052233	0.792	0.428	0.445	0.656	1.963	0.050	0.392	0.695	0.332	0.740	0.413	0.679
052601	3.103	0.019	2.466	0.014	1.284	0.199	1.320	0.187	3.105	0.019	3.257	0.011
052803	1.860	0.063	0.596	0.551	3.923	0.087	2.844	0.045	2.952	0.032	1.936	0.053
052805	2.330	0.020	0.523	0.601	0.142	0.887	1.536	0.124	2.372	0.018	0.567	0.571
060101	1.315	0.189	0.202	0.840	2.513	0.012	2.379	0.017	0.025	0.980	0.137	0.891
060601	0.700	0.484	0.058	0.954	0.980	0.327	0.236	0.814	0.490	0.624	0.729	0.466
061020	-	-	2.196	0.028	1.014	0.310	1.182	0.237	1.022	0.307	1.182	0.237
061022	1.144	0.253	-	-	2.157	0.031	1.114	0.265	2.251	0.024	1.328	0.184
061502	1.411	0.158	0.680	0.496	0.792	0.428	1.376	0.169	0.898	0.369	1.298	0.194
061602	0.000	1.000	0.587	0.557	0.308	0.758	0.174	0.862	0.107	0.915	2.383	0.017
061801	1.918	0.055	1.224	0.221	2.160	0.031	0.239	0.811	1.565	0.118	0.223	0.824
061905	1.049	0.294	1.117	0.264	0.164	0.870	0.318	0.751	0.164	0.870	0.318	0.751

Période	Estivale				Hivernale				Annuelle			
	Kendall		Wald-Wolfowitz		Kendall		Wald-Wolfowitz		Kendall		Wald-Wolfowitz	
Stations (Q 7)	K	P-Value	U	P-Value	K	P-Value	U	P-Value	K	P-Value	U	P-Value
061906	-	-	1.941	0.052	0.646	0.518	1.311	0.190	0.571	0.568	1.835	0.066
061909	0.219	0.827	0.038	0.969	0.766	0.443	0.384	0.701	1.029	0.304	1.334	0.182
062101	2.080	0.038	0.687	0.492	1.861	0.063	1.967	0.049	1.861	0.063	2.045	0.041
062102	0.691	0.489	0.520	0.603	1.182	0.237	0.957	0.339	1.182	0.237	0.957	0.339
062209	0.792	0.428	1.560	0.119	0.332	0.740	0.727	0.467	0.332	0.740	0.727	0.467
062701	0.584	0.559	0.526	0.599	0.132	0.895	0.152	0.879	0.441	0.659	0.447	0.655
062802	0.227	0.820	0.631	0.528	0.815	0.415	0.541	0.589	0.097	0.922	1.468	0.142
070202	-	-	-	-	1.073	0.283	1.675	0.094	-	-	-	-
070401	0.910	0.363	1.177	0.239	0.162	0.871	0.545	0.586	0.420	0.675	0.712	0.477
071401	0.208	0.835	0.999	0.318	0.088	0.930	0.672	0.501	0.397	0.692	0.996	0.319
072302	2.116	0.034	0.130	0.896	0.124	0.902	2.306	0.021	0.045	0.964	2.863	0.042
073301/073303	0.573	0.567	0.694	0.488	0.981	0.327	0.342	0.732	0.564	0.573	0.038	0.969
073502/073503	1.242	0.214	0.733	0.463	2.260	0.024	-	-	2.266	0.023	-	-
073801	0.342	0.732	1.690	0.091	2.195	0.028	2.020	0.043	1.905	0.057	1.979	0.048
074601	0.309	0.758	0.697	0.486	0.573	0.567	0.250	0.803	0.771	0.441	0.157	0.875
074701	0.195	0.845	0.344	0.731	0.293	0.769	0.282	0.778	0.072	0.942	0.239	0.811
074902	0.675	0.499	0.393	0.694	0.288	0.773	1.647	0.100	0.045	0.964	1.629	0.103
074903	0.030	0.976	1.200	0.230	1.050	0.294	-	-	1.050	0.294	-	-
075601	0.000	1.000	0.517	0.605	2.309	0.021	0.343	0.731	1.667	0.096	0.507	0.612
076601	2.377	0.017	0.968	0.333	2.546	0.011	-	-	2.505	0.012	-	-
080101/080102	1.634	0.102	0.112	0.911	0.506	0.613	0.537	0.591	1.069	0.285	0.721	0.471
080701	0.513	0.608	0.565	0.572	0.451	0.652	0.578	0.563	1.057	0.291	0.752	0.452
080704	1.330	0.183	0.143	0.886	0.227	0.820	1.059	0.290	0.490	0.624	1.454	0.146
080705/080717	0.560	0.575	0.204	0.839	2.388	0.017	0.211	0.833	2.464	0.014	0.480	0.631
080707	1.559	0.119	1.528	0.127	0.068	0.946	0.804	0.421	0.057	0.955	1.327	0.184
080718	1.320	0.187	0.820	0.412	0.077	0.938	1.178	0.239	0.178	0.858	1.114	0.265
080801	0.616	0.538	0.239	0.811	0.513	0.608	0.345	0.730	0.941	0.347	0.415	0.678
080809	0.250	0.802	0.439	0.661	1.475	0.140	0.502	0.616	1.285	0.199	0.703	0.482
081002	1.923	0.055	2.098	0.036	0.395	0.693	0.600	0.548	0.085	0.932	0.495	0.621
081006	0.344	0.731	1.389	0.165	0.450	0.652	0.469	0.639	0.151	0.880	0.045	0.964
081007	0.979	0.328	1.239	0.215	0.422	0.673	0.021	0.983	0.687	0.492	0.467	0.641
090601	0.552	0.581	1.015	0.310	0.121	0.903	0.975	0.330	0.467	0.641	0.591	0.555
090602	0.420	0.675	1.579	0.114	0.587	0.557	0.173	0.863	0.181	0.857	0.081	0.936
090605	1.061	0.289	0.934	0.350	-	-	0.713	0.476	2.348	0.019	0.362	0.718
090606	0.594	0.553	1.011	0.312	-	-	2.404	0.016	-	-	2.404	0.016
090607	1.136	0.256	1.472	0.141	0.162	0.871	1.455	0.146	0.455	0.649	1.197	0.231
090609	0.099	0.921	0.900	0.368	0.396	0.692	0.513	0.608	0.396	0.692	0.513	0.608
090610	1.306	0.192	1.142	0.253	0.700	0.484	0.690	0.490	0.135	0.893	1.163	0.245
090613	0.056	0.955	0.203	0.839	1.395	0.163	1.542	0.123	1.601	0.109	1.371	0.170
092703	0.616	0.538	1.645	0.100	0.576	0.565	1.410	0.158	0.434	0.665	1.478	0.139
092704	0.076	0.940	0.906	0.365	0.038	0.970	0.305	0.760	0.086	0.931	0.072	0.943
092706	0.396	0.692	0.153	0.878	0.135	0.893	1.290	0.197	0.297	0.767	1.354	0.176
092707	1.030	0.303	0.342	0.732	1.591	0.112	0.405	0.686	1.277	0.202	0.584	0.560
092708	0.681	0.496	0.906	0.365	0.211	0.833	0.295	0.768	0.357	0.721	0.979	0.327
092711	0.099	0.921	0.776	0.437	0.396	0.692	1.654	0.098	0.396	0.692	1.654	0.098
092715	0.094	0.925	1.142	0.253	0.250	0.803	0.680	0.496	0.968	0.333	1.286	0.198
092717	1.782	0.075	0.687	0.492	1.683	0.092	0.766	0.444	1.642	0.101	0.231	0.817
092722	0.490	0.624	0.945	0.345	0.840	0.401	0.436	0.663	0.840	0.401	0.436	0.663

Annexe D. Description de la méthodologie et données physiographiques et météorologiques obtenues pour les bassins versant considérés par les modèles d'estimation régionale

Annexe D.1. Méthodologie employée pour calculer les caractéristiques physiographiques et météorologiques des bassins versants

1. Superficie du bassin versant

Toutes les valeurs de superficie des bassins versants jaugés utilisées dans ce rapport ont été tirées de la Banque de Données Hydriques du ministère de l'Environnement du Québec (Ministère de l'Environnement du Québec, 2002). Pour les sites non-jaugés, l'outil de régionalisation permet de calculer le nombre de pixels présents à l'intérieur du bassin cible et en connaissant la résolution du pixel, le SIG calcule automatiquement l'aire de drainage.

2. Pente moyenne du bassin versant

La puissance de calcul d'un SIG a été utilisée pour calculer la pente moyenne du bassin versant. Cette valeur de changement de pente est calculée sur chaque pixel à partir de ses pixels voisins à partir d'un MNA. Cette représentation numérique de la pente du terrain est représentée en degré (ex. pente de 5 degrés) et ce pour chaque pixel et ses voisins. Ensuite, le SIG calcule la moyenne arithmétique sur l'ensemble du bassin versant.

3. Latitude de la station

La valeur de latitude des stations jaugées utilisée dans ce rapport a été tirée de la Banque de Données Hydriques du ministère de l'Environnement du Québec (Ministère de l'Environnement du Québec, 2002). Le SIG permet également d'extraire automatiquement cette information.

4. Pourcentage de superficie de forêt

La superficie occupée par la forêt divisée par la superficie totale du bassin ramenée en pourcentage correspond au pourcentage de forêt. Cette variable a majoritairement été extraite dans Belzile et al. (1997). Les autres pourcentages ont été calculés à l'aide d'un SIG et de cartes numériques à l'échelle du 1 : 1 000 000. Cette dernière procédure relève le nombre de pixels de

forêt et en connaissant la résolution du pixel, le SIG calcule automatiquement la proportion de forêt sur l'ensemble du bassin.

5. Pourcentage de superficie de lac

La superficie occupée par les lacs divisée par la superficie totale du bassin ramenée en pourcentage correspond au pourcentage de lac. Cette variable a majoritairement été extraite dans Belzile et al. (1997). Les autres pourcentages ont été calculés à l'aide d'un SIG et de cartes numériques à l'échelle du 1 : 1 000 000, selon la méthode introduite au point No 4.

6. Précipitation totale (solide et liquide) moyenne annuelle

La banque de données météorologiques mensuelles du MDDEP a été compilée pour chaque station de mesure (Ministère de l'Environnement, 2001). La somme de toutes ces valeurs mensuelles est faite pour une année et une valeur moyenne annuelle a été calculée pour chaque station de mesure où la donnée était existante sur plus de 15 années. Ensuite, une interpolation dans un SIG a été exécutée pour estimer sur chaque pixel du Québec habité la valeur de précipitation totale moyenne annuelle à cet endroit. Enfin, une moyenne arithmétique sur l'ensemble du bassin versant est calculée automatiquement par le SIG. Ce résultat représente la précipitation totale moyenne annuelle sur l'ensemble du bassin de drainage à l'étude.

7. Précipitation liquide moyenne pour la saison d'été-automne

La méthode utilisée au point No 6 est la même que celle employée pour la précipitation liquide moyenne d'été-automne, sauf que la compilation a été effectuée pour 6 mois seulement (juillet-décembre) durant l'année.

8. Degré-jour moyen annuel < 0°C

Le nombre de degrés-jours est calculé mensuellement de la façon suivante : la somme totale des différences entre la température moyenne quotidienne (lorsqu'elle est inférieure à la température de référence) et la température de référence, soit 0°C. Pour obtenir la valeur moyenne annuelle de cette variable sur l'ensemble d'un bassin, la méthode utilisée au point No 6 est celle employée pour le nombre de degrés-jours moyen annuel inférieurs à 0°C.

9. Degré-jour moyen annuel > 13°C

Le nombre de degrés-jours est calculé mensuellement de la façon suivante : la somme totale des différences entre la température moyenne quotidienne (lorsqu'elle est supérieure à la température de référence) et la température de référence, soit 13°C. Pour obtenir la valeur moyenne annuelle de cette variable sur l'ensemble d'un bassin, la méthode utilisée au point No 6 est celle employée pour le nombre de degrés-jours moyen annuel supérieurs à 13°C.

10. Nombre de jour moyen > 27°C

Le nombre de jours est calculé mensuellement de la façon suivante : la somme totale des jours où la température maximale quotidienne a été supérieure à la température de référence, soit 27°C. Pour obtenir la valeur moyenne annuelle de cette variable sur l'ensemble d'un bassin donné, la méthode utilisée au point No 6 est celle employée pour le nombre de jours moyen annuel supérieurs à 27°C.

Stations	BV	PCP	PMBV	PLAC	PTMA	DJBZ	PFOR	LAT	LONG	ALT	NJH27	DJH13	PLME	NCM
010101	534	N / D	2.50	0.0	1111	1193	100.0	48.478	64.529	50.3	11.1	260.4	493	30.2
010801/010802	1910	4.62	3.28	0.2	1071	1243	99.8	48.186	65.559	40.0	8.7	281.4	465	32.9
010901/010902	1340	4.41	3.58	1.0	1025	1130	96.0	48.231	65.735	27.4	9.9	299.4	472	31.6
011001/011003	1680	9.55	3.93	0.5	1102	1355	99.4	48.628	66.168	140.2	9.0	287.4	460	38.0
011201	1140	7.22	3.55	0.2	1083	1320	98.2	48.157	66.349	15.2	7.0	298.6	486	31.7
011507	2760	1.59	2.74	2.6	1024	1431	83.6	48.087	67.101	42.7	11.5	314.0	454	52.0
011508	558	3.6	3.24	9.2	1002	1346	72.1	48.492	67.45	157.0	13.5	357.8	431	53.5
020302	1090	N / D	2.85	0.0	1080	1261	100.0	48.769	64.515	25.9	10.5	269.5	450	37.4
020401/020404	659	5.22	4.15	0.3	1042	1236	99.4	48.807	64.921	104.0	10.6	270.6	418	33.9
020502	59.8	N / D	3.12	0.0	1020	1047	100.0	48.975	64.436	12.2	7.0	261.0	454	30.0
020601/020602	645	6.44	2.99	0.2	1006	1143	99.8	48.98	64.699	18.3	9.7	283.2	430	30.7
020802	1200	3.42	4.75	1.0	976	1218	99.0	49.203	65.296	39.6	6.1	273.5	386	36.0
021407	774	7.3	6.95	1.0	1012	1315	99.0	49.059	66.487	42.7	7.7	293.0	426	38.9
021502	721	5.14	5.39	0.4	1080	1242	97.8	49.056	66.672	15.2	7.3	266.6	461	43.7
021601	1650	4.62	3.28	1.0	1052	1399	94.0	48.775	67.542	18.3	9.7	291.0	469	45.5
021915	494	3.1	2.53	2.2	995	1416	97.8	48.517	68.162	77.7	11.6	344.2	435	54.7
022003	1610	3.67	2.13	3.5	1069	1394	92.0	48.413	68.556	24.4	12.3	340.7	444	52.7
022504/022507	525	4.13	2.03	0.4	1020	1359	93.0	47.612	69.646	126.2	14.2	406.1	440	57.2
022701/022704	795	5.52	1.44	0.2	1049	1300	89.0	47.381	69.958	70.0	14.1	417.2	460	62.3
022703	783	N / D	1.17	1.3	1048	1326	98.7	47.361	67.944	90.2	14.0	416.5	463	62.2
023101/023106	821	N / D	1.92	0.1	1117	1288	96.0	46.821	70.757	83.8	13.0	416.4	514	60.0
023301/023303	1160	N / D	1.71	0.7	1107	1287	62.1	46.691	71.069	77.7	11.6	398.9	522	61.2
023401	709	4.85	3.65	4.0	1115	1232	44.0	46.657	71.289	91.4	17.7	448.4	526	55.7
023402	5820	1.4	2.45	2.0	1084	1209	69.0	46.588	71.216	114.3	15.6	432.6	501	62.9
023403	1170	1.17	3.68	4.1	1055	1159	90.0	45.692	70.786	322.5	14.6	427.0	494	63.2
023426	4090	1.83	2.26	1.3	1026	1211	95.0	46.201	70.745	152.4	15.2	420.7	492	63.3
023429	3070	1.94	2.75	1.7	980	1169	96.0	46.098	70.656	161.0	15.3	425.0	480	63.3
023701	356	2.8	1.00	2.6	1076	1217	60.9	46.5	72.108	19.8	24.1	522.3	529	60.0
024001/024007	2330	1.3	2.30	4.0	1095	1204	47.0	46.195	72.284	35.1	13.6	404.7	537	61.5
024003	919	2.38	3.44	2.8	1142	1206	53.9	46.306	71.45	179.8	14.6	425.7	549	62.9
024010	25.7	N / D	2.72	0.0	1186	1203	100.0	46.176	71.458	259.0	14.3	402.1	552	60.7
024013	227	4	2.71	1.8	1139	1213	60.9	46.044	71.448	207.0	13.2	438.9	540	67.4
030101	549	2.51	1.87	1.0	1101	1100	49.0	45.792	71.969	152.4	17.6	429.8	534	66.5
030103	1540	1.9	1.99	1.0	1085	1138	40.0	46.056	72.306	64.0	21.0	515.9	546	63.2
030214/030234	642	5.6	2.40	4.0	1132	1143	84.0	45.467	71.655	198.1	13.6	496.7	518	62.8
030215	519	4.43	4.03	4.0	1070	985	57.0	45.285	71.899	190.5	23.0	540.0	461	61.9
030219	839	4.01	2.89	0.7	1102	1180	89.0	45.622	71.393	251.5	10.2	412.0	520	62.0
030238	87.2	N / D	1.99	0.0	1170	1154	75.6	45.334	71.514	281.9	15.4	559.6	508	62.1
030262	285	N / D	0.35	0.0	1046	1041	39.7	45.877	72.511	71.6	27.9	617.1	500	55.0
030282	738	4.07	2.89	0.3	1195	1180	89.4	45.581	71.387	274.3	10.3	420.2	520	61.8
030316	316	1.8	0.19	0.2	993	1063	29.0	45.954	72.859	12.2	34.2	669.1	488	72.6
030335	59.3	3.86	1.47	1.7	1244	1078	98.0	45.384	72.502	197.0	22.1	561.5	573	59.5
030340	271	3.3	1.24	3.8	1197	1023	96.2	45.364	72.784	80.0	20.8	548.4	558	61.8
030341	3310	N / D	0.95	0.9	1117	1013	67.2	45.621	72.946	21.5	32.7	668.2	531	66.1
030415	309	1.8	1.60	2.0	1004	958	42.0	45.49	73.187	23.2	27.8	730.9	489	75.3
030901/030905	2490	4.3	1.00	3.0	954	921	31.0	45.332	73.762	34.0	36.6	734.1	458	66.3
031401	219	6.9	5.42	1.0	1113	1135	84.0	45.045	71.498	326.1	13.8	421.9	472	59.3
040129	109	2.36	1.89	1.8	1155	1307	97.6	46.096	74.122	359.7	15.3	377.0	490	30.0
040201	2570	2.32	2.00	5.0	976	1399	92.0	46.354	74.779	228.6	20.0	437.8	469	52.7
040202/040204	5460	1.44	2.14	8.0	960	1346	90.1	45.736	74.69	121.9	19.7	435.5	469	40.7
040212	39.9	1.4	3.86	4.0	1009	1333	89.0	46.375	74.503	371.9	18.2	427.4	474	30.0
040401/040406	1330	1.24	1.72	15.0	996	1193	88.5	45.792	75.091	161.5	22.6	439.1	447	41.0
040409	61.6	N / D	1.09	0.0	1005	1175	100.0	45.88	75.022	195.1	24.0	470.4	474	39.4
040810	1780	1.51	1.80	9.6	893	1293	88.5	46.474	76.043	179.8	15.9	410.3	418	47.0
040814	1290	1.31	1.61	7.1	965	1224	88.9	46.078	76.069	167.6	17.7	439.3	426	49.8
040830	6840	1.35	1.48	4.2	970	1735	94.8	47.084	75.754	231.6	12.3	385.6	500	37.5

Stations	BV	PCP	PMBV	PLAC	PTMA	DJBZ	PFOR	LAT	LONG	ALT	NJH27	DJH13	PLME	NCM
041301	5150	1.2	1.61	10.0	1003	1315	93.7	45.874	76.686	137.2	20.0	440.0	426	49.5
041901/041902	3760	1.43	1.86	12.0	954	1361	88.0	46.346	77.816	182.9	24.4	484.6	430	44.5
041903	2110	N / D	0.58	9.7	946	1473	90.3	46.822	77.868	320.0	19.8	438.2	441	48.4
042606	2590	N / D	0.62	14.0	933	1276	86.0	46.778	78.487	274.3	24.3	475.2	440	48.5
043009/043012	2590	0.29	1.12	8.2	900	1868	88.0	48.367	78.853	274.3	15.2	311.0	429	48.6
046706	53.6	N / D	0.13	0.0	1042	1119	6.5	45.613	74.105	36.6	27.7	605.0	492	66.0
046707	28	N / D	0.25	0.0	1035	1107	90.0	45.65	74.092	67.1	27.9	608.7	492	78.2
050116/050144	2640	1.46	1.65	9.1	923	1578	90.9	47.676	73.043	243.0	17.1	392.7	426	30.0
050117/050135	1570	3.06	2.04	3.0	975	1631	96.0	47.767	72.737	182.9	15.1	375.3	430	37.0
050119	1390	2.3	2.03	6.5	919	1481	90.6	46.686	73.911	365.8	16.9	392.0	430	46.7
050301	4580	2.37	2.04	5.7	1078	1479	75.7	46.549	72.41	15.2	17.1	389.5	554	34.9
050302/050304	4480	2.19	1.99	3.7	1099	1454	95.3	46.584	72.405	97.5	16.9	386.5	524	34.3
050305	2870	2.1	1.99	6.0	1122	1538	94.0	47.04	72.246	166.1	15.9	369.0	573	31.9
050408	1550	7.85	3.53	2.7	1495	1543	93.4	46.853	71.877	129.5	8.1	276.8	657	36.5
050409	642	6.84	3.46	4.0	1366	1530	96.0	46.972	71.854	161.5	7.7	283.3	656	34.7
050701	355	10.3	1.71	3.4	1239	1292	68.1	46.709	71.875	30.5	15.8	372.2	589	47.4
050812	102	3.2	0.67	0.0	1179	1198	78.9	46.696	71.689	49.5	20.3	502.0	554	33.3
050813	1.68	N / D	1.54	0.0	1377	1347	100.0	46.964	71.668	262.1	13.3	433.9	664	37.5
051001	1100	8.49	4.29	2.0	1508	1566	96.0	46.894	71.151	61.0	7.5	250.5	614	32.9
051002	3.94	20	3.94	0.1	1454	1720	99.0	47.272	71.161	731.5	4.2	176.7	622	42.5
051003	9.17	23	4.12	0.1	1439	1712	99.0	47.271	71.138	563.9	4.2	181.1	623	35.0
051004	1.22	16	3.98	0.1	1406	1735	99.0	47.289	71.162	762.0	4.0	172.4	623	30.0
051005	269	7.1	3.08	2.0	1452	1759	97.0	47.259	70.137	442.0	3.7	176.6	601	38.8
051006	58.8	12.4	3.11	1.0	1520	1786	95.0	47.327	71.103	670.6	4.2	178.6	591	30.0
051007	3.57	13	3.94	0.1	1454	1720	99.0	47.273	71.161	731.5	4.2	176.7	619	42.5
051011	0.69	N / D	2.35	0.6	1499	1798	99.4	47.324	71.127	780.0	3.3	174.1	590	43.3
051301	865	10.12	4.91	1.0	1002	1390	91.0	47.447	70.511	15.2	13.4	358.6	413	41.6
051502	1700	5.95	4.79	3.0	1010	1505	96.0	47.694	70.217	30.5	7.4	310.9	422	37.0
052202/052219	1340	2.9	2.48	1.5	1003	1226	96.0	46.01	73.427	53.3	20.8	405.5	461	36.9
052203/052212	1270	4.47	3.18	4.1	1074	1284	95.0	46.03	73.705	152.4	18.3	403.0	484	34.3
052228	190	4.7	2.54	1.7	997	1315	98.3	46.339	73.652	237.7	17.5	343.5	453	35.0
052231	76.7	N / D	1.55	3.8	1056	1229	96.2	45.895	73.86	143.3	22.7	540.7	473	49.8
052233	647	14	1.60	4.0	999	1168	85.0	45.846	73.493	16.8	28.0	580.9	455	56.8
052601	1030	5.1	2.50	5.4	986	1275	81.3	46.301	73.097	76.2	18.0	351.9	447	40.7
052803	53.2	N / D	2.21	16.7	1039	1361	83.3	46.51	73.21	283.5	21.6	400.7	485	42.4
052805	774	12	2.24	8.0	976	1428	92.0	46.601	73.186	182.9	16.4	373.4	438	30.9
060101	736	6.68	5.32	4.0	990	1392	95.7	48.186	70.051	42.7	12.0	319.9	415	30.7
060601	572	11.19	3.13	3.4	908	1559	95.4	48.275	72.868	155.0	14.1	329.2	420	44.9
061020	1110	4.98	2.14	3.2	1269	1723	96.8	48.182	71.645	359.7	4.8	225.9	600	39.9
061022	495	4.2	2.44	3.0	1283	1702	97.0	47.941	71.382	554.7	3.7	256.0	565	50.4
061502	2280	2.45	2.02	4.0	1071	1685	96.0	48.375	71.994	219.5	7.1	270.6	544	43.5
061602	562	N / D	1.10	8.8	1016	1702	91.2	48.206	72.239	323.1	7.9	332.4	448	55.0
061801	1090	2.01	2.03	6.7	928	1784	89.0	48.814	72.048	103.6	16.9	311.4	468	41.6
061905	11100	0.53	2.12	9.0	895	2016	91.0	49.276	73.357	304.8	6.4	229.9	410	47.4
061906	4330	1.43	2.04	13.0	912	1957	87.0	49.257	73.708	368.8	11.6	267.7	425	45.8
061909	585	N / D	1.33	1.5	803	1802	98.5	48.684	72.514	120.0	16.4	385.8	362	40.0
062101	9320	1.31	2.50	5.0	943	2187	94.0	48.899	72.212	115.8	7.6	213.0	451	43.7
062102	9870	1.6	1.97	4.0	911	2055	95.0	48.888	72.264	117.3	8.6	237.8	429	44.0
062209	3600	3.5	2.38	8.0	964	2253	92.0	49.881	70.928	241.0	7.2	208.5	430	48.6
062701	746	9	3.49	1.7	1060	1651	91.0	48.489	70.974	99.1	13.9	355.0	546	39.3
062802	1100	8.52	4.26	4.5	1057	1459	95.1	48.267	69.908	18.3	12.9	347.5	511	30.8
070202	40.7	N / D	2.64	4.0	1061	1397	96.0	48.408	69.524	115.0	14.0	332.2	476	32.4
070401	3085	2.8	3.02	6.0	1037	1529	94.1	48.648	68.183	65.5	15.4	340.9	470	32.0
071401	1570	3.1	2.99	6.7	907	1242	93.3	49.331	67.654	5.0	8.5	200.2	348	31.2
072301	19000	1.67	2.93	12.0	975	2293	88.0	50.35	66.19	30.5	3.6	112.4	382	44.6
072302	3390	0.92	1.69	10.7	828	2602	86.7	52.189	66.891	502.9	2.9	103.8	379	45.3

