Institut National de la Recherche Scientifique

INRS - centre Eau, Terre et Environnement

RÉGIONALISATION ET CARTOGRAPHIE DES CRUES AU QUÉBEC HABITÉ

Par

Nicolas Gignac

Mémoire présenté

Pour l'obtention du grade de Maître ès sciences (M. Sc.) en sciences de l'eau

Jury d'évaluation

Examinateur externe	Younes Alila Université de Colombie-Britannique
Examinateur interne	Irène Abi-Zeid Université Laval
Directeur de recherche	Taha B.M.J. Ouarda INRS-ETE
Codirecteurs de recherche	Monique Bernier et Bernard Bobée INRS-ETE

© droits réservés de Nicolas Gignac, 2005

AVANT-PROPOS

Ce mémoire de maîtrise est un projet de recherche réalisé dans le cadre de la Chaire en Hydrologie statistique de l'Institut National de la Recherche Scientifique – centre Eau, Terre et Environnement et par le Centre d'Expertise Hydrique (CEHQ) du Ministère de l'Environnement du Québec. Ce projet de régionalisation et de cartographie des crues au Québec habité a été possible grâce à l'apport énergique de nombreuses personnes.

Je dois commencer par remercier tous les collaborateurs du CEHQ, soit Stéphane Comtois, Van Diem Hoang, Aziz Kouider et William Larouche, puisqu'ils ont toujours su appuyer le projet et ils ont sans cesse amené des nouvelles idées pertinentes.

Je dois fortement souligner l'aide substantielle que j'ai reçue des membres de la Chaire en Hydrologie statistique à l'INRS-ETE de : Karem Chokmani, Hugo Gingras, Véronique Jourdain, Étienne Ringuet et Zeljka Ristic-Rudolf. Sans eux, je ne crois pas que j'aurai pu compléter aussi bien ce projet de maîtrise. Ajoutons à cela, que le soutien de Monique Bernier et Bernard Bobée, par leurs commentaires et leurs corrections constructives lors de mes travaux de recherche, fut très apprécié.

Je remercie particulièrement, mon directeur de maîtrise, Taha Ouarda, de m'avoir fait confiance dès le début du projet et en croyant toujours en mes possibilités. Malgré nos différences de caractère, je peux affirmer qu'il a réussi autant à me transmettre la rigueur scientifique essentielle à la mise en œuvre d'un travail de qualité, que les valeurs humaines si chères dans l'accomplissement d'une tâche académique ou professionnelle exécutée au sein d'une équipe de développement.

J'ai aussi bien apprécié mon temps passé au « bunker » de l'INRS-ETE pour y avoir côtoyé des personnes intéressantes, telles que : Claudie Beaulieu, Luc Bérubé, Laurent Bonnifait, Jean-Philippe Chenel, Julie Corriveau, Bronwyn Pavey, Frédéric Maloney, Valérie Ouellet, Claude Plamondon, Marie-Josée Racine, Benoit Ricard, Steve Turgeon, et compagnie…

Enfin, je tiens énormément à remercier mes parents, mon frère, mes amis et ma copine Anne-Marie pour leur support et leur façon bien à eux de me divertir durant ces années d'étude.

RÉSUMÉ

La prévention des inondations, le dimensionnement d'ouvrages hydrauliques et la détermination de cotes de crue requièrent une bonne connaissance des débits extrêmes aux endroits présentant des risques naturels. L'estimation de ces écoulements extrêmes nécessite habituellement une quantité importante d'information hydrologique au site d'intérêt. Ainsi, lorsque les données hydrologiques ne sont pas disponibles en quantité suffisante à un site donné, on a recours aux techniques d'estimation régionale. Cette démarche régionale permet le transfert de l'information disponible à partir des sites jaugés, dans une région homogène, vers des bassins non-jaugés ou partiellement jaugés. Une telle approche statistique de régionalisation fournit les outils nécessaires pour l'estimation des paramètres hydrométriques à n'importe quel endroit sur un cours d'eau. Un projet de régionalisation comporte trois étapes essentielles : la constitution de la base de données, la détermination des régions hydrologiquement homogènes (DRH) à partir de caractéristiques physiographiques et climatiques des bassins et la méthode d'estimation régionale (MER).

Le présent projet de régionalisation des crues extrêmes s'inscrit donc dans cette démarche. La zone d'étude se situe dans la province de Québec au sud du 55^{e} parallèle nord. Dans ce travail de recherche, une analyse comparative a été effectuée pour juger de la performance de deux méthodes de DRH, soit une version modifiée de l'analyse canonique des corrélations (ACC) et la classification ascendante hiérarchique (CAH). L'étude menée a démontré que la méthode de DRH la plus appropriée était l'ACC de Girard *et al.* (2000) pour les moyens et grands bassins (superficie supérieure à 500 km^2). Une approche régionale a également été adaptée au cas des petits bassins versants.

Un modèle statistique de régionalisation a été couplé à un système d'information géographique (SIG), offrant ainsi un excellent outil d'aide à la prise de décision pour la planification des ressources en eau. Cette application cartographique a été développée pour permettre la délimitation automatique du bassin de drainage, l'extraction des données physiographiques/climatiques et l'estimation régionale. Cet outil rend possible l'estimation des quantiles de pointes de crues naturelles (i.e. crues extrême annuelle, printanière et estivale/automnale) pour des bassins situés dans le sud du Québec.

Étudiant

Directeur de recherche

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS I
RÉSUMÉ II
TABLE DES MATIÈRES IV
LISTE DES TABLEAUX V
LISTE DES FIGURES V
LISTE DES ABBRÉVIATIONS ET DES SIGLES VII
INTRODUCTION 1
CHAPITRE 1: APPROCHE DE RÉGIONALISATION 4
1.1. CONSTITUTION ET ANALYSE DE LA BASE DE DONNÉES 6
1.2. DÉTERMINATION DES RÉGIONS HOMOGÈNES (DRH) 7
1.2.1. Classification ascendante hiérarchique 7
1.2.2. Analyse canonique des corrélations 9
1.3. MÉTHODE D'ESTIMATION RÉGIONALE (MER) 11
1.3.1. Indice de crue 12
1.3.2. Régression directe 12
1.4. ANALYSE COMPARATIVE 13
1.5. APPROCHE ADAPTÉE POUR LES PETITS BASSINS 14
1.6. DÉVELOPPEMENT DE L'OUTIL 16
CHAPITRE 2: APPLICATION AUX BASSINS DU QUÉBEC HABITÉ 17
2.1. CONSTITUTION ET ANALYSE DE LA BASE DE DONNÉES 17
2.1.1. Choix des stations hydrométriques retenues 17
2.1.2. Analyse des variables explicatives 22
2.1.3. Choix des variables explicatives 27
2.2. DÉTERMINATION DES RÉGIONS HOMOGÈNES (DRH) 34
2.2.1. Classification ascendante hiérarchique 34
2.2.2. Analyse canonique des corrélations : nouvelle approche par classification 38
2.3. MÉTHODE D'ESTIMATION RÉGIONALE (MER) 40
2.4. ANALYSE COMPARATIVE 41
2.4.1. Comparaison des méthodes de DRH 41
2.5. APPROCHE ADAPTÉE POUR LES PETITS BASSINS 46
CHAPITRE 3: DÉVELOPMENENT DE L'OUTIL 53
3.1. STRUCTURE DE DONNÉES À RÉFÉRENCE SPATIALE 55
3.2. PROTOTYPE DE RÉGIONALISATION 60
3.2.1. Délimitation automatique du bassin versant 62
3.2.2. Procédure d'estimation 64
3.3. PERSPECTIVES D'UN DÉPLOIEMENT EN RÉSEAU 68
CHAPITRE 4: CONCLUSION 71
CHAPITRE 5: RÉFÉRENCES 74
ANNEXE 1 : 78
ANNEXE 2 : 80
ANNEXE 3 : 87
ANNEXE 4 : 92
ANNEXE 5 : 97
ANNEXE 6 : 115
ANNEXE 7 : 117

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Stations problématiques éliminées. 21
Tableau 2. Variables géographiques, physiographiques et climatiques. 22
Tableau 3. Variable et nombre de stations météorologiques utilisées. 24
Tableau 4. Corrélations entre les variables considérées. 28
Tableau 5. Statistiques descriptives des variables considérées. 29
Tableau 6. Coefficients de corrélation entre les variables indépendantes et les quantiles de débits spécifiques 34
Tableau 7. Analyse comparative des résultats obtenus avec les méthodes régionales pour les débits de crues. 43
Tableau 8. Résultats comparatifs des débits annuels obtenus avec les différents modèles d'estimation appliqués aux petits bassins 50
Tableau 9. Résultats comparatifs des débits printaniers obtenus avec les différents modèles d'estimation appliqués aux petits bassins 50
Tableau 10. Résultats comparatifs des débits estivaux-automnaux obtenus avec les différents modèles d'estimation appliqués aux petits bassins 51
Tableau 11. Facteurs de correction moyens calculés pour chaque période de retour 52
Tableau 12. Inventaire des données vectorielles. 55
Tableau 13. Inventaire des données matricielles 56
Tableau 14. Table des données pour les sites cibles non-jaugés 57

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Schéma général du projet de recherche. 5
Figure 2. Exemple d'un arbre hiérarchique avec une coupe de regroupement. 8
Figure 3. Voisinages hydrologiques. 10
Figure 4. Localisation des stations hydrométriques étudiées. 18
Figure 5. Localisation des stations hydrométriques opérationnelles étudiées 20
Figure 6. Localisation des stations météorologiques utilisées dans l'étude. 25
Figure 7. Carte météorologique de la variable DJBZ. 27
Figure 8. Représentation de la variable BV sur papier normal. 30
Figure 9. Représentation de la variable ln(BV) sur papier normal 31

Figure 10. Regroupements des 126 stations pour les crues extrêmes annuelles et printanières..... 36
Figure 11. Regroupements des 125 stations pour les crues estivales et automnales. 37
Figure 12. Ellipsoïdes de référence de la station 080707 pour les crues extrêmes annuelles de période de retour 100 ans. 39
Figure 13. Erreur d'estimation en % de l'ACC-RM pour les crues extrêmes annuelles en fonction de la superficie (T=100). 44
Figure 14. Erreur d'estimation en % de la CAH-RM pour les crues extrêmes annuelles en fonction de la superficie (T=100). 45
Figure 15. Erreur d'estimation en % de l'ACC-RM associées aux débits spécifiques pour les crues extrêmes annuelles en fonction de la superficie (T=100). 45
Figure 16. Localisation des stations jaugées incluses dans la classe des petits bassins..... 48
Figure 17. Différence entre les deux approches de gestion des données à référence spatiale. 54
Figure 18. Représentation cartographique de la table des sites cibles non-jaugés. 57
Figure 19. Exemple d'une carte synthèse représentant les débits de pointes et les débits spécifiques d'une région. 59
Figure 20. Menus réalisés pour le prototype de régionalisation dans ArcView..... 61
Figure 21. Module statistique appelé par le SIG utilisant l'ACC-RM. 61
Figure 22. Exemple de l'algorithme D8 pour déterminer l'écoulement avec un MNA. 63
Figure 23. Identification du site cible à analyser..... 65
Figure 24. Exemple d'une fenêtre des résultats suite à une procédure d'estimation régionale dans le module statistique. 66
Figure 25. Organigramme de la méthodologie générale de régionalisation. 67
Figure 26. Schéma général d'une implantation potentielle en réseau de l'outil de régionalisation. 69

LISTE DES ABBRÉVIATIONS ET DES SIGLES

ACC : analyse canonique des corrélations

ALT : altitude de la station

BDH : banque de données hydriques du ministère de l'Environnement du Québec

BDPC : base de données physiographiques et climatiques

BDRS : base de données à référence spatiale

BRM : biais relatif moyen

BV : superficie du bassin versant

CAH : classification ascendante hiérarchique

CEHQ : Centre d'Expertise Hydrique du Québec

DJBZ : nombre moyen annuel de degré-jour inférieur à 0°C

DRH : détermination des régions homogènes

E_L : estimation locale d'un quantile de débit

EQRM : écart quadratique relatif moyen

E_R : estimation régionale d'un quantile de débit

E_{RS} : estimation régionale d'un quantile de débit spécifique

INRS-ETE : Institut National de la Recherche Scientifique – centre Eau, Terre et Environnement

LAT: latitude de la station

LCP : longueur du cours d'eau principal

LONG : longitude de la station

MER : méthode d'estimation régionale

MENV : Ministère de l'Environnement du Québec

MNA : modèle numérique d'altitude

MNS30 : moyenne de neige au sol au 30 mars

NRCAN : Ressources Naturelles Canada

PCP : pente du cours d'eau principal

PLAC : pourcentage de superficie occupée par des lacs

PFOR : pourcentage de superficie occupée par la forêt

PLMA : précipitation liquide moyenne annuelle

PLME : précipitation liquide moyenne en été-automne

PMBV : pente moyenne du bassin versant en degré

PSMA : précipitation solide moyenne annuelle

PTMA : précipitation totale moyenne annuelle

RM : régression multiple

Q10 : quantile de période de retour 10 ans

Q100 : quantile de période de retour 100 ans

Q1000 : quantile de période de retour 1000 ans

QSA : quantile spécifique annuel

QSE : quantile spécifique été-automne

QSP : quantile spécifique printanier

Q_T : quantile de période de retour T en m^3/sec

SIG : système d'information géographique

INTRODUCTION

Les événements extrêmes (tremblement de terre, glissement de terrain, inondation, tornade, etc.) ont fait subir d'énormes pertes à de nombreuses civilisations humaines. La force de la nature étant tellement puissante, les humains ont dû élaborer des nouvelles techniques de gestion, de prévention et de prévision des risques pour tenter de diminuer les dégâts de ces phénomènes dévastateurs. L'essor des mathématiques, des statistiques, de la physique et dernièrement de l'informatique, a permis de mieux se comporter face à ces événements extrêmes et d'en évaluer les impacts sur l'environnement humain et biophysique. Malgré cela, les risques demeurent, même si les nouveaux outils modernes (télédétection, télécommunication, système météorologique, modélisation, Internet, bases de données numériques, etc.) permettent aujourd'hui un suivi de l'environnement en temps réel et un stockage plus efficient des données historiques.

Étant la catastrophe naturelle la plus répandue sur notre planète bleue, les inondations demeurent un phénomène qui suscite une attention particulière des autorités concernées (Comité international de la Croix-Rouge, 2003). Au Québec par exemple, chaque année les inondations causent d'importants dommages à une grande proportion des villes situées en zone riveraine (Ministère la Sécurité Publique du Québec, 2005).

Une connaissance approfondie de ces écoulements extrêmes devient alors primordiale pour mieux répondre à ce risque de crue. Pour ce faire, l'exploitation d'un réseau de stations hydrométriques devient un des moyens de collecte des données les plus riches en information, mais elle nécessite d'importantes ressources administratives et financières. En effet, il est impossible d'installer des stations de mesure à tous les sites d'intérêt, surtout lorsque l'on doit gérer un territoire aussi étendu que celui du Québec.

Pour tenter de contrer ce problème, Dalrymple (1960) a élaboré une approche régionale d'estimation des débits Q_T correspondant à différentes périodes de retour T. Depuis ces premiers travaux, la procédure régionale est devenue un important outil de gestion des cours d'eau, que ce soit dans le domaine socio-économique (dimensionnement d'ouvrages, évaluation énergétique, gestion par bassin versant, prévention des inondations, sécurité des barrages) ou environnemental (évaluation environnementale, patrimoine écologique, aménagement du territoire en milieu riverain). Plus récemment, des développements

majeurs dans la méthode de détermination des régions homogènes (DRH) ont porté la notion de voisinage hydrologique (Cavadias, 1989 ; Burn, 1990 ; Ribeiro-Corréa *et al.* 1995). D'ailleurs, l'étude de GREHYS (1996a, b) a démontré la bonne performance de la délimitation des voisinages hydrologiques avec la méthode de l'analyse canonique des corrélations (ACC) en la combinant à différentes méthodes d'estimation régionales. De plus, la démarche automatisée présentée par Ouarda *et al.* (2000) qui utilisait l'ACC avec la régression multiple a obtenu des bons résultats pour des bassins situés dans le nord de l'Ontario et du Québec. Dans le présent travail, une nouvelle version modifiée de cette approche automatisée de l'ACC, développée par Girard *et al.* (2000), a été appliquée aux bassins du Québec habité. De plus, une analyse comparative a été faite entre cette ACC de Girard *et al.* (2000) et la classification ascendante hiérarchique (Birikundavyi *et al.*, 1993) dans le but d'établir la meilleure méthode de DRH pour l'estimation des débits extrêmes.

Ce mémoire présente les résultats de recherche d'un projet de régionalisation et de cartographie des crues au Québec habité. Ce projet a été réalisé grâce à l'appui de la Chaire en Hydrologie statistique de l'Institut National de la Recherche Scientifique – centre Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE) et du Centre d'Expertise Hydrique du Québec (CEHQ) sous la tutelle du Ministère de l'Environnement du Québec (MENV).

Le projet a comme objectif général de développer une méthodologie d'estimation des débits de crues extrêmes à n'importe quel site cible situé au sud du Québec et ayant une aire de drainage supérieure à 500 km^2. Cette procédure permet une estimation des quantiles de pointes de crues naturelles (annuelle, printanière, estivale-automnale) correspondant à différentes périodes de retour (T = 2, 10, 20, 100 et 1 000 et 10 000 ans).

Ce projet de régionalisation comporte trois objectifs spécifiques qui permettent d'améliorer la performance du modèle régional. Le premier de ces objectifs est de construire les bases de données à référence spatiale et d'identifier les variables physiographiques et climatiques essentielles au modèle. Cette information sert à déterminer les caractéristiques des bassins versants qui ont une influence sur les variations spatio-temporelles de l'écoulement extrême au Québec habité (chapitre 2.1). Le second objectif concerne le traitement, l'analyse et l'interprétation des statistiques à l'échelle régionale. Ainsi, une méthodologie statistique générale a été développée pour permettre de calculer rapidement les variables hydrologiques d'intérêt (chapitre 2.2 et 2.3). Ajoutons à cela qu'une analyse comparative a

été effectuée afin d'identifier la meilleure approche régionale pour les bassins du territoire à l'étude (chapitre 2.4). Une autre approche régionale adaptée aux événements extrêmes des petits bassins versants a également été étudiée dans ce rapport (chapitre 2.5).

Le dernier objectif est lié à une approche géomatique permettant d'effectuer la cartographie des crues au Québec habité. La mise en œuvre d'une application dans un système d'information géographique (SIG), soit *ArcView* 3.x. ©, a donc été un des éléments centraux. L'arrimage entre un modèle statistique complexe et un SIG a augmenté l'efficacité dans l'analyse et le traitement des données hydrologiques, physiographiques et météorologiques. C'est dans cette optique que le prototype de régionalisation (chapitre 3) a été développé et ce, dans un environnement informatique convivial et centralisé.

En somme, l'objectif de cette est de produire un modèle statistique/hydrologique s'appuyant sur une base géomatique et permettant d'effectuer automatiquement toutes les étapes d'une analyse fréquentielle régionale dans un même outil. Le développement d'un prototype de régionalisation pour le projet confirme également l'intérêt d'un tel support décisionnel dans la gestion des ressources en eau et l'évaluation des risques naturels.

CHAPITRE 1: APPROCHE DE RÉGIONALISATION

Au Québec, l'organisme responsable du programme des relevés hydrométriques est le CEHQ sous la responsabilité du MENV. Le CEHQ gère un réseau hydrométrique formé d'environ 250 stations actives (Ministère de l'Environnement, 2002), permettant d'offrir une meilleure connaissance de l'hydrologie des bassins versants de la province. Cet organisme procède à des mesures de niveau et de débit instantané sur les cours d'eau du Québec. Comme le CEHQ ne détient pas suffisamment d'information hydrologique (provenant des stations hydrométriques) pour tous les cours d'eau du Québec, il devient alors primordial d'utiliser une procédure d'estimation régionale des débits extrêmes pour des sites non-jaugés ou partiellement jaugés (Kouider *et al.*, 2002).

Par l'entremise de ce projet, la procédure régionale appliquée aux crues extrêmes dans le sud du Québec devait être améliorée. Pour ce faire, le projet a été divisé en deux phases de recherche :

Phase 1 : Analyse fréquentielle locale, consistant à étudier les événements hydrologiques (débits de crues) observés en vue d'estimer les probabilités d'occurrences (Kouider *et al.*, 2002). Cette analyse fréquentielle des crues de Kouider *et al.* (2002) visait à faire des vérifications d'hypothèses (stationnarité, indépendance, homogénéité) sur les séries de données des stations hydrométriques étudiées, comparer des lois de probabilités, choisir le meilleur ajustement (critères d'adéquation Bayésien et d'Akaike) et enfin estimer les quantiles correspondant aux périodes de retour. Il faut comprendre que cette étude de Kouider *et al.* (2002) n'est pas détaillée dans ce mémoire, cependant elle a servi de base informationnelle pour la phase de régionalisation.

Phase 2 : Régionalisation des débits de crues (regroupement des stations ayant un comportement hydrologique semblable et estimation régionale) dans le but de cartographier les événements extrêmes au Québec habité.

La figure 1 est une schématisation simplifiée de l'ensemble du projet de recherche (Kouider *et al.*, 2002). Le présent travail présente les résultats de recherche en régionalisation (deuxième phase de recherche) et en cartographie des crues extrêmes au Québec habité.

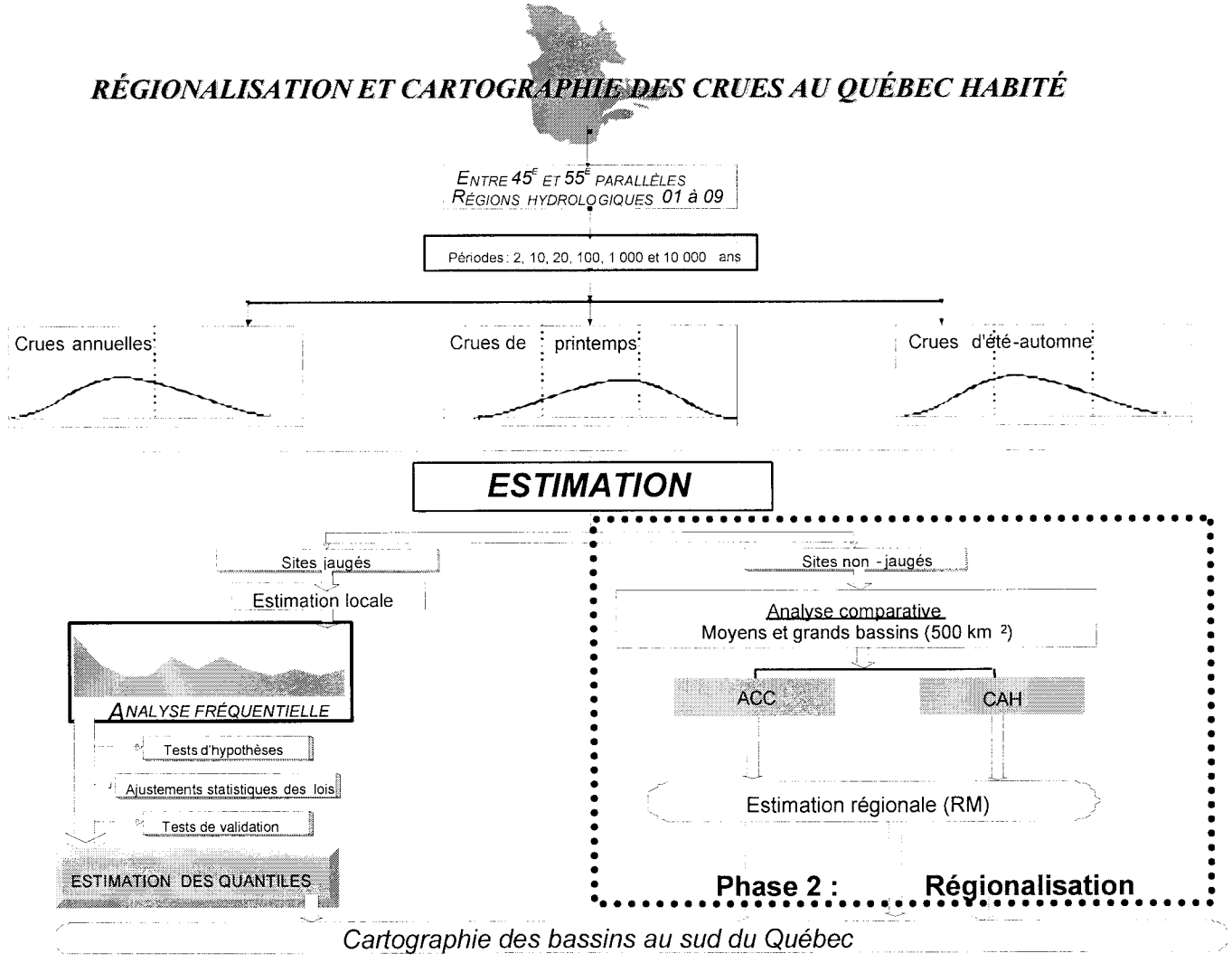


Figure 1. Schéma général du projet de recherche. tirée de Kouider *et al.* (2002)

Brièvement, la régionalisation permet le transfert de l'information disponible des sites jaugés (dans une même région hydrologiquement homogène) à des bassins non-jaugés ou partiellement jaugés. La méthode régionale proposée a comme but ultime l'obtention d'une estimation de débits Q_T correspondant à différentes périodes de retour T pour tous les sites d'intérêt. Les différentes phases de la présente étude de régionalisation sont :

1) Constitution de la base de données à référence spatiale (données physiographiques et climatiques) et identification des variables physiographiques et climatiques indépendantes permettant d'identifier les groupes homogènes ;
2) Développement de la méthode de détermination des groupes homogènes ayant un comportement hydrologique semblable (DRH) ;
3) Développement de la méthode d'estimation régionale (MER) ;
4) Développement de l'outil de régionalisation.