Stations	BV	PCP	PMBV	PLAC	PTMA	DJBZ	PFOR	LAT	LONG	ALT	NJH27	DJH13	PLME	NCM
073301/073303	676	5.48	2.40	7.0	967	1445	93.0	50.2825	64.782	15.2	1.3	122.8	486	53.8
073502/073503	7230	3.12	2.80	7.7	919	2181	90.4	50.686	64.581	210.0	2.9	103.2	388	51.0
073801	13000	1.3	2.33	12.0	1007	2225	88.0	50.308	63.623	15.2	1.5	93.3	386	38.5
074601	2060	3.35	2.06	10.0	1047	1731	86.0	50.253	62.212	15.2	1.0	92.1	443	47.2
074701	5590	2.04	2.30	11.0	1042	1913	87.0	50.248	26.118	15.2	0.9	91.8	424	50.3
074902	11600	1.58	2.14	6.8	1022	2332	92.9	51.142	61.611	152.4	2.0	80.7	395	54.6
074903	15600	1.61	2.25	11.0	1021	2247	87.0	50.427	61.714	42.7	1.6	82.1	402	54.8
075601	2950	1.7	1.79	9.0	993	1327	90.0	50.384	59.991	76.2	1.0	70.2	506	26.7
076601	6630	N / D	1.90	16.0	1101	1855	83.0	51.773	57.6	30.5	1.1	97.0	592	27.0
080101/080102	3680	0.29	1.02	23.0	844	1930	72.0	48.57	78.123	304.8	16.6	335.0	417	53.4
080701	57500	0.2	1.72	19.0	856	1968	81.0	50.134	77.421	243.8	12.5	307.1	439	49.4
080704	18700	0.25	1.01	21.0	890	2039	79.0	49.697	75.985	275.2	11.3	297.8	441	48.0
080705/080717	8310	0.4	1.85	17.0	936	1793	83.0	48.371	77.119	304.8	15.9	328.6	462	55.0
080707	22200	0.27	2.01	18.0	875	1814	82.0	49.753	77.614	249.9	14.7	326.7	453	49.9
080718	31900	0.34	1.59	19.0	884	2045	80.0	49.858	77.187	289.6	12.2	307.0	435	51.7
080801	17100	0.46	1.91	32.0	790	2173	68.0	51.185	77.433	208.8	10.1	231.3	387	47.5
080809	9820	0.56	2.11	20.0	826	2188	73.0	50.746	76.388	253.0	11.7	260.4	393	61.3
081002	40900	0.33	1.71	20.0	782	2341	78.0	51.449	76.866	219.5	4.4	175.0	368	37.8
081006	7280	0.77	2.26	11.2	818	2461	88.8	51.083	72.878	396.2	0.8	158.2	393	48.9
081007	18100	0.75	1.58	22.0	814	2351	78.0	51.042	73.81	365.8	1.7	163.2	376	39.0
090601	44300	0.57	1.73	5.0	646	2320	94.0	52.246	78.073	33.5	9.1	165.4	339	26.7
090602	27700	0.47	2.37	9.0	747	2609	90.0	52.197	75.992	213.4	3.6	145.5	363	30.3
090605	1870	2.4	1.99	15.0	733	2550	84.0	52.216	75.877	243.8	7.4	166.8	343	24.1
090606	1970	1.74	1.75	7.0	723	2679	91.6	52.771	76.16	243.8	8.7	157.8	335	21.0
090607	3390	1.32	1.97	12.0	727	2592	87.5	52.652	76.186	243.8	8.8	159.8	343	22.0
090609	3700	1.2	2.03	11.0	727	2628	87.6	52.722	75.994	243.8	8.5	158.2	339	23.3
090610	11600	0.63	2.77	8.0	790	2701	90.8	52.026	73.411	365.8	1.7	128.1	371	34.4
090613	21400	0.53	2.43	9.0	787	2629	90.7	52.171	74.592	304.8	2.5	139.1	367	32.8
092703	37000	0.33	1.46	23.0	753	2889	76.4	53.628	74.528	243.8	1.8	102.2	347	37.8
092704	96600	0.55	2.30	17.0	666	2799	82.5	53.73	78.573	30.5	3.6	121.9	340	31.3
092706	18600	0.99	2.90	9.0	695	2963	89.5	53.756	76.994	121.9	6.9	145.4	306	44.0
092707	10900	0.63	1.46	22.0	746	2864	77.5	53.654	76.644	152.4	7.1	145.1	344	44.0
092708	19100	0.99	3.12	12.0	723	2768	86.8	53.621	74.705	243.8	2.8	103.5	342	29.7
092711	13800	N / D	2.75	12.0	727	2760	87.0	53.284	74.748	335.3	3.5	131.3	347	29.5
092715	13200	0.83	2.70	13.0	765	2763	86.0	53.167	74.473	365.8	3.4	130.9	348	29.4
092717	10200	0.82	2.54	22.0	756	2959	77.2	53.936	73.469	335.3	3.7	115.7	323	30.0
092722	12800	0.34	1.46	24.0	822	2869	76.0	53.599	71.193	472.4	1.5	99.5	353	40.0

Notation	Unité	Variable
PMBV	(°)	Pente moyenne du bassin versant
PCP	(m/Km)	Pente moyenne du cours d'eau principal
LAT	(°)	Latitude de la station
LONG	(°)	Longitude de la station
ALT	(m)	Altitude de la station
PFOR	(%)	Pourcentage de superficie de forêt
PLAC	(%)	Pourcentage de superficie de lac (comprenant les marais)
PTMA	(mm)	Précipitation totale (solide et liquide) moyenne annuelle
PLME	(mm)	Précipitation liquide moyenne pour la saison d'été-automne (juillet-décembre)
DJBZ	(dgr-jr)	Degré-jour moyen annuel < 0°
DJH13	(dgr-jr)	Degré-jour moyen annuel > 13°
NJH27	(nb de jours)	Nombre de jours où la température est > 27 °
NCM	(-)	Numéro de courbe moyen

Annexe E. Classification des caractéristiques du sol, de la végétation et classes de drainage.

Annexe E.1. Classification américaine

Groupe de sol hydrologique	Caractéristiques des groupes de sol
A	Sols présentant des taux élevés d'infiltration lorsque fortement mouillés, et constitués principalement de couches profondes de sable ou de gravier drainées de façon modérée à excessive. Ces sols ont un taux rapide de transmission d'eau.
B	Sols présentant des taux modérés d'infiltration lorsque fortement mouillés, et constitués principalement de textures allant de modérément profondes à profondes, de même que de modérément fines à modérément grossières. Ces sols ont un taux modéré de transmission d'eau.
C	Sols présentant de bas taux d'infiltration lorsque fortement mouillés, et constitués principalement de couches qui entravent le mouvement de l'eau vers le bas, ou encore de couches dont la texture varie de modérément fine à fine. Ces sols ont un taux lent de transmission d'eau.
D	Sols présentant de très bas taux d'infiltration lorsque fortement mouillés, et constitués principalement d'argile avec un fort potentiel de gonflement, d'une nappe phréatique élevée permanente, d'un horizon argileux compact ou d'une couche d'argile en surface (ou bien près d'elle), ainsi que de couches peu profondes de matériaux pratiquement imperméables. Ces sols ont un taux très lent de transmission d'eau.

Annexe E.2. Classes de végétation provenant de la carte pédo-paysage du Canada

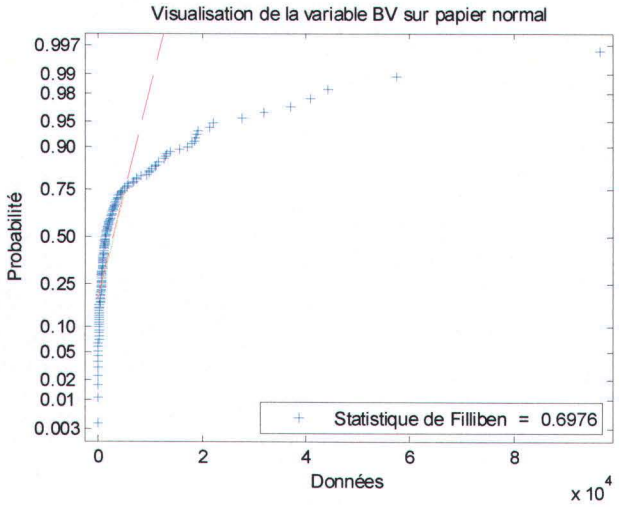
Symboles de classe de végétation	Description
A	**Cultures :** Grandes cultures annuelles.
B	**Bog :** Des arbres peuvent pousser ou non sur les bogs qui sont généralement recouverts de Sphagnum spp. et de plantes éricacées buissonneuses.
C	**Forêt de conifères :** Dominée par des espèces à aiguilles et à cône. Dans les régions à régime écoclimatique subarctique, ceci fait référence à une forêt de conifères ouverte à lichen; dans les régions à régimes écoclimatiques boréales ceci fait référence à une forêt de conifères à couvert fermé.
D	**Forêt de feuillus** : Dominée par des espèces latifoliées (à grandes feuilles).
F	**Fen :** Dominé par des cypéracées, des graminées, des roseaux et des mousses brunes avec quelques arbustes et, parfois, une couverture éparse d'arbres.
G	**Prairie** Prairie autochtone pérenne ou pâturage bonifié.
H	**Désert arctique** : Zones sans végétation du désert polaire du Haut-Arctique; peut être causé par des facteurs climatiques (trop froid ou trop sec) ou édaphiques (faible teneur en éléments nutritifs ou substratum toxique), ou par les deux à la fois.
L	**Lichen :** Dominé par les lichens avec des quantités importantes de mousses et incluant habituellement des buissons peu ou moyennement éricacés
M	**Forêt mixte de conifères et de feuillus :** Voir codes C et D.
P	**Prairie-parc** : Transition forêt-prairie composée d'une mosaique de tremblaies associées à des cultures, des prairies et des prairies herbeuses.
R	**Terres marécageuses** : Configuration superficielle en mosaique composée de cuvettes ou de chenaux intercalés à des touffes émergées de cypéracées, de graminées, de joncs et de roseaux, bordant des prairies herbeuses et des bandes périphériques d'arbustes ou d'arbres; les plantes aquatiques submergées et flottantes sont abondantes dans les zones d'eau libre.
S	**Arbustaies** : Dominées par des espèces arbustives

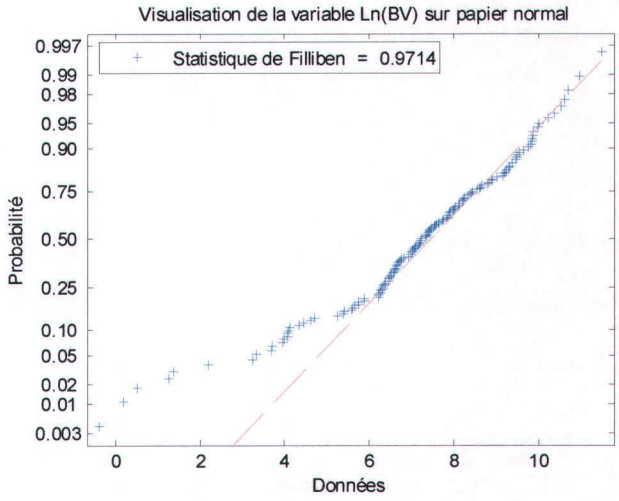
Symboles de classe de végétation	Description
SP	**Tourbe de carex** : Dominée par le Carex spp. et d'ordinaire à décomposition et développement du tapis végétal moyens; les feuilles de carex sont facilement identifiables à l'oeil nu
TA	**Toundra alpine** : Terrain sans arbre qui se trouve en hautes altitudes immédiatement au-dessus de la zone forestière et de la limite forestière altitudinale; la végétation de toundra comprend les lichens, les mousses, les cypéracées, les graminées, les plantes herbacées dicotylédones et les arbustes bas (20 cm ou moins) y compris les éricacées, les saules nains et les bouleaux.
TH	**Toundra d'arbustes hauts :** Dominé par des arbustes de 20 à 60 cm de haut qui poussent dans la région basse écoclimatique de l'Arctique.
TM	**Toundra d'arbustes moyens :** Semblable à la toundra à arbuste bas (voir code TL), sauf que les arbustes y sont de taille moyenne (>20 cm).
TL	**Toundra d'arbustes bas** : Terrain sans arbre qui se trouve en haute latitude et surtout dans la zone immédiatement au nord de la forêt boréale, y compris les parties sans arbres de l'écotone forêt--toundra adjacent à la limite forestière; la végétation de toundra comprend les lichens, les mousses, les cypéracées, les graminées, les plantes herbacées dicotylédones et les arbustes bas (20 cm ou moins) y compris les éricacées, les saules nains et les bouleaux.
TB	**Toundra, herbes brisées - arbustes bas** : Les arbustes nains, les Dryas et les saules sont des composantes importantes de la végétation. Il y a d'autres plantes vasculaires, mais leur couvert végétal est faible. Les lichens crustacés sont très répandus sur le sol de surface. Le couvert végétal est de 10 à 20 %.
U	**Surface sans végétation**
W	**Pré, humide** : Dominé par les carex et les herbes cotonneuses avec des mousses humides (ex. Mnium spp., Sphagnum spp.) et des herbes occasionnelles.
#	**Ne s'applique pas**

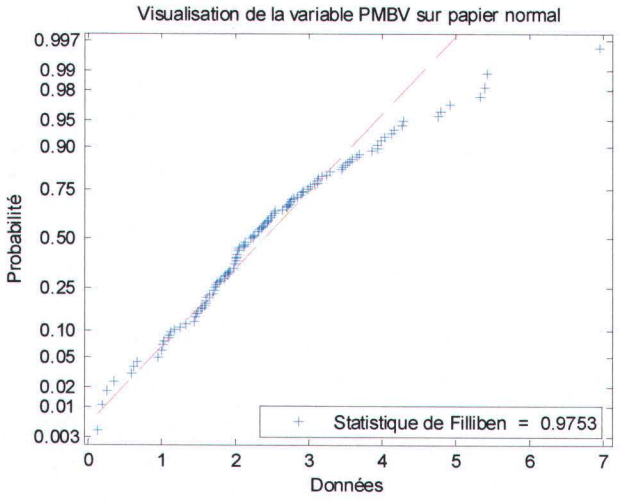
Annexe E.3. Classes de drainage provenant de la carte pédo-paysage du Canada

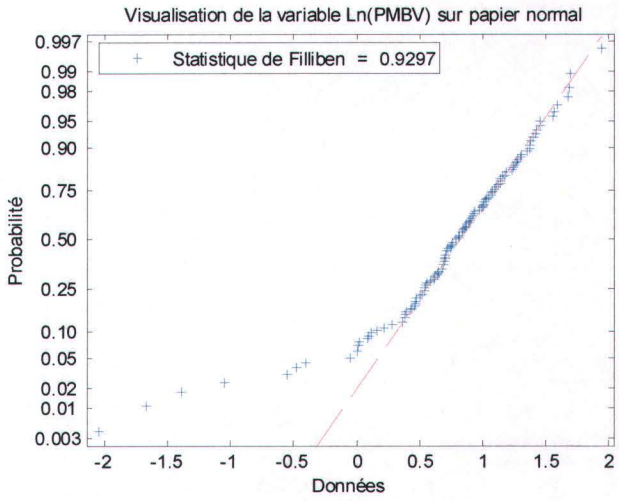
Symboles de classe de drainage	Description
E	**Excessif :** L'eau s'écoule du sol beaucoup plus rapidement qu'elle n'y pénètre; le surplus d'eau descend très rapidement dans les cas où le matériau sous-jacent est perméable; l'écoulement souterrain peut être très rapide lorsque les pluies sont intenses là où le gradient est abrupt; l'eau provient des précipitations.
R	**Rapide** : L'eau s'écoule du sol plus rapidement qu'elle n'y pénètre; le surplus d'eau descend vers le bas dans les cas où le matériau sous-jacent est perméable; il peut se produire un écoulement souterrain sur les gradients abrupts lors des pluies intenses; l'eau provient des précipitations.
W	**Bon :** L'eau s'écoule du sol aisément mais non rapidement; le surplus d'eau descend facilement dans le matériau sous-jacent perméable ou migre latéralement sous forme d'écoulement souterrain; ces matériaux retiennent fréquemment de fortes quantités d'humidité permettant la croissance des plantes après les pluies ou à la suite d'irrigations.
M	**Moyen :** L'eau s'écoule du sol un peu plus lentement qu'elle n'y pénètre; le surplus d'eau s'écoule un peu lentement à cause de la faible perméabilité, de la surface de saturation élevée, du faible gradient ou d'une combinaison de ces facteurs; l'eau provient essentiellement des précipitations dans les sols à texture moyenne à fine; dans les sols à texture grossière, des volumes importants d'écoulement souterrain s'ajoutent aux précipitations.
I	**Imparfait :** L'eau s'écoule du sol suffisamment lentement (par rapport à l'apport d'eau) pour que le sol reste humide durant une grande partie de la saison de croissance des plantes; le surplus d'eau descend lentement vers le bas là où les précipitations constituent le principal apport; dans les cas où les eaux souterraines ou subsuperficielles, ou les deux, constituent la principale source, le taux d'écoulement peut varier, mais le sol demeure humide durant une importante partie de la saison de croissance des plantes.
P	**Faible :** Étant donné que l'eau s'écoule beaucoup plus lentement qu'elle y est apportée, le sol demeure humide durant une grande partie de la période où le sol n'est pas gelé; il y a la plupart du temps un surplus d'eau dans le sol; l'écoulement superficiel ou souterrain, ou les deux, s'ajoute aux précipitations comme

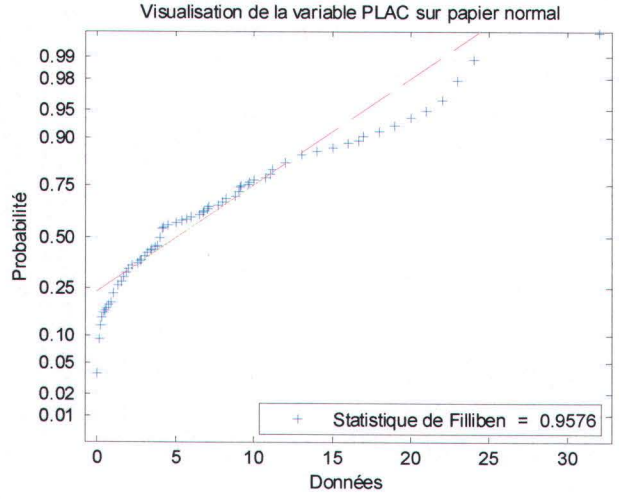
Symboles de classe de drainage	Description
	principale source d'eau; il peut y avoir aussi une nappe d'eau suspendue.
V	**Très faible :** L'eau s'écoule tellement lentement que la surface de saturation affleure à la surface durant une large part de la période où le sol n'est pas gelé; l'écoulement de la nappe souterraine et l'écoulement souterrain constituent les principales sources d'eau; les précipitations jouent un rôle moins grand, sauf là où il y a une nappe d'eau suspendue.
#	**Ne s'applique pas**

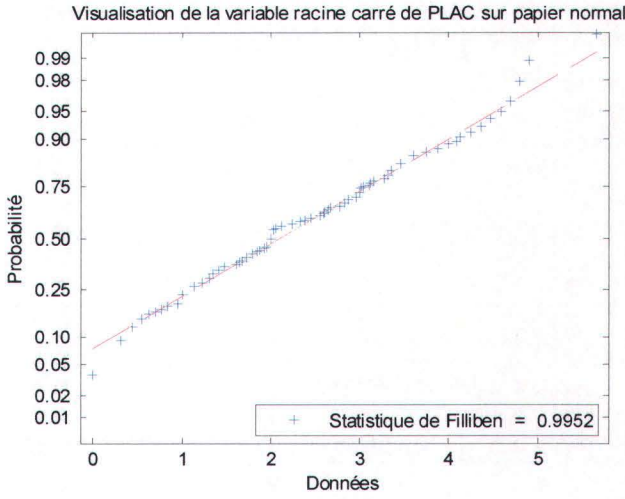

Visualisation de la variable BV sur papier normal
Probabilité
0.997
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
0.003
Statistique de Filliben = 0.6976
0
2
4
6
8
Données
x 10^4

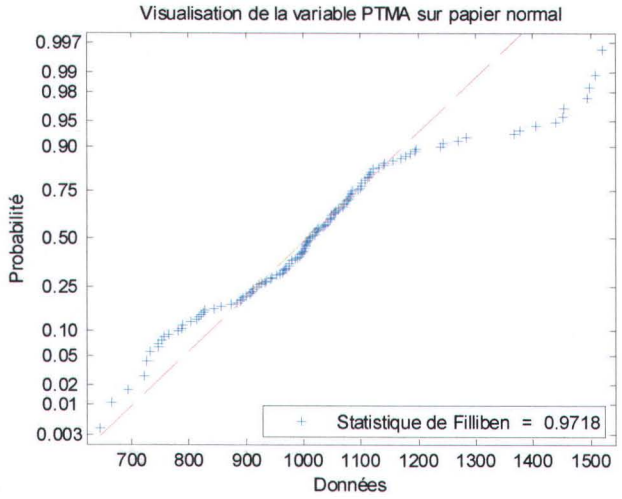

Visualisation de la variable Ln(BV) sur papier normal
Probabilité
0.997
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
0.003
Statistique de Filliben = 0.9714
0
2
4
6
8
10
Données

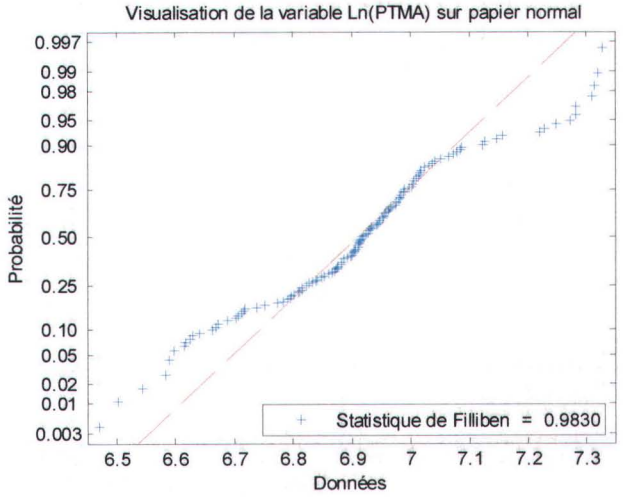

Visualisation de la variable PMBV sur papier normal
Probabilité
0.997
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
0.003
Statistique de Filliben = 0.9753
0
1
2
3
4
5
6
7
Données