1.1. Constitution et analyse de la base de données

Dans une approche régionale, l'estimation de l'écoulement à des sites non-jaugés ou partiellement jaugés exige des variables physiographiques et climatiques comme paramètres d'entrée. Pour identifier la meilleure combinaison de ces variables explicatives (pluie moyenne, couverture du sol, aire du bassin, etc.), une phase d'analyse des données à l'aide d'une matrice des corrélations et des statistiques descriptives est requise. Cette étape importante permet d'éviter la redondance dans les données et de renforcer le choix des variables. Pour effectuer une bonne gestion de cette base de données physiographiques et climatiques (BDPC), les informations doivent être représentées sous forme de cartes numériques. Elles doivent également être constituées et traitées à l'intérieur d'un système d'information géographique (SIG). Un outil qui intègre toutes les fonctionnalités d'une analyse régionale (choix des variables explicatives, DRH, MER, etc.) a donc sa raison d'être dans un projet de régionalisation. Il permet une automatisation des fonctions de délimitation de l'aire de drainage, d'extraction des données (physiographiques et météorologiques) et d'analyse régionale (sites hydrologiquement homogènes et estimation régionale).

1.2. Détermination des régions homogènes (DRH)

Le but de la délimitation des régions homogènes est de regrouper les sites ayant une réponse hydrologique analogue. Cette homogénéité spatiale peut être justifiée par les caractéristiques physiographiques, hydrologiques et météorologiques du bassin de drainage. La détermination des régions homogènes est très importante, puisqu'elle aura d'énormes répercussions sur les phases subséquentes de l'analyse fréquentielle régionale. En fait, l'application d'un bon modèle régional doit permettre l'obtention d'une estimation du quantile de débit se rapprochant le plus possible de la valeur réelle.

1.2.1. Classification ascendante hiérarchique

Une des méthodes de DRH étudiées dans ce projet est la classification ascendante hiérarchique (CAH). La CAH fait partie des méthodes de DRH du type « région fixe géographiquement non-contiguë » (GREHYS, 1996b). Cette technique de classification automatique permet au départ de calculer, à l'aide de fonctions statistiques, une distance entre les variables (sites) et de regrouper celles dont les coordonnées des points-objets sont les plus proches (Lebart *et al.*, 1984 ; Birikundavyi *et al.*, 1993). La distance entre les divers éléments peut être de type : euclidienne, euclidienne standardisée, city block, Mahalanobis ou Minkowski. La procédure la plus utilisée est la distance euclidienne standardisée puisqu'elle permet de réduire l'effet de l'échelle. De plus, la standardisation des variables physiographiques et météorologiques permet d'optimiser le regroupement. Il faut également définir un algorithme de regroupement qui diffère selon la procédure statistique utilisée, les plus communs demeurent le voisin le plus proche, la méthode de Ward et la distance moyenne (Lebart *et al.*, 1984).

Les résultats de la procédure d'agrégation se représentent sous la forme d'un arbre hiérarchique de classification qui offre la possibilité de suivre et de juger adéquatement des phases de regroupement (figure 2). L'outil d'analyse produit durant cette étape est le dendrogramme, c'est-à-dire une représentation graphique en structure arborescente accompagnée d'une échelle.

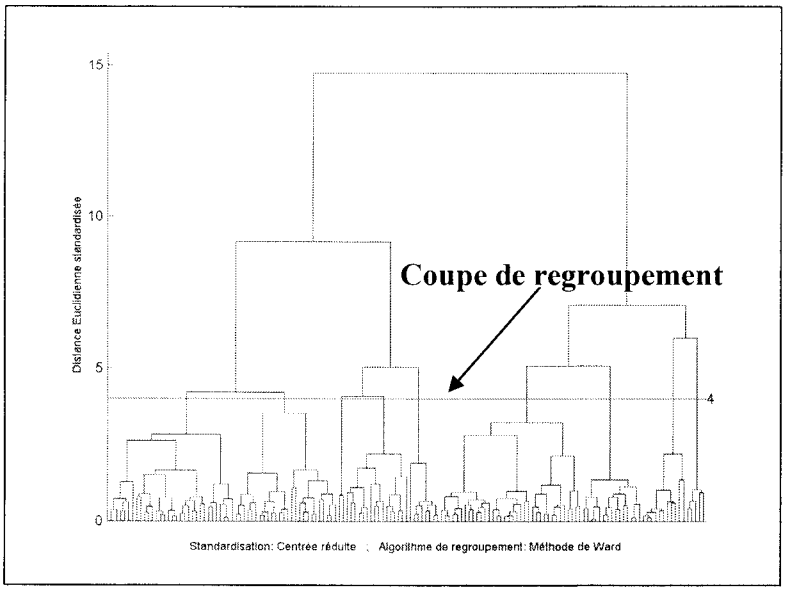


Figure 2. Exemple d'un arbre hiérarchique avec une coupe de regroupement.

La démarche pour la production du dendrogramme est la suivante (Lebart *et al.*, 1984) :

1) Recherche de deux groupes de stations ou de deux stations qui sont les plus proches et que l'on réunit dans un nouveau groupe ;
2) Agglomération de ces deux entités. Elle survient quand le regroupement rejoint la valeur des similitudes moyennes à l'intérieur du groupe ;
3) Calcul des distances (euclidienne, distance moyenne, etc.) entre le nouveau groupe et les stations résiduelles ;
4) Nouvelle recherche de deux groupes de stations ou deux stations qui sont les plus proches et que l'on réunit dans un nouveau groupe ;
5) Processus itératif jusqu'à ce qu'il reste une seule station.

Une fois l'arbre de classification généré, le graphique doit être interprété et une distance de coupe est déterminée (figure 2). Cette coupe influence le nombre de stations dans chaque groupe ainsi que le nombre total de regroupements. La coupure doit permettre d'optimiser ces deux paramètres, soit de produire un nombre satisfaisant de regroupements, tout en ayant un nombre suffisant de sites dans chaque groupe. Il est important de comprendre

qu'après cette classification, un remodelage manuel des groupes homogènes, permettant d'insérer les sites isolés, est nécessaire pour l'optimisation des regroupements. Cette méthode régionale demeure simple. Par contre, elle a un point faible qui réside dans la difficulté d'une assignation régionale pour un bassin se situant à la marge de deux régions (Javelle, 2001). De plus, cette méthode de DRH peut, entre autres, créer certains groupes homogènes ayant un nombre de stations peu élevé (Birikundavyi *et al.*, 1993).

1.2.2. Analyse canonique des corrélations

Une autre approche de régionalisation utilisée en hydrologie statistique a également été étudiée, soit l'analyse canonique des corrélations (ACC) qui est fondée sur le principe de voisinage hydrologique (Cavadias, 1989 ; Ribeiro-Corréa *et al.*, 1995 ; GREHYS, 1996b ; Ouarda *et al.*, 2001). Cette méthode a démontré son potentiel d'analyse dans Ouarda *et al.* (2000). Elle met en relation de dépendance deux ensembles de variables aléatoires. L'ACC permet de définir les sites jaugés ayant un régime hydrologique similaire au site cible. Le voisinage d'un site cible est donc déterminé par l'identification des stations les plus rapprochées dans l'espace canonique des variables (hydrologiques et physiographiques/climatiques) transformées. Ces espaces sont déterminés suite à une correspondance entre chaque paire de variables canoniques (hydrologique et physiographique/météorologique) qui sont calculées en fonction des variables considérées au départ (GREHYS, 1996b). Ce faisant, les positions des stations sont déduites dans l'espace canonique hydrologique à partir de leur position dans l'espace canonique physiographique/climatique. Ensuite, la mesure d'une distance entre chaque station et le site cible permet de définir les sites voisins de ce dernier. L'analyse des corrélations canoniques considère au départ $Y' = (Y_1..., Y_p)$ comme faisant partie intégrante de l'ensemble des variables hydrologiques et $X' = (X_1..., X_q)$ des variables physiographiques/météorologiques explicatives (Ouarda *et al.*, 2001). Par la suite, le vecteur **W** est généré pour les variables canoniques hydrologiques et le vecteur **V** pour les variables explicatives. Les coefficients de corrélation canoniques $(\lambda_1, ..., \lambda_p)$ sont calculés pour obtenir la matrice diagonale ($\boldsymbol{\Lambda}$). De plus, les vecteurs des variables canoniques **W** et **V** sont présumés suivre une distribution multi-normale. Ainsi, la distribution conditionnelle de **W** est p-normale pour un vecteur **V** donné. La forme quadratique de la

distribution conditionnelle, représentée par une distance de Mahalanobis, contrôle la distance à la position moyenne en suivant une distribution Khi-carré (χ_p^2) à p degrés de liberté. La position moyenne du bassin non-jaugé dans l'espace canonique sera alors estimée par $\mathbf{\Lambda}\,\mathbf{v}_0$, en utilisant la position du vecteur canonique physiographique/climatique connu $\mathbf{v}_0$ dans l'espace **V**. Ainsi, le voisinage d'un site cible non-jaugé à un niveau de confiance (1-α), assigné par l'usager, est défini par l'ensemble des sites jaugés ayant une position **W** dans l'espace canonique hydrologique qui vérifie cette relation :

$$(\mathbf{W} - \mathbf{\Lambda}\,\mathbf{v}_0)'(\mathbf{I}_p - \mathbf{\Lambda}^2)^{-1}(\mathbf{W} - \mathbf{\Lambda}\,\mathbf{v}_0) \leq \chi^2_{\alpha,\,p} \qquad (1.1)$$

où $\mathbf{I}_p$ est la matrice d'identité d'ordre p.

En somme, l'atout majeur de l'ACC est la délimitation pour chaque site cible non-jaugé ou partiellement jaugé d'une région homogène unique (figure 3). Pour une explication théorique plus détaillée de cette méthode de DRH, le lecteur est référé à Ouarda *et al.* (2001).

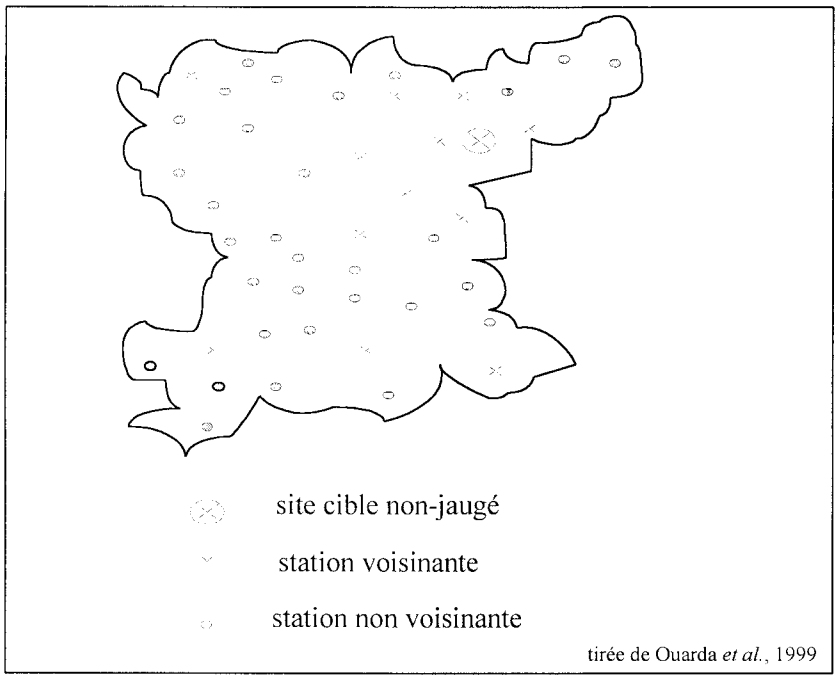


Figure 3. Voisinages hydrologiques.

L'attribution d'un niveau de confiance revient à un problème d'optimisation du paramètre α (valeur définissant la distance critique d'assignation). D'ailleurs, une définition révisée du voisinage a été mise en œuvre par Girard *et al.* (2000) permettant de contrer le principal problème existant dans l'ACC, à savoir l'assignation du α optimal. De ce fait, cette nouvelle démarche d'ACC par classification a l'avantage de constituer des voisinages homogènes n'utilisant pas cette définition du paramètre α. Ce paramètre α devait être attribué par l'usager dans l'emploi de la méthode de ré-échantillonage, appelée *jackknife*, utilisée actuellement dans la définition des voisinages homogènes (Ribeiro-Corréa *et al.*,1995 ; Ouarda *et al.*, 2001). La nouvelle approche de classification, détaillée dans Girard *et al.* (2000), permet une prise en compte de toute l'information disponible dans la DRH, tout en contrant la difficulté de l'assignation du α optimal.

L'approche par classification se présente sous la forme mathématique suivante, en considérant l'assignation d'une observation $\mathbf{W}$ à une population (ex. π_1) si et seulement si (Girard *et al.*, 2000) :

$$(\mathbf{W} - \Lambda \mathbf{v}_0)'(\mathbf{I}_p - \Lambda\,\Lambda')^{-1}(\mathbf{W} - \Lambda \mathbf{v}_0) \leq (\mathbf{W}-\mathbf{0})'\,\mathbf{I}_p^{-1}\,(\mathbf{W}-\mathbf{0}) + \ln\left(\frac{|\mathbf{I}_p|}{|\mathbf{I}_p - \Lambda\Lambda'|}\right)^2 \qquad (1.2)$$

En fait, cette démarche modifiée du voisinage hydrologique est plus directe que l'ACC actuelle, puisqu'elle ne requiert pas l'assignation d'un paramètre de sélection des bassins, tout en exploitant le maximum de l'information des scores canoniques. Cette méthode de l'ACC de Girard *et al.* (2000) a également démontré sa performance d'homogénéité face à la méthode des moments L dans Ouarda *et al.* (2004).

1.3. Méthode d'estimation régionale (MER)

Une fois les régions homogènes sont déterminées, il faut identifier la méthode d'estimation régionale à considérer. Deux approches d'estimation régionale (MER) ont été considérées dans ce travail. Selon l'étude menée par GREHYS (1996b), la méthode de l'indice de crue et celle par régression directe mènent aux meilleurs résultats.

1.3.1. Indice de crue

C'est dans Dalrymple (1960) que l'approche de l'indice de crue (*index flood*) a été étudiée pour la première fois. Cette procédure se base sur les distributions hydrologiques locales dans une même région avec un indicateur de tendance, soit l'indice de crue. Elle permet ainsi de définir une distribution régionale adimensionnelle. Cette méthode suppose que les données régionales sont indépendantes et qu'elles suivent une distribution statistique similaire à un facteur d'échelle près. Une caractéristique de départ, établie par Dalrymple (1960), limitait la détermination des régions à une proximité géographique. Toutefois, avec les récents développements de l'indice, on peut maintenant la considérer comme une méthode d'estimation régionale très performante, même si elle demeure très sensible à l'homogénéité qui peut exister dans la région homogène (GREHYS, 1996b).

1.3.2. Régression directe

En ce qui a trait à la méthode de régression directe, celle-ci permet d'établir une relation directe entre les variables dépendantes hydrologiques (ex. débits extrêmes) et plusieurs variables indépendantes physiographiques et climatiques (ex. aire de drainage, pente, localisation géographique du site, précipitation). La méthode de régression multiple (RM) a plusieurs avantages, à savoir sa simplicité et sa rapidité. De plus, elle tient compte de l'hétérogénéité dans la configuration spatiale et climatique des bassins de la même région (GREHYS, 1996b ; Ouarda *et al.*, 2000). Pour toutes ces raisons, cette méthode a été celle privilégiée dans le présent projet.

La MER de type régression directe permet d'extraire des coefficients de régression pour les variables explicatives retenues. À l'aide de la régression multiple entre les variables explicatives (ex. aire de drainage, précipitation moyenne) et les variables dépendantes (ex. débit de crue), une caractérisation de ces variables peut être effectuée (Ouarda *et al.*, 2000). Suite à l'analyse de ces valeurs, l'estimation d'une valeur régionale peut être effectuée. La relation entre les débits et les variables explicatives peut prendre la forme d'une fonction puissance :

$$Q_T = K \times (V_1)^{\beta 1} \times (V_2)^{\beta 2} \times \ldots \times (V_p)^{\beta p} \times e^{\varepsilon} \qquad (1.3)$$

où K = ordonnée à l'origine, e = 2.71828, $ß_i$ = paramètres à estimer (méthode des moindres carrés, minimise la somme des carrées des termes d'erreur), ε = terme d'erreur normale, Q_T = quantile de période de retour T en m^3/sec et V_i = variables explicatives.
Pour calibrer le modèle (extraction des paramètres de régression), l'utilisation des variables réponses (Q_T) transformées en logarithme népérien est requise plutôt que les valeurs d'orgine. Le but de cette transformation est de normaliser les données afin de se conformer aux hypothèses du modèle de régression. De plus, cette étape peut aider à linéariser la relation (réduction des écarts entre les éléments) :

$$\mathbf{Log(Q_T) = Log(K) + \beta_1\ Log(V_1) + \beta_2\ Log\ (V_2) + \ldots + \beta_P\ Log(V_P) + \varepsilon} \qquad (1.4)$$

Cette transformation comporte habituellement un biais (Ouarda *et al.*, 1999), parce que :

$$\mathbf{E\ [Q_T] = E\ [exp(Log\ Q_T)] \neq exp(E\ [Log\ Q_T\ ])} \qquad (1.5)$$

Ainsi, ce modèle implique que la distribution de la variable brute Q_T n'est pas normale. Les estimations utiliseront des paramètres β différents selon les différentes périodes de retour (2, 10, 20, 100, 1 000, et 10 000). Le résultat escompté est un modèle log-linéaire déterminé par régression multiple sur la base de plusieurs variables préalablement transformées.

1.4. Analyse comparative

Deux types d'approches pour la détermination des régions homogènes (DRH) ont été étudiées dans ce projet, soit la CAH (Birikundavyi et al., 1993) et les voisinages hydrologiques basés sur l'ACC de Girard *et al.* (2000). La méthode d'estimation régionale adoptée, soit la régression multiple (RM), demeure la plus simple et rapide (GREHYS, 1996b ; Ouarda *et al.*, 2000), c'est pourquoi elle a été privilégiée dans le présent projet. En considérant les stations de mesure, détenant suffisamment d'information hydrologique, comme non-jaugées, le meilleur modèle régional a pu être identifié. Une analyse comparative a été effectuée sur la base de deux critères qui ont servi à évaluer tous les résultats des estimations régionales. Ces critères sont : le biais relatif moyen (BRM) et l'écart quadratique relatif moyen (EQRM) qui sont définis comme suit :

$$\mathbf{BRM} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\left[\left(E_R - E_L\right)/E_L\right] \qquad (1.6)$$

$$\mathbf{EQRM} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\left[\left(E_R - E_L\right)/E_L\right]^2 \qquad (1.7)$$

où **k** représente le nombre total de stations cibles jaugées, E_L est la valeur de l'estimation locale pour la station cible jaugée et E_R est le résultat de l'estimation régionale obtenu avec le modèle de régression.

Le calcul des BRM et des EQRM a été fait pour chaque méthode de DRH. Les mêmes variables explicatives de ces méthodes de DRH (CAH, ACC) ont été prises en compte lors de cette étape comparative. Les résultats de cette phase ont permis d'identifier la méthode régionale la plus appropriée pour le territoire à l'étude.

1.5. Approche adaptée pour les petits bassins

Pour l'analyse des petits bassins (superficie inférieure à 500 km^2), différentes situations ont été considérées (U.S. Soil Conservation Service, 1973 ; formules empiriques ; hydrogrammes unitaires synthétiques ; facteur de correction ; Hoang et Bergeron, 1984). Il faut savoir que les petits bassins ont une réponse hydrologique distincte qui est conditionnée par des caractéristiques différentes de celles des moyens et grands bassins.

À titre d'exemple, les hydrogrammes unitaires synthétiques de la U.S. Soil Conservation Service (1973) sont très utilisés aux États-Unis pour les petits bassins dans les travaux de conservation et de contrôle des crues. Toutefois, l'étude de Monfet (1979) a démontré que l'utilisation du numéro de courbe (CN) par la U.S. Soil Conservation Service sur les petits bassins de l'Estrie et des Bois-Francs ne donnait pas des résultats valables pour le Québec. De plus, une autre méthode est également utilisée par les États-Unis d'Amérique qui permet la transposition des hydrogrammes unitaires de bassins hydrologiquement homogènes vers des sites non-jaugés (Mash, 1984). Il existe également d'autres approches qui permettent, entre autres, la classification régionale des petits bassins non-jaugés sur la base de critères physiographiques et météorologiques (Cadier, 1993 ; Ministère des Forêts de la Colombie-Britannique, 1996). Ajoutons à cela, qu'aujourd'hui les modèles d'estimation pour les bassins de petite taille peuvent tirer profit des fonctionnalités reliées

aux SIG qui estiment certaines variables explicatives en format numérique qui font référence à l'élévation du terrain, l'utilisation du territoire et les conditions de surface (Kilgore, 1997).

En fait, la présente étude régionale pour les petits bassins du Québec habité doit tenir compte du faible échantillon représentatif des sites jaugés, soit au nombre de 26. Or, une révision du modèle régional préalablement appliqué aux moyens et grands bassins a été réalisée ainsi qu'une amélioration de son adaptabilité aux petits bassins. De plus, une analyse comparative avec diverses approches alternatives retenues a également été réalisée. Cette synthèse statistique sur les résultats obtenus permettra d'identifier les performances de chaque méthode qui a été appliquée aux petits bassins jaugés.

À partir des différents modèles régionaux, une estimation par régression multiple, en considérant chaque site non-jaugé, a été effectuée pour déterminer les résultats de l'estimation pour les différents quantiles de débits (annuels, printaniers, estivaux-automnaux) et ce, sur plusieurs périodes de retour (10, 100 et 1 000 ans).

Pour chaque débit à estimer (saison, période de retour), la forme de l'équation (1.3) a été utilisée :

$$E_r = K \times (V_1)^{\beta 1} \times \ldots \times (V_P)^{\beta P} \times e^{\varepsilon} \qquad (1.8)$$

où K = ordonnée à l'origine, $ß_i$ = coefficients de régression, E_R = quantile de débit estimé de période de retour T en m^3/sec, ε = terme d'erreur normale et V_i = variables explicatives.

On considère ensuite, comme pour l'équation (1.4), le modèle log-linéaire suivant :

$$\text{Log}(E_r) = \text{Log}(K) + \beta_1 \text{ Log}(V_1) + \ldots + \beta_P \text{Log}(V_P) + \varepsilon \qquad (1.9)$$

Enfin, un facteur de correction (FC) sera déterminé pour corriger les résultats des petits bassins à l'étude. L'équation qui fait intervenir ce facteur de correction se présente sous la forme suivante :

$$E_{RC} = FC \times E_r \qquad (1.10)$$

où FC = coefficient de correction (facteur qui est le même pour tous les petits bassins et pour chaque période de retour), E_R = débit en m^3/sec estimé avec le modèle régional et E_{RC} = débit corrigé à estimer en m^3/sec. Cette équation est détaillée dans la section 2.5 de ce document.

1.6. Développement de l'outil

La régionalisation devient intéressante lorsqu'une valeur hydrologique est requise pour des sites non-jaugés ou partiellement jaugés. Ainsi, lorsqu'il y a absence ou manque d'information hydrologique pour un site cible, il faut réaliser toutes les étapes d'une démarche régionale pour arriver à estimer l'écoulement à cet endroit. Pour ce faire, un outil de régionalisation automatisée qui effectue l'analyse des données de façon objective et l'estimation des caractéristiques hydrologiques devient alors une solution intéressante.
Dans le but de réaliser un véritable support à la décision pour la gestion des ressources hydriques, un prototype de régionalisation permettant d'intégrer toutes les phases d'une analyse régionale a été développé dans le cadre de ce projet. La démarche générale de cet outil est donc la suivante :

1) Identification des coordonnées x et y du site cible ;
2) Délimitation automatique des limites de son bassin versant (à l'aide d'un modèle numérique d'altitude modifié localement) ;
3) Extraction des caractéristiques climatiques et physiographiques des bassins requis dans le modèle régional ;
4) Sélection des stations jaugées hydrologiquement similaires (régions homogènes) au site cible ;
5) Estimation régionale des débits de crues (modèle de régression) ;
6) Vérification des résultats (R-carré, sites avoisinants) ;
7) Sauvegarde des résultats de l'estimation dans la base de données.