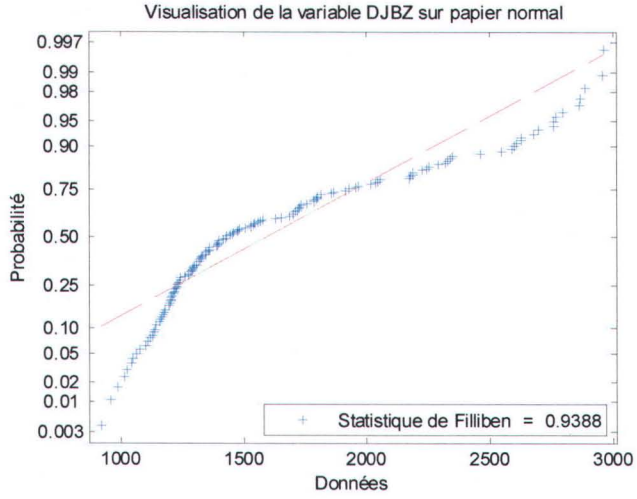

Visualisation de la variable Ln(PMBV) sur papier normal
Probabilité
0.997
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
0.003
Statistique de Filliben = 0.9297
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
Données

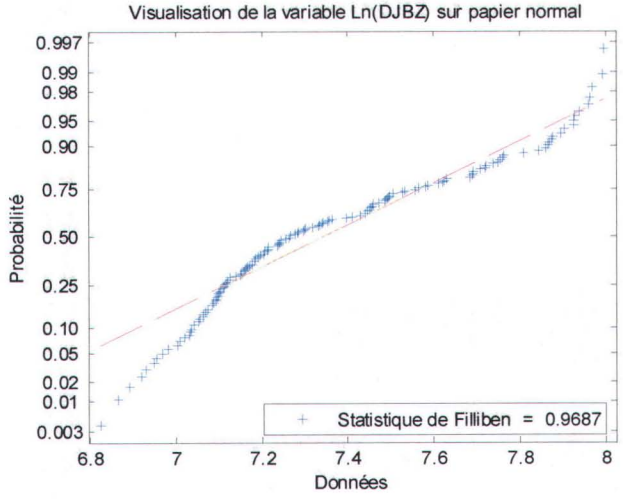

Visualisation de la variable PLAC sur papier normal
Probabilité
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
Statistique de Filliben = 0.9576
0
5
10
15
20
25
30
Données

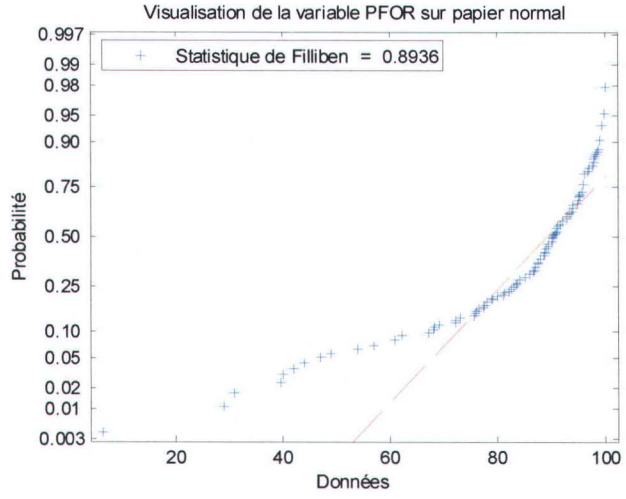

Visualisation de la variable racine carré de PLAC sur papier normal
Probabilité
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
Statistique de Filliben = 0.9952
0
1
2
3
4
5
Données

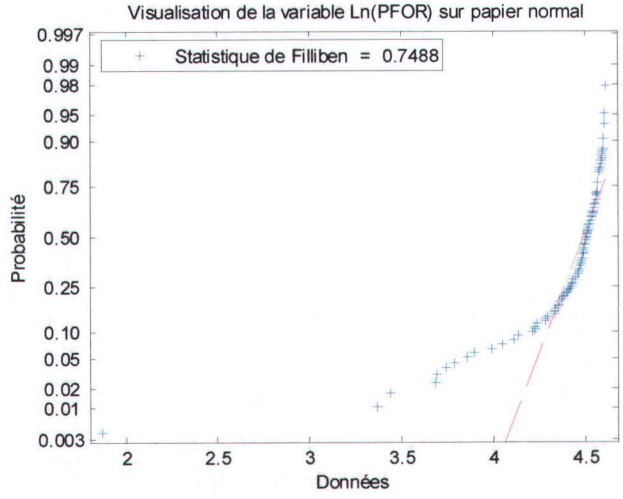

Visualisation de la variable PTMA sur papier normal
Probabilité
0.997
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
0.003
Statistique de Filliben = 0.9718
700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500
Données

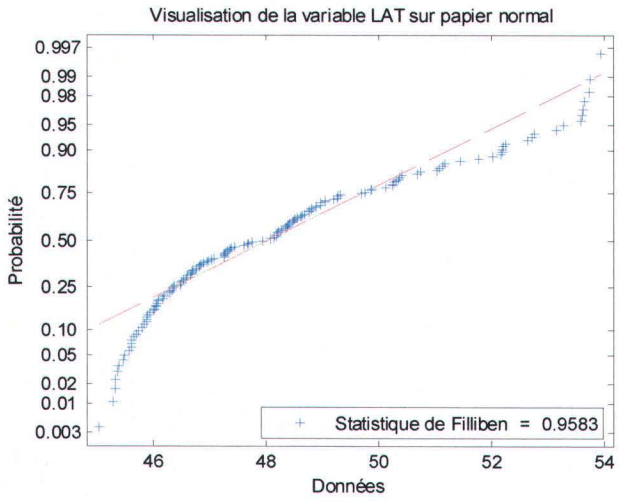

Visualisation de la variable Ln(PTMA) sur papier normal
Probabilité
0.997
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
0.003
Statistique de Filliben = 0.9830
6.5 6.6 6.7 6.8 6.9 7 7.1 7.2 7.3
Données

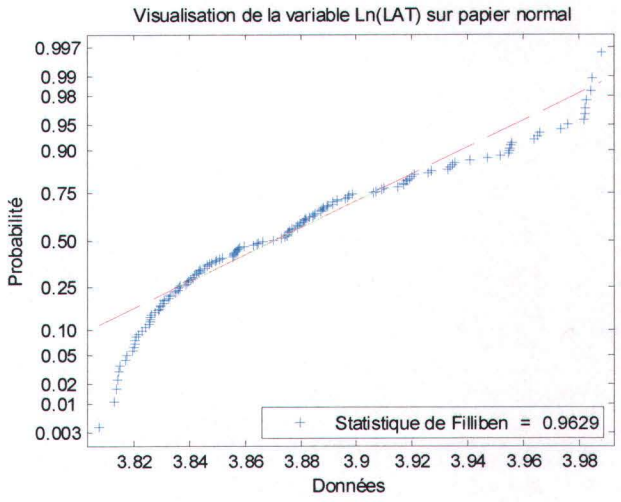

Visualisation de la variable DJBZ sur papier normal
Probabilité
0.997
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
0.003
Statistique de Filliben = 0.9388
1000 1500 2000 2500 3000
Données

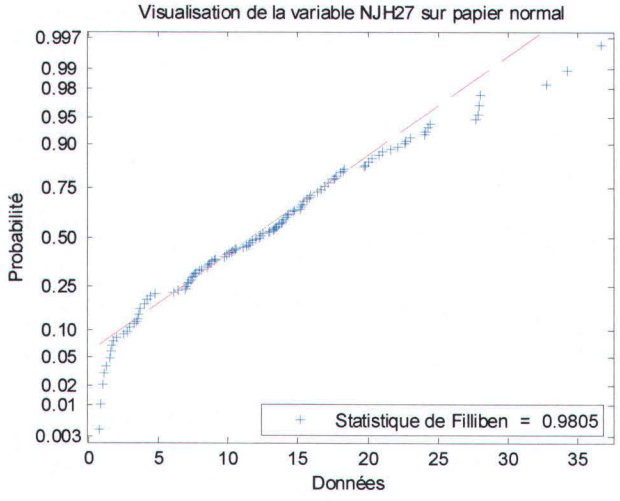

Visualisation de la variable Ln(DJBZ) sur papier normal
Probabilité
0.997
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
0.003
Statistique de Filliben = 0.9687
6.8 7 7.2 7.4 7.6 7.8 8
Données

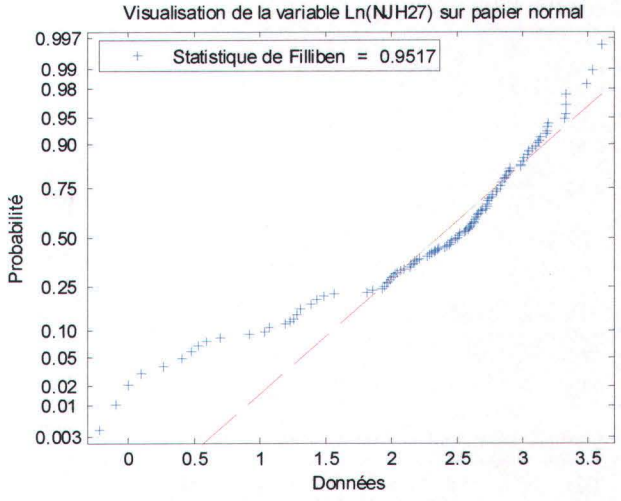

Visualisation de la variable PFOR sur papier normal
Probabilité
0.997
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
0.003
Statistique de Filliben = 0.8936
20 40 60 80 100
Données

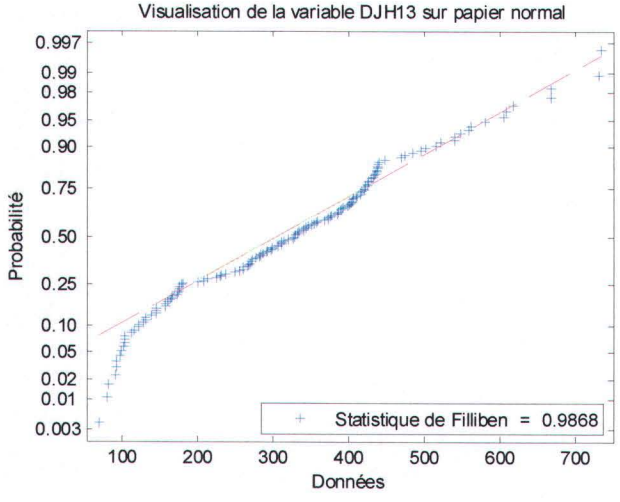

Visualisation de la variable Ln(PFOR) sur papier normal
Probabilité
0.997
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
0.003
Statistique de Filliben = 0.7488
2 2.5 3 3.5 4 4.5
Données

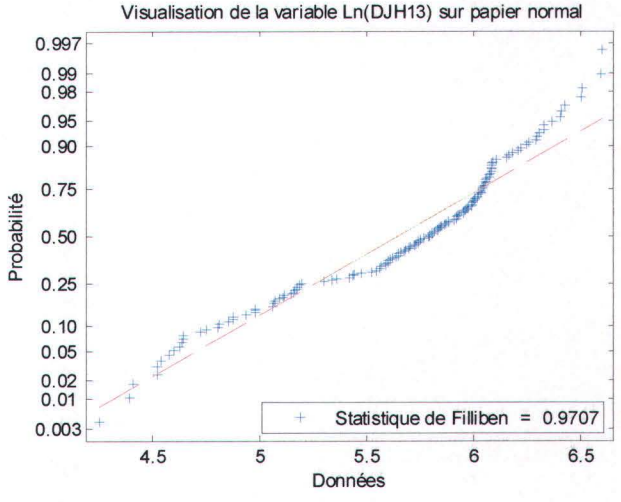

Visualisation de la variable LAT sur papier normal
Probabilité
0.997
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
0.003
Statistique de Filliben = 0.9583
46
48
50
52
54
Données

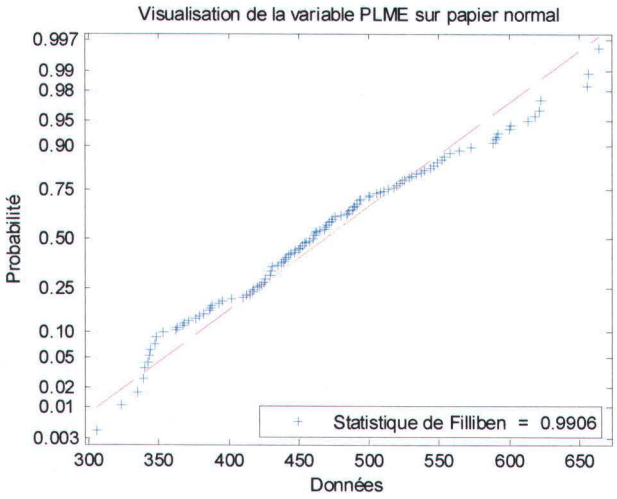

Visualisation de la variable Ln(LAT) sur papier normal
Probabilité
0.997
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
0.003
Statistique de Filliben = 0.9629
3.82
3.84
3.86
3.88
3.9
3.92
3.94
3.96
3.98
Données

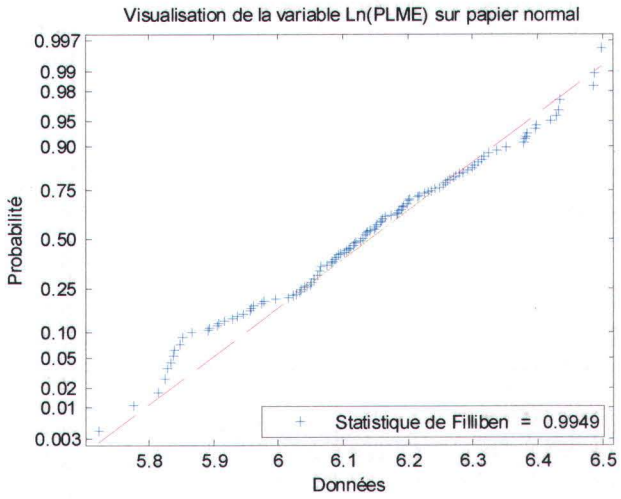

Visualisation de la variable NJH27 sur papier normal
Probabilité
0.997
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
0.003
Statistique de Filliben = 0.9805
0
5
10
15
20
25
30
35
Données

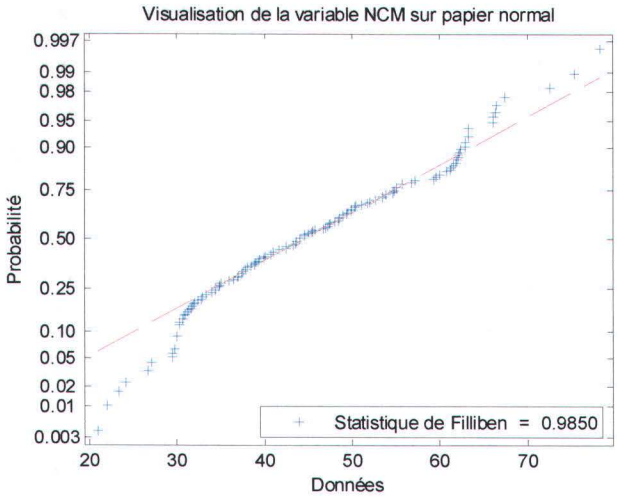

Visualisation de la variable Ln(NJH27) sur papier normal
Probabilité
0.997
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
0.003
Statistique de Filliben = 0.9517
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
Données

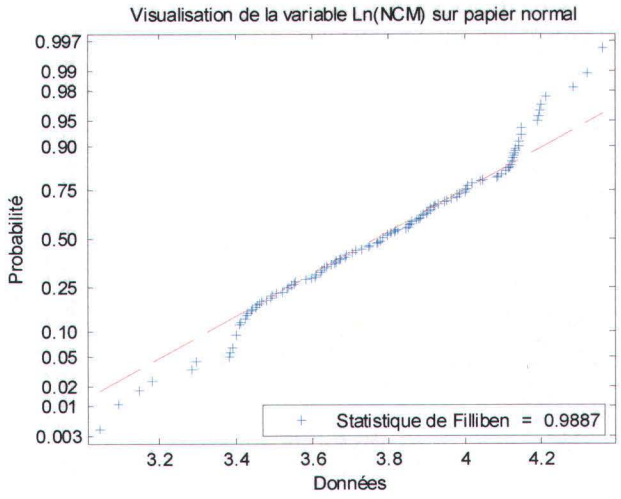

Visualisation de la variable DJH13 sur papier normal
Probabilité
0.997
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
0.003
Statistique de Filliben = 0.9868
100
200
300
400
500
600
700
Données


Visualisation de la variable Ln(DJH13) sur papier normal
Probabilité
0.997
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
0.003
Statistique de Filliben = 0.9707
4.5
5
5.5
6
6.5
Données


Visualisation de la variable PLME sur papier normal
Probabilité
0.997
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
0.003
300 350 400 450 500 550 600 650
Données
Statistique de Filliben = 0.9906


Visualisation de la variable Ln(PLME) sur papier normal
Probabilité
0.997
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
0.003
5.8 5.9 6 6.1 6.2 6.3 6.4 6.5
Données
Statistique de Filliben = 0.9949


Visualisation de la variable NCM sur papier normal
Probabilité
0.997
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
0.003
20 30 40 50 60 70
Données
Statistique de Filliben = 0.9850


Visualisation de la variable Ln(NCM) sur papier normal
Probabilité
0.997
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
0.003
3.2 3.4 3.6 3.8 4 4.2
Données
Statistique de Filliben = 0.9887

Annexe G. Régions hydrologiquement homogènes déterminées par l'application de la technique de classification ascendante hiérarchique

Répartition des stations utilisée dans le modèle CAH-RM pour l'estimation du $Q_{2,7}$ et du $Q_{10,7}$ annuel

011508	010101	011507	061022	071401	080101/08012	030316
040129	010801/01082	021915	061602	073801	080704	030341
040202/04024	010901/01092	022504/02257	061905	075601	080705/08077	030415
040212	011201	022703	061906	090602	080707	030901/03095
040401/04046	020401/02044	023101/02316	062209	090605	080718	046403
040814	020502	023301/02333	072302	090607	080801	046706
041301	020601/02062	023401	073301/07333	090609	080809	046707
041901/04192	020802	023402	074601	090610	081007	052233
041903	021407	023403	074701	090613	092707	
042606	021502	023426	074902	092708	092717	
043009/04302	021601	023429	081006	092711	092722	
050116/05014	040830	023701	092706	092715		
050117/05015	050408	024001/02407				
050119	050409	024003				
050301	051001	024013				
050302/05034	051002	030101				
050305	051003	030103				
050701	051004	030214/03024				
050812	051005	030219				
051301	051007	030238				
052202/05229	051502	030282				
052203/05222	061020	030335				
052601	061502	030340				
052803	062101	031401				
052805	062102	040201				
060101	080701					
060601	081002					
061801	090601					
061909	092703					
062701	092704					
062802						
070401						

Répartition des stations utilisée dans le modèle CAH-RM pour l'estimation du $Q_{2,7}$ et du $Q_{10,7}$ hivernal

022003	010101	061905	011507	080101/080102	023401	040401/040406
040201	010801/010802	062101	011508	080704	024001/024007	041901/041902
040202/040204	010901/010902	062102	022701/022704	080707	024003	042606
040212	011201	062209	023301/023303	080718	030101	052803
040814	020401/020404	072302	023402	080801	030103	061906
040830	020502	073801	023403	080809	030316	074701
041301	020601/020602	074902	023701	081007	030415	080705/080717
041903	020802	080701	024013	092707	030901/030905	
043009/043012	021407	081002	030214/030234	092717	046706	
050116/050144	021502	081006	030219	092722		
050117/050135	021601	090601	030238			
050119	021915	090602	030282			
050302/050304	022504/022507	090607	030341			
050305	022703	090609	031401			
050408	023101/023106	090610	046707			
050409	023426	090613	050301			
051001	023429	092703	050701			
051002	030335	092704	050812			
051003	030340	092706	052233			
051004	040129	092708	052601			
051005	046403	092711				
051006	050813	092715				
051007	051301					
051502	052202/052219					
052203/052212						
052805						
060101						
060601						
061020						
061022						
061502						
061602						
061801						
061909						
062701						
062802						
070202						
070401						
071401						
073301/073303						
074601						
075601						

Répartition des stations utilisée dans le modèle CAH-RM pour l'estimation du $Q_{2,7}$ et du $Q_{10,7}$ estival

010101	011507	022703	071401	041901/041902	030262	050408
010901/010902	011508	023101/023106	073801	042606	030316	050409
011001/011003	021915	023301/023303	074903	052803	030341	050813
011201	022003	023401	080801	080101/080102	030415	051004
020302	022504/022507	023402	081007	080701	030901/030905	051006
020502	040810	023403	090602	080704	040201	051007
020601/020602	040814	023426	090605	080705/080717	046403	051011
020802	041301	023429	090606	080707	046706	061502
021407	041903	023701	090607	080718	046707	073301/073303
021502	043009/043012	024001/024007	090609	080809	052231	075601
040129	050119	024003	090610	081002	052233	076601
040202/040204	051301	024010	090613	090601		
040409	060601	024013	092706	092703		
040830	061602	030101	092707	092704		
050116/050144	061905	030103	092708			
050301	061909	030219	092711			
050302/050304	062101	030238	092715			
050305	062102	030282	092717			
050701	062209	030335	092722			
050812	072302	030340				
051502	073502/073503	031401				
052228	074601					
052601	074701					
052805	074902					
060101	081006					
061801						
062701						
062802						
070401						

Répartition des stations utilisée dans le modèle CAH-RM pour l'estimation du $Q_{5,30}$ annuel

011508	011507	010101	080101/080102	061022	071401	030316
040129	021915	010801/010802	080701	061905	073801	030341
040202/040204	022003	010901/010902	080704	061906	075601	030415
040212	022504/022507	011001/011003	080705/080717	062209	090602	030901/030905
040401/040406	022701/022704	011201	080707	073301/073303	090605	046403
040814	022703	020401/020404	080718	073502/073503	090607	046706
041301	023101/023106	020502	080801	074601	090609	046707
041901/041902	023301/023303	020601/020602	080809	074701	090610	052233
042606	023401	020802	081002	074902	090613	
043009/043012	023402	021407	081007	074903	092708	
050116/050144	023403	021502	090601	081006	092711	
050117/050135	023426	021601	092703	092706	092715	
050119	023429	040830	092704			
050301	023701	050408	092707			
050302/050304	024001/024007	050409	092717			
050305	024003	051001	092722			
050701	024013	051002				
050812	030101	051003				
051301	030103	051004				
052202/052219	030214/030234	051005				
052203/052212	030219	051006				
052803	030238	051007				
052805	030282	051502				
060101	030335	061020				
060601	030340	061502				
061801	031401	062101				
061909	040201	062102				
062701						
062802						
070401						

Répartition des stations utilisée dans le modèle CAH-RM pour l'estimation du $Q_{5,30}$ hivernal

022003	061905	010101	011507	080101/080102	023401	040401/040406
040201	062101	010801/010802	011508	080704	024001/024007	041901/041902
040202/040204	062102	010901/010902	022701/022704	080707	024003	042606
040212	062209	011201	023301/023303	080718	030101	052803
040814	072301	020401/020404	023402	080801	030103	061906
040830	072302	020502	023403	080809	030215	074701
041301	073502/073503	020601/020602	023701	081007	030415	080705/080717
041903	073801	020802	024013	092707	030901/030905	
043009/043012	074902	021407	030214/030234	092717	046706	
050116/050144	074903	021502	030219	092722		
050117/050135	080701	021601	030238			
050119	081002	021915	030282			
050302/050304	081006	022504/022507	030341			
050305	090601	022703	031401			
050408	090602	023101/023106	046707			
050409	090607	023426	050301			
051001	090609	023429	050701			
051002	090610	030335	050812			
051003	090613	030340	052233			
051004	092703	040129	052601			
051005	092704	046403				
051006	092706	050813				
051007	092708	051301				
051502	092711	052202/052219				
052203/052212	092715					
052805						
060101						
060601						
061020						
061022						
061502						
061801						
061909						
062701						
062802						
070202						
070401						
071401						
073301/073303						
074601						
075601						

Répartition des stations utilisée dans le modèle CAH-RM pour l'estimation du $Q_{5,30}$ estival

010101	022703	052803	011507	011508	080701
010901/010902	023101/023106	061905	021915	030415	080704
011001/011003	023301/023303	062101	022003	040810	080705/080717
011201	023401	062102	022504/022507	040814	080707
020302	023402	071401	040201	041301	080718
020502	023403	072302	040830	041903	080801
020601/020602	023426	073502/073503	041901/041902	043009/043012	081002
020802	023429	073801	042606	046403	081007
021407	023701	074902	050302/050304	046706	090601
021502	024001/024007	074903	052231	046707	092703
040129	024003	080101/080102	062209	050119	092707
040202/040204	024013	080809	062802	061602	092717
040212	030101	081006	070401	074601	092722
040409	030103	090602	073301/073303	074701	
050116/050144	030214/030234	090605	075601		
050117/050135	030219	090606	076601		
050301	030238	090607	092704		
050305	030262	090609			
050408	030282	090610			
050701	030316	090613			
050812	030335	092706			
050813	030340	092708			
051004	030341	092711			
051006	030901/030905	092715			
051007	031401				
051011	052233				
051301					
051502					
052202/052219					
052203/052212					
052228					
052601					
052805					
060101					
060601					
061020					
061022					
061502					
061801					
061909					
062701					

Annexe H. Estimation locale et régionale avec le Biais Relatif (BR) en pourcentage (%) associés à chaque station dans la procédure de validation croisée de Jackknife pour les modèles d'estimation régionale de : ACC-RM, CAH-RM, ROI-RM et RIS.