Cette démarche implantée au sein du prototype est expliquée en détail dans le chapitre 3. En effet, une approche « intégrée » par prototypage a été élaborée, mettant en liaison les tables d'attributs, les objets cartographiques, le modèle statistique de régionalisation et la représentation spatiale des résultats de l'estimation.

CHAPITRE 2: APPLICATION AUX BASSINS DU QUÉBEC HABITÉ

L'étude régionale appliquée aux bassins du Québec habité a été effectuée pour les crues printanières, les crues estivales-automnales et les crues extrêmes annuelles. Il faut noter que les données physiographiques et météorologiques de base sont disponibles pour tout le territoire à l'étude. En sachant que les grands bassins ont un régime hydrologique différent des petits bassins, la méthodologie générale de régionalisation a été développée pour une seule grande classe de superficie de drainage. En effet, cette étude régionale a été effectuée pour des bassins versants ayant une aire supérieure à 500 km^2. Cette approche employée pour les bassins de moyenne et grande taille sera expliquée en détail dans les sections 2.1, 2.2 et 2.3 de ce rapport.

2.1. Constitution et analyse de la base de données

Le processus de régionalisation débute avec la constitution de la base de données. Elle consiste à faire l'acquisition, le traitement et l'intégration des données hydrologiques, physiographiques et climatiques en vue de diverses analyses géostatistiques.

2.1.1. Choix des stations hydrométriques retenues

On a ciblé 177 stations hydrométriques utilisées dans l'analyse fréquentielle locale (Kouider *et al.*, 2002) pour construire la BDPC (figure 4). Ces stations (annexe 1) devaient répondre à certains critères définis par l'équipe du projet :

1) Les stations devaient être situées sur un cours d'eau à régime d'écoulement naturel, à la limite d'être influencé sur une base journalière ;
2) Les bassins versants devaient avoir une superficie inférieure à 100 000 km^2;
3) Les bassins versants devaient être localisés à l'intérieur des limites de la frontière de la province du Québec habité (entre le 55^e et le 45^e parallèle) et dans les zones hydrologiques de 01 à 09.

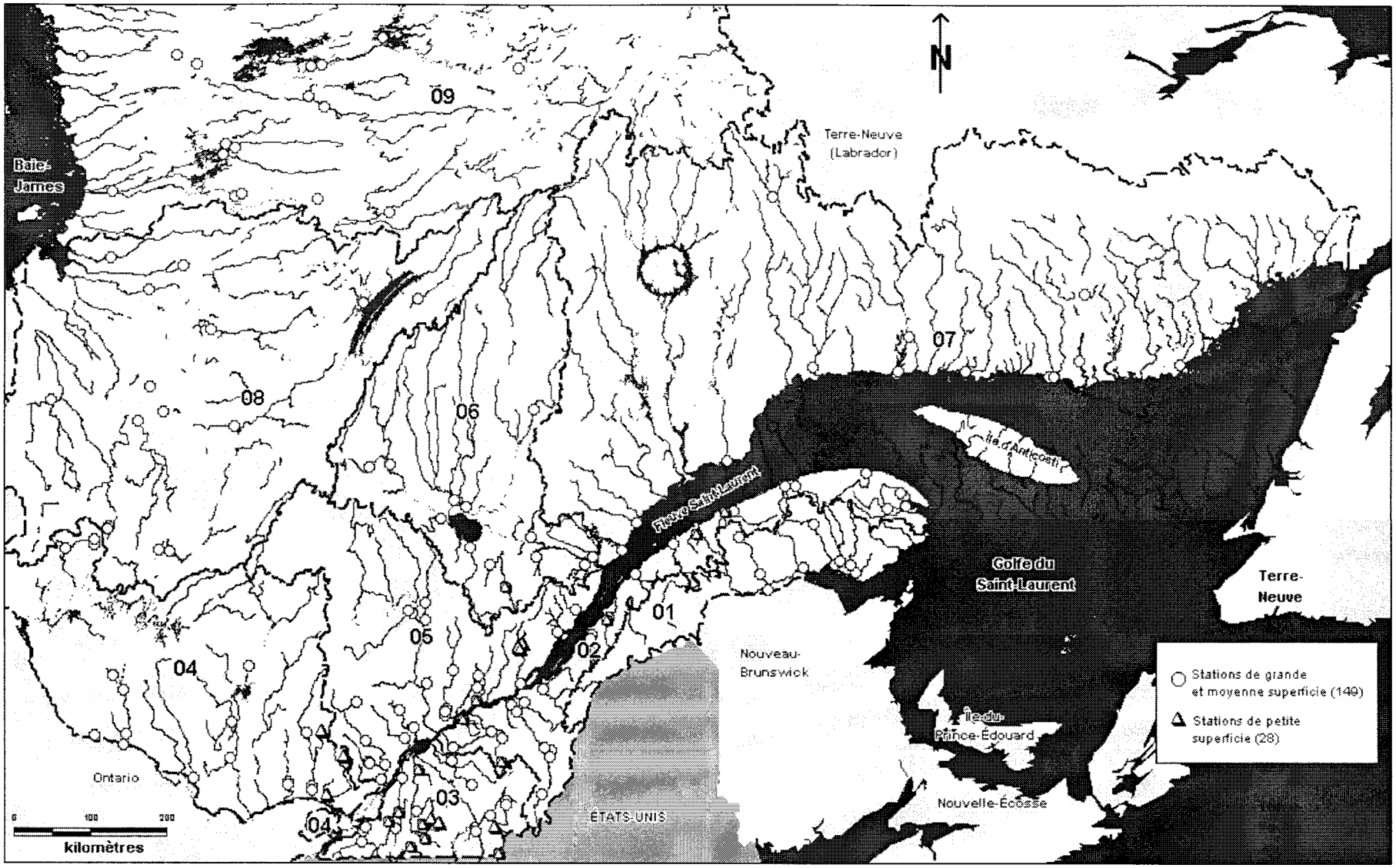


Figure 4. Localisation des stations hydrométriques étudiées.

Cette étude de Kouider et al. (2002) n'a pas fait le mélange des distributions, car les séries de données conservées ont d'abord passer un test d'homogénéité. De ce nombre, 149 ont une superficie supérieure à 500 km^2 et 28 stations ont une surface de drainage inférieure à 500 km^2. Certaines stations considérées dans l'étude de Kouider *et al.* (2002) n'ont pas fait l'objet d'une étude régionale, puisqu'elles ne vérifiaient pas les critères définis ci-haut. Par exemple, la station des Milles Îlles-030286 avait une superficie supérieure à 100 000 km^2 et la station Blackriver-043202 était localisée à l'extérieur de la zone d'étude. Parmi les stations gérées par le Ministère associées au projet, 90 sont encore opérationnelles (figure 5), les autres sont archivées ou complètement fermées (Ministère de l'Environnement du Québec, 2002). Dans l'étude de Kouider *et al.* (2002), 28 stations hydrométriques ont dû être combinées, puisqu'elles étaient localisées dans un environnement physiographique, hydrologique et climatique semblable (annexe 1). Suite à ces regroupements (14 couplages), on dénombre 136 stations jaugées ayant une superficie de drainage supérieure à 500 km^2.

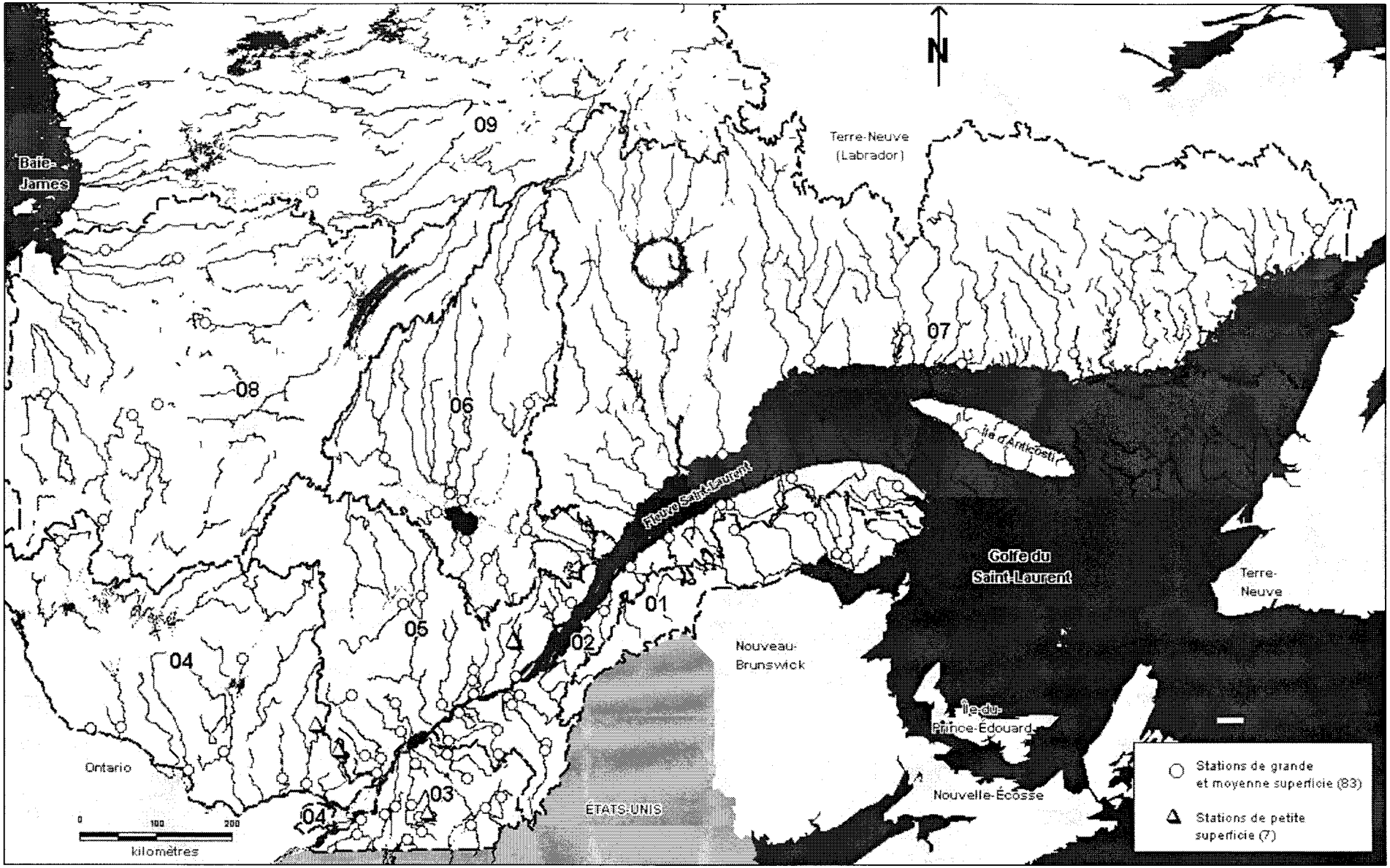


Figure 5. Localisation des stations hydrométriques opérationnelles étudiées.

Suite aux résultats préliminaires obtenus, dix stations jaugées ont été éliminées de la BDPC. Ces stations problématiques identifiées au départ sont présentées dans le tableau 1. Les principales raisons de leur élimination étaient, entre autres, les suivantes :

- Présence d'un lac près de l'embouchure ;
- Principale section du bassin située à l'extérieur des frontières du Québec ;
- Présence d'erreurs dans les données ;
- Station hydrométrique géographiquement trop éloignée des stations météorologiques ;
- Régime hydrologique particulier.

Après toutes ces validations, le nombre total de stations jaugées ayant une superficie supérieure à 500 km^2 s'élève à 126.

Tableau 1. Stations problématiques éliminées.

Station	Rivière	Description	Types d'anomalies potentielles
011601	Ristigouche	10,1 km en amont du pont CN	Québec/Nouveau-Brunswick
030401	Richelieu	Aux rapides Fryers	Québec/États-Unis
030402/ 030403	Richelieu	0,6 km en aval du pont du CN à St-Jean/ À l'écluse de Saint-Ours	Québec/États-Unis
041901	Dumoine	1,6 km de l'Outaouais	Régime hydrologique particulier
041903	Dumoine	À la sortie du Lac Dumoine	Effet de laminage
042607	Kipawa	À la sortie du Lac Dumoine	Effet de laminage
076601	Saint-Paul	3,2 km en aval de la Bujot	Éloignée des stations météorologiques
080104	Turgeon	14,3 km de l'Harricana	Pourcentage de lac (Belzile et al., 1997)
081101	Pontax	60,4 km de l'embouchure	Pourcentage de lac (Belzile et al, 1997)
092711	Pontois	2,6 km en aval de la Sakami	Régime hydrologique particulier

2.1.2. Analyse des variables explicatives

Pour les stations jaugées, 15 variables, dont trois géographiques, six physiographiques et six météorologiques, ont été compilées au départ pour caractériser la localisation géographique du site, la topographie, la couverture du sol et la climatologie du bassin versant (tableau 2). L'hypothèse est donc que la réponse hydrologique dépendra de ces paramètres. Aucune variable hydrologique explicative n'a été considérée dans cette étude, comme les coefficients de variation (Cv) et coefficient d'asymétrie (Cs) pour des séries de données, puisque le présent modèle régional s'applique essentiellement pour des sites non-jaugés.

Tableau 2. Variables géographiques, physiographiques et climatiques.

Variable	Unité	Notation
Altitude de la station	m	ALT
Latitude de la station	°	LAT
Longitude de la station	°	LONG
Superficie du bassin versant	km^2	BV
Longueur du cours d'eau principal	km	LCP
Pente moyenne du cours d'eau principal	m/km	PCP
Pente moyenne du bassin versant	°	PMBV
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 annuelle	mm	PLMA
Précipitation solide moyenne annuelle	cm	PSMA
Précipitation liquide moyenne pour la saison d'été-automne (juillet-décembre)	mm	PLME
Moyenne de la neige au sol au 30 mars	cm	MNS30
Degré-jour moyen annuel < 0°	dgr-jr	DJBZ

Trois variables (altitude, longitude, latitude), représentant la localisation géographique de la station, ont été extraites de la banque de données hydriques (BDH) du MENV (Ministère de l'Environnement, 2002). Deux variables (pente du cours d'eau principal, longueur du cours d'eau principal), définissant les caractéristiques de la rivière, ont été puisées dans le rapport de Belzile *et al.* (1997) ou dans différentes cartes topographiques à l'échelle du 1 :

50 000 et du 1 : 250 000. Deux variables, soit la superficie du bassin versant et la pente moyenne du bassin versant, caractérisent la configuration du bassin versant. La première a été récoltée par l'entremise de la BDH et la deuxième a été acquise 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 (plus de 2 millions de pixels pour tout le Québec) (Ministère des Ressources Naturelles du Canada, 2001). Enfin, deux autres variables, touchant à la couverture du sol de l'aire de drainage (pourcentage de forêt, pourcentage de lac), ont été prises en compte. Ces deux variables ont été extraites dans Belzile *et al.* (1997), à partir de couches numériques des lacs à l'échelle du 1 : 250 000 (Ministère des Ressources Naturelles du Québec, 2002) et de la forêt à l'échelle du 1 : 1 000 000 (Ministère des Ressources Naturelles du Canada, 2002).

La plupart de ces variables peuvent être extraites de façon quasi-instantanée à l'aide d'un SIG. D'autre part, l'extension *Spatial Analyst* développée par ESRI (2002) est de mise pour optimiser la modélisation du jeu de données dans *ArcView GIS 3.x*. Toutes les couches numériques utilisées ont été structurées, afin que l'on puisse effectuer sur d'autres bassins versants les analyses spatiales.

Les six variables climatiques (précipitation totale moyenne annuelle, précipitation liquide moyenne annuelle, précipitation solide moyenne annuelle, moyenne de neige au sol au 30 mars, précipitation liquide moyenne pour la saison d'été/automne, degré-jour inférieur à 0°) ont été tirées d'une interpolation spatiale des données météorologiques (Ministère de l'Environnement du Québec, 2001). La méthode d'interpolation numérique employée a été le krigeage universel linéaire sans cokrigeage. Pour faire ces estimations sur l'ensemble des bassins versants, le potentiel d'analyse spatiale d'un SIG a été utilisé. En utilisant la localisation géographique de chaque station météorologique (latitude, longitude), une interpolation des isovaleurs pour tout le Québec a été 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 Interpolating*. Cette technique requiert évidemment l'ajout de l'utilitaire *Spatial Analyst* (ESRI, 2002).

Les stations météorologiques qui ont été choisies avaient plus de 15 années de données compilées et les valeurs mesurées étaient ultérieures à l'année 1940. Les données mensuelles de ces stations de référence provenaient de la banque de données

météorologiques du Ministère (Ministère de l'Environnement du Québec, 2001). Le nombre de stations météorologiques retenu pour chaque variable climatique est exprimé dans le tableau 3.

Tableau 3. Variable et nombre de stations météorologiques utilisées.

Variable climatique	Précipitation totale moyenne annuelle	Précipitation solide moyenne annuelle	Précipitation liquide moyenne annuelle	Précipitation liquide moyenne en été/automne	Moyenne de neige au sol le 30 mars	Degré-jour moyen annuel < 0 °C
Nombre de stations météorologiques	449	449	449	439	345	416

Ces stations météorologiques qui ont servies de base informationnelle pour l'étude sont représentées à la figure 6.

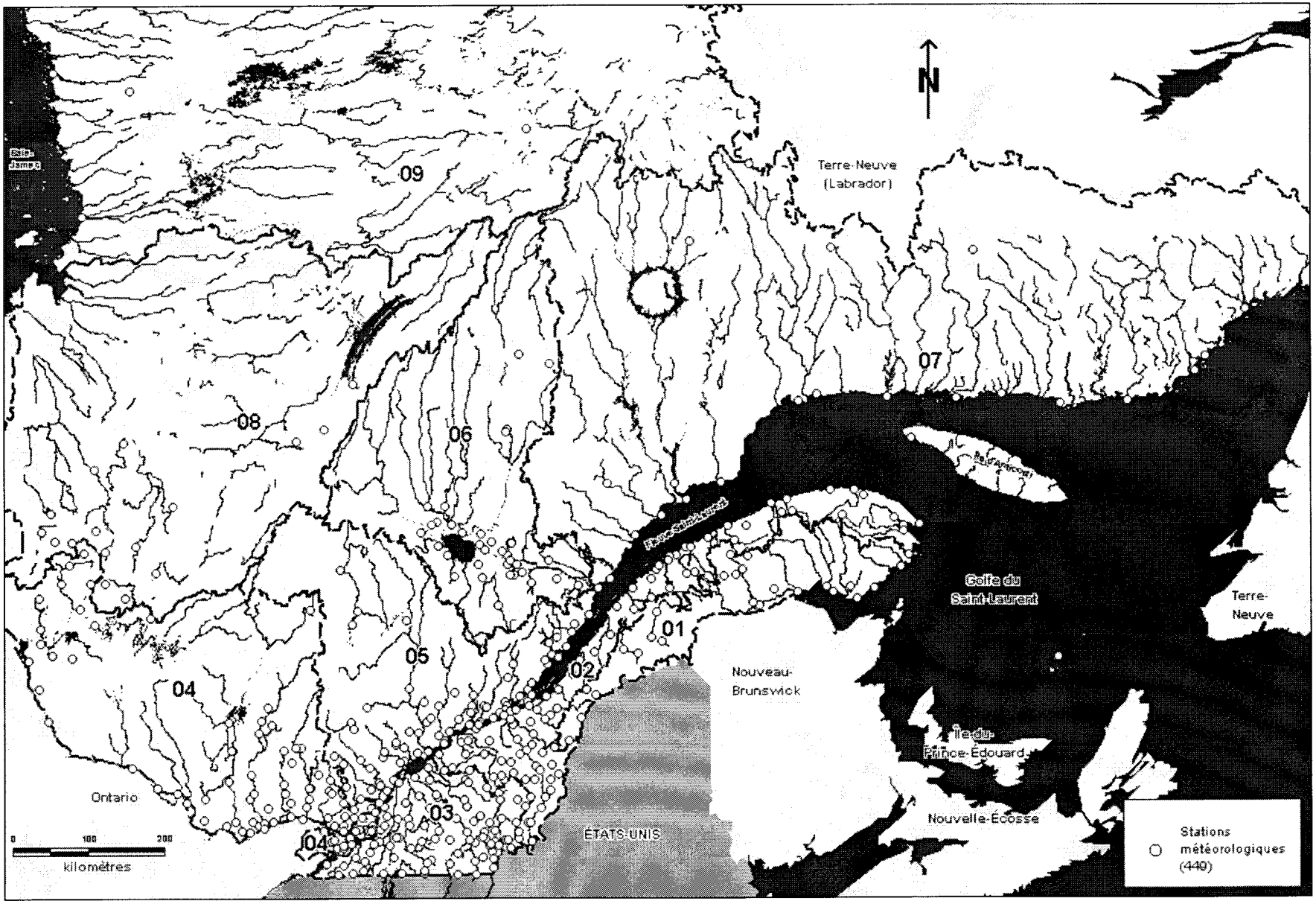


Figure 6. Localisation des stations météorologiques utilisées dans l'étude.

Les grilles résultantes représentant les isovaleurs climatiques des moyens et grands bassins ont une taille régulière du pixel à 1 km^2, une projection cartographique Conique conforme de Lambert adaptée pour le Québec et des dimensions de 1826 rangées par 1637 colonnes uniformes.

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, puisque la méthode vectorielle aurait été plus complexe et la taille des données aurait été trop importante. La procédure matricielle est donc rapide, simple et s'effectue sur des grilles homogènes ayant des pixels de 1 km^2. Cette structure de fichier s'arrime bien à la présente démarche régionale.

En fait, il s'agit de sélectionner le bassin cible, faire l'extraction des différentes couches (climatique 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 pourcentage de la forêt (PFOR) et la pente moyenne du bassin versant (PMBV). Ces dernières variables sont également structurées sous forme matricielle (pixel de 1 km^2, Conique Conforme de Lambert).

Ces cartes (figure 7) servent à extraire l'information pour d'autres bassins versants. Ainsi, il est possible de les utiliser pour les estimations des débits de crues ou pour toute autre étude à caractère régional couvrant la zone d'étude. Cette BDPC (couverture du sol, climatologie, relief du bassin, etc.) pourrait être appliquée à d'autres projets visant la connaissance hydrologique, physiographique et climatique des différents bassins au sud du Québec.

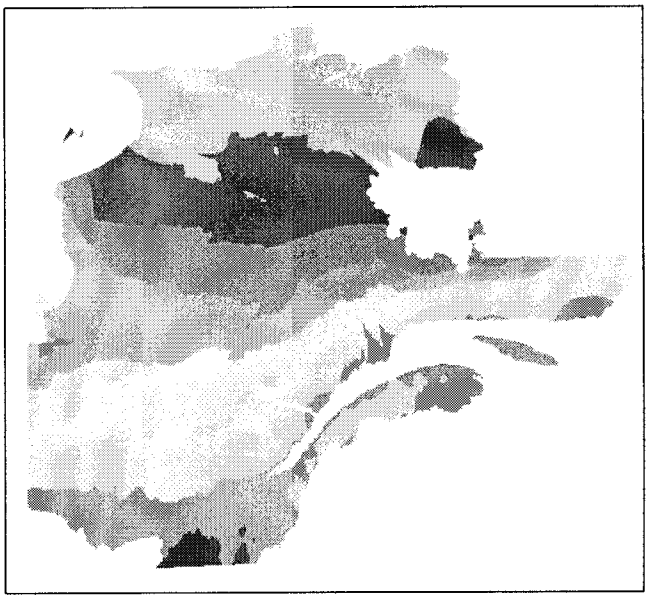


Figure 7. Carte météorologique de la variable DJBZ.

2.1.3. Choix des variables explicatives

La superficie de drainage explique généralement une proportion importante de la variation des réponses hydrologiques (Birikundavyi *et al.*, 1993 ; Belzile *et al.*, 1997 ; Ouarda *et al.*, 2000). Le présent travail permet d'effectuer une estimation régionale à partir d'autres variables pertinentes en plus de l'aire de drainage. La plupart des variables figurant au tableau 2 peuvent être extraites et calculées rapidement à l'aide d'un SIG. Par conséquent, la plupart des variables peuvent être disponibles facilement pour tout bassin versant qui se retrouve géographiquement dans les limites du sud du Québec. Ces variables physiographiques et climatiques, autres que l'aire du bassin, peuvent sûrement améliorer la qualité de l'estimation régionale. Par contre, il faut préalablement analyser ces données afin de déterminer les variables qui représentent davantage le comportement de l'écoulement extrême des cours d'eau de la zone d'étude.

Ainsi, pour éviter la redondance et orienter notre choix seulement vers des variables explicatives discriminantes, on s'est inspiré d'une approche développée par Ouarda *et al.* (2000) qui fait ressortir les corrélations qui existent entre les différentes variables considérées. Pour ce faire, on a construit une matrice des coefficients de corrélations pour les variables géographiques, physiographiques et climatiques des bassins de moyenne et de

grande superficie (tableau 4). En se fiant au tableau 4, un groupe de variable optimal pourra être identifié. Le nombre de variables sélectionné doit permettre un bon regroupement des stations tout en ne permettant pas d'obtenir une bonne proportion de sites isolés des autres.

Tableau 4. Corrélations entre les variables considérées.

	LAT	LONG	BV	LCP	PCP	PMBV	PFOR	PLAC	PTMA	PLMA	PSMA	PLME	MNS30	DJBZ
ALT	0,23	-0,409	0,08	0,07	-0,32	-0,18	0,063	0,326	-0,181	-0,144	0,013	-0,112	0,129	0,428
LAT	1	-0,021	**0,53**	**0,62**	-0,29	-0,05	0,253	0,45	**-0,661**	**-0,844**	0,179	**-0,705**	**0,752**	**0,905**
LONG		1	-0,3	-0,2	0,36	0,443	0,243	-0,456	0,383	0,097	0,494	0,144	0,306	-0,267
BV			1	**0,91**	-0,35	-0,193	-0,02	0,461	-0,487	-0,461	-0,069	-0,404	0,295	**0,545**
LCP				1	-0,44	-0,226	0,036	**0,52**	**-0,539**	**-0,568**	-0,058	-0,491	0,43	**0,651**
PCP					1	0,4	0,172	-0,442	0,48	0,363	0,365	0,358	-0,038	-0,378
PMBV						1	0,349	-0,372	0,327	0,109	0,488	0,116	0,176	-0,205
PFOR							1	-0,209	0,19	-0,218	0,412	-0,158	0,471	0,21
PLAC								1	**-0,526**	-0,471	-0,279	-0,434	0,211	**0,52**
PTMA									1	**0,867**	**0,538**	**0,894**	-0,186	**-0,621**
PLMA										1	0,147	**0,964**	**-0,515**	**-0,755**
PSMA											1	0,301	**0,537**	0,111
PLME												1	-0,33	**-0,622**
MNS30													1	**0,693**
DJBZ														1

À partir du tableau 4, on peut souligner certains faits sur les relations entre les différentes variables :

- Les variables BV et LCP sont fortement corrélées. Les variables BV et DJBZ sont corrélées, mais à un degré beaucoup moins élevé. Les variables LCP et DJBZ sont également corrélées. Il faut comprendre qu'une bonne proportion des grands bassins retenus (grandes rivières) dans l'étude se situe dans la partie nord de la région, ce qui pourrait expliquer le nombre moyen de « degré-jour inférieur à 0°C » élevé pour les bassins de grandes tailles ;
- Les variables LCP, LAT et PLAC sont corrélées positivement, tandis que les variables LCP et PTMA sont corrélées négativement. On peut dire que les grandes rivières, pour la plupart au nord, sont composées de plusieurs lacs et que ces bassins reçoivent relativement peu de précipitations. En fait, plus les stations sont situées au nord, moins elles reçoivent de précipitations autant solide que liquide ;

- Les variables PTMA, PLMA et PLME avec la variable LAT montrent une corrélation inverse. Les variables LAT, MNS30 et DJBZ sont corrélées fortement et positivement. On peut avancer que les bassins situés au nord reçoivent moins de précipitation, mais ils ont des températures plus basses permettant de conserver un couvert de neige au sol sur une plus longue période (gradient de température sud-nord) ;
- Les variables de précipitation (PTMA, PSMA, PLMA, PLME) sont toutes corrélées positivement, puisqu'en majorité un bassin qui détient une forte valeur de précipitation totale (liquide et solide) a également des valeurs élevées de précipitations solide et liquide (surtout durant l'été-automne) ;

Pour renforcer le choix des variables explicatives, les statistiques descriptives de chacune d'elles (tableau 5) ont également été analysées.

Tableau 5. Statistiques descriptives des variables considérées.

Variable	Moyenne	Écart-type	Coeff. de var.	Médiane	Minimum	Maximum	Asymétrie	Applatissement
BV	6708	0,88	1,84	1860	519	96600	4,29	24,26
LCP	155,68	143,74	0,92	105,4	17,1	855,3	2,17	5,72
PCP	3,31	3,26	0,99	2,27	0,2	23,6	2,46	10,22
PMBV	2,48	1,04	0,42	2,21	0,19	6,95	1,22	2,34
ALT	156,38	124,45	0,8	137,65	5	554,7	0,85	0,37
LAT	48,34	2,35	0,05	48,18	45,04	53,94	0,71	-0,33
LONG	-71,9	4,09	-0,06	-72,27	-79,1	-59,99	0,6	0,14
PFOR	83,21	16,63	0,2	89	18	99,8	-1,79	2,84
PLAC	7,57	8,08	1,07	4,95	0,1	47	2,04	5,64
PTMA	988,19	153,52	0,16	995,5	646	1509	0,66	2,11
PLMA	703,4	132,45	0,19	697	423	994	-0,04	-0,59
PSMA	299,26	73,43	0,25	288,5	166	624	1,28	2,81
PLME	455,06	72,01	0,16	450	306	664	0,57	0,54
MNS30	50,58	22,37	0,44	51,6	4,9	98,8	-0,08	-0,7
DJBZ	1635,29	538,82	0,33	1429,4	858,9	2963,1	0,9	-0,23

Le tableau 5 et les hypothèses de normalité (annexe 2) montrent plusieurs particularités statistiques reliées aux groupes de variables considérées, soit :

- La distribution de la variable BV n'est pas normale (figure 8), elle a une forte valeur d'aplatissement (24,26) et de coefficient de variation (1,84), elle possède un écart-type très prononcé (0,88) et elle a une médiane (1860) très différente de la moyenne (6708).

Pour normaliser l'ensemble des données de la variable BV, une transformation logarithmique a donc été effectuée ;

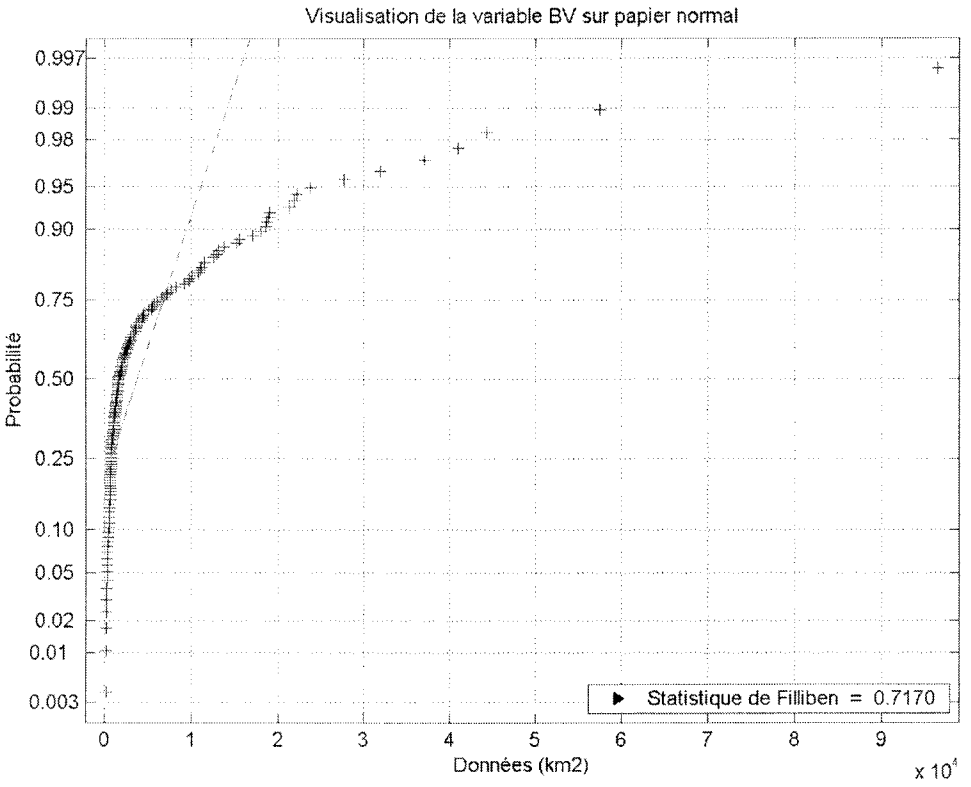


Figure 8. Représentation de la variable BV sur papier normal.

- La variable PCP a une forte valeur d'aplatissement, elle a un écart-type très prononcé par rapport à la moyenne et une statistique de Filliben relativement basse ;
- La variable PMBV suit une distribution normale avec de petites valeurs d'aplatissement et d'asymétrie, elle a une statistique de Filliben élevée ;
- La variable PLAC a une distribution inégale avec un écart-type plus grand que sa moyenne, elle a une statistique de Filliben relativement élevée. Une transformation (racine carrée) de la variable PLAC a donc été effectuée pour normaliser les données ;
- Les variables PLMA, PSMA et PLME ont des valeurs d'aplatissement et d'asymétrie plutôt fortes, mais des coefficients de variation plutôt bas.

En se fiant à ces analyses statistiques et à d'anciens travaux (Birikundavyi *et al.*, 1993, GREHYS, 1996a, b ; Belzile *et al.*, 1997 ; Ouarda *et al.* 2000, 2001), les variables climatiques et physiographiques les plus significatives ont pu être définies. Après cet examen, les variables explicatives qui seront utilisées pour la délimitation des régions homogènes (DRH) et l'estimation régionale (MER) sont plus aisément identifiables. Les principaux constats sont les suivants :

- La variable BV est plus discriminante que la variable LCP. Une transformation en logarithme népérien a été faite pour normaliser la variable BV et améliorer la symétrie dans la série de données (figure 9) ;

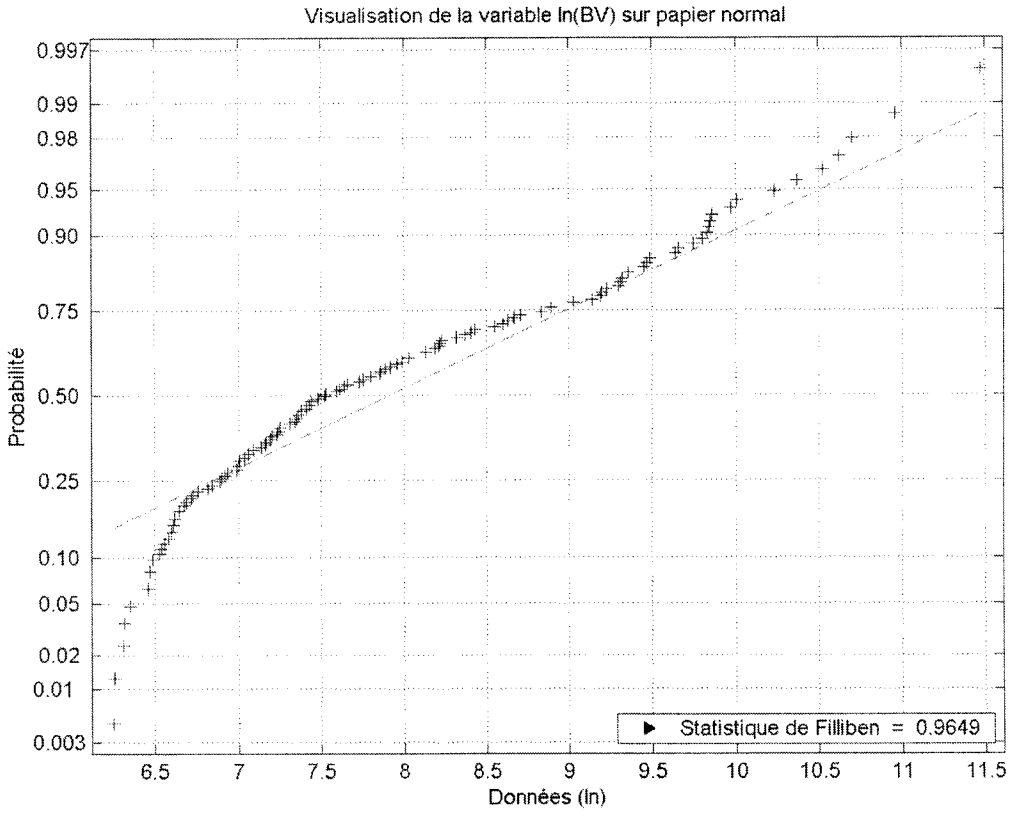


Figure 9. Représentation de la variable ln(BV) sur papier normal.

- La mesure numérique de la topographie, reliée à la variable PMBV, sur l'ensemble du bassin consiste à exprimer avec précision ses variations spatiales. À cet égard, elle

représente mieux le relief et la configuration géomorphologique du bassin que la simple variable PCP (représentation rectiligne entre deux points extrêmes du cours d'eau) ;

- Les variables reliées à la localisation géographique de la station (LAT, LONG, ALT) sont peu profitables pour les regroupements hydrologiques ;
- La variable PLAC est la variable de couverture du sol la plus discriminante (annuel, printemps) et l'échelle de la couche d'information est plus fiable (1 : 250 000 et 1 : 1 000 000), si on la compare à la variable PFOR (1 : 1 000 000). Une transformation en racine carrée de la variable PLAC permettrait de la normaliser et améliorer la symétrie dans la série de données.
- La variable PTMA dans la liste des variables de précipitation (PTMA, PSMA, PLMA, PLME) semble la plus représentative et explicative du groupe pour les évènements extrêmes printaniers et annuels. Par contre, pour la délimitation des groupes homogènes estivaux-automnaux, une autre variable de précipitation a été envisagée, soit la variable PLME pour les crues durant les mois de juillet à décembre.
- Les deux autres variables climatiques (MNS30, DJBZ) sont corrélées, mais la variable DJBZ est plus continue et plus homogène spatialement. Elle est donc plus facile à représenter sur une carte numérique que la variable MNS30. Cette dernière est plus sensible à une multitude de facteurs, comme la topographie, le type de sol, la présence d'un couvert forestier, l'orientation des versants et la précipitation totale, qui sont difficiles à intégrer dans le modèle régional (variation locale et non régionale).

À partir de ces constats, les variables discriminantes susceptibles de former les régions homogènes pour les sites ayant une superficie de drainage supérieure à 500 km^2 ont pu être ciblées et ce, en fonction de la saisonnalité des évènements hydrologiques (annexe 4). On a favorisé deux types de regroupements (annuel-printemps, été-automne), puisqu'en tentant de regrouper les stations avec d'autres variables météorologiques (ex. PLME : précipitation liquide moyenne pour la saison d'été-automne) que la simple précipitation totale moyenne annuelle (PTMA), les résultats des regroupements étaient divergents. C'est ainsi que, les combinaisons des variables explicatives ont été, pour les crues annuelles :

BV, PMBV, PLAC, PTMA, DJBZ ; pour les crues printanières : BV, PMBV, PLAC, PTMA, DJBZ (semblables à annuelles, car les pointes extrêmes au Québec surviennent majoritairement au printemps) ; pour les crues estivales-automnales : BV, PMBV, PLAC, PFOR, PLME. La variable de pourcentage de forêt a été désignée pour l'été-automne, puisqu'elle permettait un meilleur regroupement pour certaines stations marginales (forte pente, précipitation élevée, etc.) et elle a eu une plus grande influence sur le débit extrême lors d'une pluie torrentielle en été-automne (effet d'infiltration, percolation, emmagasinement différent) qu'en période printanière (donc annuelle). Les déterminants physiographiques et climatiques identifiés pour chacune des périodes seront utilisés comme paramètres explicatifs dans l'analyse comparative des méthodes régionales.

Pour mieux comprendre les corrélations entre la variable réponse (débit de crue) et les variables physiographiques/climatiques, les relations de ces variables avec les débits spécifiques doivent être analysées. Ainsi, en éliminant la grande importance de la superficie dans les variables hydrologiques, une analyse des corrélations entre les variables indépendantes choisies et certains débits spécifiques saisonniers peut être effectuée. Dans le tableau 6, les coefficients de corrélation entre les variables physiographiques/climatiques et les quantiles des débits spécifiques annuels (QSA), printaniers (QSP) et estivaux-automnaux (QSE) sur une période de retour de 100 ans sont présentés. Il demeure évident que le pourcentage de lac (transformation en racine carrée) réduit le débit, tandis que le coefficient négatif de DJBZ s'explique par des débits spécifiques (annuel-printemps) plus faibles au nord (nombre de degré-jour élevé). D'un autre côté, les coefficients positifs de la PMBV, de la PTMA et de la PLME demeurent cohérents, puisque les débits sont plus prononcés dans les bassins à pente abrupte et ayant d'abondantes précipitations. Il faut souligner que les débits spécifiques seront également utilisés dans l'analyse comparative dans la partie 2.4 du présent rapport, puisqu'une des trois méthodes de DRH fera intervenir la régionalisation des débits spécifiques pour estimer les quantiles de débits de crues.

Tableau 6. Coefficients de corrélation entre les variables indépendantes et les quantiles de débits spécifiques.

	PMBV	Ra(PLAC)	PTMA	DJBZ
QSA(100)	0,415	-0,717	0,61	-0,601
QSP(100)	0,444	-0,736	0,623	-0,627

	PMBV	PFOR	Ra(PLAC)	PLME
QSE(100)	0,258	-0,04	-0,621	0,561

2.2. Détermination des régions homogènes (DRH)

Maintenant que la réduction du nombre de variables physiographiques et climatiques a été réalisée, l'étude sur la procédure de détermination des régions homogènes est l'étape suivante. Cette analyse a été divisée en deux sections, puisque deux méthodes de DRH différentes ont été impliquées dans l'évaluation du modèle régional, soit la classification ascendante hiérarchique (CAH) et la version modifiée de l'analyse canonique des corrélations (ACC).

2.2.1. Classification ascendante hiérarchique

Comme expliqué dans la partie 1.2.1 du rapport, la CAH est une méthode qui se base sur le principe de région fixe géographiquement non-contiguë. Après plusieurs essais effectués sur les stations jaugées, la distance euclidienne standardisée (élimination du facteur d'échelle) et l'algorithme de regroupement de Ward ont été retenus. En effet, ces deux règles ont mené aux meilleures performances lors des tentatives de régionalisation. Pour ce qui est de la méthode de Ward, elle repose sur une propriété statistique liée à un critère de variance minimale par rapport à un centre de gravité hypothétique dans un groupe d'éléments. Elle a la réputation de former de petites classes, mais de taille similaire (STATSOFT, 1994).

Les variables physiographiques (BV, PMBV, PLAC, PFOR) et climatiques (PTMA, PLME, DJBZ) utilisées pour le regroupement initial (annexe 3) des stations hydrométriques ont permis de définir les régions homogènes. Tous les arbres hiérarchiques étudiés et transformés pour la délimitation des régions sont présentés en annexe 4. Il faut noter que chaque région homogène devait être composée d'au moins une dizaine de stations, compte tenu du nombre de variables indépendantes utilisées pour la DRH (5).

Après quelques manipulations manuelles dans les différentes classes, six (printemps-annuel) et sept (été-automne) régions distinctes ayant un comportement hydrologique homogène ont été définies (annexe 4). Les groupes homogènes sont composés en moyenne d'une vingtaine de stations.

La figure 10 illustre la distribution géographique des sept regroupements de stations obtenues pour les crues extrêmes annuelles et printanières. Sur la figure 11, la localisation géographique des stations étudiées peut également être observée pour les crues estivales et automnales, selon les régions homogènes identifiées par la CAH.

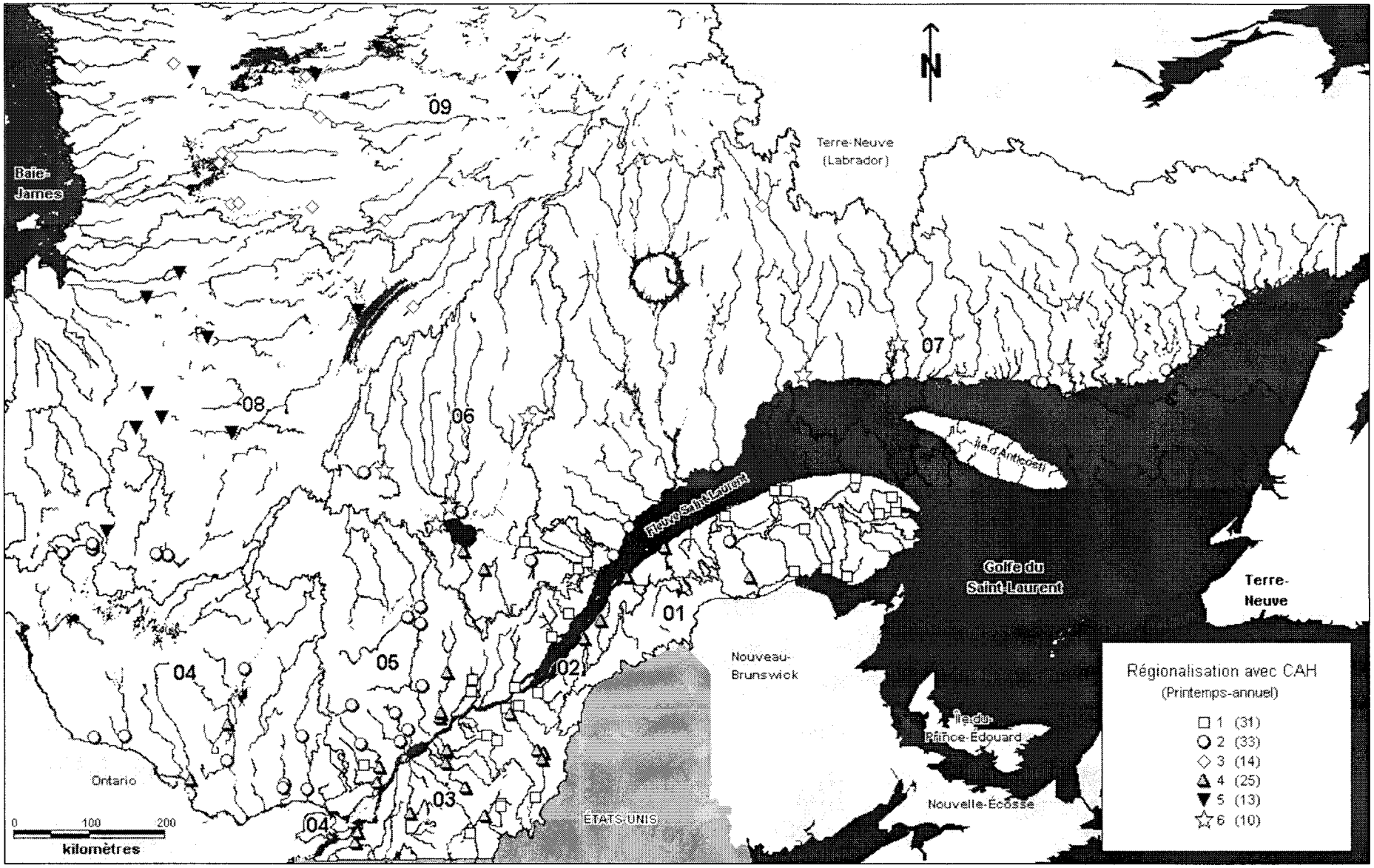


Figure 10. Regroupements des 126 stations pour les crues extrêmes annuelles et printanières.