Annexe H.1. Période estivale

ESTIVAL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{30,5}^{AFL}$	$Q_{30,5}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{30,5}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{30,5}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{30,5}^{RIS}$	BR_{RIS}
010101	1.8	2.406	33.68	2.396	33.12	2.648	47.10	1.745	-3.04
010901/010902	6.73	7.896	17.32	6.753	0.34	8.375	24.44	6.228	-7.46
011001/011003	12	7.755	-35.38	8.459	-29.51	8.717	-27.36	9.425	-21.46
011201	4.81	7.413	54.12	7.13	48.24	8.487	76.45	5.638	17.21
011507	10.1	10.130	0.30	10.622	5.17	11.526	14.12	6.481	-35.83
011508	1.08	2.334	116.07	1.837	70.13	2.281	111.19	2.295	112.5
020302	3.24	4.223	30.35	4.585	41.52	4.381	35.20	3.275	1.08
020502	0.169	0.271	60.60	0.264	56.39	0.313	85.25	0.207	22.67
020601/020602	1.6	2.918	82.36	2.52	57.5	3.085	92.79	2.429	51.8
020802	6.93	5.833	-15.83	4.99	-27.99	6.211	-10.37	6.331	-8.64
021407	5.65	3.625	-35.84	3.587	-36.51	3.757	-33.51	4.758	-15.78
021502	4.06	2.918	-28.12	4.195	3.33	3.268	-19.52	4.926	21.33
021915	0.68	1.336	96.40	1.488	118.77	1.502	120.82	2.693	296
022003	3.63	6.157	69.60	5.964	64.31	6.021	65.87	5.758	58.63
022504/022507	0.923	0.993	7.56	1.117	21.06	1.163	25.98	2.241	142.8
022703	1.11	1.931	73.97	1.365	22.93	2.004	80.53	0.506	-54.39
023101/023106	2.47	2.005	-18.82	1.448	-41.43	2.043	-17.33	4.224	70.92
023301/023303	3.74	3.427	-8.37	2.611	-30.18	3.508	-6.20	3.351	-10.4
023401	1.24	2.132	71.93	2.003	61.56	2.282	84.05	2.514	102.8
023402	11.8	15.611	32.30	11.672	-1.08	18.230	54.49	11.832	0.27
023403	2.7	3.489	29.24	2.666	-1.26	3.724	37.92	1.691	-37.38
023426	7.91	9.581	21.12	7.44	-5.94	11.541	45.90	7.164	-9.43
023429	4.45	7.787	75.00	5.651	27	8.816	98.11	5.927	33.2
023701	0.563	0.764	35.69	0.66	17.24	0.750	33.27	1.927	242.3
024001/024007	5.51	8.662	57.21	7.26	31.66	9.803	77.78	4.945	-10.32
024003	2.14	3.077	43.78	2.665	24.53	2.839	32.64	2.839	32.68
024013	0.888	0.574	-35.36	0.502	-43.46	0.590	-33.60	0.457	-48.58
030101	0.731	1.176	60.89	1.148	57.07	1.145	56.63	1.047	43.27
030103	2.73	3.167	16.02	2.975	8.96	3.253	19.16	2.815	3.11
030214/030234	1.25	1.977	58.15	1.814	45.11	2.172	73.75	1.222	-2.27
030219	2.36	2.882	22.13	2	-15.24	2.629	11.38	1.858	-21.26
030238	0.169	0.179	6.17	0.128	-24.41	0.181	6.85	0.164	-2.82
030262	0.254	0.314	23.56	0.33	29.94	0.424	66.80	0.392	54.24
030282	1.55	2.213	42.76	1.707	10.15	2.152	38.87	1.932	24.67
030316	0.135	0.184	36.07	0.424	214.08	0.353	161.52	0.551	307.8
030335	0.12	0.120	-0.30	0.148	23.74	0.175	45.82	0.216	79.65
030340	1.46	0.626	-57.15	0.557	-61.87	0.673	-53.92	0.366	-74.96
030341	3.51	3.352	-4.50	3.756	7	3.490	-0.56	4.838	37.83
030415	0.148	0.312	110.88	1.036	599.75	0.447	202.22	0.585	295.5
030901/030905	3.89	1.736	-55.49	1.226	-68.53	1.940	-50.20	4.585	17.67
031401	0.378	0.524	38.51	0.388	2.67	0.520	37.54	0.368	-2.7
040129	0.47	0.416	-11.45	0.388	-17.49	0.505	7.51	0.26	-44.76
040201	15.2	7.252	-52.29	7.404	-51.29	7.751	-49.01	6.478	-57.38
040202/040204	24.1	21.845	-9.36	21.512	-10.74	26.657	10.61	11.178	-53.62
040212	0.0993	0.144	44.77	0.121	21.43	0.134	34.94	0.211	112.9
040409	0.0627	0.145	131.41	0.137	117.89	0.115	83.56	0.279	344.9

ESTIVAL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{30,5}^{AFL}$	$Q_{30,5}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{30,5}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{30,5}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{30,5}^{RIS}$	BR_{RIS}
040810	5.36	7.733	44.27	6.303	17.59	7.584	41.49	7.063	31.77
040814	3.94	4.215	6.99	4.56	15.74	4.224	7.21	3.359	-14.75
040830	33.6	54.022	60.78	45.51	35.45	50.545	50.43	36.352	8.19
041301	13.9	19.175	37.95	10.912	-21.5	21.221	52.67	13.868	-0.23
041901/041902	13.2	13.654	3.44	18.879	43.02	14.343	8.66	12.915	-2.16
041903	8.98	7.773	-13.44	2.957	-67.07	7.832	-12.79	9.363	4.27
042606	11.2	8.581	-23.38	10.777	-3.78	9.945	-11.21	9.471	-15.44
043009/043012	12.33	11.008	-10.79	11.05	-10.45	11.412	-7.51	15.295	23.95
046706	0.156	0.080	-49.02	0.326	108.67	0.055	-64.76	0.138	-11.3
046707	0.0739	0.018	-75.69	0.018	-76.24	0.022	-69.99	0.078	6.1
050116/050144	10.37	17.830	71.94	8.779	-15.34	15.000	44.65	13.497	30.15
050117/050135	8.37	6.586	-21.41	5.35	-36.15	6.239	-25.54	7.503	-10.45
050119	5.13	5.135	0.10	7.674	49.6	4.939	-3.73	3.819	-25.55
050301	31.53	23.051	-26.89	28.283	-10.3	32.013	1.53	26.121	-17.15
050302/050304	29.5	21.493	-27.14	21.685	-26.49	25.880	-12.27	28.683	-2.77
050305	25	21.646	-13.42	19.525	-21.9	23.168	-7.33	25.346	1.39
050408	17.7	20.631	16.56	26.787	51.34	17.095	-3.42	11.227	-36.57
050701	1.76	1.851	5.19	2.894	64.42	1.844	4.75	2.596	47.51
050812	0.559	0.264	-52.85	0.27	-51.71	0.347	-37.85	0.533	-4.61
050813	0.0191	0.006	-66.17	0.01	-47.93	0.010	-46.22	0.014	-29.19
051004	0.0139	0.009	-31.87	0.011	-19.27	0.028	98.28	0.014	-2.37
051006	0.955	0.809	-15.30	0.589	-38.35	0.575	-39.82	0.533	-44.18
051007	0.0409	0.023	-44.46	0.039	-3.68	0.038	-7.96	0.039	-3.55
051011	0.0055	0.005	-9.89	0.008	41.49	0.002	-61.22	0.01	74.54
051301	4.91	2.559	-47.87	2.69	-45.22	2.537	-48.33	7.462	51.98
051502	12.1	10.285	-15.00	8.889	-26.54	10.699	-11.58	7.166	-40.78
052202/052219	3.28	3.621	10.39	3.578	9.04	3.651	11.28	2.687	-18.1
052203/052212	3.91	6.524	66.86	4.789	22.41	5.665	44.80	2.029	-48.15
052228	0.244	0.628	157.29	0.567	132.43	0.569	133.27	0.775	217.6
052231	0.115	0.172	49.73	0.153	32.67	0.172	49.20	0.222	93.25
052233	0.75	0.802	6.92	0.789	5.23	1.103	47.07	1.335	78.01
052601	3.19	3.848	20.63	3.604	12.97	3.756	17.75	3.545	11.14
052803	0.306	0.087	-71.58	0.227	-25.74	0.181	-40.71	0.134	-56.13
052805	1.84	4.897	166.11	2.947	60.18	4.130	124.45	4.213	129
060101	2.5	4.083	63.32	2.75	9.98	3.846	53.83	5.12	104.8
060601	2.28	1.749	-23.30	2.071	-9.15	1.819	-20.22	2.536	11.25
061020	13.4	13.587	1.39	17.425	30.04	11.983	-10.57	10.862	-18.94
061022	5.88	2.979	-49.34	7.527	28.02	3.993	-32.10	5.43	-7.65
061502	16.5	21.193	28.44	26.603	61.23	19.096	15.73	16.059	-2.67
061602	2.58	3.104	20.31	2.137	-17.16	3.211	24.46	3.523	36.53
061801	5.88	5.001	-14.95	4.547	-22.67	4.810	-18.20	10.376	76.46
061905	119	126.238	6.08	129.692	8.98	102.081	-14.22	101.302	-14.87
061909	1.51	0.925	-38.72	1.208	-19.99	1.269	-15.96	4.313	185.7
062101	114	85.742	-24.79	96.528	-15.33	76.280	-33.09	79.942	-29.88
062102	94.2	88.029	-6.55	99.65	5.79	70.928	-24.70	100.188	6.36
062209	41.3	24.630	-40.36	17.725	-57.08	25.677	-37.83	40.338	-2.33
062701	9.24	3.110	-66.35	4.349	-52.93	3.664	-60.34	6.95	-24.79
062802	7.09	8.802	24.15	4.832	-31.85	7.442	4.96	4.273	-39.73
070401	21.5	19.230	-10.56	15.909	-26	19.207	-10.67	7.028	-67.31
071401	9.92	10.804	8.91	14.044	41.57	9.361	-5.63	11.182	12.72
072302	44.3	35.745	-19.31	40.717	-8.09	31.921	-27.94	46.15	4.18
073301/073303	4.69	6.422	36.94	2.264	-51.73	6.211	32.43	6.955	48.29
073502/073503	90.1	93.232	3.48	89.149	-1.06	65.194	-27.64	66.977	-25.66

ESTIVAL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{30,5}^{AFL}$	$Q_{30,5}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{30,5}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{30,5}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{30,5}^{RIS}$	BR_{RIS}
073801	152	190.600	25.39	202.613	33.3	193.730	27.45	133.244	-12.34
074601	24.02	23.141	-3.66	28.497	18.64	20.885	-13.05	23.202	-3.41
074701	63.22	81.094	28.27	44.196	-30.09	64.376	1.83	64.235	1.61
074902	160.12	143.774	-10.21	150.836	-5.8	105.453	-34.14	145.902	-8.88
074903	178	234.846	31.94	244.86	37.56	183.812	3.27	184.937	3.9
075601	36.05	31.040	-13.90	25.587	-29.02	52.092	44.50	27.792	-22.91
076601	57.2	104.031	81.87	292.691	411.7	123.222	115.42	93.781	63.95
080101/080102	22.73	23.600	3.83	36.419	60.22	23.302	2.52	24.599	8.22
080701	672	654.148	-2.66	726.007	8.04	716.485	6.62	608.541	-9.44
080704	242	208.681	-13.77	208.013	-14.04	199.368	-17.62	209.364	-13.49
080705/080717	76.2	60.988	-19.96	61.58	-19.19	54.303	-28.74	60.289	-20.88
080707	173	248.969	43.91	255.363	47.61	210.473	21.66	235.395	36.07
080718	373	368.641	-1.17	351.132	-5.86	343.542	-7.90	332.813	-10.77
080801	228	199.524	-12.49	169.2	-25.79	202.184	-11.32	247.042	8.35
080809	124	111.651	-9.96	79.314	-36.04	68.263	-44.95	147.438	18.9
081002	738	576.544	-21.88	621.005	-15.85	685.067	-7.17	554.251	-24.9
081006	120	100.816	-15.99	102.307	-14.74	89.048	-25.79	106.636	-11.14
081007	314	270.548	-13.84	268.703	-14.43	318.807	1.53	267.654	-14.76
090601	596	466.216	-21.78	396.045	-33.55	438.412	-26.44	561.503	-5.79
090602	412	380.624	-7.62	353.079	-14.3	404.185	-1.90	326.479	-20.76
090605	21.3	21.919	2.90	17.484	-17.91	13.262	-37.74	26.65	25.12
090606	15.3	15.769	3.07	16.267	6.32	12.084	-21.02	18.936	23.77
090607	35.2	27.914	-20.70	30.361	-13.75	25.398	-27.85	30.049	-14.63
090609	30	32.043	6.81	34.431	14.77	28.898	-3.67	34.321	14.4
090610	177	143.498	-18.93	154.038	-12.97	158.426	-10.49	178.336	0.75
090613	328	297.972	-9.15	286.869	-12.54	327.780	-0.07	280.785	-14.39
092703	559	589.731	5.50	653.723	16.95	664.345	18.85	468.68	-16.16
092704	1280	1358.162	6.11	3095.4	141.83	1695.585	32.47	1183.11	-7.57
092706	191	255.638	33.84	164.465	-13.89	180.660	-5.41	221.776	16.11
092707	121	144.034	19.04	128.974	6.59	119.819	-0.98	110.124	-8.99
092708	239	270.242	13.07	256.836	7.46	279.376	16.89	270.027	12.98
092711	174	179.222	3.00	176.325	1.34	185.048	6.35	164.891	-5.24
092715	161	175.158	8.79	173.053	7.49	179.303	11.37	180.85	12.33
092717	138	136.647	-0.98	163.268	18.31	135.641	-1.71	145.843	5.68
092722	171	191.838	12.19	202.314	18.31	208.622	22.00	193.515	13.17

AFL : Analyse fréquentielle locale

ACC : Analyse canonique de corrélations

CAH : Classification ascendante hiérarchique

ROI : Région d'influence

RM : Régression multiple

RIS : Régionalisation par interpolation spatiale

ESTIVAL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{7,2}^{AFL}$	$Q_{7,2}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{7,2}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{7,2}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{7,2}^{RIS}$	BR_{RIS}
010101	2.28	1.982	-13.08	2.52	10.55	2.813	23.37	2.029	-11.00
010801/010802	8.44	9.412	11.52	8.008	-5.12	8.820	4.51	7.23	-14.34
010901/010902	12.8	8.090	-36.80	9.739	-23.91	9.050	-29.30	10.731	-16.16
011201	6.04	8.388	38.88	8.557	41.68	8.330	37.91	6.549	8.43
011507	12.4	10.445	-15.77	11.648	-6.06	12.100	-2.42	8.653	-30.21
011508	1.51	2.738	81.36	1.871	23.9	2.581	70.92	2.751	82.16
020401/020404	3.72	4.250	14.25	4.938	32.74	4.598	23.60	4.003	7.6
020502	0.209	0.275	31.56	0.237	13.25	0.352	68.38	0.228	9.09
020601/020602	1.75	3.383	93.29	2.714	55.07	3.499	99.97	2.791	59.49
020802	7.38	7.122	-3.49	5.496	-25.53	7.183	-2.67	6.777	-8.17
021407	5.89	3.864	-34.40	3.791	-35.64	4.051	-31.22	5.015	-14.85
021502	4.27	3.003	-29.67	4.519	5.84	3.364	-21.21	5.253	23.02
021601	0.938	1.592	69.74	1.436	53.1	1.630	73.73	3.268	248.4
021915	3.8	5.952	56.62	6.297	65.71	6.508	71.25	7.013	84.55
022504/022507	1.03	1.158	12.45	0.846	-17.88	1.223	18.78	2.562	148.7
022703	1.73	1.872	8.18	1.241	-28.28	2.045	18.20	0.799	-53.79
023101/023106	2.14	1.910	-11.15	1.228	-42.77	1.965	-8.46	4.104	91.23
023301/023303	3.38	3.098	-8.35	2.434	-28	3.305	-2.21	3.206	-5.13
023401	1.15	2.312	101.07	1.986	72.68	2.376	106.57	2.46	113.9
023402	10.3	22.165	115.20	10.305	0.05	18.859	83.10	10.709	3.97
023403	3.09	3.254	5.32	2.816	-8.87	3.804	23.12	1.459	-52.79
023426	7.07	10.284	45.46	6.736	-4.72	11.707	65.59	6.302	-10.86
023429	3.98	6.923	73.94	5.515	38.58	8.884	123.21	5.667	42.38
023701	0.569	0.781	37.19	0.58	1.94	0.786	38.11	1.969	246.1
024001/024007	6.05	8.290	37.02	6.874	13.56	9.396	55.24	5.073	-16.19
024003	2.13	2.919	37.05	2.755	29.32	2.863	34.43	1.949	-8.51
024013	0.0533	0.091	70.63	0.064	19.2	0.081	51.28	0.078	46.72
030101	0.856	0.735	-14.08	0.64	-25.2	0.540	-36.97	0.436	-49.11
030103	0.692	1.163	68.08	1.39	100.83	1.090	57.48	0.98	41.65
030214/030234	2.67	3.262	22.19	2.361	-11.57	3.077	15.26	3.036	13.71
030219	2.19	2.477	13.10	2.034	-7.11	2.462	12.41	1.588	-27.49
030238	0.151	0.164	8.38	0.144	-4.57	0.178	17.94	0.144	-4.7
030282	0.258	0.263	1.76	2.357	813.41	0.448	73.73	0.391	51.67
030316	1.29	2.111	63.66	1.778	37.81	2.059	59.60	1.804	39.84
030335	0.157	0.149	-4.83	0.385	145.24	0.372	136.66	0.595	279.2
030340	0.112	0.078	-30.40	0.147	31.21	0.167	49.05	0.204	82.05
030341	1.38	0.663	-51.95	0.552	-60.03	0.688	-50.16	0.36	-73.94
030415	3.93	3.650	-7.13	0.043	-98.89	3.252	-17.25	4.634	17.91
030901/030905	0.144	0.343	137.94	1.136	689.05	0.547	279.86	0.618	329.2
031401	4.05	2.278	-43.76	0.704	-82.62	2.737	-32.43	4.862	20.04
040129	0.357	0.591	65.47	0.436	22.24	0.553	54.79	0.327	-8.5
040201	0.478	0.434	-9.15	0.359	-24.99	0.598	25.19	0.351	-26.67
040202/040204	17.3	8.176	-52.74	1.043	-93.97	8.706	-49.68	9.8	-43.35
040212	28.72	28.606	-0.40	26.99	-6.02	31.673	10.28	13.612	-52.6
040401/040406	0.0754	0.181	139.61	0.091	20.88	0.137	81.94	0.318	321.6
040814	6.54	9.822	50.18	8.917	36.34	9.207	40.78	7.934	21.32
040830	4.41	5.002	13.42	4.168	-5.48	4.983	12.99	4.082	-7.43
041301	38.1	59.640	56.54	66.124	73.55	53.039	39.21	42.564	11.72
041901/041902	17.7	23.663	33.69	22.059	24.63	25.470	43.90	16.214	-8.39
041903	16.31	18.485	13.33	22.497	37.93	17.831	9.33	16.681	2.28
042606	10.53	9.808	-6.86	6.72	-36.18	9.466	-10.10	12.409	17.84
043009/043012	18.1	10.888	-39.85	11.576	-36.05	11.875	-34.39	11.003	-39.21

ESTIVAL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{7,2}^{AFL}$	$Q_{7,2}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{7,2}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{7,2}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{7,2}^{RIS}$	BR_{RIS}
046706	12.95	13.185	1.74	12.323	-4.88	13.382	3.30	19.056	47.09
046707	0.161	0.078	-51.48	0.064	-60.42	0.056	-65.21	0.149	-7.54
050116/050144	0.0786	0.019	-76.15	0.018	-77.35	0.022	-72.05	0.082	4.24
050117/050135	12.46	22.355	79.41	10.953	-12.1	18.684	49.95	15.463	24.1
050119	5.92	5.835	-1.43	5.5	-7.09	5.802	-1.99	5.584	-5.67
050301	34.14	27.730	-18.78	40.863	19.69	34.114	-0.08	28.623	-16.16
050302/050304	32.3	26.070	-19.29	29.983	-7.17	27.801	-13.93	30.945	-4.19
050305	26.4	24.755	-6.23	28.95	9.66	24.491	-7.23	22.902	-13.25
050408	15.7	14.073	-10.36	17.29	10.13	13.849	-11.79	11.326	-27.86
050409	5.89	7.827	32.88	6.313	7.18	7.613	29.26	7.063	19.92
050701	1.87	1.563	-16.39	4.612	146.63	1.801	-3.70	2.317	23.92
050812	0.495	0.298	-39.88	0.223	-55.03	0.377	-23.85	0.564	13.86
051001	0.0202	0.006	-69.65	0.007	-64.27	0.013	-33.66	0.013	-37.19
051002	0.0132	0.009	-30.16	0.016	22.53	0.021	59.32	0.013	-3.98
051003	0.79	0.604	-23.51	0.782	-0.95	0.687	-13.01	0.486	-38.46
051004	0.0429	0.020	-52.28	0.028	-34.07	0.027	-35.98	0.036	-17.05
051005	0.0044	0.005	16.44	0.007	49.45	0.000	-90.86	0.009	99.02
051007	5.51	2.888	-47.59	3.641	-33.91	2.867	-47.97	6.978	26.64
051301	13.2	11.364	-13.91	10.63	-19.47	11.681	-11.51	7.894	-40.19
051502	0.276	0.634	129.56	0.554	100.58	0.699	153.40	0.845	206.3
052202/052219	0.118	0.211	78.90	0.062	-47.38	0.217	83.51	0.187	58.63
052203/052212	0.892	1.139	27.68	1.278	43.31	1.307	46.48	0.824	-7.57
052233	3.64	4.709	29.36	3.879	6.56	4.473	22.89	4.361	19.8
052601	0.403	0.171	-57.50	0.339	-15.94	0.173	-57.06	0.165	-59.05
052803	2.41	5.987	148.41	3.33	38.19	5.254	118.02	5.389	123.6
052805	2.82	5.127	81.82	3.081	9.25	4.603	63.22	5.704	102.3
060101	2.71	2.323	-14.29	2.227	-17.83	2.142	-20.95	3.095	14.2
060601	18	19.597	8.87	25.476	41.53	17.923	-0.43	15.505	-13.86
061020	3.48	2.816	-19.08	1.99	-42.8	3.415	-1.86	3.674	5.58
061022	6.58	5.708	-13.25	4.991	-24.14	5.571	-15.33	10.248	55.75
061502	130	131.062	0.82	138.023	6.17	110.569	-14.95	119.8	-7.85
061602	2.09	1.561	-25.29	3.016	44.31	1.536	-26.52	4.603	120.2
061801	110	86.782	-21.11	107.011	-2.72	78.915	-28.26	79.859	-27.4
061905	91.6	101.079	10.35	109.31	19.33	74.428	-18.75	99.496	8.62
061906	37.8	28.654	-24.20	30.38	-19.63	27.851	-26.32	44.413	17.49
061909	9.26	3.340	-63.93	4.765	-48.54	3.483	-62.38	5.823	-37.12
062101	8.19	10.323	26.05	7.831	-4.39	8.129	-0.74	4.714	-42.45
062102	26.1	21.960	-15.86	16.945	-35.08	22.194	-14.96	8.758	-66.45
062209	11.6	12.956	11.69	12.834	10.63	11.327	-2.36	12.748	9.9
062701	46.6	37.718	-19.06	50.459	8.28	35.519	-23.78	58.16	24.81
062802	4.6	4.292	-6.69	3.45	-25	5.881	27.84	7.782	69.18
070401	102	96.417	-5.47	80.188	-21.38	69.295	-32.06	69.063	-32.29
071401	166	223.084	34.39	211.537	27.43	215.445	29.79	140.36	-15.45
072302	22.65	24.442	7.91	29.451	30.03	21.408	-5.48	22.828	0.79
073301/073303	61.4	82.358	34.13	81.753	33.15	64.137	4.46	62.101	1.14
073801	153.1	150.936	-1.41	114.864	-24.97	114.352	-25.31	154.898	1.17
074601	186	268.587	44.40	218.129	17.27	196.000	5.38	181.14	-2.61
074701	38.89	34.010	-12.55	30.869	-20.63	51.785	33.16	28.094	-27.76
074902	60.3	136.934	127.09	50.464	-16.31	127.552	111.53	100.17	66.12
075601	26.83	26.526	-1.13	32.195	20	31.036	15.68	27.49	2.46
080101/080102	823	870.720	5.80	673.898	-18.12	800.078	-2.79	717.291	-12.84
080701	280	249.005	-11.07	244.387	-12.72	240.413	-14.14	241.153	-13.87
080704	86.03	66.241	-23.01	99.458	15.6	63.948	-25.67	70.434	-18.14