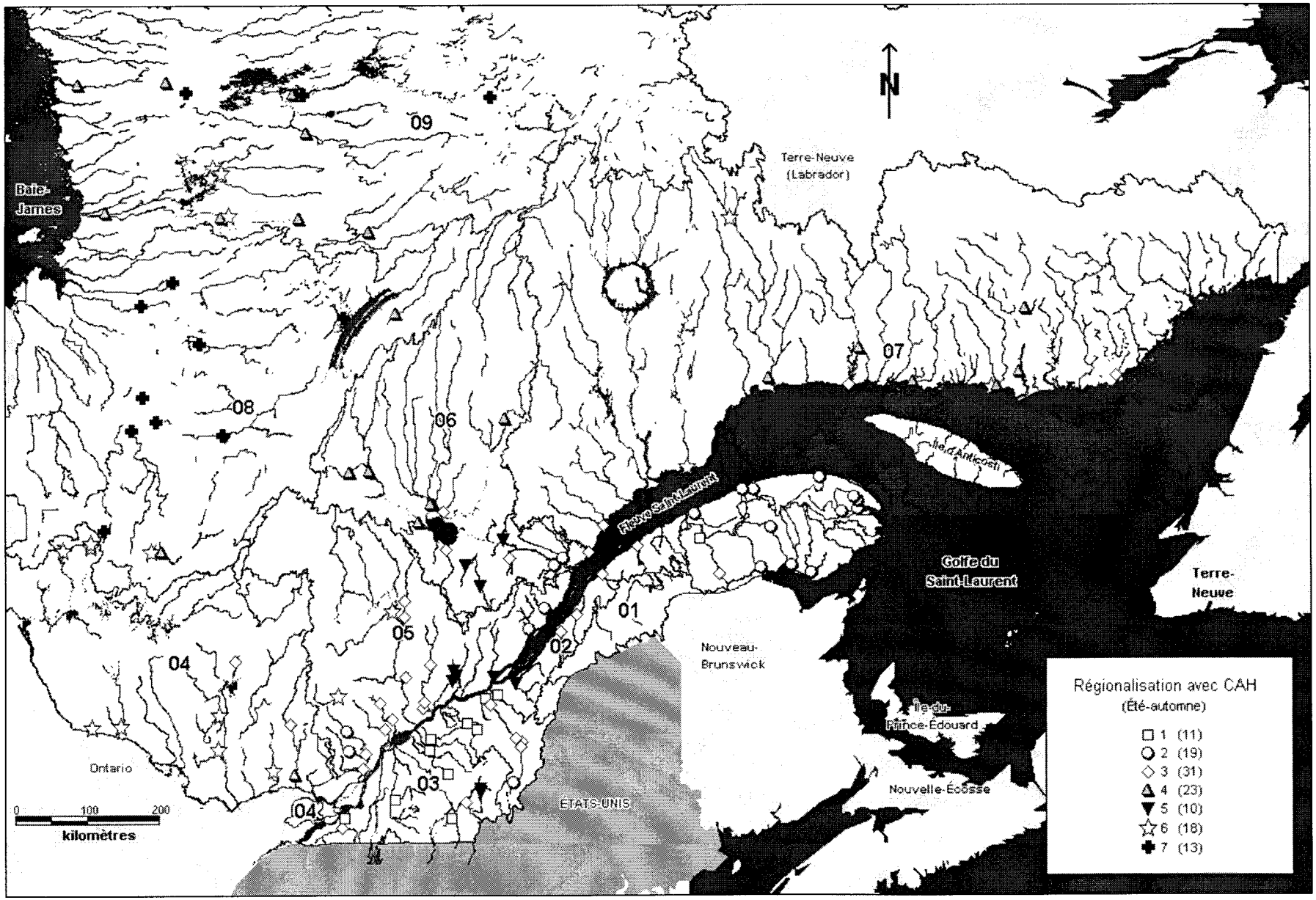


Figure 11. Regroupements des 125 stations pour les crues estivales et automnales.

En se basant sur ces regroupements, les stations jaugées possèdent des comportements hydrologiques et météorologiques qui diffèrent selon les périodes de l'année (annuel, printanier, été-automne). Effectivement, les réponses hydrologiques et les phénomènes physiques sont très différents entre les crues annuelles-printanières (les extrêmes annuels sont souvent printaniers) et les crues estivales-automnales (pluies abondantes). De plus, il est important que chaque groupe soit homogène et que les différents groupes soient le plus hétérogène possible, puisque cette phase initiale aura des incidences sur les prochaines étapes de la régionalisation. La DRH avec la méthode de la CAH en deux types de regroupements (printemps-annuel, été-automne) a apporté une nette amélioration dans les estimations.

2.2.2. Analyse canonique des corrélations : nouvelle approche par classification

Pour le bénéfice de l'analyse comparative, l'ACC utilisant la nouvelle approche par classification a été adoptée pour déterminer les régions homogènes. Elle a été testée sur les quantiles de débits de crues (annuelles, printanières, estivales-automnales) pour des périodes de retour de 10 et 100 ans et ce, pour toutes les stations jaugées (126) ayant une aire de drainage supérieure à 500 km^2. Elle a également été utilisée dans la procédure de régionalisation des débits spécifiques étudiée dans la partie 2.4 du présent rapport.

En fait, l'ACC proposée par Girard *et al.* (2000) permet de former un voisinage unique pour chaque site cible. En conséquence, plus de 126 voisinages ont été comptabilisées dans l'étude et ils diffèrent selon la période (annuel-printemps, été-automne) à l'étude. Pour déterminer les voisins de chaque station, le site cible a été considéré comme non-jaugé. Les variables utilisées dans la CAH pour les débits de pointes sont les mêmes que celles employées avec l'ACC par classification.

Pour démontrer la distinction entre la version modifiée de l'ACC (Girard *et al,*. 2000) et l'ACC discutée dans Ouarda *et al.* (2001), une estimation des variables hydrologiques sélectionnées (quantiles extrêmes annuels) a été effectuée pour une seule station jaugée. Le numéro de cette station cible au Ministère est le 080707, soit la rivière Bell (bassin de 22 200 km^2). Cette station hydrométrique a évidemment été considérée comme non-jaugée pour les besoins de cet exercice. Suite à l'analyse dans les dimensions hydrologiques (Q10,

Q100), physiographiques (BV, PMBV, PLAC) et climatiques (PTMA, DJBZ), l'ellipsoïde de référence a été tracé (figure 12). Par la même occasion, ce dernier a été comparé à l'ellipsoïde de cette station en fonction d'un α optimal de 0.1, en utilisant la méthode actuelle de *jackknife* discutée dans la section 1.2.2 (Ribeiro-Corréa *et al.,* 1995 ; Ouarda *et al.,* 2000). La valeur de l'analyse fréquentielle locale était de 2283 m^3/sec pour la crue extrême annuelle de période de retour 100 ans (Kouider *et al.,* 2002). Suite à l'analyse du voisinage, la nouvelle approche par classification a identifié 25 stations voisines, tandis que l'ACC actuelle avec alpha optimal en a défini 23. L'estimation avec l'approche par classification de Girard *et al.* (2000) est supérieure d'environ 155 m^3/sec à la valeur locale (2283 m^3/sec), tandis que l'ACC de Ouarda *et al.* (2001) avec un α optimal a obtenu un résultat supérieur de 15 m^3/sec.

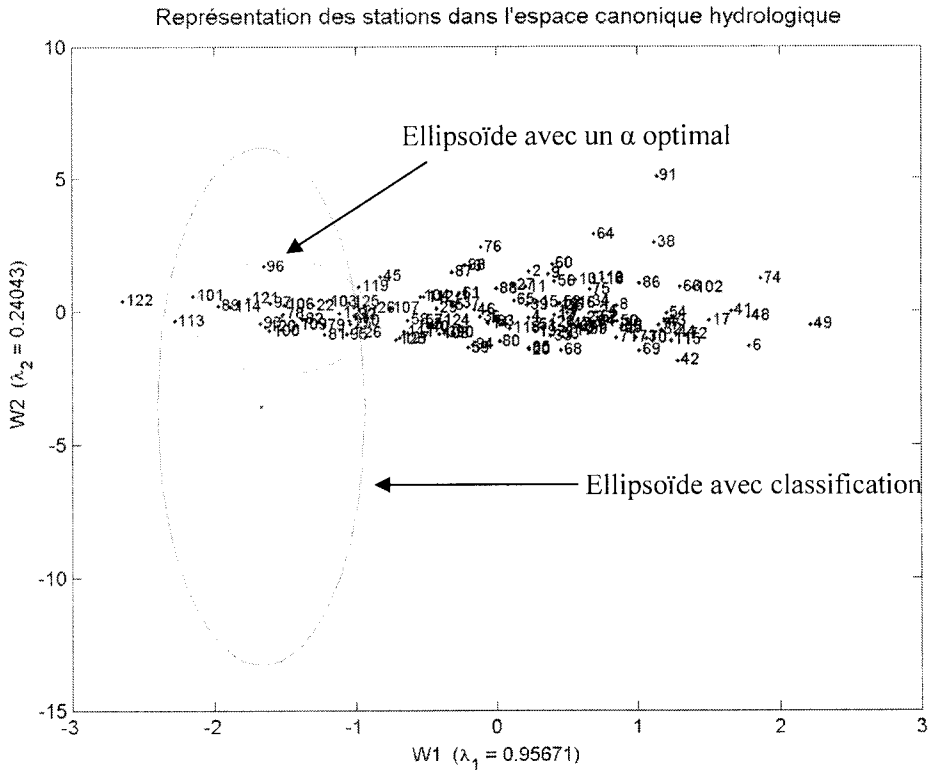


Figure 12. Ellipsoïdes de référence de la station 080707 pour les crues extrêmes annuelles de période de retour 100 ans.

En somme, l'ellipsoïde de référence de Girard *et al.* (2000) diffère de celui obtenu par l'ACC de Ouarda *et al.* (2001), mais le nombre de voisins qui sont pris en compte est relativement similaire. De plus, l'approche par classification de Girard *et al.* (2000) permet de contrer la complexité d'assignation d'un alpha optimal, tout en offrant une qualité d'estimation pratiquement égale à l'ACC actuelle. Cette méthode mérite amplement d'être considérée et elle demeure un excellent outil de recherche. Il serait intéressant de l'appliquer pour d'autres bassins versants ayant des régimes hydrologiques différents (climat aride, alpin, etc.) de ceux étudiés dans le présent projet.

2.3. Méthode d'estimation régionale (MER)

L'estimation régionale des 126 stations étudiées dans ce projet sert à calibrer le modèle régional et permet de vérifier la performance des deux méthodes de DRH étudiées. L'estimation des quantiles de débits de crues extrêmes a employé la méthode de régression multiple, autant pour la CAH que pour l'ACC de Girard *et al.* (2000).

Comme stipulé préalablement dans le chapitre 2.1.3, les équations régionales s'appliquent sur plus d'une variable explicative. La configuration du modèle de régression multiple (RM) se présente comme suit pour la période printemps-annuel :

$$\mathbf{Log(E_R) = Log(K) + \beta_{BV}\, Log(BV) + \beta_{PMBV}\, Log\,(PMBV) + \beta_{PLAC}\, Log(PLAC) + \beta_{PTMA} Log(PTMA) + \beta_{DJBZ}\, Log(DJBZ) + \varepsilon} \qquad (2.12)$$

et pour l'été-automne :

$$\mathbf{Log(E_R) = Log(K) + \beta_{BV}\, Log(BV) + \beta_{PMBV}\, Log\,(PMBV) + \beta_{PLAC}\, Log(PLAC) + \beta_{PFOR}\, Log(PFOR) + \beta_{PLME}\, Log(PLME) + \varepsilon} \qquad (2.13)$$

Une autre approche d'estimation des débits de crues a également été étudiée, soit celle utilisant la technique de l'ACC-RM en régionalisant les débits spécifiques d'abord et ensuite en utilisant la valeur de superficie du bassin pour estimer les quantiles des débits de crues. Il faut souligner que les variables physiographiques/climatiques utilisées pour ce modèle sont les mêmes que celles des équations (2.12) et (2.13), exception faite de la superficie du bassin. Le résultat obtenu par régionalisation des débits spécifiques fait

ensuite intervenir la valeur de la variable BV, ce qui permet d'obtenir l'estimation du quantile de pointe voulu.

La première équation prend alors la nouvelle forme suivante pour le printemps-annuel :

$$\mathbf{Log(E_{RS}) = Log(K) + \beta_{PMBV} Log\ (PMBV) + \beta_{PLAC} Log(PLAC) + \beta_{PTMA} Log(PTMA) + \beta_{DJBZ} Log(DJBZ) + \varepsilon} \qquad (2.14)$$

et pour l'été-automne :

$$\mathbf{Log(E_{RS}) = Log(K) + \beta_{PMBV} Log\ (PMBV) + \beta_{PLAC} Log(PLAC) + \beta_{PFOR} Log(PFOR) + \beta_{PLME} Log(PLME) + \varepsilon} \qquad (2.15)$$

où E_{RS} représente le quantile de débit spécifique à estimer de période de retour T. Enfin, le résultat final de l'estimation sera obtenu par :

$$\mathbf{E_R = BV \times E_{RS}} \qquad (2.16)$$

où E_R correspond au quantile de débit à estimer en m^3/sec, BV représente la superficie du bassin versant non-jaugé et E_{RS} correspond au quantile de débit spécifique estimé avec le modèle régional.

2.4. Analyse comparative

Maintenant que les équations régionales ont été construites, l'analyse comparative permettra de définir la configuration du meilleur modèle régional. Cette comparaison se fait sur la base des deux méthodes distinctes de DRH étudiées dans ce document, soit la CAH et l'ACC de Girard *et al.* (2000).

2.4.1. Comparaison des méthodes de DRH

Pour valider les regroupements, l'analyse comparative a été effectuée sur les résultats de l'estimation pour les crues (annuelles, printanières, estivales-automnales) de périodes de retour 10, 100 et 1000 ans. Les résultats de la CAH-RM et ceux obtenus avec l'ACC-RM (débits de crues et débits spécifiques) ont été analysés par rapport aux valeurs hydrologiques obtenues avec l'analyse fréquentielle locale de Kouider *et al.* (2002).

En annexe 5, les résultats complets des trois méthodes de DRH appliquées aux quantiles de débits extrêmes annuels ainsi que les critères d'évaluation BRM et EQRM (définies par

les équations 1.6 et 1.7) sont présentées. Ainsi, la détermination des BRM et des EQRM a servi à comparer les valeurs régionales aux résultats de l'estimation locale. De cette façon, la fidélité des groupes homogènes préalablement déterminés a été confirmée. Par la suite, l'orientation du choix de la méthode régionale optimale pourra être faite. À partir de ces valeurs relatives, les erreurs grossières qui se retrouvaient dans les données ont été détectées. Enfin, les bassins versants se comportant de façon particulière ont également été identifiés (tableau 1, section 2.1.1).

Par conséquent, un tableau permettant de représenter de manière synthétique les résultats des estimations obtenues et de comparer les différentes approches régionales a été constitué (tableau 7). Il faut souligner que pour l'estimation régionale des crues, les mêmes variables pour chaque méthode de regroupement (annuel-printemps, été-automne) ont été considérées, c'est à dire les variables BV, PMBV, PLAC, PFOR, PTMA, PLME et DJBZ, sauf pour la procédure de régionalisation des débits spécifiques qui ne faisait pas intervenir la variable BV.

Tableau 7. Analyse comparative des résultats obtenus avec les méthodes régionales pour les débits de crues.

Modèle	Saison	Période	BRM (%)	EQRM (%)
ACC-RM	Annuel	T = 10	2,9	8,2
ACC-RM-spécifique	Annuel	T = 10	3,0	5,9
CAH-RM	Annuel	T = 10	2,9	7,2
ACC-RM	Été-automne	T = 10	7,7	21,9
ACC-RM-spécifique	Été-automne	T = 10	8,4	21,1
CAH-RM	Été-automne	T = 10	10,0	24,0
ACC-RM	Printemps	T = 10	2,9	7,6
ACC-RM-spécifique	Printemps	T = 10	2,9	5,8
CAH-RM	Printemps	T = 10	2,8	7,1
ACC-RM	Annuel	T = 100	4,8	11,5
ACC-RM-spécifique	Annuel	T = 100	4,2	8,9
CAH-RM	Annuel	T = 100	5,3	12,3
ACC-RM	Été-automne	T = 100	10,9	31,7
ACC-RM-spécifique	Été-automne	T = 100	10,5	28,4
CAH-RM	Été-automne	T = 100	14,6	45,1
ACC-RM	Printemps	T = 100	4,4	10,3
ACC-RM-spécifique	Printemps	T = 100	4,0	8,2
CAH-RM	Printemps	T = 100	4,7	11,6
ACC-RM	Annuel	T = 1000	6,1	15,5
ACC-RM-spécifique	Annuel	T = 1000	6,7	13,3
CAH-RM	Annuel	T = 1000	8,7	20,1
ACC-RM	Été-automne	T = 1000	16,7	48,3
ACC-spécifique	Été-automne	T = 1000	15,1	42,1
CAH-RM	Été-automne	T = 1000	20,9	78,3
ACC-RM	Printemps	T = 1000	6,3	14,3
ACC-RM-spécifique	Printemps	T = 1000	5,3	11,8
CAH-RM	Printemps	T = 1000	7,3	17,7

Sommairement, la méthode régionale la plus fidèle demeure celle de l'ACC-RM-spécifique (utilisant la procédure de régionalisation des débits spécifiques), puisque les BRM et les EQRM sont généralement plus bas que ceux obtenus par l'ACC-RM et la CAH-RM. Pour ce qui est de la méthode de la CAH-RM proprement dite, elle donne tout de même des résultats satisfaisants, mais la procédure de l'ACC-RM s'adapte mieux à l'assignation régionale des futurs sites non-jaugés et demeure également plus automatisée.

La raison qui explique la bonne performance de l'ACC-RM-spécifique (utilisant la procédure de régionalisation des débits spécifiques) est qu'elle est réduit l'effet d'échelle de la surface de drainage par rapport aux autres variables explicatives (pente, précipitation, lac, etc.), ce qui permet donc de mieux expliquer les phénomènes (GREHYS, 1996b ; Ouarda *et al.*, 2000).

Sur les figures 13, 14 et 15, l'erreur d'estimation (%) en fonction de la superficie des bassins versants a été calculée pour les crues extrêmes annuelles de période de retour 100 ans et ce, pour les trois approches régionales. En conséquence, une corrélation, voulant que les plus grands bassins de drainage obtiennent une mauvaise estimation pour ces trois méthodes étudiées, n'a pu être observée. Les écarts dans les prévisions seraient plutôt occasionnés par des facteurs propres à la localisation de la station hydrométrique (embouchure d'un lac, prise d'eau, etc.) ou par la présence éventuelle d'erreurs dans les données.

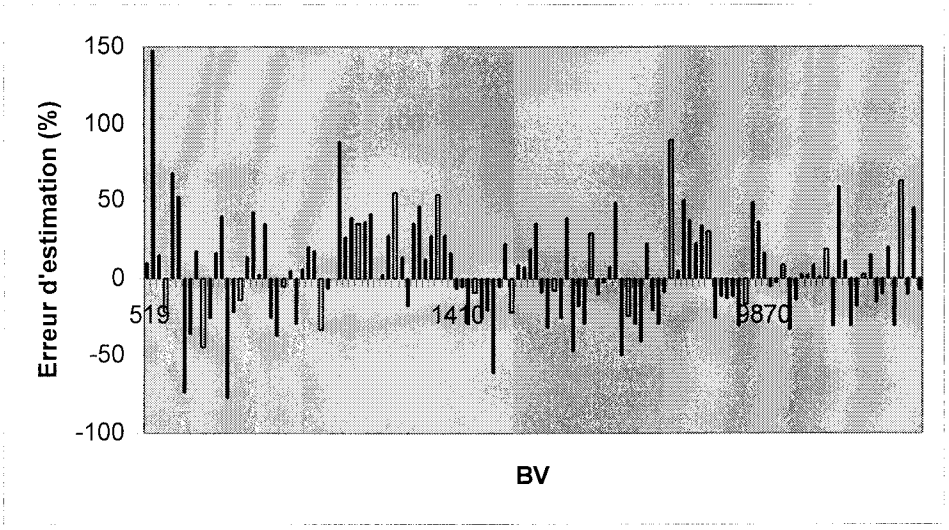


Figure 13. Erreur d'estimation en % de l'ACC-RM pour les crues extrêmes annuelles en fonction de la superficie (T=100).

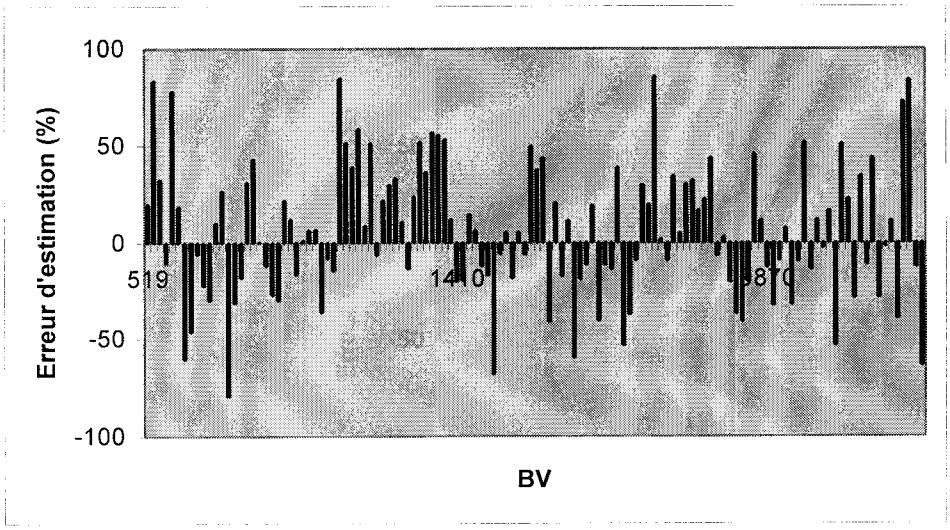


Figure 14. Erreur d'estimation en % de la CAH-RM pour les crues extrêmes annuelles en fonction de la superficie (T=100).

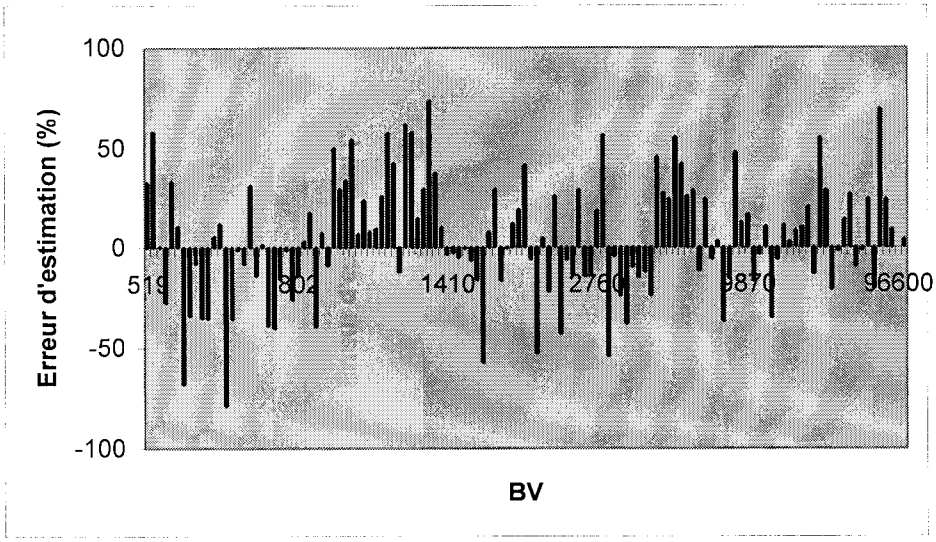


Figure 15. Erreur d'estimation en % de l'ACC-RM associées aux débits spécifiques pour les crues extrêmes annuelles en fonction de la superficie (T=100).

Il faut mentionner que les stations dont les résultats s'éloignant le plus des valeurs réelles sont, en général, les mêmes pour chaque méthode régionale. Cela signifie, entre autres, que certaines erreurs dans les données pour les stations ont pu avoir des impacts sur les estimations régionales du site cible. Le fait de ne pas avoir considéré de variable reliée à la caractéristique des sols (classe d'utilisation du sol, classe de drainage du sol) peut

également expliquer que certaines stations de ce groupe sont influencées par une géomorphologie locale n'ayant pas été intégrée dans le présent modèle. Il est également important de signaler que des estimations faites pour des sites légèrement influencés peuvent être entachées d'erreurs.

En sachant que les régions homogènes définies par les trois méthodes régionales sont relativement conformes, la méthode de l'ACC-RM utilisant la procédure de régionalisation des débits spécifiques peut être identifiée comme étant la voie à suivre selon les objectifs fixés dans le cadre de ce projet. Cette méthode régionale a donc été implantée, en définitive, dans le prototype développé pour estimer les quantiles de débits de crues extrêmes des moyens et grands bassins du Québec habité.

2.5. Approche adaptée pour les petits bassins

Maintenant que l'approche méthodologique pour les bassins de moyenne et grande taille a été identifiée, l'étude des comportements statistiques des petits bassins doit être effectuée. Les stations de petite superficie (inférieure à 500 km^2) au nombre de 26 sont localisées en majeure partie au centre du Québec méridional (figure 16). Les régions hydrologiques du MENV où se retrouvent les stations cibles sont les territoires du Saint-Laurent Sud-Est, Saint-Laurent Sud-Ouest, Outaouais-Montréal, Saint-Laurent Nord-Ouest et Saguenay-Lac Saint-Jean. En somme, elles sont toutes localisées dans le bassin hydrographique du fleuve Saint-Laurent. Cependant, elles ont des caractéristiques physiographiques et météorologiques relativement différentes.