ESTIVAL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{7,2}^{AFL}$	$Q_{7,2}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{7,2}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{7,2}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{7,2}^{RIS}$	BR_{RIS}
080705/080717	194	273.811	41.14	268.547	38.43	234.887	21.08	282.113	45.42
080707	440	416.483	-5.34	411.487	-6.48	401.910	-8.66	389.472	-11.48
080718	294	268.462	-8.69	298.854	1.65	275.616	-6.25	283.024	-3.73
080801	135	125.466	-7.06	114.846	-14.93	84.062	-37.73	172.235	27.58
080809	834	720.964	-13.55	705.47	-15.41	871.693	4.52	656.192	-21.32
081002	127	105.695	-16.78	115.89	-8.75	95.294	-24.96	130.46	2.72
081006	441	338.387	-23.27	358.787	-18.64	365.171	-17.19	289.025	-34.46
081007	677	526.459	-22.24	647.841	-4.31	525.772	-22.34	685.093	1.2
090601	459	452.983	-1.31	435.772	-5.06	463.425	0.96	385.398	-16.04
090602	25.2	23.899	-5.16	21.205	-15.85	18.190	-27.82	29.939	18.81
090605	18.3	21.255	16.15	17.994	-1.67	15.544	-15.06	23.431	28.04
090607	43	37.140	-13.63	38.909	-9.51	33.321	-22.51	35.55	-17.32
090609	37.6	45.641	21.38	43.346	15.28	37.168	-1.15	41.438	10.21
090610	195	162.474	-16.68	152.892	-21.59	176.971	-9.25	220.747	13.2
090613	361	335.161	-7.16	325.701	-9.78	365.404	1.22	350.05	-3.03
092703	696	755.408	8.54	762.049	9.49	869.831	24.98	570.128	-18.09
092704	1560	1665.504	6.76	1748.66	12.09	2187.617	40.23	1364.2	-12.55
092706	225	291.610	29.60	147.98	-34.23	233.451	3.76	280.523	24.68
092707	156	184.329	18.16	162.399	4.1	157.752	1.12	130.44	-16.38
092708	284	326.927	15.12	334.698	17.85	335.675	18.20	331.16	16.61
092711	201	218.205	8.56	222.153	10.52	221.951	10.42	204.962	1.97
092715	209	212.629	1.74	217.061	3.86	214.548	2.65	212.365	1.61
092717	175	198.414	13.38	207.603	18.63	185.938	6.25	195.451	11.69
092722	274	242.021	-11.67	249.064	-9.1	259.230	-5.39	217.849	-20.49

AFL : Analyse fréquentielle locale

ACC : Analyse canonique de corrélations

CAH : Classification ascendante hiérarchique

ROI : Région d'influence

RM : Régression multiple

RIS : Régionalisation par interpolation spatiale

ESITIVAL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{7,10}^{AFL}$	$Q_{7,10}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{7,10}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{7,10}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{7,10}^{RIS}$	BR_{RIS}
010101	1.26	1.677	33.11	1.608	27.61	1.816	44.11	1.316	4.43
010801/010802	5.3	5.950	12.26	4.922	-7.13	5.650	6.60	4.478	-15.5
010901/010902	8.64	5.022	-41.87	6.349	-26.52	5.616	-35.00	7.02	-18.75
011201	3.48	5.463	56.97	5.535	59.05	5.613	61.30	4.015	15.37
011507	6.7	6.165	-7.98	7.382	10.18	7.213	7.65	4.14	-38.2
011508	0.593	1.462	146.52	1.006	69.62	1.356	128.63	1.504	153.6
020401/020404	2.52	2.497	-0.89	3.293	30.69	2.775	10.12	2.154	-14.51
020502	0.103	0.225	117.99	0.135	30.73	0.226	119.75	0.147	43.01
020601/020602	1.05	2.158	105.49	1.661	58.23	2.174	107.08	1.731	64.87
020802	5.41	4.206	-22.26	3.297	-39.05	4.369	-19.25	4.403	-18.61
021407	4.18	2.290	-45.22	2.271	-45.68	2.452	-41.33	3.25	-22.25
021502	2.7	1.827	-32.33	2.896	7.25	2.055	-23.88	3.573	32.35
021601	0.411	0.839	104.17	0.723	75.94	0.916	122.86	1.749	325.6
021915	2.2	3.522	60.11	3.572	62.37	3.805	72.96	3.507	59.43
022504/022507	0.521	0.583	11.81	0.375	-28.05	0.678	30.12	1.394	167.6
022703	0.552	1.081	95.80	0.574	3.92	1.166	111.25	0.225	-59.2
023101/023106	1.44	1.058	-26.54	0.703	-51.23	1.085	-24.76	2.512	74.23
023301/023303	1.81	1.795	-0.85	1.404	-22.43	1.906	5.28	1.775	-1.94
023401	0.66	1.335	102.24	1.013	53.46	1.299	96.82	1.399	112
023402	5.92	12.475	110.73	4.633	-21.74	10.895	84.04	5.852	-1.16
023403	0.966	1.915	98.28	1.332	37.92	2.197	127.39	0.751	-22.31
023426	2.99	6.194	107.16	3.222	7.77	6.852	129.18	3.444	15.19
023429	2.06	4.071	97.62	2.289	11.13	5.087	146.95	2.204	7.01
023701	0.341	0.471	37.99	0.302	-11.42	0.402	17.80	1.305	282.8
024001/024007	3.1	4.651	49.55	3.644	17.36	5.551	78.78	2.942	-5.25
024003	1.08	1.600	48.14	1.609	49.02	1.637	51.58	1.426	32.04
024013	0.0368	0.044	19.72	0.048	31.67	0.046	24.93	0.051	39.21
030101	0.616	0.179	-70.92	0.264	-57.21	0.287	-53.48	0.287	-53.38
030103	0.337	0.693	105.71	0.81	140.24	0.587	74.15	0.578	71.52
030214/030234	1.46	1.575	7.85	1.55	6.15	1.661	13.75	1.525	4.42
030219	1.13	1.369	21.17	1.157	2.35	1.443	27.70	0.984	-12.92
030238	0.0942	0.087	-7.24	0.083	-12.01	0.095	0.37	0.081	-13.71
030282	0.111	0.236	112.71	1.65	1386.1	0.250	124.90	0.209	88.52
030316	0.789	1.157	46.62	1.02	29.26	1.187	50.50	0.954	20.92
030335	0.0772	0.084	8.69	0.194	150.85	0.183	137.65	0.353	357.8
030340	0.0621	0.046	-25.19	0.115	85.66	0.082	31.76	0.148	138.5
030341	1.05	0.351	-66.60	0.296	-71.8	0.337	-67.95	0.175	-83.37
030415	1.61	1.836	14.03	0.013	-99.18	1.730	7.43	3.077	91.11
030901/030905	0.0658	0.137	107.45	0.622	845.31	0.265	302.47	0.374	468.3
031401	2.35	0.894	-62.11	0.31	-86.84	1.205	-48.91	3.105	31.67
040129	0.191	0.314	64.59	0.181	-5.2	0.302	58.10	0.174	-8.87
040201	0.3	0.241	-19.69	0.172	-42.79	0.322	7.23	0.195	-34.86
040202/040204	11.1	4.551	-59.00	0.338	-96.96	4.889	-55.96	5.724	-48.43
040212	16.66	16.421	-1.43	16.727	0.4	18.809	12.90	7.821	-53.05
040401/040406	0.0356	0.081	126.22	0.062	74.65	0.081	126.19	0.193	442.7
040814	3.94	5.237	32.93	5.206	32.13	5.016	27.31	5.034	27.78
040830	3.04	2.772	-8.83	2.205	-27.47	2.663	-12.40	2.311	-23.99
041301	22.7	37.312	64.37	43.332	90.89	34.349	51.32	26.626	17.29
041901/041902	8.97	13.406	49.46	15.454	72.28	14.490	61.54	10.44	16.38
041903	9.88	9.794	-0.87	9.635	-2.48	9.898	0.18	9.384	-5.02
042606	7.02	5.195	-25.99	3.793	-45.97	5.071	-27.77	6.616	-5.75
043009/043012	7.17	6.139	-14.39	6.527	-8.97	6.554	-8.59	7.58	5.72

ESITIVAL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{7,10}^{AFL}$	$Q_{7,10}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{7,10}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{7,10}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{7,10}^{RIS}$	BR_{RIS}
046706	10.34	7.616	-26.35	7.277	-29.63	7.590	-26.61	11.694	13.08
046707	0.108	0.037	-65.60	0.03	-72.67	0.029	-72.77	0.076	-29.51
050116/050144	0.039	0.008	-78.32	0.01	-74.06	0.013	-65.49	0.053	36.6
050117/050135	7.43	12.631	70.00	5.893	-20.68	10.587	42.49	9.664	30.06
050119	3.07	3.475	13.20	3.187	3.8	3.174	3.40	3.222	4.94
050301	19.5	16.018	-17.86	25.199	29.22	22.535	15.56	18.322	-6.04
050302/050304	20.7	13.396	-35.28	18.704	-9.64	18.219	-11.99	18.358	-11.31
050305	19	14.747	-22.38	15.647	-17.65	15.753	-17.09	15.88	-16.42
050408	11.7	9.865	-15.68	11.334	-3.12	9.473	-19.04	7.329	-37.36
050409	4.3	3.728	-13.30	4.157	-3.33	5.053	17.50	4.498	4.61
050701	0.997	1.049	5.24	2.796	180.49	1.024	2.70	1.775	77.98
050812	0.4	0.166	-58.38	0.106	-73.42	0.222	-44.40	0.298	-25.46
051001	0.0112	0.003	-70.78	0.007	-37.65	0.009	-22.56	0.009	-24.01
051002	0.0089	0.005	-41.47	0.011	18.45	0.015	72.92	0.008	-13.11
051003	0.633	0.484	-23.52	0.483	-23.74	0.444	-29.87	0.294	-53.6
051004	0.0213	0.014	-35.99	0.023	7.5	0.019	-11.32	0.025	16.44
051005	0.0032	0.003	-15.62	0.003	6.67	0.002	-50.03	0.006	89.55
051007	3.63	1.661	-54.24	1.935	-46.69	1.653	-54.45	4.932	35.86
051301	8.32	7.181	-13.69	6.4	-23.08	7.282	-12.47	4.874	-41.42
051502	0.117	0.422	260.57	0.31	165.38	0.377	222.39	0.298	154.6
052202/052219	0.0605	0.081	33.94	0.024	-59.54	0.102	69.22	0.104	72.02
052203/052212	0.438	0.551	25.73	0.767	75.15	0.660	50.66	0.348	-20.55
052233	2.44	2.590	6.17	2.141	-12.24	2.415	-1.03	1.226	-49.75
052601	0.0748	0.059	-21.14	0.155	106.66	0.084	12.78	0.088	17.23
052803	1.14	3.763	230.08	1.775	55.67	2.899	154.28	1.491	30.83
052805	1.57	3.272	108.40	1.691	7.68	2.647	68.62	2.809	78.89
060101	1.57	1.185	-24.50	1.164	-25.85	1.164	-25.89	1.761	12.15
060601	11.5	14.197	23.45	16.292	41.67	11.772	2.37	8.246	-28.29
061020	1.65	1.688	2.31	1.08	-34.57	1.889	14.46	2.252	36.48
061022	3.9	3.431	-12.02	2.782	-28.66	3.077	-21.09	6.792	74.14
061502	90.5	92.330	2.02	104.301	15.25	73.295	-19.01	84.126	-7.04
061602	0.952	0.791	-16.86	1.837	92.96	0.857	-9.96	2.939	208.7
061801	76.8	63.697	-17.06	88.674	15.46	52.234	-31.99	52.486	-31.66
061905	61.1	63.351	3.68	86.595	41.73	48.549	-20.54	67.804	10.97
061906	30	19.434	-35.22	19.911	-33.63	17.299	-42.34	26.684	-11.05
061909	5.09	2.118	-58.38	2.886	-43.31	2.142	-57.92	3.877	-23.84
062101	3.57	6.870	92.44	4.556	27.61	5.072	42.06	2.729	-23.56
062102	14.1	12.943	-8.21	9.999	-29.09	13.835	-1.88	4.395	-68.83
062209	6.41	8.294	29.40	7.757	21.01	6.702	4.56	7.498	16.97
062701	30.4	28.136	-7.45	34.214	12.55	22.547	-25.83	38.434	26.43
062802	2.89	2.550	-11.76	1.996	-30.95	3.861	33.61	5.143	77.94
070401	67.3	66.274	-1.52	55.995	-16.8	45.314	-32.67	45.957	-31.71
071401	111	149.861	35.01	143.321	29.12	150.999	36.03	95.744	-13.74
072302	16.23	18.248	12.43	19.055	17.41	13.564	-16.43	16.578	2.14
073301/073303	44.98	56.785	26.25	57.962	28.86	41.710	-7.27	43.514	-3.26
073801	129.54	106.374	-17.88	72.921	-43.71	74.549	-42.45	102.176	-21.12
074601	121	204.722	69.19	148.577	22.79	131.116	8.36	135.716	12.16
074701	24.06	21.747	-9.61	24.168	0.45	36.889	53.32	19.631	-18.41
074902	39.5	67.429	70.71	43.329	9.69	96.083	143.25	66.127	67.41
075601	17.55	14.525	-17.24	17.432	-0.67	16.411	-6.49	18.877	7.56
080101/080102	523	532.029	1.73	534.292	2.16	561.777	7.41	483.332	-7.58
080701	179	164.184	-8.28	143.23	-19.98	161.072	-10.02	174.308	-2.62
080704	54.53	39.985	-26.69	55.125	1.08	38.366	-29.65	45.257	-17.02

ESITIVAL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{7,10}^{AFL}$	$Q_{7,10}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{7,10}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{7,10}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{7,10}^{RIS}$	BR_{RIS}
080705/080717	129	179.155	38.88	165.065	27.96	154.027	19.40	185.041	43.44
080707	301	286.371	-4.86	298.728	-0.75	273.222	-9.23	254.713	-15.38
080718	181	176.796	-2.32	195.455	7.99	176.949	-2.24	209.545	15.77
080801	105	69.376	-33.93	122.108	16.29	47.783	-54.49	123.28	17.41
080809	666	502.161	-24.60	471.449	-29.21	615.508	-7.58	448.072	-32.72
081002	88	75.548	-14.15	84.514	-3.96	63.970	-27.31	97.484	10.78
081006	350	223.102	-36.26	232.967	-33.44	252.941	-27.73	200.024	-42.85
081007	476	339.379	-28.70	367.035	-22.89	345.598	-27.40	465.833	-2.14
090601	335	301.510	-10.00	300.857	-10.19	324.469	-3.14	258.889	-22.72
090602	16.7	14.008	-16.12	12.063	-27.77	10.094	-39.56	21.437	28.37
090605	11.3	11.993	6.13	10.673	-5.55	8.711	-22.91	14.139	25.12
090607	26.5	20.753	-21.69	23.769	-10.31	19.272	-27.27	22.784	-14.02
090609	21.5	24.869	15.67	27.073	25.92	22.109	2.83	25.864	20.3
090610	139	109.899	-20.94	102.477	-26.28	124.004	-10.79	150.65	8.38
090613	233	240.281	3.13	231.448	-0.67	261.780	12.35	238.399	2.32
092703	494	527.829	6.85	557.653	12.89	593.810	20.20	378.23	-23.44
092704	1080	1487.206	37.70	1464.35	35.59	1535.604	42.19	964.463	-10.7
092706	156	202.373	29.73	76.767	-50.79	152.507	-2.24	179.259	14.91
092707	96	118.915	23.87	102.265	6.53	103.418	7.73	89.767	-6.49
092708	197	222.080	12.73	230.697	17.1	227.997	15.73	237.13	20.37
092711	152	144.802	-4.74	148.009	-2.63	146.384	-3.69	124.975	-17.78
092715	116	145.666	25.57	149.77	29.11	144.052	24.18	152.75	31.68
092717	111	120.547	8.60	138.205	24.51	120.090	8.19	123.8	11.53
092722	167	168.676	1.00	172.778	3.46	175.181	4.90	145.644	-12.79

AFL : Analyse fréquentielle locale

ACC : Analyse canonique de corrélations

CAH : Classification ascendante hiérarchique

ROI : Région d'influence

RM : Régression multiple

RIS : Régionalisation par interpolation spatiale

Annexe H.2. Période hivernale

HIVERNAL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{30,5}^{AFL}$	$Q_{30,5}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{30,5}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{30,5}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{30,5}^{RIS}$	BR_{RIS}
010101	1.15	1.339	16.46	1.209	5.1	1.395	21.27	1.345	16.98
010801/010802	5.38	5.642	4.87	3.22	-40.14	4.890	-9.12	5.882	9.34
010901/010902	4.44	4.263	-3.99	3.725	-16.1	4.046	-8.87	3.7	-16.66
011201	2.78	3.663	31.76	2.441	-12.19	3.050	9.72	3.609	29.82
011507	8.65	8.992	3.95	7.997	-7.55	9.258	7.02	8.409	-2.79
011508	2.4	2.458	2.43	2.911	21.3	2.424	0.99	1.576	-34.35
020401/020404	1.57	1.959	24.75	1.642	4.59	1.889	20.34	1.45	-7.62
020502	0.144	0.242	68.03	0.32	122.06	0.195	35.76	0.127	-11.84
020601/020602	1.18	1.991	68.70	1.675	41.95	1.839	55.84	1.567	32.78
020802	3.14	4.070	29.60	2.96	-5.74	3.637	15.83	3.277	4.38
021407	2.95	2.595	-12.03	1.936	-34.38	2.387	-19.09	2.369	-19.69
021502	2.24	2.051	-8.42	1.896	-15.35	2.070	-7.59	2.709	20.94
021601	4.9	5.187	5.86	4.336	-11.51	5.032	2.70	6.556	33.79
021915	0.961	1.826	90.04	2.188	127.67	1.806	87.91	1.51	57.14
022003	4.21	5.957	41.51	8.262	96.24	5.718	35.81	3.801	-9.71
022504/022507	0.829	1.443	74.10	2.344	182.77	1.665	100.85	0.981	18.29
022701/022704	0.958	2.508	161.85	2.836	196.02	2.303	140.38	1.961	104.7
022703	1.17	2.718	132.28	2.447	109.16	2.552	118.12	1.821	55.68
023101/023106	2.77	2.317	-16.37	1.971	-28.85	2.161	-22.00	2.469	-10.88
023301/023303	3.79	3.554	-6.22	3.954	4.34	3.261	-13.96	3.02	-20.31
023401	1.73	2.965	71.40	2.856	65.11	2.692	55.61	2.741	58.42
023402	15.6	20.507	31.46	18.032	15.59	17.501	12.18	16.213	3.93
023403	4.85	4.541	-6.38	3.632	-25.12	4.549	-6.20	3.154	-34.96
023426	9.09	13.986	53.86	9.46	4.07	12.547	38.04	10.911	20.04
023429	7.4	10.697	44.55	7.709	4.18	9.830	32.84	7.674	3.7
023701	0.963	1.352	40.39	1.798	86.73	1.239	28.69	1.66	72.38
024001/024007	9.34	8.147	-12.77	8.76	-6.24	7.539	-19.31	7.838	-16.11
024003	3.76	3.105	-17.43	3.192	-15.12	3.069	-18.39	3.414	-9.2
024013	0.903	0.570	-36.93	1.032	14.28	0.739	-18.15	0.814	-9.88
030101	1.82	1.464	-19.57	1.813	-0.39	1.642	-9.80	1.98	8.8
030103	5.2	4.874	-6.28	6.531	25.6	4.221	-18.83	6.061	16.56
030214/030234	1.93	2.599	34.66	2.493	29.16	2.415	25.13	2.25	16.6
030215	2.28	1.882	-17.45	0.874	-61.68	1.909	-16.29	1.819	-20.22
030219	2.47	2.735	10.73	2.37	-4.04	2.564	3.80	2.785	12.75
030238	0.275	0.185	-32.67	0.311	13.09	0.270	-1.82	0.286	3.91
030282	2.44	2.068	-15.25	1.942	-20.42	2.099	-13.99	2.235	-8.4
030335	0.263	0.178	-32.16	0.399	51.68	0.244	-7.36	0.372	41.43
030340	2.11	1.140	-45.96	1.088	-48.44	0.980	-53.56	0.98	-53.56
030341	11.8	9.306	-21.14	7.582	-35.74	9.111	-22.79	11.699	-0.86
030415	0.413	1.279	209.59	1.064	157.69	0.996	141.14	1.294	213.4
030901/030905	8.25	9.392	13.85	3.847	-53.39	4.848	-41.26	6.64	-19.55
031401	0.737	0.738	0.13	0.77	4.46	0.758	2.85	0.831	12.72
040129	0.603	0.430	-28.76	0.516	-14.38	0.427	-29.23	0.503	-16.56
040201	13.6	9.786	-28.04	11.285	-17.02	9.614	-29.31	10.753	-20.93
040202/040204	30.96	24.148	-22.00	23.672	-23.54	22.722	-26.61	23.383	-24.47
040212	0.149	0.135	-9.14	0.217	45.47	0.203	36.09	0.215	44.23
040401/040406	6.1	8.455	38.60	7.929	29.99	7.500	22.96	7.295	19.6
040814	7.22	5.517	-23.59	6.158	-14.71	5.390	-25.34	5.23	-27.57
040830	27.2	26.527	-2.47	25.162	-7.49	22.957	-15.60	34.481	26.77
041301	18.3	28.919	58.03	20.626	12.71	24.154	31.99	26.264	43.52
041901/041902	17.73	18.218	2.75	19.117	7.82	18.136	2.29	18.448	4.05
041903	11.36	9.608	-15.43	8.013	-29.47	9.108	-19.82	10.271	-9.58

HIVERNAL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{30,5}^{AFL}$	$Q_{30,5}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{30,5}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{30,5}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{30,5}^{RIS}$	BR_{RIS}
042606	14.4	14.722	2.23	11.694	-18.79	13.273	-7.82	12.207	-15.23
043009/043012	9.03	10.170	12.50	9.641	6.68	10.027	10.95	11.677	29.21
046706	0.105	0.260	147.57	0.006	-93.82	0.154	47.06	0.193	83.56
046707	0.0967	0.088	-9.51	0.099	2.4	0.104	7.46	0.072	-25.25
050116/050144	10.61	11.378	7.24	9.827	-7.38	11.131	4.91	10.929	3.01
050117/050135	6.17	5.480	-11.20	6.082	-1.44	5.239	-15.10	6.473	4.9
050119	7.52	5.631	-25.12	5.76	-23.4	5.495	-26.93	6.303	-16.18
050301	21.11	16.557	-21.57	13.393	-36.56	17.409	-17.53	19.562	-7.33
050302/050304	20	16.203	-18.98	18.721	-6.39	15.449	-22.75	19.63	-1.85
050305	12.5	11.251	-9.99	10.972	-12.23	10.841	-13.27	13.178	5.43
050408	8.97	5.250	-41.48	6.531	-27.19	5.153	-42.55	10.25	14.27
050409	3.53	2.408	-31.80	2.43	-31.15	2.389	-32.31	5.784	63.86
050701	2.45	1.354	-44.74	1.4	-42.86	1.236	-49.56	1.783	-27.24
050812	0.636	0.230	-63.85	0.285	-55.23	0.291	-54.32	0.725	13.92
050813	0.0217	0.006	-73.14	0.005	-75.4	0.009	-58.70	0.01	-54.88
051001	3.98	3.857	-3.09	4.641	16.6	3.615	-9.16	5.831	46.52
051002	0.029	0.014	-50.93	0.014	-52.69	0.018	-36.78	0.016	-45.32
051003	0.0514	0.033	-36.43	0.035	-32.1	0.040	-22.80	0.054	4.8
051004	0.0044	0.005	17.98	0.005	10.02	0.010	126.42	0.007	60.07
051005	0.68	0.938	37.94	1.019	49.86	1.006	47.99	0.673	-1.09
051006	0.166	0.177	6.33	0.245	47.3	0.242	45.78	0.395	137.7
051007	0.0145	0.014	-3.98	0.014	-2.69	0.019	31.91	0.021	47.61
051301	3.67	2.789	-23.99	2.743	-25.26	2.728	-25.68	2.983	-18.73
051502	7.52	5.885	-21.74	6.941	-7.69	5.727	-23.84	4.741	-36.96
052202/052219	5.97	4.423	-26.04	3.758	-37.16	4.216	-29.50	5.144	-13.98
052203/052212	6.6	5.003	-24.31	5.591	-15.4	4.653	-29.59	5.709	-13.61
052233	2.07	2.583	24.79	2.437	17.75	2.448	18.27	2.603	25.74
052601	4.11	4.346	5.74	3.864	-5.98	3.979	-3.19	4.182	1.76
052803	0.214	0.048	-77.68	0.62	189.61	0.282	31.64	0.228	6.6
052805	3.31	3.262	-1.46	3.046	-7.97	3.305	-0.15	3.206	-3.15
060101	1.82	2.829	55.43	3.172	74.29	2.774	52.41	2.822	55.05
060601	2.16	2.229	3.18	2.262	4.73	2.103	-2.64	2.054	-4.91
061020	4.82	3.912	-18.83	3.941	-18.23	3.845	-20.23	4.655	-3.43
061022	2.12	1.644	-22.44	1.768	-16.63	1.783	-15.90	2.407	13.54
061502	8.21	8.125	-1.04	8.359	1.82	7.840	-4.50	8.489	3.4
061801	3.22	5.409	67.98	4.364	35.52	4.275	32.78	3.747	16.37
061905	48.6	42.826	-11.88	41.387	-14.84	42.603	-12.34	49.836	2.54
061906	20.7	18.430	-10.97	16.34	-21.06	18.882	-8.78	20.751	0.25
061909	1.54	2.461	59.84	2.213	43.7	1.916	24.43	2.06	33.77
062101	33.1	34.104	3.03	33.178	0.23	30.000	-9.37	29.638	-10.46
062102	31.7	37.014	16.76	38.563	21.65	30.583	-3.53	33.357	5.23
062209	15	12.781	-14.79	11.436	-23.76	13.018	-13.21	14.13	-5.8
062701	3.37	2.442	-27.53	3.446	2.26	2.471	-26.69	2.798	-16.98
062802	4.08	4.537	11.21	4.452	9.11	4.051	-0.72	2.965	-27.34
070202	0.123	0.149	21.28	0.173	40.9	0.207	67.97	0.136	10.86
070401	9.84	12.112	23.08	12.027	22.22	11.720	19.10	7.18	-27.03
071401	6.4	6.941	8.45	7.022	9.71	6.427	0.43	5.09	-20.46
072301	63.1	73.940	17.18	76.246	20.83	77.983	23.59	64.813	2.71
072302	10.9	12.271	12.58	12.486	14.55	12.109	11.09	16.716	53.36
073301/073303	1.85	2.859	54.52	2.748	48.52	2.822	52.53	2.297	24.15
073502/073503	26.9	27.990	4.05	27.375	1.77	26.194	-2.62	23.13	-14.01
073801	51	51.955	1.87	50.532	-0.92	53.702	5.30	46.822	-8.19
074601	8.63	9.053	4.91	7.755	-10.14	8.657	0.32	8.672	0.49

HIVERNAL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{30,5}^{AFL}$	$Q_{30,5}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{30,5}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{30,5}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{30,5}^{RIS}$	BR_{RIS}
074701	23.93	23.495	-1.82	27.711	15.8	23.289	-2.68	22.869	-4.43
074902	47.89	41.507	-13.33	39.423	-17.68	40.898	-14.60	50.948	6.39
074903	58.2	59.833	2.81	65.025	11.73	62.720	7.77	68.584	17.84
075601	17.51	13.381	-23.58	12.461	-28.83	12.823	-26.77	10.256	-41.43
080101/080102	15.72	16.556	5.32	7.864	-49.97	18.340	16.67	14.66	-6.74
080701	227	302.274	33.16	384.661	69.45	306.966	35.23	236.059	3.99
080704	80.3	90.863	13.15	86.343	7.53	91.558	14.02	91.13	13.49
080705/080717	39.24	38.304	-2.38	69.995	78.35	39.323	0.20	35.715	-9
080707	74.3	102.318	37.71	116.866	57.29	108.446	45.96	91.96	23.77
080718	142	144.739	1.93	160.426	12.98	155.242	9.33	125.335	-11.74
080801	81.7	160.966	97.02	1807.05	2111.8	100.590	23.12	97.805	19.71
080809	46.7	44.794	-4.08	32.967	-29.41	45.070	-3.49	57.697	23.55
081002	345	207.815	-39.76	157.31	-54.4	186.960	-45.81	183.595	-46.78
081006	26	29.140	12.08	25.366	-2.44	27.911	7.35	44.239	70.15
081007	183	81.390	-55.52	76.856	-58	81.101	-55.68	70.332	-61.57
090601	161	78.208	-51.42	168.299	4.53	144.352	-10.34	200.018	24.23
090602	106	99.456	-6.17	99.442	-6.19	102.690	-3.12	119.634	12.86
090607	12.1	12.528	3.54	11.237	-7.13	12.091	-0.07	10.123	-16.34
090609	8.7	13.921	60.01	13.63	56.66	13.367	53.64	13.194	51.65
090610	40.5	41.206	1.74	38.618	-4.65	40.101	-0.99	62.663	54.72
090613	82.3	77.456	-5.89	72.72	-11.64	78.049	-5.17	102.325	24.33
092703	164	227.528	38.74	177.9	8.48	175.282	6.88	141.266	-13.86
092704	369	377.223	2.23	438.453	18.82	439.549	19.12	297.734	-19.31
092706	55.6	69.191	24.44	64.025	15.15	65.272	17.40	67.714	21.79
092707	38.1	50.828	33.41	60.211	58.03	47.339	24.25	34.259	-10.08
092708	74.1	73.594	-0.68	69.411	-6.33	71.553	-3.44	80.634	8.82
092711	55.6	51.719	-6.98	48.695	-12.42	51.228	-7.86	50.377	-9.39
092715	48.5	51.109	5.38	47.928	-1.18	49.898	2.88	53.39	10.08
092717	35.7	45.956	28.73	58.963	65.16	43.643	22.25	48.476	35.79
092722	89.8	50.120	-44.19	57.205	-36.3	53.196	-40.76	40.014	-55.44

AFL : Analyse fréquentielle locale

ACC : Analyse canonique de corrélations

CAH : Classification ascendante hiérarchique

ROI : Région d'influence

RM : Régression multiple

RIS : Régionalisation par interpolation spatiale

HIVERNAL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{7,2}^{AFL}$	$Q_{7,2}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{7,2}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{7,2}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{7,2}^{RIS}$	BR_{RIS}
010101	1.38	1.549	12.28	1.545	11.96	1.621	17.44	1.737	25.88
010801/010802	6.37	6.113	-4.04	3.994	-37.29	5.645	-11.38	6.649	4.37
010901/010902	4.93	5.055	2.53	4.084	-17.15	4.605	-6.60	4.353	-11.71
011201	3.21	4.227	31.68	3.012	-6.17	3.517	9.55	4.169	29.86
011507	10.5	9.887	-5.84	9.656	-8.04	10.363	-1.31	9.575	-8.81
011508	2.63	2.866	8.99	3.384	28.67	2.751	4.58	1.838	-30.12
020401/020404	1.99	2.142	7.65	1.992	0.1	2.174	9.23	1.783	-10.39
020502	0.194	0.223	15.17	0.372	91.6	0.223	15.16	0.159	-17.98
020601/020602	1.55	2.082	34.30	1.996	28.78	2.102	35.64	2.019	30.27
020802	3.68	4.478	21.69	3.459	-5.99	4.159	13.02	3.93	6.81
021407	3.32	2.713	-18.29	2.337	-29.61	2.749	-17.21	2.689	-19
021502	2.54	2.348	-7.54	2.254	-11.27	2.357	-7.21	3.059	20.43
021601	5.52	5.796	5.00	4.898	-11.27	5.709	3.42	7.306	32.36
021915	1.19	2.168	82.20	2.471	107.63	2.098	76.28	1.731	45.44
022003	4.94	6.829	38.23	9.204	86.32	6.538	32.35	4.451	-9.9
022504/022507	1.09	1.699	55.88	2.523	131.5	1.883	72.78	1.171	7.46
022701/022704	1.32	2.573	94.91	3.093	134.34	2.590	96.22	2.575	95.09
022703	1.58	3.117	97.25	2.818	78.37	2.929	85.39	2.227	40.94
023101/023106	3.0168	2.503	-17.10	2.383	-21.02	2.482	-17.74	2.769	-8.21
023301/023303	4.01	3.904	-2.64	4.39	9.48	3.444	-14.12	3.524	-12.12
023401	2.05	3.531	72.24	3.353	63.57	2.705	31.97	3.183	55.28
023402	17.7	23.158	30.84	19.279	8.92	19.385	9.52	18.043	1.94
023403	5.36	5.627	4.98	4.005	-25.29	5.182	-3.31	3.48	-35.07
023426	9.21	15.828	71.86	10.422	13.16	14.392	56.27	11.981	30.09
023429	8.16	11.424	40.00	8.33	2.08	11.168	36.86	8.045	-1.41
023701	1.04	1.413	35.87	1.891	81.85	1.314	26.33	1.831	76.05
024001/024007	10.507	9.114	-13.29	11.581	10.23	8.210	-21.86	8.532	-18.79
024003	4.19	3.346	-20.15	2.745	-34.48	3.195	-23.74	3.742	-10.69
024013	1.04	0.620	-40.41	1.057	1.67	0.781	-24.89	0.888	-14.66
030101	1.9	1.654	-12.94	1.132	-40.42	1.653	-13.01	2.1	10.51
030103	5.69	5.463	-3.98	7.175	26.1	4.578	-19.54	6.265	10.1
030214/030234	2.14	2.776	29.74	2.674	24.93	2.733	27.70	2.259	5.54
030219	2.65	2.944	11.10	2.642	-0.32	2.878	8.59	2.996	13.06
030238	0.294	0.223	-24.06	0.327	11.29	0.302	2.70	0.303	3
030282	2.58	2.262	-12.34	2.174	-15.74	2.383	-7.62	2.428	-5.87
030316	0.507	1.045	106.20	0.968	90.91	0.821	61.86	1.217	140
030335	0.274	0.209	-23.68	0.452	64.86	0.288	4.99	0.363	32.52
030340	2.12	1.241	-41.44	1.113	-47.48	1.162	-45.20	0.998	-52.9
030341	11	10.404	-5.42	8.224	-25.23	9.881	-10.17	9.59	-12.82
030415	0.431	1.279	196.72	0.854	98.08	0.924	114.49	1.351	213.6
030901/030905	9.729	9.222	-5.22	2.561	-73.67	3.722	-61.75	7.877	-19.04
031401	0.79	0.822	4.01	0.824	4.28	0.857	8.53	0.848	7.29
040129	0.654	0.534	-18.36	0.604	-7.64	0.501	-23.46	0.531	-18.74
040201	16.1	10.770	-33.11	12.781	-20.61	10.995	-31.71	12.789	-20.56
040202/040204	34.43	27.683	-19.60	27.122	-21.23	25.788	-25.10	29.425	-14.54
040212	0.168	0.179	6.64	0.251	49.34	0.237	41.27	0.244	45.19
040401/040406	8.7	9.358	7.56	9.339	7.34	8.454	-2.83	8.404	-3.4
040814	8.66	6.485	-25.12	6.863	-20.75	6.161	-28.86	6.408	-26.01
040830	30.9	30.611	-0.93	29.417	-4.8	26.394	-14.58	40.121	29.84
041301	20.6	33.039	60.38	23.563	14.39	27.624	34.09	31.193	51.42
041901/041902	19.93	21.906	9.91	22.729	14.04	20.664	3.68	20.57	3.21
041903	12.24	11.025	-9.93	9.536	-22.09	10.520	-14.05	11.768	-3.86

HIVERNAL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{7,2}^{AFL}$	$Q_{7,2}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{7,2}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{7,2}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{7,2}^{RIS}$	BR_{RIS}
042606	17.3	15.815	-8.58	14.265	-17.54	15.149	-12.44	13.403	-22.53
043009/043012	9.7299	11.717	20.42	12.229	25.69	11.535	18.55	12.909	32.68
046706	0.137	0.168	22.33	0.022	-83.92	0.003	-97.85	0.195	42.47
046707	0.094	0.090	-3.78	0.111	17.61	0.119	26.22	0.089	-5.61
050116/050144	11.97	13.137	9.75	11.709	-2.18	12.821	7.11	12.072	0.85
050117/050135	7.0166	6.151	-12.35	6.996	-0.3	6.043	-13.88	7.746	10.4
050119	8.23	6.548	-20.43	6.719	-18.36	6.346	-22.89	7.305	-11.24
050301	23.04	18.290	-20.61	17.107	-25.75	18.688	-18.89	22.131	-3.94
050302/050304	23	19.588	-14.83	21.04	-8.52	17.611	-23.43	21.501	-6.52
050305	15.2	12.655	-16.74	12.664	-16.69	12.485	-17.86	14.487	-4.69
050408	9.55	5.958	-37.61	7.518	-21.28	5.906	-38.16	11.534	20.77
050409	3.74	2.700	-27.80	2.804	-25.01	2.785	-25.55	7.102	89.88
050701	2.75	1.406	-48.87	1.542	-43.92	1.344	-51.11	1.852	-32.64
050812	0.657	0.271	-58.82	0.312	-52.44	0.329	-49.96	0.863	31.28
050813	0.028	0.007	-74.74	0.008	-73.02	0.009	-66.15	0.01	-62.5
051001	4.92	4.392	-10.73	5.22	6.09	4.148	-15.68	6.635	34.85
051002	0.0313	0.018	-44.07	0.016	-48.8	0.022	-29.24	0.02	-35.52
051003	0.0569	0.040	-30.39	0.04	-29.31	0.048	-16.46	0.061	7.78
051004	0.0048	0.007	35.39	0.006	19.52	0.012	138.72	0.008	68.48
051005	0.964	0.858	-11.04	1.169	21.3	1.168	21.18	0.766	-20.51
051006	0.223	0.171	-23.34	0.281	26.23	0.279	25.04	0.429	92.42
051007	0.0181	0.017	-6.93	0.016	-11.77	0.024	30.78	0.024	34.9
051301	3.87	3.274	-15.40	3.024	-21.86	3.096	-20.00	3.625	-6.32
051502	8.22	6.848	-16.69	7.881	-4.12	6.603	-19.67	5.606	-31.8
052202/052219	6.6986	5.160	-22.98	4.152	-38.01	4.813	-28.15	5.972	-10.85
052203/052212	7.2624	5.663	-22.00	6.225	-14.28	5.374	-26.00	6.552	-9.78
052233	2.52	2.740	8.73	2.605	3.38	2.772	10.01	2.83	12.31
052601	4.48	4.730	5.57	4.409	-1.59	4.495	0.34	4.712	5.17
052803	0.32	0.097	-69.65	1.164	263.79	0.321	0.28	0.252	-21.11
052805	3.65	3.761	3.05	3.564	-2.37	3.857	5.68	4.455	22.04
060101	2.24	3.218	43.64	3.559	58.87	3.216	43.59	3.131	39.8
060601	2.37	2.511	5.94	2.605	9.92	2.442	3.05	2.375	0.2
061020	5.41	4.879	-9.82	4.601	-14.95	4.432	-18.08	5.654	4.51
061022	2.56	2.149	-16.06	2.052	-19.86	2.071	-19.09	2.809	9.73
061502	9.74	9.157	-5.98	9.689	-0.52	9.052	-7.07	10.675	9.6
061602	3.18	2.802	-11.90	2.218	-30.24	2.800	-11.95	2.422	-23.83
061801	3.5	5.896	68.47	5.347	52.77	4.934	40.96	4.245	21.3
061905	51.9	49.222	-5.16	49.073	-5.45	48.446	-6.66	52.749	1.64
061906	21.7	20.817	-4.07	18.995	-12.47	21.804	0.48	22.635	4.31
061909	1.61	2.694	67.30	2.599	61.4	2.227	38.33	2.393	48.65
062101	37.3	39.251	5.23	39.074	4.76	34.288	-8.08	33.138	-11.16
062102	35.9	42.920	19.55	47.224	31.54	35.246	-1.82	37.114	3.38
062209	16.9	14.082	-16.67	13.28	-21.42	15.049	-10.95	15.53	-8.11
062701	3.85	2.718	-29.40	3.992	3.69	2.810	-27.02	3.14	-18.45
062802	4.51	5.179	14.84	5.084	12.72	4.701	4.24	3.458	-23.33
070202	0.128	0.212	65.98	0.202	58.03	0.246	92.54	0.154	20.2
070401	11.2	13.796	23.17	13.898	24.09	13.501	20.54	8.602	-23.19
071401	7.31	8.054	10.17	7.851	7.4	7.416	1.45	5.716	-21.81
072302	13.2	13.501	2.28	14.094	6.77	13.975	5.87	18.271	38.42
073301/073303	2.06	3.265	58.47	3.184	54.57	3.297	60.03	2.655	28.9
073801	59.6	59.433	-0.28	57.922	-2.81	61.075	2.47	52.079	-12.62
074601	11.1	10.630	-4.24	9.335	-15.9	9.932	-10.52	9.375	-15.54
074701	25.36	27.039	6.62	26.109	2.95	26.630	5.01	30.017	18.36

HIVERNAL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{7,2}^{AFL}$	$Q_{7,2}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{7,2}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{7,2}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{7,2}^{RIS}$	BR_{RIS}
074902	56.33	46.532	-17.39	45.41	-19.39	46.470	-17.50	66.65	18.32
075601	21.98	14.813	-32.61	14.197	-35.41	14.618	-33.50	11.997	-45.42
080101/080102	16.7	18.536	10.99	9.437	-43.49	21.276	27.40	16.025	-4.04
080701	257	340.102	32.34	470.132	82.93	347.950	35.39	262.585	2.17
080704	94.5	104.684	10.78	96.028	1.62	104.878	10.98	100.774	6.64
080705/080717	42.667	40.742	-4.52	69.725	63.42	45.170	5.87	39.316	-7.85
080707	83.2	136.072	63.55	134.452	61.6	123.713	48.69	101.95	22.54
080718	157	150.250	-4.30	187.266	19.28	177.014	12.75	141.448	-9.91
080801	90.8	221.938	144.43	2048.61	2156.2	109.545	20.64	109.146	20.21
080809	52.1	49.518	-4.96	32.432	-37.75	50.098	-3.84	64.942	24.65
081002	381	228.451	-40.04	174.596	-54.17	207.234	-45.61	203.91	-46.48
081006	28.8	31.866	10.65	29.248	1.56	31.897	10.75	50.988	77.04
081007	210	92.127	-56.13	86.182	-58.96	91.224	-56.56	80.306	-61.76
090601	185	88.327	-52.26	195.688	5.78	162.935	-11.93	218.817	18.28
090602	119	114.952	-3.40	113.92	-4.27	116.352	-2.23	133.075	11.83
090607	12.6	13.567	7.67	13.204	4.79	14.094	11.86	11.73	-6.91
090609	10.4	15.033	44.55	15.54	49.42	15.349	47.58	14.014	34.75
090610	50.7	46.693	-7.90	43.756	-13.7	45.702	-9.86	71.335	40.7
090613	96.2	90.030	-6.41	82.576	-14.16	88.948	-7.54	119.201	23.91
092703	182	308.760	69.65	201.237	10.57	197.191	8.35	158.3	-13.02
092704	406	418.934	3.19	500.662	23.32	508.378	25.22	329.864	-18.75
092706	60.2	81.311	35.07	73.666	22.37	75.391	25.23	75.397	25.24
092707	42.6	56.579	32.81	66.761	56.72	53.292	25.10	37.201	-12.67
092708	82.4	85.649	3.94	79.045	-4.07	81.401	-1.21	88.806	7.77
092711	59.9	59.274	-1.04	55.666	-7.07	58.414	-2.48	57.671	-3.72
092715	56.5	57.907	2.49	54.316	-3.87	56.518	0.03	59.005	4.43
092717	39.7	53.968	35.94	65.327	64.55	49.286	24.15	54.674	37.72
092722	97.5	54.107	-44.51	64.44	-33.91	59.720	-38.75	46.37	-52.44

AFL : Analyse fréquentielle locale

ACC : Analyse canonique de corrélations

CAH : Classification ascendante hiérarchique

ROI : Région d'influence

RM : Régression multiple

RIS : Régionalisation par interpolation spatiale

HIVERNAL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{7,10}^{AFL}$	$Q_{7,10}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{7,10}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{7,10}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{7,10}^{RIS}$	BR_{RIS}
010101	0.869	1.022	17.66	0.913	5.02	1.037	19.30	1.006	15.73
010801/010802	4.22	4.008	-5.02	2.471	-41.45	3.741	-11.34	4.762	12.83
010901/010902	3.65	3.360	-7.96	2.732	-25.14	3.083	-15.54	2.876	-21.21
011201	2.05	2.732	33.27	1.909	-6.86	2.342	14.23	2.861	39.57
011507	6.65	7.104	6.83	6.172	-7.18	7.383	11.03	6.063	-8.83
011508	1.72	1.997	16.13	2.287	32.97	1.815	5.53	1.235	-28.23
020401/020404	1.23	1.439	17.03	1.252	1.82	1.427	15.99	1.135	-7.7
020502	0.102	0.139	36.70	0.233	128.8	0.135	32.62	0.101	-1.23
020601/020602	0.921	1.405	52.60	1.247	35.42	1.366	48.34	1.183	28.43
020802	2.53	3.039	20.13	2.252	-10.99	2.814	11.23	2.667	5.42
021407	2.39	1.956	-18.18	1.499	-37.29	1.858	-22.24	1.911	-20.06
021502	1.81	1.602	-11.50	1.441	-20.36	1.544	-14.71	2.19	20.98
021601	3.93	4.071	3.58	3.382	-13.95	3.988	1.46	4.996	27.13
021915	0.704	1.401	98.96	1.799	155.51	1.424	102.28	1.213	72.32
022003	3.16	4.856	53.69	7.078	123.98	4.569	44.59	2.948	-6.71
022504/022507	0.551	1.105	100.50	1.902	245.26	1.289	133.92	0.726	31.85
022701/022704	0.633	1.703	169.10	2.061	225.52	1.736	174.31	1.445	128.2
022703	0.873	2.141	145.25	1.928	120.89	2.000	129.06	1.233	41.19
023101/023106	2.12	1.664	-21.89	1.507	-29.12	1.634	-23.14	1.989	-6.44
023301/023303	3.06	2.547	-16.78	3.139	2.59	2.223	-27.34	2.238	-26.86
023401	1.21	2.057	69.97	1.913	58.09	1.696	40.21	2.088	72.57
023402	11	14.875	35.22	14.751	34.1	13.522	22.93	12.026	9.33
023403	3.44	3.675	6.84	2.441	-29.03	3.514	2.15	2.005	-41.71
023426	6.77	12.806	89.17	7.229	6.79	9.891	46.11	7.186	6.15
023429	4.57	8.350	82.71	6.019	31.7	7.742	69.42	5.603	22.6
023701	0.732	0.927	26.61	1.373	87.63	0.817	11.61	1.371	87.36
024001/024007	6.77	6.101	-9.88	8.06	19.01	5.360	-20.86	5.85	-13.61
024003	2.8	2.249	-19.66	1.767	-36.88	2.050	-26.79	2.489	-11.1
024013	0.613	0.381	-37.77	0.806	31.44	0.479	-21.82	0.575	-6.12
030101	1.16	0.995	-14.25	0.716	-38.32	0.991	-14.57	1.276	9.98
030103	3.78	2.932	-22.42	4.469	18.22	2.782	-26.41	3.98	5.28
030214/030234	1.29	1.892	46.68	1.718	33.2	1.785	38.40	1.441	11.68
030219	1.77	2.049	15.75	1.61	-9.06	1.916	8.27	1.817	2.66
030238	0.2	0.146	-27.03	0.209	4.26	0.187	-6.69	0.185	-7.54
030282	1.57	1.573	0.17	1.339	-14.71	1.557	-0.86	1.604	2.14
030316	0.26	0.359	38.04	0.509	95.76	0.424	63.23	0.922	254.6
030335	0.163	0.107	-34.59	0.31	90.35	0.175	7.07	0.275	68.47
030340	1.68	0.950	-43.43	0.726	-56.77	0.696	-58.56	0.675	-59.82
030341	8.96	6.556	-26.83	5.287	-40.99	6.434	-28.20	6.469	-27.81
030415	0.245	0.843	243.97	0.482	96.55	0.502	105.09	0.993	305.3
030901/030905	6.34	6.333	-0.12	1.595	-74.84	2.153	-66.05	4.237	-33.18
031401	0.489	0.598	22.20	0.515	5.23	0.543	10.98	0.569	16.34
040129	0.512	0.277	-45.93	0.387	-24.4	0.319	-37.60	0.376	-26.52
040201	11.8	7.919	-32.89	9.568	-18.92	7.822	-33.71	8.795	-25.46
040202/040204	26.3	21.338	-18.87	20.224	-23.1	18.803	-28.50	17.952	-31.74
040212	0.119	0.091	-23.15	0.173	45.74	0.147	23.75	0.185	55.52
040401/040406	4.95	6.825	37.88	6.698	35.3	5.930	19.80	6.255	26.36
040814	6.23	4.504	-27.70	5.154	-17.27	4.233	-32.05	4.509	-27.62
040830	23.4	23.463	0.27	21.436	-8.39	19.345	-17.33	30.146	28.83
041301	16.4	25.847	57.60	17.335	5.7	20.232	23.37	22.716	38.51
041901/041902	15.74	16.130	2.48	17.721	12.58	15.028	-4.53	16.388	4.12
041903	10.12	8.310	-17.89	6.665	-34.14	7.481	-26.08	9.046	-10.62