On a d'abord considéré les petits bassins dans le même groupe que les autres bassins jaugés (moyenne et grande taille). Par contre, les stations jaugées ayant une superficie inférieure à 500 km^2 ont présenté des résultats sous-estimés par comparaison aux estimations locales définies dans Kouider *et al.* (2002). Ces résultats peuvent être dû, entre autres, à une réponse hydrologique beaucoup plus rapide lors d'un événement extrême (fonte instantanée, pluie torrentielle) pour un petit bassin qu'un ayant une plus grande surface et où sa réponse devrait être moins instantanée. L'approche par ACC détermine des voisinages avec des bassins de toutes les tailles, ce qui occasionne des résultats sous-estimés pour les petits bassins. Ainsi, il a fallu étudier d'autres approches alternatives qui permettaient de circonscrire les bassins en différentes classes régionales. Enfin, lorsqu'on a

identifié la meilleure méthode d'estimation, on y a ajouté un facteur de correction (FC) qui a été défini dans l'équation (1.10) et qui permet d'obtenir un débit beaucoup moins sous-estimé.

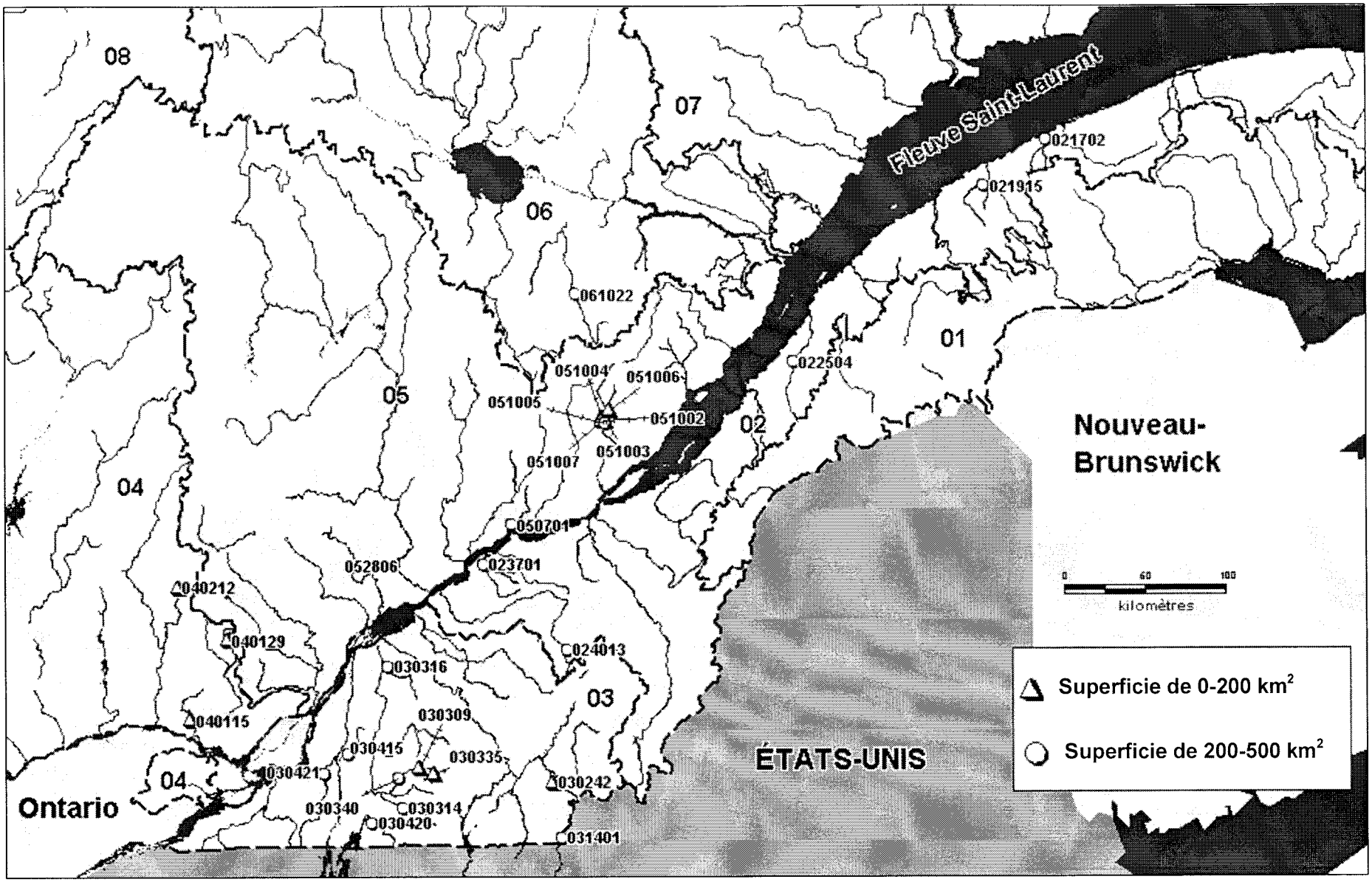


Figure 16. Localisation des stations jaugées incluses dans la classe des petits bassins.

Plusieurs approches alternatives ont été testées pour évaluer la performance des diverses méthodes applicables aux petits bassins. Différentes procédures de DRH ont été expérimentées pour déterminer le regroupement optimal des stations jaugées. Pour ce faire, une étude comparant quatre modèles de DRH a été réalisée :

1) Régions déterminées par ACC de Girard *et al.* (2000) avec tous les bassins (petits, moyens, grands) en régionalisant le débit spécifique et sans classification régionale ;
2) Une seule grande classe régionale avec toutes les stations jaugées ayant une aire de drainage inférieure à 500 km^2 ;
3) Deux classes régionales sur la base de la superficie contenant les stations jaugées ayant une aire de drainage de 0-200 km^2 et de 200-500 km^2 ;
4) Trois classes régionales sur la base de la superficie comprenant les bassins de 0-25, 25-200 et 200-500 km^2.

Il faut également souligner que trois combinaisons de variables dans la régression multiple ont été testés sur les 26 stations jaugées ayant un petit bassin versant :

1) Quatre variables explicatives (ex. annuel-printemps : PMBV, PLAC, PTMA, DJBZ) utilisées pour la régionalisation des débits spécifiques ;
2) Cinq variables explicatives s (ex. annuel-printemps : BV, PMBV, PLAC, PTMA, DJBZ) permettant l'estimation directe des débits de crues ;
3) Une seule variable physiographique, soit la superficie du bassin versant (BV), permettant l'estimation directe des débits de crues.

En se basant sur les critères d'évaluation BRM et EQRM, une analyse comparative a été effectuée sur les différents résultats d'estimation par rapport aux valeurs de l'estimation locale pour les quantiles de crues de périodes de retour 10 et 100 ans (tableaux 8, 9, 10). On a également calculé le facteur de correction moyen (FC moyen) pour chaque méthode de DRH. Le FC moyen se définit à partir de l'équation suivante :

$$\text{FC moyen} = \frac{1}{\mathbf{k}} \sum_{i=1}^{k} \left[\mathbf{E_L} / \mathbf{E_R} \right] \qquad (2.14)$$

où k représente le nombre de stations ayant un petit bassin, E_L correspond au quantile de débit obtenu avec l'analyse fréquentielle locale (Kouider *et al.*, 2002) et E_R au quantile de débit estimé avec le modèle régional.

Tableau 8. Résultats comparatifs des débits annuels obtenus avec les différents modèles d'estimation appliqués aux petits bassins.

ANNUEL		Q10	Q10	FC moyen	Q100	Q100	FC moyen
Détermination des régions	Variables explicatives	BRM (%)	EQRM (%)	Q10	BRM (%)	EQRM (%)	Q100
ACC-débits spécifiques	**PMBV, PLAC, PTMA, DJBZ**	**-4,5**	**6,38**	**1,12**	**0,78**	**10,83**	**1,1**
1 région en classe de superficie : 0-500	BV	4,25	9,87	1,04	6,34	16,4	1,06
2 régions en classe de superficie : 0-200, 200-500	BV	4,55	8,71	1,04	6,84	14,39	1,06
2 régions en classe de superficie : 0-200, 200-500	BV, PMBV, PLAC, PTMA, DJBZ	1,31	13,07	1,17	3,08	21,08	1,24
2 régions en classe de superficie : 0-200, 200-500 débits spécifiques	PMBV, PLAC, PTMA, DJBZ	-0,3	8,97	1,11	1,5	16,6	1,17
3 régions en classe de superficie : 0-25, 25-200, 200-500	BV	3	10,1	1,08	4,91	16,54	1,1

Tableau 9. Résultats comparatifs des débits printaniers obtenus avec les différents modèles d'estimation appliqués aux petits bassins.

PRINTEMPS		Q10	Q10	FC moyen	Q100	Q100	FC moyen
Détermination des régions	Variables explicatives	BRM (%)	EQRM (%)	Q10	BRM (%)	EQRM (%)	Q100
ACC-débits spécifiques	**PMBV, PLAC, PTMA, DJBZ**	**-5,33**	**7,1**	**1,14**	**-2,5**	**11,39**	**1,16**
1 région en classe de superficie : 0-500	BV	4,75	11,33	1,05	7,9	20,34	1,08
2 régions en classe de superficie : 0-200, 200-500	BV	5,04	10,27	1,05	8,01	17,17	1,07
2 régions en classe de superficie : 0-200, 200-500	BV, PMBV, PLAC, PTMA, DJBZ	1,36	14,71	1,22	3,73	23,47	1,33
2 régions en classe de superficie : 0-200, 200-500 débits spécifiques	PMBV, PLAC, PTMA, DJBZ	0,5	10,17	1,11	2,8	18,95	1,18
3 régions en classe de superficie : 0-25, 25-200, 200-500	BV	3,24	11,96	1,1	5,55	20,24	1,15

Tableau 10. Résultats comparatifs des débits estivaux-automnaux obtenus avec les différents modèles d'estimation appliqués aux petits bassins.

ÉTÉ-AUTOMNE		Q10	Q10	FC moyen	Q100	Q100	FC moyen
Détermination des régions	Variables explicatives	BRM (%)	EQRM (%)	Q10	BRM (%)	EQRM (%)	Q100
ACC-débits spécifiques	**PMBV, PLAC, PFOR, PLME**	**-1,43**	**10,19**	**1,1**	**7,87**	**22,6**	**1,06**
1 région en classe de superficie : 0-500	BV	9,84	28, 77	1,08	12,56	41,4	1,1
2 régions en classe de superficie : 0-200, 200-500	BV	11,74	32,69	1,08	15,84	52,96	1,11
2 régions en classe de superficie : 0-200, 200-500	BV, PMBV, PLAC, PFOR, PLME	5,83	12,36	1,04	10,76	20,93	1,04
2 régions en classe de superficie : 0-200, 200-500 débits spécifiques	PMBV, PLAC, PFOR, PLME	6,53	12,03	1,03	12,28	23,47	1,02
3 régions en classe de superficie : 0-25, 25-200, 200-500	BV	11,33	33,12	1,06	15,66	53,49	1,08

En analysant ces résultats, la performance de la détermination des régions avec l'ACC en régionalisant les débits spécifiques sans classification régionale demeure excellente. En fait, le modèle de régression multiple employé pour les moyens et grands bassins offre aux petits bassins les meilleurs résultats d'estimation pour les débits de crues extrêmes. Il faut dire que le modèle considérant deux classes semble également de bonne qualité, mais il a des EQRM plus élevés que la méthode utilisant l'ACC de Girard *et al.* (2000). À partir de ces résultats d'estimation régionale, on peut dire que la régionalisation des débits spécifiques avec la méthode de l'ACC permet une estimation de bonne qualité pour les petits bassins.

La meilleure méthodologie pour les petits bassins est la suivante : après avoir identifié les voisins du site cible par ACC associée aux débits spécifiques, l'outil développé permet d'appliquer la technique de régression multiple (divisée en deux périodes : printemps-annuel et été-automne), afin d'obtenir une estimation régionale pour les petits bassins en utilisant l'équation log-linéaire suivante pour estimer, d'abord, les débits spécifiques :

printemps-annuel :

$$\text{Log}(E_{RS}) = \text{Log}(K) + \beta_{PMBV}\text{Log}(PMBV) + \beta_{PLAC}\text{Log}(PLAC) + \beta_{PTMA}\text{Log}(PTMA) + \beta_{DJBZ}\text{Log}(DJBZ) + \varepsilon \quad (2.15)$$

été-automne :

$$Log(E_{RS}) = Log(K) + \beta_{PMBV}Log(PMBV) + \beta_{PFOR}Log(PFOR) + \beta_{PLAC}Log(PLAC) + \beta_{PLME}Log(PLME) + \varepsilon \qquad (2.16)$$

où K correspond à l'ordonnée à l'origine (exprimée en logarithme népérien), les exposants β_i représentent les coefficients régionaux, ε est le terme d'erreur normale et E_{RS} correspond au quantile de débit spécifique estimé de période de retour T.

Ensuite, le résultat estimé fait intervenir la variable BV pour obtenir le quantile de débit de crue à partir de l'équation suivante :

$$E_R = BV \text{ X } E_{RS} \qquad (2.17)$$

où E_R correspond au quantile de débit à estimer en m^3/sec, BV représente la superficie du bassin versant non-jaugé et E_{RS} correspond au quantile de débit spécifique estimé avec le modèle régional. Enfin, le résultat de l'estimation régionale, pour les bassins non-jaugés ayant une superficie inférieure à 500 km^2, est transformé en un débit estimé et corrigé sous la forme suivante :

$$E_{Rc} = FC \text{ X } E_R \qquad (2.18)$$

où E_{RC} correspond au quantile de débit corrigé à estimer en m^3/sec et FC au facteur de correction propre au quantile de débit en question. Les valeurs moyennes de FC obtenues sont présentées dans le tableau 11.

Tableau 11. Facteurs de correction moyens calculés pour chaque période de retour.

Saison	Période de retour	FC moyen
Annuel	T = 10	1,12
Annuel	T = 100	1,10
Printemps	T = 10	1,14
Printemps	T = 100	1,16
Été-automne	T = 10	1,10
Été-automne	T = 100	1,06

CHAPITRE 3: DÉVELOPMENENT DE L'OUTIL

Les données à référence spatiale (réseau hydrographique, précipitation, couverture du sol, limite des bassins, etc.) qui sont utilisées pour estimer les variables hydrologiques doivent être structurées dans un cadre idéal de façon à tirer profit des capacités d'analyse et de traitement d'un système d'information géographique (SIG) (Comité mixte des organismes intéressés à la géomatique, 1995). Le SIG permet, entre autres, l'intégration (plans, cartes, images), le stockage (base de données, historique), la compilation (classification, interprétation), la modélisation (simulation, création de modèle), l'analyse (topologique, métrique, statistique) et la diffusion (cartographie numérique et papier, diffusion simultanée dans Internet) de l'information géographique (Thériault, 1994). D'autre part, l'exploitation de l'information sous forme numérique (en comparaison au papier) présente plusieurs avantages, soit la superposition de couches, l'analyse multi-couches, le mode de stockage des données, la gestion de l'historique, le traitement en continue de l'information et les applications novatrices développées dans le domaine. L'utilisation d'outils géomatiques permet également d'améliorer les capacités d'analyse et de gestion pour les décideurs en leur permettant de schématiser des problèmes complexes facilitant la compréhension des enjeux. Ce secteur d'activité est présentement en plein essor. En outre, le SIG devient un dispositif essentiel dans la prise de décision, puisqu'il offre la possibilité au gestionnaire d'obtenir une représentation spatio-temporelle des impacts éventuels et de lui permettre une meilleure évaluation des actions à prendre face à de futures catastrophes naturelles, comme les risques d'inondations.

Dans le cadre du présent projet, le développement d'une application cartographique a été une voie à suivre pour optimiser l'exploitation de ces données à référence spatiale. Les outils d'aide à la décision développés dans le domaine de l'hydrologie ont leur raison d'être, puisque la gestion de l'eau requiert à la base une importante masse d'information permettant de mieux gérer la ressource sur le territoire (sécurité des barrages, évaluation environnementale, prévision, gestion et prévention du risque, etc.). Compte tenu de cette quantité d'information, le formalisme cartographique permet souvent de saisir les enjeux géostratégiques d'une région sans une connaissance approfondie de ce territoire. Le

développement d'une philosophie en géomatique dans une organisation comporte plusieurs avantages :

- Amélioration dans la sécurité des données à référence spatiale ;
- Meilleure gestion des données à référence spatiale ;
- Élimination de la redondance des données à référence spatiale ;
- Mise à jour des données à référence spatiale plus souple ;
- Analyse, requête et représentation des données géospatiales très pratiques ;
- Diffusion des données à référence spatiale plus étendue (Internet/Intranet) ;
- Augmentation de la productivité de l'organisation (automatisation de tâche manuelle) ;
- Meilleure intégration des données et interopérabilité des différentes systèmes dans l'organisation.

Avec les récents développements de l'informatique et le progrès technologique que la géomatique a occasionné dans le fonctionnement des organisations, l'amélioration des services d'intérêt public dans certains domaines clés, notamment en environnement, serait profitable. À titre d'exemple, une organisation bénéficiant d'une infrastructure géomatique bien distribuée peut optimiser le traitement de ces ressources informationnelles reliées au domaine hydrique (figure 17).

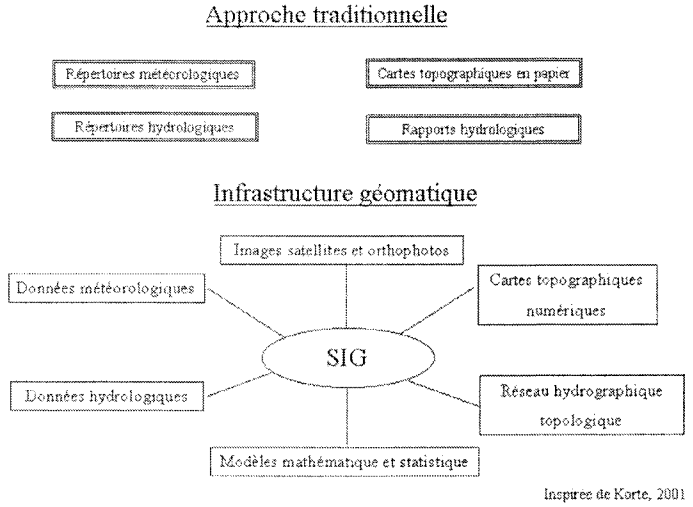


Figure 17. Différence entre les deux approches de gestion des données à référence spatiale.

En s'inspirant de cette philosophie géomatisée de l'espace géographique, un support à la décision qui tire profit des données hydrologiques, climatiques et physiographiques a été élaboré. Dans ce chapitre, l'architecture globale du prototype, comportant un SIG dédié à la régionalisation intégrant un module statistique, a été développée (chapitres 3.1 et 3.2). Ce prototype, utilisant les données étudiées dans les sections précédentes de ce document, exploite la méthode de régionalisation adoptée pour extraire rapidement l'information et obtenir une estimation du débit des crues naturelles. Les fonctionnalités d'analyse et d'interprétation de l'ensemble de l'outil seront également expliquées (chapitre 3.2.2). Par exemple, une procédure d'automatisation dans la délimitation de l'aire de drainage, à l'aide d'un modèle numérique d'altitude (MNA), a été développée pour les besoins de l'estimation régionale (chapitre 3.2.1). Enfin, les perspectives pourraient également être prometteuses pour le déploiement d'un tel prototype dans Internet, augmentant ainsi sa capacité de diffusion (chapitre 3.3).

3.1. Structure de données à référence spatiale

La structure de la base de données à référence spatiale (BDRS) a été créée pour améliorer l'exploitation de l'information géographique. Les données se présentent en deux formats : sous forme de grilles (matrice en pixel carré uniforme) ou de vecteurs (polygone, polyligne, point). Une brève description des couches numériques utilisées par le prototype est présentée aux tableaux 11 et 12.

Tableau 12. Inventaire des données vectorielles.

Couche	Source	Échelle	Classe d'objet
Région hydrologique	MENV	1 : 250 000	polygone
Limites des grands bassins versants à l'exutoire	CEHQ	1 : 250 000	polygone
Stations hydrométriques	MENV	1 : 1 000 000	point
Stations jaugées du projet	INRS-ETE	1 : 1 000 000	point
Station météorologique	MENV	1 : 1 000 000	point
Site cible non-jaugé	INRS-ETE	1 : 1 000 000	point

Bassin cible non-jaugé	INRS-ETE	1 : 1 000 000	polygone
Réseau hydrographique	NRCAN	1 : 1 000 000	polyligne
Réseau hydrographique extrait du MNA modifié	INRS-ETE	1 : 1 000 000	polygone
Réseau routier	NRCAN	1 : 1 000 000	polyligne
Ville	NRCAN	1 : 1 000 000	point

Tableau 13. Inventaire des données matricielles.

Grille	Source	Résolution	Dimension
Pente moyenne	NRCAN	1 km	2090 X 1994
Lac (surface d'eau)	NRCAN	1 km	2024 X 2005
Forêt	NRCAN	1 km	2024 X 2005
Précipitation totale moyenne annuelle	MENV	1 km	1826 X 1637
Précipitation liquide moyenne à l'été-automne	MENV	1 km	1826 X 1637
Degré-jour < à 0°C	MENV	1 km	1826 X 1637
MNA	NRCAN	1 km	2090 X 1994
Orientation des versants	INRS-ETE	1 km	2090 X 1994
Réseau d'accumulation	INRS-ETE	1 km	2090 X 1994
MNA modifié localement	INRS-ETE	1 km	2090 X 1994

En ce qui a trait aux grilles, l'échelle globale des données est de 1 : 1 000 000 (ce qui correspond à une précision d'environ 1 km) et la projection cartographique est Conique conforme de Lambert adaptée au Québec. Il faut noter que les données vectorielles (polygone, polyligne, point) représentent les couches de visualisation, tandis que les couches matricielles servent à l'analyse spatiale.

La couche vectorielle des sites cibles non-jaugés est mise à jour continuellement, selon les demandes de régionalisation (tableau 13). Tous les résultats d'estimation régionale sont incorporés dans cette entité. La table des sites non-jaugés contient l'objet cartographique du site cible (point), l'identifiant du site cible, le type d'estimation, les débits estimés sur toutes les périodes de retour, la date d'estimation et la valeur des variables utilisées. Cette

couche cartographique demeure l'entité centrale du projet. Effectivement, les résultats de l'estimation sont incorporés dans cette table où la localisation géographique du site est stockée ainsi que la saison appropriée pour l'estimation régionale et d'autres informations susceptibles d'être attachées aux sites cibles (tableau 13, figure 18).

Tableau 14. Table des données pour les sites cibles non-jaugés.

Identifiant	BV	PMBV	PLAC	...	Type	T10	T20	T...
Site_1	1234	3.34	12	...	QA	2346.3	2891.2	...
Site_2	734	1.34	24	...	QP	269.1	349.2	...
Site_3	6222	0.83	5	...	QE	546.3	791.2	...

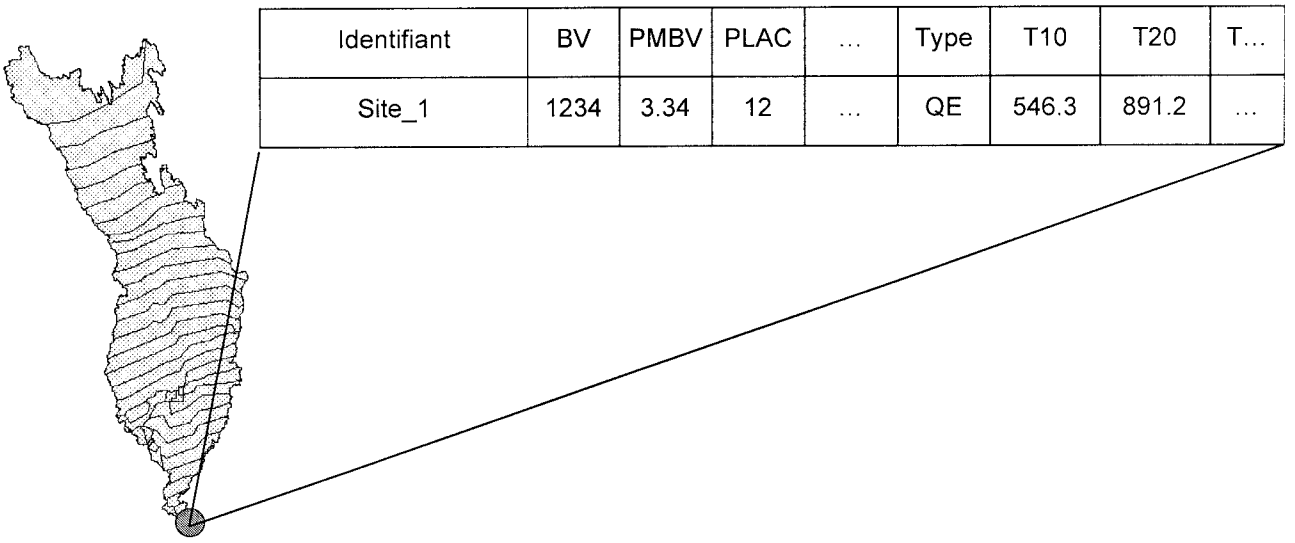


Figure 18. Représentation cartographique de la table des sites cibles non-jaugés.