HIVERNAL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{7,10}^{AFL}$	$Q_{7,10}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{7,10}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{7,10}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{7,10}^{RIS}$	BR_{RIS}
042606	12.6	11.083	-12.04	9.533	-24.34	10.854	-13.85	10.935	-13.22
043009/043012	8.28	8.931	7.73	7.714	-6.91	8.427	1.70	10.28	24.06
046706	0.0508	0.007	-86.76	0.008	-84.05	0.001	-97.41	0.112	120
046707	0.0497	0.063	27.39	0.068	36.8	0.074	47.94	0.045	-9.12
050116/050144	9.08	9.734	7.21	8.181	-9.9	9.291	2.32	9.583	5.54
050117/050135	5.3	4.540	-14.45	5.101	-3.87	4.281	-19.34	5.263	-0.82
050119	6.38	4.727	-25.91	4.802	-24.74	4.437	-30.46	5.232	-17.99
050301	16.85	13.274	-21.22	11.034	-34.52	13.515	-19.79	16.816	-0.2
050302/050304	17.6	13.876	-21.16	16.023	-8.96	12.779	-27.39	15.799	-10.23
050305	10.9	9.365	-14.09	9.231	-15.31	8.985	-17.57	11.797	8.23
050408	7.83	4.286	-45.26	5.503	-29.72	4.156	-46.92	8.532	8.97
050409	3.2	1.863	-41.77	2.005	-37.35	1.912	-40.25	4.622	44.43
050701	1.96	0.939	-52.08	1.047	-46.59	0.854	-56.45	1.526	-22.14
050812	0.541	0.169	-68.80	0.184	-66.07	0.203	-62.56	0.56	3.56
050813	0.0166	0.004	-76.81	0.004	-76.25	0.006	-61.17	0.009	-48.49
051001	3.26	3.040	-6.76	3.911	19.97	2.914	-10.61	4.668	43.2
051002	0.0247	0.010	-60.05	0.01	-57.68	0.014	-43.01	0.012	-51.99
051003	0.0423	0.023	-44.94	0.027	-35.5	0.031	-26.96	0.045	7.08
051004	0.0034	0.004	2.91	0.004	7.24	0.008	134.06	0.006	72.88
051005	0.491	0.700	42.56	0.839	70.95	0.818	66.63	0.527	7.31
051006	0.137	0.069	-49.67	0.195	42.56	0.191	39.67	0.334	144.2
051007	0.0103	0.010	-4.51	0.011	8.36	0.016	59.17	0.018	74.41
051301	3.16	2.222	-29.69	1.975	-37.51	2.120	-32.92	2.406	-23.85
051502	6.33	4.845	-23.46	5.871	-7.25	4.642	-26.66	3.805	-39.88
052202/052219	4.84	3.475	-28.20	2.849	-41.17	3.273	-32.42	3.687	-23.87
052203/052212	5.49	4.005	-27.05	4.745	-13.64	3.676	-33.10	4.43	-19.38
052233	1.46	1.879	28.67	1.668	14.23	1.827	25.13	2.061	41.2
052601	3.46	3.279	-5.23	2.75	-20.52	3.044	-12.01	2.574	-25.6
052803	0.118	0.107	-9.00	0.535	353.81	0.212	80.04	0.199	68.6
052805	2.9	2.558	-11.79	2.5	-13.8	2.633	-9.20	2.058	-29.02
060101	1.43	2.204	54.16	2.659	85.96	2.196	53.57	2.349	64.26
060601	1.8	1.720	-4.46	1.872	4	1.680	-6.65	1.686	-6.35
061020	4.22	3.376	-20.00	3.265	-22.64	3.150	-25.35	3.679	-12.81
061022	1.69	1.296	-23.29	1.459	-13.69	1.440	-14.77	2.032	20.25
061502	6.52	6.718	3.04	7.059	8.27	6.526	0.09	6.449	-1.08
061602	1.28	2.076	62.22	1.672	30.59	1.984	54.99	1.732	35.32
061801	2.75	4.669	69.79	3.538	28.66	3.518	27.91	3.178	15.55
061905	43.2	38.756	-10.29	38.589	-10.67	37.659	-12.83	44.584	3.2
061906	18.7	16.161	-13.58	13.959	-25.35	16.459	-11.98	18.426	-1.46
061909	1.28	1.920	50.01	1.831	43.05	1.562	22.01	1.671	30.58
062101	29.2	30.834	5.60	28.89	-1.06	26.147	-10.45	25.425	-12.93
062102	27.1	33.270	22.77	34.192	26.17	26.365	-2.71	29.178	7.67
062209	13.5	11.040	-18.23	10.339	-23.42	11.426	-15.36	12.289	-8.97
062701	2.77	1.932	-30.24	2.895	4.51	1.968	-28.97	2.394	-13.59
062802	3.39	3.686	8.72	3.724	9.87	3.252	-4.07	2.349	-30.71
070202	0.0978	0.108	10.63	0.138	40.8	0.154	57.66	0.112	14.16
070401	8.14	10.500	28.99	10.156	24.77	9.734	19.58	5.491	-32.54
071401	5.38	5.430	0.93	5.928	10.19	5.130	-4.65	4.237	-21.25
072302	9.15	10.782	17.84	11.159	21.96	10.641	16.30	15.137	65.43
073301/073303	1.59	2.203	38.57	2.25	41.48	2.242	41.00	1.905	19.82
073801	45.3	46.199	1.98	47.656	5.2	48.610	7.31	35.495	-21.64
074601	6.83	8.114	18.79	6.498	-4.87	7.198	5.38	7.91	15.82
074701	21.92	21.028	-4.07	25.881	18.07	20.127	-8.18	18.753	-14.45

HIVERNAL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{7,10}^{AFL}$	$Q_{7,10}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{7,10}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{7,10}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{7,10}^{RIS}$	BR_{RIS}
074902	42.7	36.895	-13.59	35.456	-16.96	36.634	-14.21	45.703	7.03
075601	13.72	11.130	-18.87	10.596	-22.77	10.493	-23.52	9.26	-32.51
080101/080102	13.82	14.452	4.57	7.317	-47.06	15.029	8.75	13.036	-5.67
080701	206	269.741	30.94	401.515	94.91	288.285	39.94	210.493	2.18
080704	74.8	82.951	10.90	76.419	2.16	83.404	11.50	80.652	7.82
080705/080717	33.88	33.580	-0.91	72.653	114.38	34.297	1.20	31.711	-6.43
080707	65.2	97.209	49.09	104.403	60.13	97.795	49.99	82.282	26.2
080718	126	128.470	1.96	144.616	14.77	142.672	13.23	112.528	-10.69
080801	74.7	96.057	28.59	1702.56	2179.2	90.319	20.91	88.407	18.35
080809	41.9	39.447	-5.85	28.032	-33.1	39.126	-6.62	52.39	25.03
081002	314	154.079	-50.93	134.878	-57.05	174.516	-44.42	165.74	-47.22
081006	23.1	25.683	11.18	23.524	1.84	24.816	7.43	39.306	70.16
081007	162	72.139	-55.47	69.846	-56.89	74.218	-54.19	62.376	-61.5
090601	140	114.241	-18.40	149.265	6.62	130.016	-7.13	183.743	31.25
090602	93.4	90.014	-3.62	90.107	-3.53	94.171	0.83	108.344	16
090607	11.3	11.127	-1.53	10.114	-10.5	10.539	-6.74	8.988	-20.46
090609	7.68	12.037	56.73	12.214	59.04	11.682	52.11	12.198	58.83
090610	35.2	37.706	7.12	34.328	-2.48	35.944	2.11	55.812	58.56
090613	71.9	71.258	-0.89	66.762	-7.15	71.386	-0.72	90.68	26.12
092703	146	204.221	39.88	163.666	12.1	162.727	11.46	130.281	-10.77
092704	341	369.121	8.25	410.822	20.48	408.725	19.86	269.613	-20.93
092706	50.5	62.889	24.53	56.391	11.67	60.024	18.86	61.686	22.15
092707	34.4	44.617	29.70	55.231	60.55	42.915	24.75	31.427	-8.64
092708	68.7	67.287	-2.06	62.647	-8.81	65.328	-4.91	72.702	5.83
092711	51.4	46.080	-10.35	44.017	-14.36	46.327	-9.87	45.636	-11.21
092715	43.3	45.518	5.12	43.566	0.61	45.305	4.63	48.433	11.85
092717	32.9	42.159	28.14	53.639	63.04	39.460	19.94	44.33	34.74
092722	82.9	45.811	-44.74	52.348	-36.85	48.334	-41.70	36.758	-55.66

AFL : Analyse fréquentielle locale

ACC : Analyse canonique de corrélations

CAH : Classification ascendante hiérarchique

ROI : Région d'influence

RM : Régression multiple

RIS : Régionalisation par interpolation spatiale

Annexe H.3. Période annuelle

ANNUEL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{30,5}^{AFL}$	$Q_{30,5}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{30,5}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{30,5}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{30,5}^{RIS}$	BR_{RIS}
010101	1.09	1.271	16.57	1.178	8.07	1.685	54.58	1.27	16.51
010801/010802	5.29	5.650	6.80	3.956	-25.21	5.780	9.26	5.731	8.34
010901/010902	4.38	4.528	3.38	3.655	-16.56	4.231	-3.39	3.653	-16.61
011001/011003	5.19	4.882	-5.93	4.419	-14.86	4.802	-7.48	5.221	0.59
011201	2.74	4.258	55.39	2.455	-10.42	3.597	31.27	3.304	20.58
011507	7.66	7.244	-5.43	5.647	-26.28	7.391	-3.52	5.203	-32.07
011508	1.09	1.997	83.24	1.79	64.19	1.669	53.10	1.472	35.03
020401/020404	1.5	2.005	33.67	1.852	23.49	1.975	31.70	1.391	-7.28
020502	0.138	0.236	70.75	0.162	17.57	0.209	51.12	0.12	-12.71
020601/020602	1.11	2.124	91.39	1.666	50.09	2.113	90.33	1.506	35.65
020802	3.08	4.396	42.74	3.482	13.05	3.797	23.29	3.281	6.53
021407	2.98	2.511	-15.75	2.504	-15.98	2.394	-19.66	2.441	-18.08
021502	2.27	2.058	-9.33	2.232	-1.68	2.004	-11.72	2.679	18
021601	4.89	4.596	-6.02	5.981	22.3	4.428	-9.44	4.356	-10.93
021915	0.647	1.268	95.97	1.255	94	1.288	99.14	1.406	117.3
022003	3.49	4.580	31.24	3.946	13.07	4.277	22.56	3.408	-2.35
022504/022507	0.721	1.006	39.52	0.983	36.33	1.042	44.52	0.887	22.98
022701/022704	0.829	1.623	95.75	1.418	71.08	1.361	64.23	1.992	140.3
022703	0.843	1.944	130.57	1.595	89.17	1.580	87.47	1.185	40.58
023101/023106	2.33	1.570	-32.89	1.199	-48.76	1.467	-37.29	2.412	3.09
023301/023303	3.27	2.596	-20.60	2.038	-37.66	2.179	-33.37	2.572	-21.34
023401	1.16	1.826	57.44	1.86	60.35	1.625	40.09	1.967	69.61
023402	11.1	15.708	41.51	11.678	5.2	11.552	4.07	11.57	4.23
023403	2.86	2.934	2.60	2.806	-1.89	2.593	-9.33	1.972	-31.05
023426	7.16	8.473	18.33	7.789	8.79	7.467	4.29	7.489	4.59
023429	4.77	6.725	40.98	6.255	31.14	5.820	22.01	5.585	17.1
023701	0.603	0.686	13.69	0.871	44.42	0.636	5.40	1.463	142.6
024001/024007	5.39	5.549	2.95	5.532	2.58	5.317	-1.40	4.646	-13.84
024003	2.12	2.205	3.99	2.039	-3.8	1.884	-11.14	2.801	32.14
024013	0.761	0.340	-55.34	0.398	-47.67	0.438	-42.47	0.472	-38
030101	0.754	0.845	12.03	1.089	44.49	0.905	20.01	1.075	42.56
030103	2.74	3.004	9.65	2.856	4.25	2.425	-11.50	2.993	9.24
030214/030234	1.15	1.627	41.51	1.69	46.94	1.458	26.79	1.244	8.14
030219	2.13	2.090	-1.89	1.487	-30.19	1.625	-23.73	1.826	-14.28
030238	0.175	0.140	-20.28	0.125	-28.69	0.161	-8.04	0.158	-9.73
030282	1.57	1.623	3.40	1.237	-21.18	1.342	-14.53	1.785	13.68
030316	0.132	0.616	366.37	0.771	483.91	0.337	155.25	0.561	324.9
030335	0.115	0.109	-5.28	0.137	18.7	0.111	-3.12	0.231	101.3
030340	1.49	0.587	-60.57	0.54	-63.74	0.511	-65.70	0.352	-76.41
030341	2.82	4.392	55.74	0.034	-98.78	2.895	2.66	4.984	76.74
030415	0.148	0.574	288.17	0.843	469.31	0.455	207.74	0.584	294.3
030901/030905	4.15	3.227	-22.25	0.444	-89.31	1.473	-64.53	4.506	8.53
031401	0.365	0.660	80.78	0.447	22.5	0.484	32.51	0.473	29.49
040129	0.421	0.383	-9.01	0.334	-20.67	0.363	-13.73	0.335	-20.42
040201	12.6	6.219	-50.64	4.738	-62.4	6.031	-52.14	6.736	-46.54
040202/040204	22.89	17.935	-21.65	19.672	-14.06	16.858	-26.35	15.076	-34.14
040212	0.0888	0.116	31.02	0.123	38.82	0.149	67.72	0.18	102.3
040401/040406	3.15	4.809	52.67	4.08	29.53	4.666	48.12	5.399	71.38
040814	4.02	3.523	-12.37	4.304	7.07	3.588	-10.74	3.957	-1.58
040830	24.6	23.683	-3.73	27.474	11.68	22.333	-9.22	27.727	12.71
041301	15.1	17.303	14.59	18.697	23.82	14.817	-1.87	15.76	4.37
041901/041902	13.05	13.782	5.61	13.206	1.19	11.397	-12.67	13.436	2.96

ANNUEL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{30,5}^{AFL}$	$Q_{30,5}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{30,5}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{30,5}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{30,5}^{RIS}$	BR_{RIS}
042606	10.5	8.496	-19.08	7.953	-24.26	7.252	-30.94	8.949	-14.77
043009/043012	9.01	8.556	-5.04	8.262	-8.34	8.106	-10.07	10.44	15.83
046706	0.102	0.063	-38.06	0.105	3.12	0.073	-27.98	0.133	30.25
046707	0.0692	0.034	-51.40	0.014	-79.14	0.022	-68.05	0.06	-13.1
050116/050144	9.37	10.237	9.26	8.182	-12.68	10.097	7.76	9.677	3.28
050117/050135	5.88	4.546	-22.69	5.749	-2.29	4.782	-18.72	5.752	-2.24
050119	5.09	4.057	-20.29	4.595	-9.73	3.985	-21.71	4.429	-12.98
050301	20.64	15.290	-25.92	16.476	-20.18	15.312	-25.81	17.885	-13.35
050302/050304	19.6	14.152	-27.80	17.428	-11.08	14.285	-27.12	18.645	-4.87
050305	12.4	9.425	-23.99	9.576	-22.77	10.059	-18.88	13.505	8.91
050408	8.97	5.328	-40.60	5.445	-39.3	5.026	-43.97	8.273	-7.77
050409	3.53	2.420	-31.44	2.712	-23.18	2.359	-33.19	3.624	2.66
050701	1.89	1.020	-46.03	1.091	-42.28	0.935	-50.53	1.668	-11.73
050812	0.542	0.194	-64.21	0.366	-32.38	0.214	-60.51	0.436	-19.62
051001	3.99	4.243	6.33	3.546	-11.14	3.691	-7.49	4.579	14.77
051002	0.029	0.013	-55.63	0.017	-42.74	0.014	-50.74	0.015	-47.49
051003	0.0514	0.033	-35.75	0.034	-33.96	0.034	-34.36	0.052	1.71
051004	0.0044	0.005	22.04	0.007	46.63	0.006	35.62	0.007	53.17
051005	0.755	1.404	86.03	1.179	56.14	0.967	28.05	0.612	-18.98
051006	0.172	0.268	55.94	0.229	32.88	0.239	38.68	0.391	127.5
051007	0.0151	0.013	-17.00	0.02	29.67	0.016	6.90	0.021	35.94
051301	3.59	2.505	-30.22	3.299	-8.11	2.334	-34.99	3.07	-14.47
051502	7.43	5.899	-20.61	6.224	-16.23	5.606	-24.55	4.599	-38.1
052202/052219	3.57	3.619	1.09	6.632	85.28	3.458	-3.40	2.583	-27.84
052203/052212	4.34	4.034	-7.06	4.619	6.4	4.008	-7.68	3.523	-18.86
052233	0.825	1.090	32.08	1.974	139.31	1.207	46.34	1.526	84.93
052803	0.145	0.230	58.87	0.096	-33.67	0.124	-14.43	0.13	-10.32
052805	1.87	3.178	69.92	2.359	26.16	2.841	51.95	2.277	21.77
060101	1.68	2.902	72.73	2.45	45.86	2.607	55.19	2.793	66.28
060601	1.92	1.513	-21.19	1.9	-1.05	1.647	-14.22	1.905	-0.79
061020	4.82	4.305	-10.69	4.398	-8.76	3.711	-23.00	4.485	-6.95
061022	2.06	1.652	-19.81	1.334	-35.25	1.593	-22.66	2.241	8.78
061502	8.22	7.550	-8.15	10.356	25.99	7.277	-11.48	8.228	0.1
061801	3.26	3.427	5.12	3.53	8.28	3.449	5.79	3.768	15.59
061905	48.6	41.964	-13.65	43.358	-10.79	40.310	-17.06	49.185	1.2
061906	20.7	16.275	-21.37	15.079	-27.15	16.198	-21.75	20.465	-1.13
061909	1.38	1.360	-1.44	2.341	69.66	1.621	17.45	1.994	44.47
062101	33.1	34.516	4.28	38.928	17.61	30.411	-8.12	29.735	-10.17
062102	31.7	36.149	14.04	38.46	21.32	30.764	-2.95	33.059	4.29
062209	15	13.053	-12.98	14.459	-3.61	12.408	-17.28	14.87	-0.87
062701	3.36	2.067	-38.47	2.668	-20.59	2.127	-36.69	2.832	-15.72
062802	4.06	4.277	5.35	3.438	-15.31	3.808	-6.20	2.637	-35.06
070401	9.93	11.596	16.78	10.656	7.31	10.975	10.52	5.7	-42.6
071401	6.23	6.711	7.72	3.36	-46.07	5.950	-4.49	5.705	-8.42
073301/073303	1.81	3.044	68.19	3.344	84.78	2.327	28.58	2.359	30.32
073502/073503	26.9	29.653	10.23	27.297	1.48	25.351	-5.76	24.402	-9.29
073801	50.7	53.123	4.78	63.436	25.12	55.906	10.27	47.207	-6.89
074601	8.63	9.216	6.78	6.9	-20.05	7.961	-7.76	8.752	1.41
074701	24.19	25.193	4.14	20.047	-17.13	21.301	-11.94	22.851	-5.54
074902	47.12	41.685	-11.53	39.779	-15.58	37.182	-21.09	54.49	15.64
074903	58.2	76.194	30.92	60.456	3.88	55.821	-4.09	68.887	18.36
075601	17.95	12.289	-31.54	13.151	-26.74	11.978	-33.27	10.599	-40.95
080101/080102	15.75	14.956	-5.04	11.998	-23.82	13.676	-13.17	14.138	-10.24

ANNUEL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{30,5}^{AFL}$	$Q_{30,5}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{30,5}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{30,5}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{30,5}^{RIS}$	BR_{RIS}
080701	230	241.074	4.81	236.528	2.84	246.243	7.06	235.965	2.59
080704	83.7	80.010	-4.41	81.041	-3.18	78.538	-6.17	91.063	8.8
080705/080717	39.23	30.550	-22.15	32.735	-16.57	28.375	-27.68	33.502	-14.62
080707	74	92.262	24.68	85.464	15.49	87.727	18.55	92.43	24.9
080718	141	119.564	-15.20	143.814	2	129.719	-8.00	126.814	-10.06
080801	82	104.354	27.26	66.388	-19.04	86.977	6.07	98.651	20.31
080809	47.6	39.157	-17.74	78.041	63.95	35.328	-25.78	58.791	23.51
081002	348	209.232	-39.88	194.549	-44.1	188.096	-45.95	183.576	-47.25
081006	26.4	31.539	19.47	27.546	4.34	28.739	8.86	44.342	67.96
081007	184	88.840	-51.72	99.44	-45.96	82.493	-55.17	71.046	-61.39
090601	164	79.499	-51.53	122.452	-25.33	147.783	-9.89	198.908	21.29
090602	105	114.583	9.13	80.144	-23.67	116.882	11.32	134.798	28.38
090605	8.98	10.400	15.81	6.704	-25.35	7.461	-16.92	7.017	-21.85
090607	11.9	16.751	40.76	11.153	-6.28	13.420	12.78	10.156	-14.65
090609	8.7	17.637	102.72	14.257	63.87	14.907	71.35	13.688	57.33
090610	39.9	42.329	6.09	51.884	30.03	47.216	18.33	62.913	57.68
090613	82	85.264	3.98	75.772	-7.59	90.372	10.21	108.07	31.79
092703	163	243.697	49.51	237.048	45.43	177.490	8.89	141.734	-13.05
092704	367	480.616	30.96	487.137	32.73	406.773	10.84	315.046	-14.16
092706	56.3	69.838	24.05	104.294	85.25	71.472	26.95	68.764	22.14
092707	38.5	50.271	30.57	59.727	55.14	49.290	28.03	34.714	-9.83
092708	74.1	83.867	13.18	71.49	-3.52	84.151	13.56	80.68	8.88
092711	55.6	52.065	-6.36	51.614	-7.17	60.366	8.57	51.425	-7.51
092715	49.4	50.322	1.87	51.547	4.35	58.548	18.52	53.322	7.94
092717	35.4	49.046	38.55	57.943	63.68	48.684	37.52	49.477	39.77
092722	89.8	52.456	-41.59	81.839	-8.86	60.149	-33.02	44.374	-50.59

AFL : Analyse fréquentielle locale

ACC : Analyse canonique de corrélations

CAH : Classification ascendante hiérarchique

ROI : Région d'influence

RM : Régression multiple

RIS : Régionalisation par interpolation spatiale

ANNUEL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{7,2}^{AFL}$	$Q_{7,2}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{7,2}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{7,2}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{7,2}^{RIS}$	BR_{RIS}
010101	1.21	1.43344	18.47	1.463	20.91	1.716	41.83	1.454	20.13
010801/010802	6.18	5.49393	-11.10	5.166	-16.41	5.961	-3.55	6.298	1.91
010901/010902	4.77	5.04073	5.68	4.248	-10.94	4.629	-2.95	4.233	-11.27
011201	3.16	4.46258	41.22	3.358	6.26	3.754	18.79	3.785	19.78
011507	8.73	7.55419	-13.47	6.788	-22.24	7.921	-9.26	6.514	-25.38
011508	1.47	2.22245	51.19	2.245	52.73	1.915	30.26	1.638	11.4
020401/020404	1.84	2.10981	14.66	2.068	12.38	2.130	15.76	1.574	-14.43
020502	0.149	0.27229	82.74	0.21	41.19	0.236	58.22	0.135	-9.32
020601/020602	1.25	2.24813	79.85	2.019	61.54	2.252	80.18	1.725	37.98
020802	3.52	4.72982	34.37	4.276	21.48	4.109	16.74	3.763	6.91
021407	3.39	2.7428	-19.09	2.818	-16.88	2.619	-22.75	2.655	-21.68
021502	2.51	2.13235	-15.05	2.559	1.95	2.144	-14.57	3.021	20.35
021601	5.29	4.8125	-9.03	6.012	13.65	4.703	-11.09	5.233	-1.07
021915	0.802	1.41468	76.39	1.539	91.91	1.377	71.64	1.65	105.7
022504/022507	0.765	1.10948	45.03	0.994	29.93	1.077	40.76	1.666	117.8
022703	1.1	1.89345	72.13	1.606	46.03	1.634	48.51	1.444	31.27
023101/023106	2.07	1.56736	-24.28	1.165	-43.82	1.385	-33.19	3.068	47.95
023301/023303	4.01	2.49744	-37.72	2.058	-48.67	2.198	-45.18	2.696	-32.77
023401	1.13	1.85747	64.38	2.14	89.34	1.812	60.35	1.915	69.45
023402	9.79	20.3325	107.69	11.687	19.37	12.044	23.03	12.326	25.9
023403	2.68	3.0767	14.80	3.152	17.6	2.785	3.91	1.554	-42.02
023426	6.06	9.77693	61.34	7.66	26.41	7.759	28.04	6.84	12.87
023429	4.13	6.88843	66.79	6.231	50.87	6.077	47.14	4.906	18.79
023701	0.587	0.80727	37.52	0.781	33.04	0.704	19.98	1.516	158.3
024001/024007	5.48	6.54228	19.38	6.245	13.91	5.659	3.24	4.592	-16.23
024003	2.1	2.28259	8.69	2.17	3.32	2.002	-4.67	2.512	19.63
024013	0.744	0.30639	-58.82	0.419	-43.7	0.459	-38.33	0.466	-37.43
030101	0.686	1.09501	59.62	0.996	45.13	0.912	32.96	1.366	99.19
030103	2.58	3.10593	20.38	2.372	-8.08	2.552	-1.08	2.999	16.24
030214/030234	2.14	1.75302	-18.08	1.676	-21.67	1.554	-27.39	1.062	-50.39
030219	1.93	1.97065	2.11	1.609	-16.63	1.667	-13.64	1.745	-9.57
030238	0.146	0.15405	5.52	0.118	-19.1	0.162	11.20	0.197	35.26
030282	1.31	1.74911	33.52	1.32	0.73	1.361	3.91	1.699	29.66
030316	0.152	0.53952	254.95	0.793	421.76	0.369	142.48	0.753	395.1
030335	0.105	0.11967	13.97	0.134	27.45	0.120	14.39	0.214	104.1
030340	1.32	0.56097	-57.50	0.556	-57.9	0.572	-56.69	0.363	-72.52
030341	3.88	4.31771	11.28	0.035	-99.11	2.851	-26.52	4.479	15.44
030415	0.138	0.48043	248.14	0.96	595.46	0.463	235.45	0.616	346.5
030901/030905	4.22	3.39605	-19.52	0.56	-86.74	2.068	-51.03	4.762	12.77
031401	0.33	0.62267	88.69	0.485	47.06	0.517	56.63	0.445	34.78
040129	0.425	0.42692	0.45	0.35	-17.66	0.413	-2.79	0.402	-5.44
040201	14.3	6.5894	-53.92	4.795	-66.47	6.793	-52.49	8.307	-41.91
040202/040204	34.43	21.183	-38.48	24.47	-28.93	20.163	-41.44	17.508	-49.15
040212	0.101	0.15443	52.90	0.142	40.3	0.169	67.52	0.214	111.8
040401/040406	4.2	6.23925	48.55	6.049	44.03	5.946	41.57	7.215	71.8
040814	4.44	3.88332	-12.54	5.506	24.01	4.132	-6.94	4.619	4.02
040830	27.8	30.4199	9.42	24.618	-11.45	24.706	-11.13	32.281	16.12
041301	16.5	19.9211	20.73	25.838	56.6	17.245	4.51	20.551	24.55
041901/041902	19.93	16.1698	-18.87	18.378	-7.79	13.917	-30.17	18.66	-6.37
041903	12.24	6.61726	-45.94	9.062	-25.97	7.091	-42.07	10.798	-11.78
042606	14.2	11.8224	-16.74	12.105	-14.76	9.105	-35.88	13.245	-6.73
043009/043012	9.73	10.9063	11.97	10.632	9.21	9.271	-4.77	12.273	26.07