Cette table de données a été établie pour structurer les résultats de l'estimation régionale dans une optique de cartographie centralisée. Pour chaque site cible de cette table, un identifiant unique ayant trois types d'estimation : annuel (QA : quantile annuel), printanier (QP) et d'été-automne (QE) est attaché aux objets cartographiques (planimétrie X, Y du site). De plus, des requêtes dynamiques sur les attributs et les éléments cartographiques sur le territoire (sites cibles, stations jaugées, stations météorologiques, etc.) peuvent être

effectuées. À titre d'exemple, il est possible d'identifier les stations hydrométriques, les sites cibles, les bassins versants, les structures hydrauliques et toute autre information géographique située en périphérie de l'endroit du site non-jaugé où on veut faire une estimation.

Plusieurs autres analyses thématiques peuvent être faites à partir de ces couches cartographiques, une carte synthèse représentant les débits de pointes et les débits spécifiques pour une région voulue en est un bel exemple (figure 19). Notons également que des cartes de localisation des stations, des bassins versants, de la couverture du sol ou des zones à risque pour les inondations peuvent également être produites avec les données de la présente étude de régionalisation. Par le fait même, les analyses régionales faites avec ces données à référence spatiale peuvent couvrir différents objectifs en ressources hydriques, que ce soit pour la sécurité des barrages, la détermination des cotes de crues, les évaluations d'avant-projet, l'inventaire du patrimoine écologique, la protection des plaines inondables, etc.

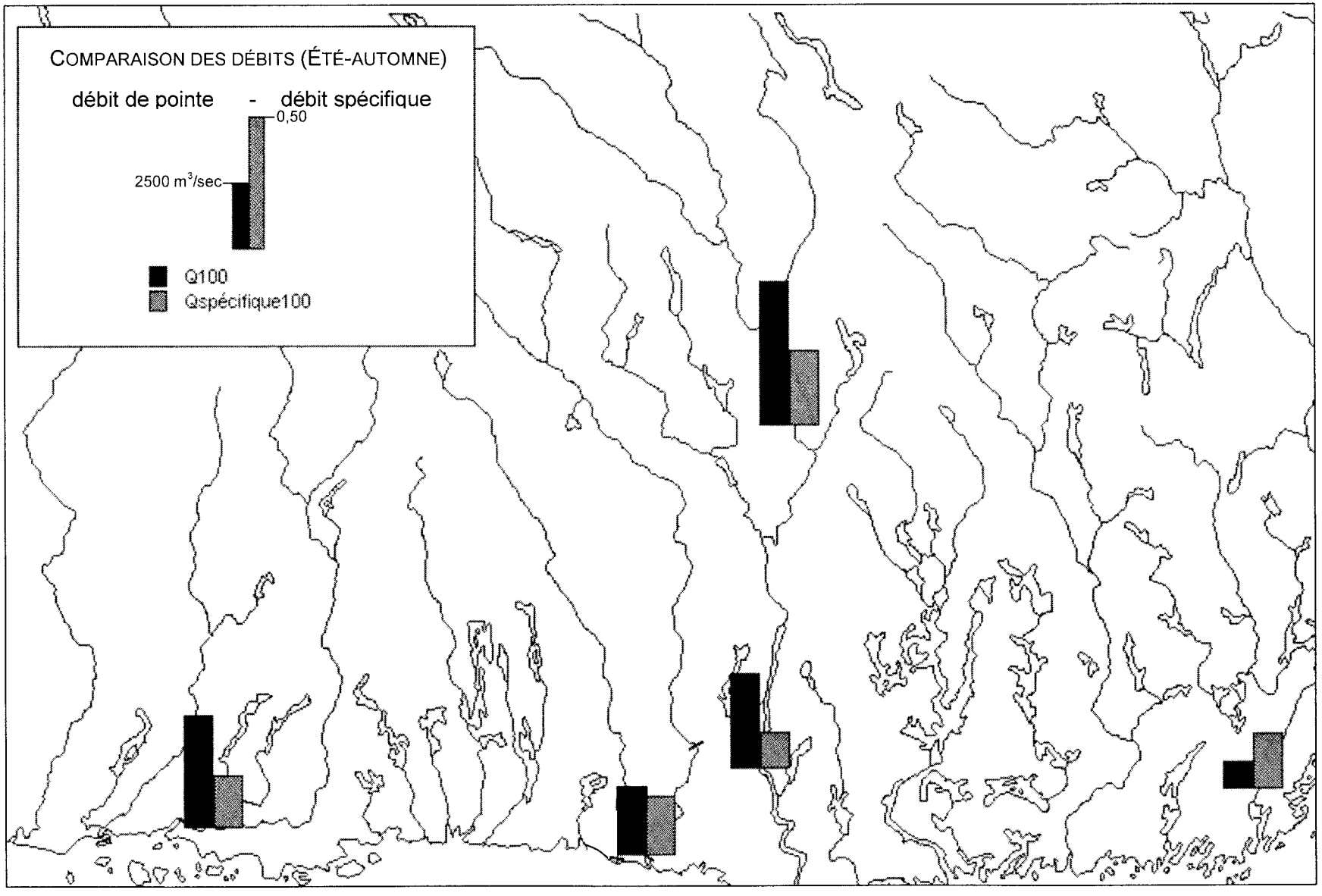


Figure 19. Exemple d'une carte synthèse représentant les débits de pointes et les débits spécifiques d'une région.

3.2. Prototype de régionalisation

Pour améliorer l'efficacité du prototype de régionalisation, un outil d'aide à la décision comprenant deux programmes informatiques s'arrimant ensemble pour produire les valeurs de débits voulues a été réalisé. Pour ce faire, une extension en langage *Avenue* (langage de programmation d'*ArcView* 3.x) qui s'intègre dans l'interface du SIG choisi au départ (*ArcView* 3.x) a d'abord été conçue. Ce programme se retrouve à la base du prototype de régionalisation et offre plusieurs fonctionnalités à travers un menu interactif implanté dans le menu principal d'*ArcView GIS* (figure 20). Les principales fonctions sont : l'outil de zoom sur une région hydrologique visée par l'analyse régionale, le choix du site cible, la délimitation automatique du bassin de drainage lorsqu'il est inexistant, l'extraction des variables explicatives (physiographiques/climatiques) employées dans la procédure de régionalisation, le démarrage du module statistique de régionalisation et la récupération et la sauvegarde des résultats de l'estimation régionale dans une base de données. L'autre programme informatique développé dans ce projet a été le module statistique de régionalisation qui s'est basé sur les résultats obtenus dans l'analyse comparative (chapitre 2.4). Ainsi, il utilise la méthode régionale combinant l'ACC de Girard *et al.* (2000) et le modèle de régression multiple (RM) associé au débit spécifique. Cet exécutable qui a été développé dans l'environnement MATLAB a été intégré dans les opérations du SIG. Ce module statistique permet la détermination de la région homogène (ACC) du site cible et l'estimation régionale (RM) des quantiles de pointes de crues naturelles (annuels, printaniers, estivaux-automnaux) pour les bassins ayant une superficie supérieure de 500 km^2. L'interface de ce module de régionalisation est présentée à la figure 21. Il faut souligner que le couplage SIG-ACC-RM est original, puisque les méthodes que nous retrouvons dans la littérature n'utilisaient pas la méthode de voisinages hydrologiques conjointement avec les puissances d'un SIG (Sauquet, 2000 ; Charleux-Demargne, 2001; Javelle, 2001; Ries et Crouse, 2002 ; Center for Ecology & Hydrology, 2003).

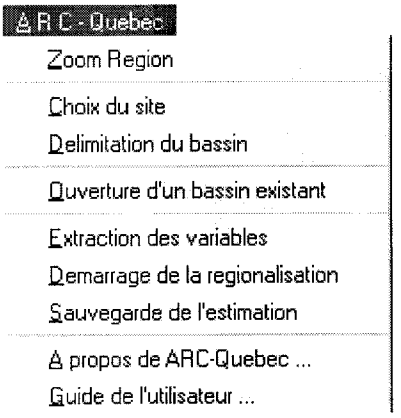


Figure 20. Menus réalisés pour le prototype de régionalisation dans ArcView.

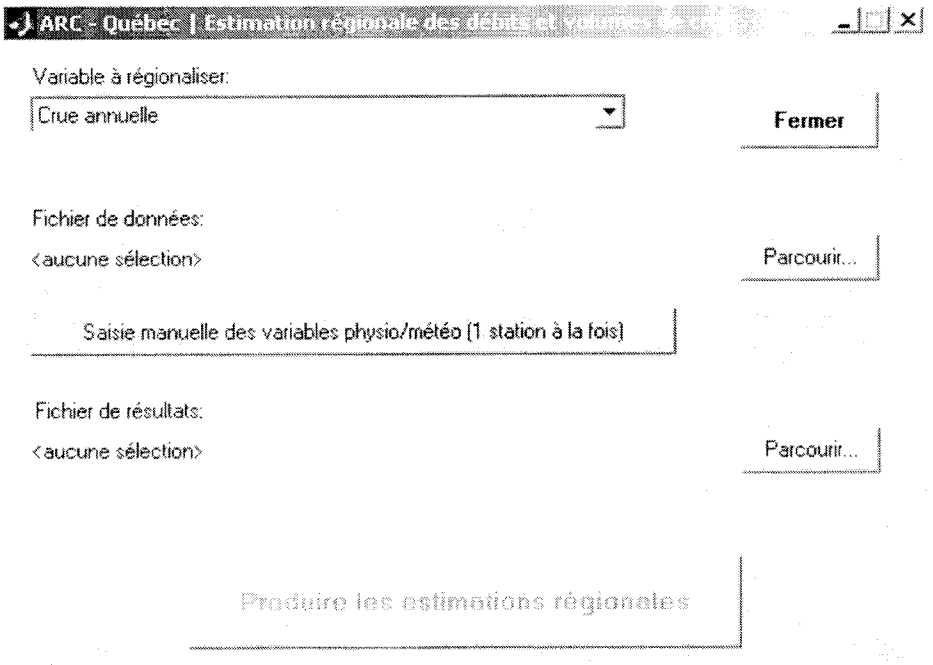


Figure 21. Module statistique appelé par le SIG utilisant l'ACC-RM.

Les fonctionnalités développées peuvent servir à obtenir rapidement une carte du territoire couvert ainsi que les valeurs de débits associées. Les menus ont été structurés de telle façon qu'une personne ayant peu d'expérience avec un SIG puisse tirer profit de la richesse d'information que le système peut lui apporter. Cet environnement informatique convivial favorise la curiosité de l'individu face au SIG-modèle statistique et améliore ses

capacités à comprendre les principes de base reliés aux données à référence spatiale. Il faut souligner que le prototype de régionalisation n'utilise pas toutes les variables explicatives considérées au départ (LCP, ALT, etc.), cependant d'autres variables qui ne sont pas incluses dans le présent modèle peuvent également être intégrées dans le prototype.

3.2.1. Délimitation automatique du bassin versant

L'aire de drainage est une variable fondamentale dans toutes les études régionales. Or, le SIG permet de calculer la superficie d'une zone de façon instantanée. Par contre, si les limites du bassin versant n'existent pas dans la base de données, la tâche devient plus compliquée. Le travail de délimitation de l'aire de drainage est exécuté majoritairement par des mesures établies par un technicien à l'aide d'une carte topographique en papier ou en format numérique. Par contre, cette identification manuelle occasionne souvent des erreurs liées au jugement du technicien. En fait, les mesures effectuées sont fonctions de l'individu qui l'exécute et donc peu objectives.

Une démarche conviviale et automatique a donc sa raison d'être dans un projet de régionalisation, puisqu'elle augmente la rapidité d'analyse de l'outil. Ainsi, avec l'avènement des traitements mathématiques et de la morphométrie dans les SIG, il est maintenant possible d'effectuer des mesures quantitatives plus objectives. En utilisant un modèle numérique d'altitude (MNA) représentant, sur une surface continue, les variations topographiques, la production de cartes d'écoulement précises et la délimitation automatiquement de l'aire de drainage pour tous les pixels sur le territoire sont envisageables. En effet, la connaissance de l'orientation des pentes, de la direction des versants et de la configuration du réseau hydrographique sont des informations que l'on peut extraire d'un MNA (Sauquet, 2000). Ces informations permettent, entre autres, de déduire le trajet d'une goutte d'eau à la surface d'un bassin versant. Les limites des applications du MNA en hydrologie n'ont pas encore été atteintes, puisque le MNA est une source très riche en information et elle est actuellement en plein développement. En fait, ces MNA représentent le relief sur une matrice où chaque pixel a une valeur numérique d'élévation. À partir de cette représentation du relief, les outils informatiques intégrés dans les SIG peuvent, pour chaque pixel, calculer la pente, l'orientation (nord-sud-est-ouest) et le nombre de pixels qu'il draine en un point. En utilisant ces deux dernières informations,

on peut ainsi, pour chaque pixel du modèle, calculer à partir des pixels voisins la direction de l'écoulement et le réseau d'accumulation. L'algorithme automatique le plus robuste, permettant de générer les limites de l'aire de drainage avec une analyse de l'écoulement unidirectionnel en 8 directions, est celui qu'on nomme D8 (Charleux-Demargne, 2001). Cet algorithme est celui qui a été implanté dans l'environnement d'*ArcView GIS* 3.x, c'est pourquoi il a été préféré dans cette étude (ESRI, 2002). La procédure choisie fait appel à l'analyse des 8 voisins les plus proches de chaque pixel pour déterminer l'écoulement en relation avec l'altitude (figure 22).

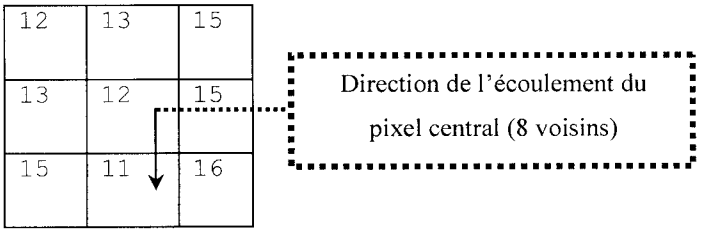


Figure 22. Exemple de l'algorithme D8 pour déterminer l'écoulement avec un MNA.

De cette façon, il est possible en cliquant à l'endroit où l'on veut avoir une estimation, d'obtenir tous les pixels qui s'écoulent vers le site cible et indirectement d'acquérir les limites de son bassin de drainage. Les grilles représentant le réseau d'accumulation et l'orientation des versants sont une information nécessaire pour effectuer une bonne délimitation, cependant la performance de l'algorithme dépend également de la résolution des pixels. Malgré que cette méthode de délimitation de l'aire de drainage soit simple, plusieurs études ont démontré que l'algorithme D8 pouvait avoir quelques défauts surtout en zone de faible pente (Gurnell et Montgomery, 2000 ; Charleux-Demargne, 2001). Pour pallier à ces lacunes dans l'algorithme et le MNA, une modification locale de ce dernier, utilisant diverses couches informationnelles, permet de pousser l'algorithme à mieux répondre aux réalités du terrain (Charleux-Demargne, 2001). Comme dans notre cas, les bases géographiques du réseau hydrographique et des grandes limites des bassins versants peuvent fournir une information additionnelle très pertinente. À partir de ces couches cartographiques, la soustraction d'une valeur arbitraire (ex. 100) du MNA au niveau des pixels correspondant aux cours d'eau et l'addition d'une autre valeur (200) aux pixels représentant les limites des grands bassins hydrographiques peuvent orienter

avantageusement l'algorithme. Cette méthode a déjà été proposée pour pallier au problème des cours d'eau parallèles au cours d'eau principal et des branches de cours d'eau sans issues qui apparaissent dans les dépressions ou les régions de plaines (Sauquet, 2000 ; Charleux-Demargne, 2001). De plus, une hiérarchisation du réseau hydrographique selon son altitude a également été utilisée pour affecter la structure du MNA. Ces modifications du MNA n'affectent en rien sa configuration globale, mais agit plutôt localement. Le résultat de cette transformation permet l'algorithme D8 de prendre de meilleures décisions dans la délimitation de l'aire de drainage et de conserver une certaine topologie entre les limites des bassins versants (pas de superposition dans les limites de bassins). Cette procédure d'automatisation de l'aire de drainage a donc été intégrée dans les fonctionnalités du prototype. Il utilise comme base informationnelle le MNA modifié couvrant tout le Québec habité et ayant une résolution de 1 km^2. Évidemment, il serait souhaitable d'utiliser un MNA avec une plus haute résolution (ex. 100 m). Les tests effectués à l'INRS-ETE jusqu'à présent ont démontré la fiabilité de la méthode avec une résolution de 100 mètres pour des bassins cibles d'une superficie supérieure à 0,5 km^2. Enfin, la méthode de numérisation manuelle, étant plus longue et plus fastidieuse, demeure la technique la plus exacte pour les zones de lacs, mais compte tenu des besoins de régionalisation pour les bassins de grande taille, la démarche automatisée demeure amplement suffisante.

3.2.2. Procédure d'estimation

Dans le présent chapitre, les étapes incluses dans le prototype et les interactions entre les éléments de l'outil d'analyse régionale (usager, données, modules, interface) sont expliquées en détail. Cette section du mémoire sert, entre autres, à justifier la pertinence d'implanter une procédure d'analyse régionale dans un seul et même outil.

Au départ, lorsqu'on effectue une estimation régionale à un site donné, il faut être en mesure de situer géographiquement (coordonnées géographiques, rivière drainée) le site cible et le bassin hydrographique correspondant. Lorsque le site cible à analyser est bien localisé sur le cours d'eau, il s'agit de créer le site sur la carte à l'écran (figure 23).

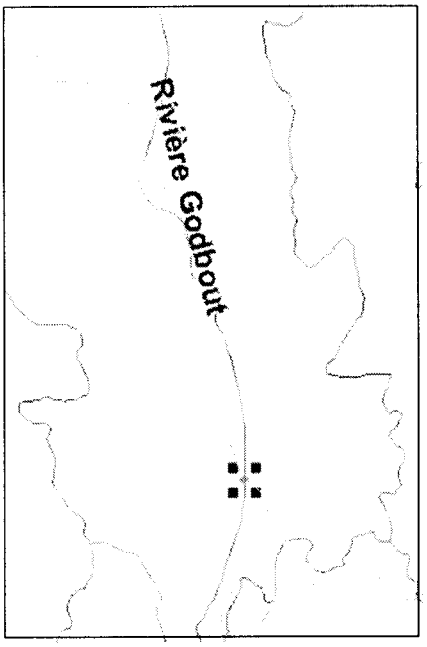


Figure 23. Identification du site cible à analyser.

Ensuite, lorsque la première étape est complétée, l'outil peut définir le bassin versant à partir d'une procédure automatique de délimitation de l'aire de drainage (voir section 3.2.2). En fait, le bassin cible sera l'entité (polygone) qui permettra d'extraire les variables explicatives du site (exutoire) en question. Donc, lorsque les limites du bassin versant sont générées (automatiquement), les variables explicatives peuvent être extraites. Il s'agit de sélectionner le bassin cible et de générer les valeurs associées aux variables climatiques et physiographiques.

Par la suite, le programme statistique de DRH-MER utilise les données extraites pour déterminer les stations voisines au site d'intérêt et génère la démarche d'estimation régionale, selon le type de variables hydrologiques voulu (pointe extrême, saison) et ce, sur plusieurs périodes de retour (2, 10, 20, 100, 1 000 et 10 000 ans). Ensuite, la vérification des résultats de l'estimation peut s'effectuer. La visualisation des R-carré et des stations avoisinantes utilisées peut également être utile pour l'interprétation des résultats (figure 24).

-> Résultats de l'estimation régionale (QA)

>> Station : 1
>> Variables : BV-PLAC-PTMA-DJBZ
Les estimations ont été corrigées à l'aide de FC, car BV<=500 km2

Période de retour	Estimations	nb de voisins	R-carré	FC
T10000	103.07	21	0.38	1.26
T1000	87.84	18	0.43	1.19
T100	67.51	12	0.43	1.14
T20	43.46	11	0.55	1.12
T10	39.64	9	0.27	1.09
T2	18.59	9	0.24	1.10

>> Stations voisines pour chaque période de retour

T10000	T1000	T100	T20	T10	T2
11508	11508	43008	43008	30309	30309
40406	43008	30309	30309	30335	30335
43008	021701/021702	30335	30335	40115	40115
021701/021702	24013	40115	40115	40129	40129
24013	50701	40129	40129	40212	40212
31401	30242	40212	40212	51006	51006
50701	30309	51006	51006	020502/020501	020502/020501
30242	30335	020502/020501	020502/020501	50812	50812
30309	40115	30340	50812	52228	52228
30335	40129	50812	50903		
40115	40212	50903	52228		
40129	51006	52228			
40212	020502/020501				
51006	30340				
020502/020501	50812				
23432	50903				
30340	50904				
50812	52228				
50903					
50904					
52228					

Figure 24. Exemple d'une fenêtre des résultats suite à une procédure d'estimation régionale dans le module statistique.

Lorsque les principales étapes d'entrée sont complétées, les résultats d'estimation du site cible sont stockés dans la base de données et peuvent être affichés ensuite sur une carte à l'écran.

Pour schématiser les différentes étapes du prototype, la figure 25 illustre les différents blocs thématiques qui interviennent dans cette démarche de cartographie des crues. Pour obtenir plus de détails sur certaines de ces étapes, le lecteur est référé au rapport scientifique de Gignac *et al.* (2003).

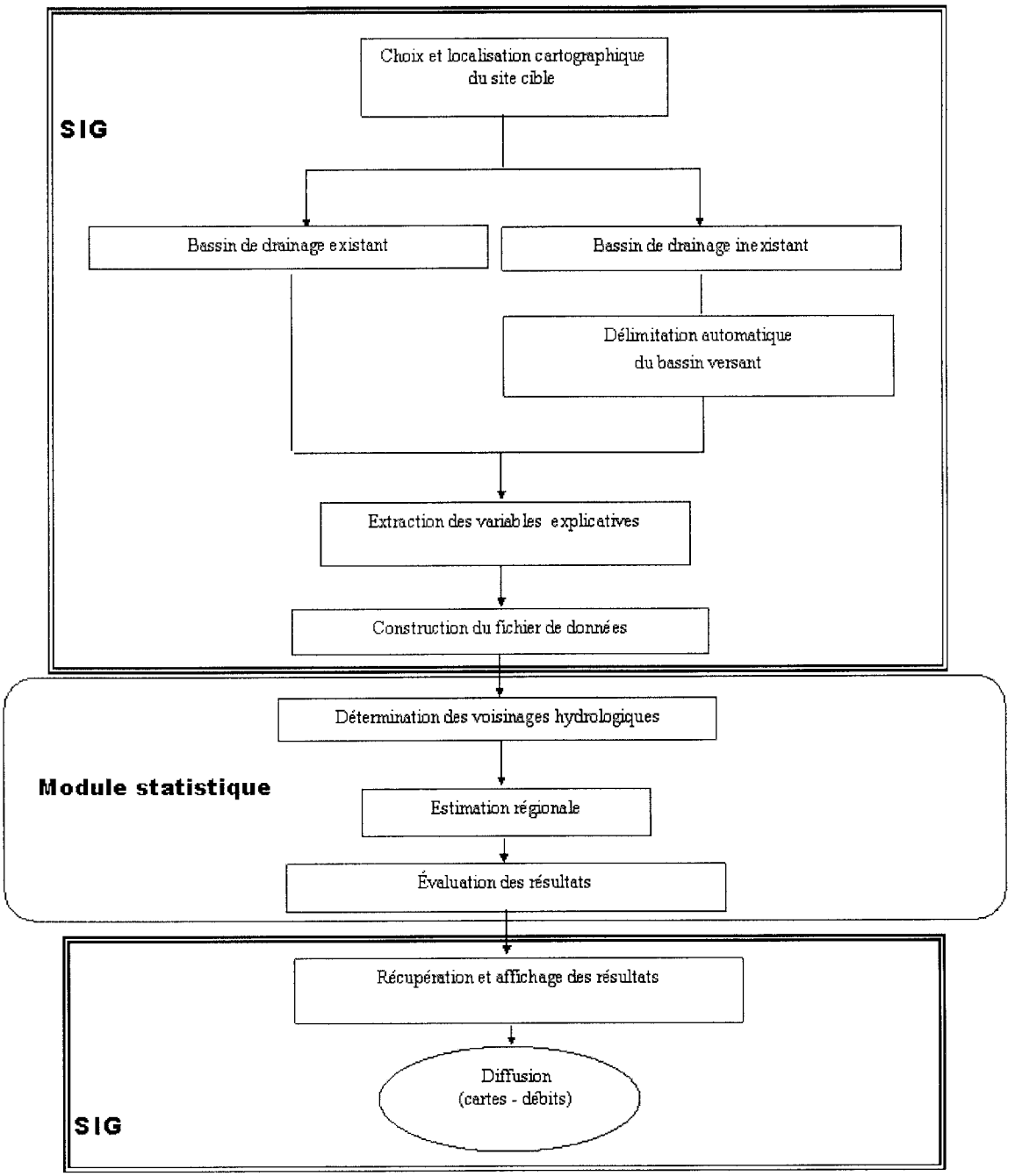


Figure 25. Organigramme de la méthodologie générale de régionalisation.