ANNUEL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{7,2}^{AFL}$	$Q_{7,2}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{7,2}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{7,2}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{7,2}^{RIS}$	BR_{RIS}
046706	0.109	0.09415	-13.62	0.142	30.51	0.070	-35.69	0.14	28.39
046707	0.0695	0.03523	-49.31	0.013	-81.05	0.020	-70.79	0.065	-6.65
050116/050144	11.97	13.8005	15.29	10.1	-15.62	11.974	0.03	11.044	-7.73
050117/050135	6.56	5.47804	-16.62	6.233	-5.06	5.385	-17.98	7.036	7.18
050119	8.23	4.56142	-44.58	5.538	-32.71	4.571	-44.46	5.02	-39
050301	23.04	16.9552	-26.41	19.398	-15.81	17.478	-24.14	19.882	-13.71
050302/050304	21.7	15.7356	-27.49	19.373	-10.72	16.065	-25.97	20.897	-3.7
050305	14.6	11.866	-18.73	11.118	-23.85	11.631	-20.34	14.996	2.71
050408	9.49	5.91786	-37.64	6.016	-36.61	5.594	-41.05	8.448	-10.98
050409	3.72	2.81215	-24.40	2.897	-22.12	2.726	-26.72	3.829	2.94
050701	1.88	1.01429	-46.05	1.274	-32.23	1.067	-43.25	1.665	-11.45
050812	0.488	0.22977	-52.92	0.361	-26.11	0.227	-53.58	0.431	-11.63
051001	4.92	4.59908	-6.52	4.088	-16.9	4.079	-17.08	4.769	-3.08
051002	0.0313	0.01447	-53.78	0.019	-39.28	0.016	-48.50	0.02	-35.43
051003	0.0568	0.06142	8.13	0.041	-28.04	0.040	-29.86	0.068	19.44
051004	0.0049	0.00648	33.39	0.008	66.26	0.007	48.50	0.009	86.85
051005	0.929	1.34611	44.90	1.306	40.55	1.086	16.91	0.81	-12.85
051007	0.0186	0.0139	-25.29	0.02	6.16	0.017	-7.02	0.026	42.03
051301	3.67	2.57766	-29.76	3.306	-9.91	2.520	-31.33	4.082	11.24
051502	7.84	6.62164	-15.54	6.853	-12.59	6.261	-20.14	5.598	-28.6
052202/052219	3.96	3.88634	-1.86	7.05	77.94	3.901	-1.55	3.438	-13.23
052203/052212	4.35	4.52125	3.94	5.322	22.3	4.661	7.12	4.022	-7.58
052233	0.976	1.37005	40.37	1.637	67.69	1.394	42.84	1.548	58.56
052601	4.48	3.4772	-22.38	4.193	-6.42	3.632	-18.93	3.135	-30.02
052803	0.234	0.07797	-66.68	0.137	-41.39	0.149	-36.14	0.185	-21.14
052805	2.26	3.70818	64.08	2.883	27.58	3.495	54.63	3.559	57.46
060101	1.93	3.29156	70.55	2.613	35.4	3.031	57.04	2.977	54.23
060601	2.06	1.73854	-15.60	2.132	3.51	1.867	-9.39	2.262	9.8
061020	5.41	4.72256	-12.71	4.954	-8.44	4.117	-23.90	5.313	-1.79
061022	2.51	1.83797	-26.77	1.434	-42.86	1.781	-29.03	2.769	10.33
061502	9.72	7.96655	-18.04	10.251	5.46	8.008	-17.61	9.791	0.73
061602	2.63	2.11865	-19.44	2.668	1.46	2.005	-23.75	2.272	-13.62
061801	3.53	3.85411	9.18	4.331	22.7	4.032	14.21	4.293	21.62
061905	51.9	47.1001	-9.25	47.748	-8	43.829	-15.55	52.5	1.16
061906	21.7	18.8599	-13.09	18.044	-16.85	18.897	-12.92	22.579	4.05
061909	1.6	1.52223	-4.86	2.433	52.07	1.793	12.06	2.253	40.8
062101	37.3	39.686	6.40	38.901	4.29	32.789	-12.09	33.214	-10.95
062102	35.9	41.9078	16.73	38.514	7.28	32.930	-8.27	37.151	3.48
062209	16.9	14.8144	-12.34	16.071	-4.9	13.804	-18.32	15.592	-7.74
062701	3.8	2.35518	-38.02	2.744	-27.79	2.360	-37.90	3.249	-14.5
062802	4.24	5.06607	19.48	3.817	-9.98	4.456	5.09	2.96	-30.19
070401	11.1	13.3167	19.97	12.402	11.73	12.671	14.16	6.475	-41.67
071401	6.75	7.96369	17.98	4.417	-34.56	6.968	3.23	5.93	-12.15
072302	13.6	15.2849	12.39	14.625	7.54	15.135	11.28	19.285	41.8
073301/073303	2.06	3.2036	55.51	3.493	69.56	2.615	26.93	2.597	26.06
073801	59.2	58.6118	-0.99	72.481	22.43	62.374	5.36	50.598	-14.53
074601	11.1	8.81824	-20.56	7.556	-31.93	9.006	-18.87	9.338	-15.87
074701	25.36	24.6507	-2.80	22.524	-11.18	23.698	-6.55	29.891	17.87
074902	56.33	42.3186	-24.87	37.781	-32.93	38.756	-31.20	68.814	22.16
075601	21.98	13.481	-38.67	18.136	-17.49	13.094	-40.43	11.932	-45.71
080101/080102	16.7	18.5125	10.85	9.833	-41.12	17.583	5.29	15.776	-5.54
080701	259	267.203	3.17	507.038	95.77	271.327	4.76	263.041	1.56
080704	96.4	91.2501	-5.34	89.05	-7.62	92.091	-4.47	101.214	4.99

ANNUEL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{7,2}^{AFL}$	$Q_{7,2}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{7,2}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{7,2}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{7,2}^{RIS}$	BR_{RIS}
080705/080717	42.07	34.2878	-18.52	31.154	-25.96	33.200	-21.09	38.784	-7.82
080707	82.7	99.5072	20.32	93.33	12.85	100.991	22.12	102.233	23.62
080718	157	135.006	-14.01	164.493	4.77	144.944	-7.68	142.128	-9.47
080801	91.4	111.31	21.78	87.902	-3.83	97.839	7.04	109.024	19.28
080809	52.8	41.6581	-21.10	101.64	92.5	39.553	-25.09	65.871	24.76
081002	383	232.11	-39.40	225.806	-41.04	205.529	-46.34	203.319	-46.91
081006	27.9	36.4275	30.56	30.89	10.72	31.754	13.81	50.746	81.88
081007	211	102.065	-51.63	102.403	-51.47	90.643	-57.04	79.591	-62.28
090601	182	89.9641	-50.57	123.706	-32.03	161.703	-11.15	218.009	19.79
090602	118	135.071	14.47	90.587	-23.23	123.189	4.40	152.603	29.32
090605	10.3	12.0498	16.99	7.346	-28.68	8.449	-17.97	7.938	-22.93
090607	12.5	17.4962	39.97	12.518	0.14	14.968	19.75	11.747	-6.02
090609	10.4	17.8115	71.26	15.17	45.86	16.493	58.59	14.757	41.9
090610	49.2	49.1125	-0.18	60.238	22.43	52.155	6.01	70.869	44.04
090613	96.2	97.4294	1.28	86.514	-10.07	98.868	2.77	125.046	29.99
092703	181	271.673	50.10	308.056	70.2	197.215	8.96	158.052	-12.68
092704	406	556.714	37.12	520.109	28.11	458.489	12.93	341.318	-15.93
092706	60.9	81.5216	33.86	99.47	63.33	76.433	25.51	76.338	25.35
092707	42.9	58.9398	37.39	65.852	53.5	57.040	32.96	37.724	-12.06
092708	82.2	93.1247	13.29	82.144	-0.07	92.079	12.02	88.934	8.19
092711	59.9	57.9566	-3.24	59.28	-1.04	66.181	10.49	58.252	-2.75
092715	56.4	56.3142	-0.15	58.596	3.89	64.215	13.86	58.94	4.5
092717	39.5	51.1092	29.39	69.673	76.39	53.644	35.81	55.458	40.4
092722	97.5	77.9769	-20.02	96.26	-1.27	66.184	-32.12	48.628	-50.13

AFL : Analyse fréquentielle locale

ACC : Analyse canonique de corrélations

CAH : Classification ascendante hiérarchique

ROI : Région d'influence

RM : Régression multiple

RIS : Régionalisation par interpolation spatiale

ANNUEL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{7,10}^{AFL}$	$Q_{7,10}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{7,10}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{7,10}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{7,10}^{RIS}$	BR_{RIS}
010101	0.83	1.247	50.22	1.019	22.82	1.331	60.31	0.943	13.56
010801/010802	4.23	3.690	-12.77	3.579	-15.39	4.567	7.96	4.686	10.79
010901/010902	3.66	3.654	-0.16	3.062	-16.33	3.425	-6.41	2.866	-21.69
011201	2.03	3.418	68.35	2.337	15.11	2.858	40.78	2.666	31.34
011507	5.7	5.212	-8.57	4.145	-27.27	5.393	-5.38	3.241	-43.13
011508	0.59	1.293	119.11	1.326	124.82	1.106	87.49	1.123	90.27
020401/020404	1.17	1.579	34.97	1.485	26.88	1.531	30.84	1.1	-5.96
020502	0.0988	0.378	282.88	0.145	46.77	0.170	71.65	0.097	-1.91
020601/020602	0.881	1.715	94.66	1.425	61.72	1.683	91.08	1.141	29.51
020802	2.48	3.493	40.84	2.991	20.61	3.000	20.97	2.633	6.17
021407	2.41	1.795	-25.51	1.986	-17.58	1.851	-23.19	1.918	-20.42
021502	1.82	1.504	-17.39	1.717	-5.67	1.466	-19.43	2.136	17.37
021601	3.84	3.263	-15.02	4.179	8.83	3.245	-15.50	3.053	-20.49
021915	0.429	0.876	104.29	1.021	138.09	0.857	99.72	1.145	166.8
022504/022507	0.456	0.747	63.79	0.654	43.53	0.652	42.98	1.108	143
022703	0.508	1.065	109.69	0.945	86.06	0.979	92.78	0.698	37.42
023101/023106	1.45	0.905	-37.58	0.708	-51.28	0.794	-45.36	2.203	51.52
023301/023303	3.06	1.489	-51.35	1.174	-61.65	1.306	-57.33	1.659	-45.78
023401	0.661	1.087	64.37	1.337	102.31	1.057	59.94	1.323	100.1
023402	5.96	13.524	126.92	6.188	3.82	7.664	28.59	8.005	34.31
023403	0.992	1.860	87.45	1.839	85.43	1.694	70.74	0.813	-18.02
023426	3.09	5.810	88.02	4.33	40.13	4.915	59.06	3.894	26.03
023429	2.03	4.278	110.74	3.512	72.98	3.807	87.52	2.268	11.73
023701	0.396	0.371	-6.21	0.476	20.16	0.369	-6.81	1.099	177.6
024001/024007	3.25	4.252	30.83	3.338	2.67	3.563	9.57	2.98	-8.36
024003	1.08	1.345	24.51	1.22	12.94	1.195	10.64	1.842	70.51
024013	0.535	0.164	-69.29	0.205	-61.71	0.247	-53.88	0.246	-54.01
030101	0.336	0.681	102.79	0.58	72.74	0.503	49.73	0.805	139.5
030103	1.46	1.682	15.24	1.424	-2.47	1.476	1.07	1.748	19.7
030214/030234	1.29	0.896	-30.58	0.9	-30.27	0.891	-30.94	0.678	-47.42
030219	1.17	1.121	-4.22	0.928	-20.72	0.994	-15.01	1.065	-8.99
030238	0.0993	0.100	1.06	0.077	-22.85	0.093	-6.57	0.118	18.59
030282	0.79	0.959	21.42	0.781	-1.09	0.795	0.63	1.032	30.65
030316	0.0779	0.225	188.70	0.419	437.66	0.168	115.42	0.518	565.4
030335	0.0599	0.049	-17.41	0.096	59.53	0.055	-7.99	0.158	164
030340	1.03	0.348	-66.18	0.308	-70.12	0.289	-71.98	0.184	-82.11
030341	1.63	2.422	48.57	0.011	-99.35	1.467	-10.03	3.069	88.31
030415	0.0672	0.290	331.63	0.545	711.01	0.214	218.78	0.386	474.5
030901/030905	2.41	1.710	-29.35	0.318	-86.86	1.018	-57.93	2.694	11.35
031401	0.198	0.421	112.69	0.306	54.73	0.301	51.77	0.273	37.63
040129	0.295	0.298	1.06	0.177	-40	0.265	-10.15	0.247	-16.14
040201	10.4	4.217	-59.45	2.757	-73.49	4.386	-57.82	4.527	-56.47
040202/040204	26.3	15.910	-39.51	19.491	-25.89	14.706	-44.08	10.126	-61.5
040212	0.04	0.043	8.36	0.052	30.62	0.099	146.76	0.158	295
040401/040406	2.23	4.636	107.89	2.815	26.21	3.669	64.52	5.431	143.6
040814	3.14	2.385	-24.04	3.54	12.73	2.560	-18.47	3.109	-0.99
040830	19.3	22.676	17.49	19.341	0.21	18.738	-2.91	24.505	26.97
041301	11.5	15.159	31.82	19.354	68.29	11.533	0.28	15.189	32.08
041901/041902	15.74	11.994	-23.80	10.975	-30.28	8.951	-43.13	13.829	-12.14
041903	10.12	4.756	-53.00	5.595	-44.71	4.444	-56.09	7.476	-26.13
042606	7.24	7.409	2.34	6.96	-3.87	5.649	-21.97	10.851	49.87
043009/043012	8.24	7.059	-14.33	7.372	-10.58	6.173	-25.12	9.236	12.03

ANNUEL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{7,10}^{AFL}$	$Q_{7,10}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{7,10}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{7,10}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{7,10}^{RIS}$	BR_{RIS}
046706	0.0478	0.033	-31.34	0.069	43.56	0.043	-9.80	0.079	65.34
046707	0.0366	0.024	-34.14	0.006	-82.94	0.011	-71.22	0.034	-8.46
050116/050144	9.08	10.297	13.41	6.418	-29.31	8.623	-5.04	8.362	-7.91
050117/050135	4.9	3.765	-23.17	5.117	4.39	3.773	-23.02	4.835	-1.37
050119	6.38	2.886	-54.77	3.688	-42.19	2.905	-54.47	2.698	-57.71
050301	16.85	13.935	-17.30	16.691	-0.94	13.225	-21.52	15.673	-6.98
050302/050304	17.3	11.277	-34.81	18.521	7.06	12.370	-28.50	15.277	-11.69
050305	10.8	9.274	-14.13	8.525	-21.06	8.537	-20.95	12.163	12.62
050408	7.86	4.263	-45.77	4.406	-43.94	4.010	-48.98	6.179	-21.38
050409	3.21	1.951	-39.23	2.163	-32.63	1.880	-41.42	2.992	-6.81
050701	1.12	0.637	-43.10	0.79	-29.45	0.630	-43.79	1.362	21.63
050812	0.413	0.120	-71.01	0.217	-47.46	0.133	-67.70	0.271	-34.39
051001	3.26	3.587	10.02	3.002	-7.9	2.969	-8.93	3.678	12.83
051002	0.0247	0.008	-68.04	0.012	-49.95	0.010	-57.76	0.012	-50.28
051003	0.0424	0.031	-26.36	0.028	-34.65	0.027	-37.12	0.053	25.15
051004	0.0035	0.004	2.05	0.006	64.21	0.004	15.23	0.007	106.3
051005	0.515	0.849	64.77	0.954	85.27	0.766	48.77	0.637	23.62
051007	0.0109	0.008	-28.16	0.014	29	0.013	15.30	0.021	89.55
051301	3.13	1.677	-46.42	2.92	-6.72	1.736	-44.52	2.99	-4.46
051502	6.4	4.927	-23.02	5.018	-21.6	4.498	-29.72	4.041	-36.87
052202/052219	2.35	2.527	7.06	6.762	186.91	2.743	16.39	1.791	-24.02
052203/052212	2.54	3.226	26.49	3.882	52.48	3.203	25.78	2.397	-5.84
052233	0.497	0.784	57.72	0.75	51	0.766	54.12	0.908	82.77
052601	3.46	2.198	-36.47	2.74	-20.81	2.335	-32.50	1.165	-66.32
052803	0.0414	0.114	175.22	0.047	14.28	0.066	58.40	0.116	181
052805	1.2	2.610	117.47	1.584	32.01	2.286	90.46	1.272	5.96
060101	1.32	2.442	84.97	1.732	31.19	2.075	57.19	2.26	71.18
060601	1.48	1.072	-27.60	1.428	-3.53	1.174	-20.67	1.563	5.62
061020	4.22	3.550	-15.88	3.548	-15.92	2.887	-31.59	3.502	-17.02
061022	1.64	1.013	-38.21	0.776	-52.7	1.188	-27.57	2.159	31.67
061502	6.54	5.993	-8.37	7.573	15.8	5.657	-13.50	6.108	-6.61
061602	1.08	1.601	48.22	2.261	109.32	1.190	10.23	1.606	48.69
061801	2.81	2.437	-13.26	2.703	-3.81	2.582	-8.12	3.203	13.98
061905	43.2	37.651	-12.84	40.06	-7.27	32.844	-23.97	43.848	1.5
061906	18.6	14.338	-22.91	9.867	-46.95	13.129	-29.41	18.286	-1.69
061909	1.1	1.064	-3.27	1.878	70.7	1.178	7.07	1.572	42.89
062101	29.2	30.882	5.76	28.498	-2.4	24.365	-16.56	25.577	-12.41
062102	27.1	32.516	19.99	28.062	3.55	24.339	-10.19	28.869	6.53
062209	13.5	10.907	-19.21	11.493	-14.87	9.730	-27.92	12.482	-7.54
062701	2.75	1.599	-41.84	2.193	-20.26	1.593	-42.09	2.471	-10.15
062802	3.16	3.835	21.36	2.625	-16.93	3.087	-2.32	2.046	-35.24
070401	7.96	10.336	29.85	9.728	22.21	9.381	17.85	4.028	-49.4
071401	5.13	5.762	12.31	2.892	-43.62	4.926	-3.97	4.453	-13.19
072302	9.19	12.013	30.72	12.011	30.7	11.020	19.92	15.826	72.21
073301/073303	1.59	1.996	25.55	1.889	18.83	1.645	3.46	1.917	20.54
073801	45.4	48.829	7.55	57.197	25.98	49.290	8.57	35.589	-21.61
074601	6.83	6.937	1.57	6.055	-11.35	6.359	-6.89	7.902	15.7
074701	21.92	19.959	-8.94	16.852	-23.12	16.672	-23.94	18.709	-14.65
074902	42.7	36.137	-15.37	36.169	-15.3	27.196	-36.31	47.236	10.62
075601	13.72	9.565	-30.29	11.404	-16.88	9.972	-27.32	9.462	-31.04
080101/080102	13.82	14.218	2.88	8.192	-40.73	10.659	-22.87	12.655	-8.43
080701	211	200.888	-4.79	452.626	114.51	232.906	10.38	210.34	-0.31
080704	75.4	76.369	1.29	71.067	-5.75	71.575	-5.07	80.831	7.2

ANNUEL	AFL	ACC-RM		CAH-RM		ROI-RM		RIS	
Stations	$Q_{7,10}^{AFL}$	$Q_{7,10}^{ACC}$	BR_{ACC}	$Q_{7,10}^{CAH}$	BR_{CAH}	$Q_{7,10}^{ROI}$	BR_{ROI}	$Q_{7,10}^{RIS}$	BR_{RIS}
080705/080717	33.42	30.121	-9.90	25.012	-25.17	22.435	-32.88	30.605	-8.44
080707	64.9	89.505	37.91	72.669	11.97	77.157	18.89	82.871	27.69
080718	125	116.781	-6.58	126.575	1.26	113.694	-9.04	113.735	-9.01
080801	74.8	80.609	7.77	73.84	-1.28	77.922	4.17	89.779	20.03
080809	43.1	33.931	-21.27	81.92	90.07	27.234	-36.81	53.092	23.18
081002	317	175.988	-44.48	187.594	-40.82	174.245	-45.03	166.264	-47.55
081006	24.7	27.398	10.92	24.444	-1.04	22.815	-7.63	39.392	59.48
081007	163	81.788	-49.82	84.7	-48.04	73.426	-54.95	63.83	-60.84
090601	146	71.543	-51.00	93.691	-35.83	126.750	-13.19	182.927	25.29
090602	92	100.417	9.15	73.574	-20.03	100.769	9.53	121.052	31.58
090605	7.99	9.319	16.63	6.141	-23.14	5.279	-33.93	6.158	-22.93
090607	11.3	11.308	0.07	9.908	-12.32	10.768	-4.71	9.017	-20.2
090609	7.68	13.176	71.56	12.929	68.34	12.196	58.80	12.786	66.49
090610	34.8	39.553	13.66	42.783	22.94	41.498	19.25	56.506	62.37
090613	71.3	77.915	9.28	67.01	-6.02	81.348	14.09	96.056	34.72
092703	144	236.585	64.29	262.198	82.08	164.385	14.16	129.93	-9.77
092704	340	505.569	48.70	419.31	23.33	373.530	9.86	286.976	-15.6
092706	51	63.852	25.20	98.885	93.89	59.880	17.41	62.673	22.89
092707	34.8	47.063	35.24	53.579	53.96	43.895	26.14	31.79	-8.65
092708	68.2	74.350	9.02	64.817	-4.96	75.017	10.00	72.325	6.05
092711	51.4	47.376	-7.83	46.611	-9.32	53.041	3.19	46.486	-9.56
092715	44.2	46.838	5.97	47.348	7.12	51.481	16.47	48.284	9.24
092717	32.5	51.497	58.45	55.557	70.94	41.680	28.25	45.059	38.64
092722	82.9	58.527	-29.40	77.346	-6.7	51.618	-37.74	38.41	-53.67

AFL : Analyse fréquentielle locale

ACC : Analyse canonique de corrélations

CAH : Classification ascendante hiérarchique

ROI : Région d'influence

RM : Régression multiple

RIS : Régionalisation par interpolation spatiale