Enfin, avec les derniers développements informatiques dans les SIG liés à l'analyse tridimensionnelle du territoire, les modèles numériques d'altitude permettent maintenant de générer les limites des bassins versants de façon automatique (chapitre 3.2.2), de créer des cartes de flux hydrologique, de produire des profils de rivières en tout point, de

produire des animations à vol d'oiseau le long des cours d'eau et de simuler des événements extrêmes (ESRI, 2002). Ces dernières applications n'ont pas été intégrées dans l'outil de régionalisation, mais peuvent être générées à partir des fonctionnalités intégrées dans la plupart des SIG commerciaux. Les projets en géomatique appliquée à l'hydrologie peuvent porter, entre autres, sur l'analyse des éléments humains ou naturels qui peuvent être affectés par l'inondation d'une rivière lors d'une crue exceptionnelle. Ceci représente un des exemples d'une approche « géomatisée » dans un but de gestion territoriale des ressources hydriques.

3.3. Perspectives d'un déploiement en réseau

La conception d'un véritable outil d'aide à la décision en matière d'estimation des débits de crue naturelle en rivière dans Internet/Intranet est une perspective intéressante pour un tel prototype de régionalisation (Purdue University, 2004). Ce dernier a d'abord été conçu pour fonctionner sur des postes locaux. Par contre, il serait intéressant d'accroître sa capacité en l'imbriquant à un serveur Internet et un serveur cartographique. Le principal défi à relever pour un fonctionnement optimal à l'intérieur d'un réseau, c'est de pouvoir trouver la solution optimale de branchement à une infrastructure géomatique (Chabrier et Soussain, 2001). De plus, le développement d'une telle infrastructure ne peut se faire sans la reconnaissance inévitable des droits d'auteurs du CEHQ et du MENV.

Comme le fichier d'entrée de cet outil demeure le site cible (coordonnées x, y) où l'on veut faire une estimation du débit et le fichier de sortie est le bassin cible (polygone) créé avec les résultats d'estimations (données textuelles), l'option de brancher ce poste dédié à une solution SIG en ligne pourrait devenir très intéressante. L'usager n'aurait qu'à utiliser un nouveau bouton dans l'interface cartographique en ligne qui correspondrait à l'opérateur de captage de coordonnées (x, y). Ainsi, lorsque l'analyste cliquerait à l'écran, les coordonnées seraient aussitôt stockées dans un espace mémoire temporaire. Ensuite, lorsque l'usager serait satisfait de la localisation de son site en coordonnées cartographiques (x, y), il enverrait cette requête d'analyse au serveur cartographique qui redirigerait ces paramètres au poste dédié à la régionalisation afin de créer le site cible en format « Shapefile » vectoriel. En fait, il devrait transmettre les coordonnées x et y, les unités de mesure de la carte (ex. mètres) et la projection cartographique (ex. Conique

Conforme de Lambert adapté au Québec) au poste attitré à la régionalisation. Ensuite, le poste dédié pourrait construire le « Shapefile » du point cible à partir de ces informations, délimiter automatiquement le bassin de drainage de ce site avec le modèle numérique d'altitude, créer le « Shapefile » du bassin, extraire les caractéristiques du bassin à l'aide de la BDPC, déterminer les voisins hydrologiques, calculer le débit de crues et construire le fichier texte comprenant les résultats d'estimation des débits. Enfin, lorsque le traitement sur le poste dédié serait terminé, le serveur cartographique (ex. GeoMedia Web Map) recueillerait l'information du bassin en format « Shapefile » et enverrait le résultat vers le serveur Internet jusqu'au poste client (figure 26) (Ministère de l'Environnement du Québec, 2003).

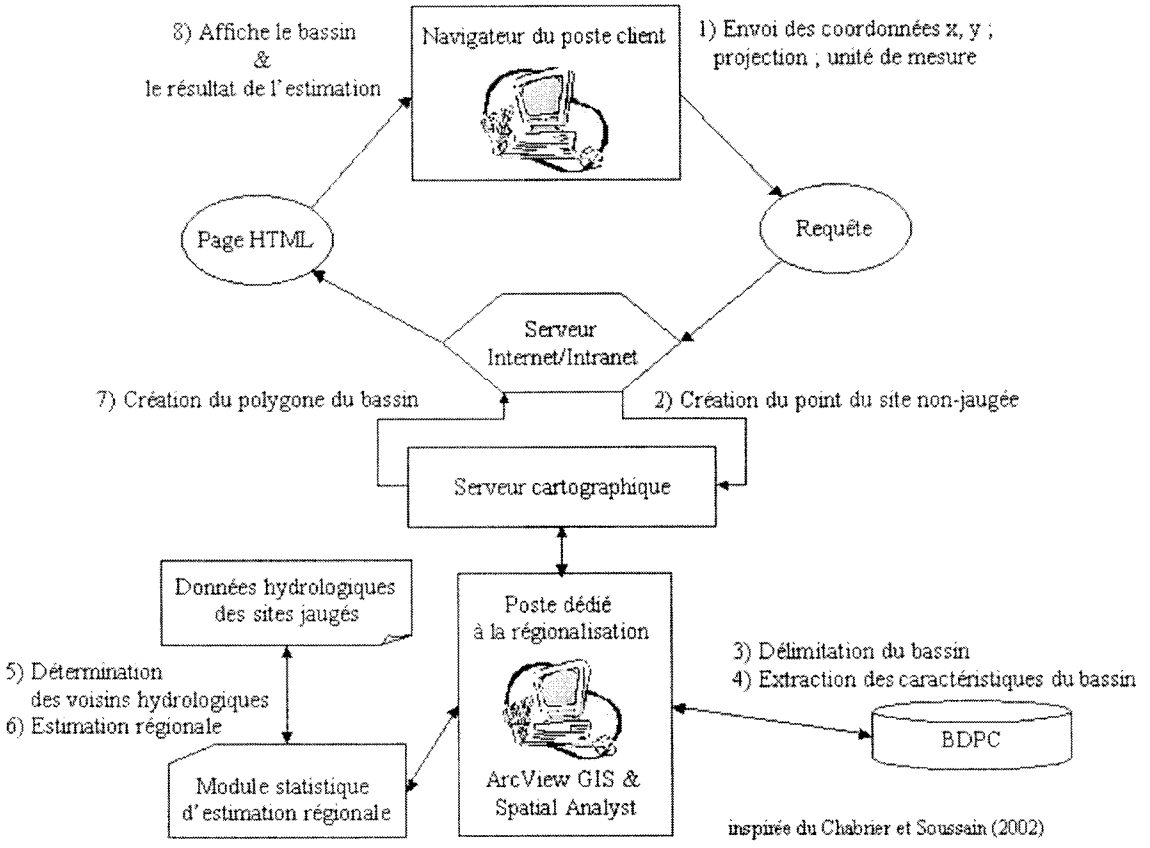


Figure 26. Schéma général d'une implantation potentielle en réseau de l'outil de régionalisation.

Le temps de réponse d'une telle requête pourrait devenir plus long qu'une simple consultation de données, cependant avec l'accroissement futurs des moyens informatiques, le temps attribué à cette tâche d'analyse spatiale ne ferait que diminuer. En somme, l'intégration d'un outil de régionalisation dans Internet/Intranet démontre bien les potentiels de développement d'une telle infrastructure et témoigne de l'ampleur du défi technologique d'un tel projet (Ministère de l'Environnement du Québec, 2003).

CHAPITRE 4: CONCLUSION

Suite à cette étude, l'hypothèse de départ voulant que la réponse hydrologique dépend de plusieurs facteurs physiographiques et climatiques a été confirmée. Le meilleur modèle régional pour les crues extrêmes au Québec habité a donc été identifié et a permis de tester la performance de deux approches de détermination des régions homogènes.

En somme, les deux grandes approches de régionalisation (CAH-RM, ACC-RM) appliquées dans ce projet pour les bassins de grandes et moyennes tailles mènent à de bons résultats. Cependant, c'est la méthode de l'analyse canonique des corrélations (ACC) de Girard *et al.* (2000) avec la régression multiple (RM) et associée aux débits spécifiques qui permet de générer les meilleurs résultats d'estimation. La méthode de l'ACC-RM appliquée aux débits spécifiques est donc celle qui a été implantée dans le prototype développé pour les moyens et grands bassins en condition de crues au Québec.

Les objectifs de recherche ont été atteints à différents degrés. Ils ont permis de faire ressortir les points forts du modèle et ses limites. L'objectif général de ce mémoire, soit de développer une méthodologie générale d'estimation des crues pour des bassins supérieurs à 500 km^2, a rencontré les attentes du projet. Pour ce qui est des objectifs spécifiques, les quatre qui ont été identifiés au début de l'étude se sont avérés très utiles pour juger de l'application et de la méthodologie développée. D'abord, l'identification des variables physiographiques et climatiques de référence pour le modèle a permis de développer une méthode rapide et objective dans le calcul des variables hydrologiques. L'analyse comparative entre les deux méthodes de détermination des régions homogènes (ACC et CAH) a occasionné au terme de ce projet de définir les erreurs d'estimation pour chacune d'elles et ce, en regard à l'objectif général. L'approche régionale qui a été développée pour les petits bassins semble prometteuse, cependant un échantillon de stations jaugées plus grand et moins homogène aurait permis d'améliorer la performance du modèle. De plus, l'intégration de la géomatique dans un projet de régionalisation a démontré sa raison d'être dans un tel contexte. Cette étape devient surtout importante lorsqu'une organisation veut développer un véritable outil d'aide à la prise de décision pour la gestion des ressources hydriques (Gignac *et al.*, 2004b).

En somme, la présente étude a produit un prototype permettant d'obtenir en quelques minutes un résultat d'estimation régionale sur un simple ordinateur de bureau, une procédure qui peut normalement nécessiter plusieurs heures de travail. Cet outil intègre plusieurs couches d'information permettant aux usagers d'obtenir des estimations régionales selon une procédure uniforme et centralisée, ce qui occasionne une diminution des erreurs. En effet, la méthodologie développée dans ce document offre de bons résultats d'estimation. Par contre, il faut demeurer prudent face aux résultats obtenus, ils reflètent un ordre de grandeur des variables hydrologiques en condition naturelle (site peu influencé).

Voici certaines limitations techniques et informationnelles qui méritent d'être prise en compte dans ce travail de régionalisation :

- Certains bassins versants frontaliers (Rivières : Richelieu, Outaouais, Ristigouche) peuvent conduire à de mauvais résultats à cause d'un manque d'information (utilisation de la variable BV uniquement dans ces cas) ;

- La base cartographique utilisée dans ce projet a une précision au delà du 1 / 1 000 000 (résolution de 1 km). D'autres données spatiales plus précises peuvent aisément substituer les données présentement utilisées (Ouarda *et al.,* 2004). Pour arriver à un équilibre entre la taille des données et la précision, il est conseillé d'utiliser, comme dans l'étude de Ouarda *et al.* (2004), la « base de données pour l'aménagement du territoire 1/ 100 000 » ou BDAT, produite par le ministère des Ressources Naturelles, des Faunes et des Parcs du Québec (MRNFP) qui a une résolution évaluée à 100 m ;

- Le prototype créé dans ce projet présente quelques limites en termes de nombre de variables explicatives utilisées. Un équilibre entre le nombre de variables et le nombre de voisins hydrologiques a été une raison qui a influencé le choix et le nombre des variables explicatives. Il faut noter qu'aucune variable de type de sol n'a été intégrée dans le modèle ;

- La qualité des données n'étant pas excellente, puisqu'elles proviennent de sources diverses et quelques fois gratuites (Internet), les valeurs doivent être utilisées avec une certaine réserve, particulièrement la variable PMBV qui est basée sur des

données gratuites disponibles dans Internet. D'autres variables explicatives (physiographiques ou climatiques) peuvent être également intégrées dans le modèle régional dans des travaux futurs, comme celles présentées dans l'étude de Gérardin et McKenny (2001).

Il est donc conseillé de valider les résultats, lorsque cela est possible, pour s'assurer de connaître les conditions particulières d'un cours d'eau et du bassin à l'étude. De plus, il est important de connaître les limites naturelles des estimations régionales (post-utilisation du laminage, résultat d'apport naturel uniquement, altération des débits par les infrastructures humaines, etc.).

Les travaux futurs pourront se concentrer, entre autres, sur une fusion avec d'autres données hydrologiques, physiographiques et climatologiques à l'intérieur d'un grand réseau hydrométrique (autres provinces canadiennes, Nord des États-Unis) et permettant aussi d'effectuer simultanément des analyses régionales sur différents types d'écoulements, comme les débits moyens, débits d'étiages (Ouarda *et al.*, 2004), débits réservés, etc. Avec les nouvelles technologies qui se développent également en géomatique, une meilleure interopérabilité entre les différents systèmes informatiques (modèle hydrologique, module statistique, SIG, Internet, télécommunication, etc.) pourraient, en conséquence, augmenter l'efficacité d'une telle infrastructure de données centralisées. En fait, un usager voulant connaître une crue de sécurité pourrait n'avoir qu'à cliquer sur une carte, disponible par l'entremise d'un site Intranet/Internet, à l'endroit qui l'intéresse et ainsi obtenir une estimation régionale retransmise par un réseau sécurisé (Gignac *et al.*, 2004a).

CHAPITRE 5: RÉFÉRENCES

Belzile, L., Bérubé, P., Hoang, V.D. 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.

Birikundavyi, S., Rousselle, S. et V.T.V. Nguyen (1993) *Détermination des régions homogènes pour le Québec et l'Ontario : une approche par l'analyse des correspondances et la classification ascendante hiérarchique*. École Polytechnique de Montréal, Montréal, 50 p.

Burn, D.H. (1990) *Evaluation of regional flood frequency analysis with a region of influence approach.* Water Resour. Res., 26(10) ; 2257-2265

Cadier, E. (1993) *Hydrologie des petits bassins du Nordeste Brésilien semi-aride : transposition à des bassins non-étudiés*. Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération, Éditions de l'ORSTOM, Paris, 414 p.

Cavadias, G.S. (1989) *Regional flood estimation by canonical correlation*. Proceedings of the 1989 Conference of the Canadian Society of Civil Engineers. St-John's, Newfounland, 11A, pp. 212-231.

Center for Ecology & Hydrology. (2003) Flood Estimation Handbook. www.nerc-wallingford.ac.uk/ih/feh/index.html

Centre d'Expertise Hydrique du Québec. (2002) Limites des bassins versants (niveau 01 à 04). Gouvernement du Québec, 1 : 250 000.

Centre d'Expertise Hydrique du ministère de l'Environnement du Québec. (2003) Système Géomatique de l'Information Hydrique, publication interne du gouvernement du Québec, Québec, 2003.

Conseil National de l'Information Géographique (2002) *Cartographie sur Internet*, fiche métier no. 64, Paris.

Chabrier, D. et Soussain, G. (2001) *Dossier technique : les SIG et Internet*. Revue Signature no. 20.

Comité international de la Croix-Rouge (2003) Page Web du comité. *www.icrc.org/fre*

Comité mixte des organismes intéressés à la géomatique (1995) *La géomatique au Canada : Nouvelle norme canadienne pour le répertoire de métadonnées*. Publication officielle du comité mixte des organismes intéressés à la géomatique, vol. 6 no. 2, hiver 1995, 1 p.

Charleux-Demargne, J. (2001) *Qualité des Modèles Numériques de Terrain pour l'Hydrologie : Application à la Caractérisation du Régime de Crues des Bassins Versants.* Université de Marne-la-Vallée, Cemagref-Engref, Marseille, 259 p.

Dalrymple, T. (1960) *Flood frequency analysis.* Geological Survey Water Supply, Paper 1543-A, 80 p.

Environmental System Research Institute, ESRI. (2002) Page Web de la compagnie. *www.esri.com.*

Gérardin, V. et D. McKenny (2001) *Une classification climatique du Québec à partir de modèles de distribution spatiale de données climatiques mensuelles : vers une définition des bioclimats du Québec.* Direction du patrimoine écologique et du développement durable. Ministère de l'Environnement, gouvernement du Québec, 40 p.

Gignac, N., Ouarda, T.B.M.J., Chokmani, K., Gingras, H. et B. Bobée (2003) *Régionalisation et cartographie des crues au Québec habité.* INRS-ETE, Université du Québec, rapport de recherche no. R-636-f1, 181 p.

Gignac, N. Ouarda, T.B.M.J., Chokmani, K., Gingras, H., Hoang, V.-D. et B. Bobée (2004a) *Régionalisation des crues extrêmes pour des bassins non-jaugés, application au Québec habité.* Recueil des actes du colloque international : Les risques en Génie Civil, Tunisie, p. 374-383.

Gignac, N., Ouarda, T.B.M.J., Chokmani, K., Gingras, H., Kouider, A., Hoang, V.-D. et B. Bobée (2004b) *Développement d'un outil d'estimation des quantiles de débits extrêmes : application dans le sud du Québec.* 57^{e} congrès annuel de l'Association Canadienne des Ressources Hydriques : Eau et changement climatique: comprendre pour mieux s'adapter, Montréal, 6 p.

Girard, C., Ouarda, T.B.M.J., et B. Bobée (2000) *Une approche par classification à la constitution de voisinages homogènes basés sur l'ACC.* INRS-EAU, Université du Québec, rapport de recherche no. R-576, 16 p.

GREHYS. (1996a) Inter-comparasion of regional flood frequency procedures for Canadian rivers. *Journal of Hydrology* 186, p. 85-103.

GREHYS. (1996b) Presentation and review of some methods for regional flood frequency analysis, Groupe de recherche en hydrologie statistique. *Journal of Hydrology* 186, p.63-84.

Gurnell, A.M. et D.R. Montgomery (2000) *Hydrological applications in GIS.* Jonh Wiley, New-York, 176 p.

Hoang, V.D. et D. Bergeron (1984) *Modèle mathématique d'estimation du rapport de pointe des petits bassins versants du Québec.* Ministère de l'Environnement du Québec, H-P 57, 31 p.

Javelle, P. (2001) *Caractérisation du régime des crues : le modèle débit-durée-fréquence convergent.* Approche locale et régionale. Institut National Polytechnique de Grenoble, Cemagref, Marseille, 267 p.

Kilgore, J. L. (1997) *Development and evaluation of a GIS-Based spatially distributed unit hydrograph model.* Faculty of the Virginia Pluytechnic Institute ans State University, 213 p.

Korte, G.B. (2001) The GIS book : *How to implement, manage, and assess the value of geographic information systems, 5th Edition.* Thomson Learning, New-York, USA, 387 p.

Kouider, A., Gingras, H., Ouarda, T.B.M.J., Ristic-Rudolf, Z. et B. Bobée (2002) *Analyse fréquentielle locale et régionale et cartographie des crues au Québec.* INRS - Eau, Terre et Environnement. Rapport de recherche No. R-627-e1, Ste-Foy, 267p.

Lebart, L., Morineau, A. et K.M. Warwick (1984) *Multivariate descriptive statistical analysis.* John Wiley & sons, New-Yor,. 145 p.

Mash, F.D. (1984) *Hydrology.* Office of implementation, HRT-10, Federal Highway Administration (Virginia), Report No. HEC 19 FHWA-1P-84-15, 342 p.

Ministère de la Sécurité Publique du Québec. (2005) Statistiques sur les sinistres au Québec. www.msp.gouv.qc.ca

Ministère de l'Environnement du Québec. (1986) *Répertoire hydrologique 1985, H.P.-60.* Gouvernement du Québec, 147 p.

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 de l'Environnement du Québec. (2003) Infrastructure géomatique, publication interne du gouvernement du Québec, Québec.

Ministère des Forêts de la Colombie-Britannique (1996) *Forest Practices Codes of British Columbia : Community Watershed Guidebook.* Publication du Gouvernement de la Colombie-Britannique. Queen's Printer, Victoria, 117 p.

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.

Ministère des Ressources Naturelles du Québec. (2002) Réseau hydrographique. Gouvernement du Québec, 1 : 250 000.

Monfet, J. (1979) *Évaluation du coefficient de ruissellement à l'aide de la méthode SCS modifiée*. Ministère des Richesses naturelles du Québec, 35 p.

Ouarda, T.B.M.J, Lang, M., Bobée, B., Bernier, J. et P. Bois (1999) Synthèse de modèles régionaux d'estimation de crue utilisés en France et au Québec. *Revue des sciences de l'Eau*, 12/1, p. 155-182.

Ouarda, T.B.M.J., Haché, M., Bruneau, P. et B. Bobée (2000) Regional Flood Peak and Volume Estimation in Northern Canadian Basin. *Journal of cold regions engineering*, p.176-190.

Ouarda, T.B.M.J., Girard, C., Cavadias, G.S. et B. Bobée (2001) Regional flood frequency estimation with canonical correlation analysis. *Journal of Hydrology* 254, p. 157-173.

Ouarda, T.B.M.J., Jourdain, V., Gignac, N., Gingras, H. Herrera, E. et B. Bobée (2004) *Développement d'un modèle hydrologique visant l'estimation des débits d'étiage pour le Québec*. INRS-ETE, Rapport de recherche No R-684-f1.

Purdue University (2004) *Web GIS for On-line Hydrologic Model Operation: HYMAPS-OWL*. http://pasture.ecn.purdue.edu/~watergen/hymaps/

Ribeiro-Corréa, J., Cavadias, G.S., Clement, B. et J. Rouselle (1995) Identification of hydrological neighborhood using canonical correlation analysis. *Journal of Hydrology*, 173, p.71-89.

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.

Sauquet, E. (2000) *Une cartographie des écoulements annuels et mensuels par la topologie du réseau hydrographique*. CEMAGREF-Lyon, Lyon, 352 p.

STATSOFT. (1994) *Statistica*, Volume III : Statistics II. Tulsa, 958 p.

Thériault, M. (1994) *Concepts fondamentaux : Système d'information géographique*. Département de géographie, Université Laval, Ste-Foy, 179 p.

U.S. Soil Conservation Service (1973) *A Method for Estimation Volume and Rate of Runoff in Small Watershed*. U.S. Department of Agriculture, Hydrology Branch, 19 p.

ANNEXE 1 :

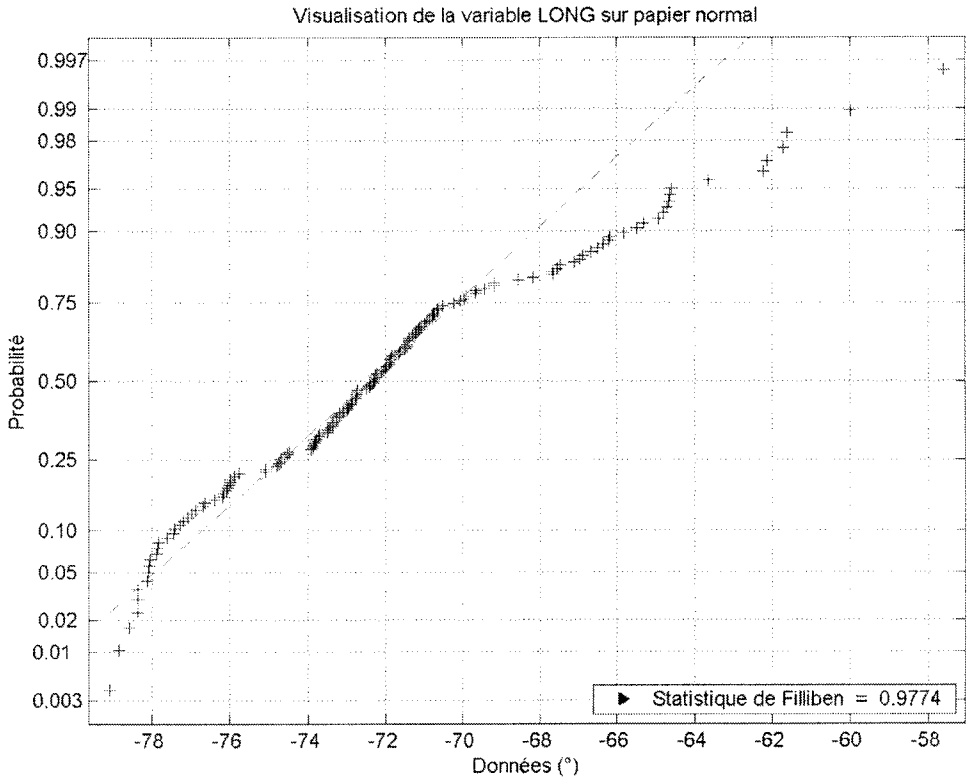
Liste des stations hydrométriques utilisées dans l'étude régionale (150)

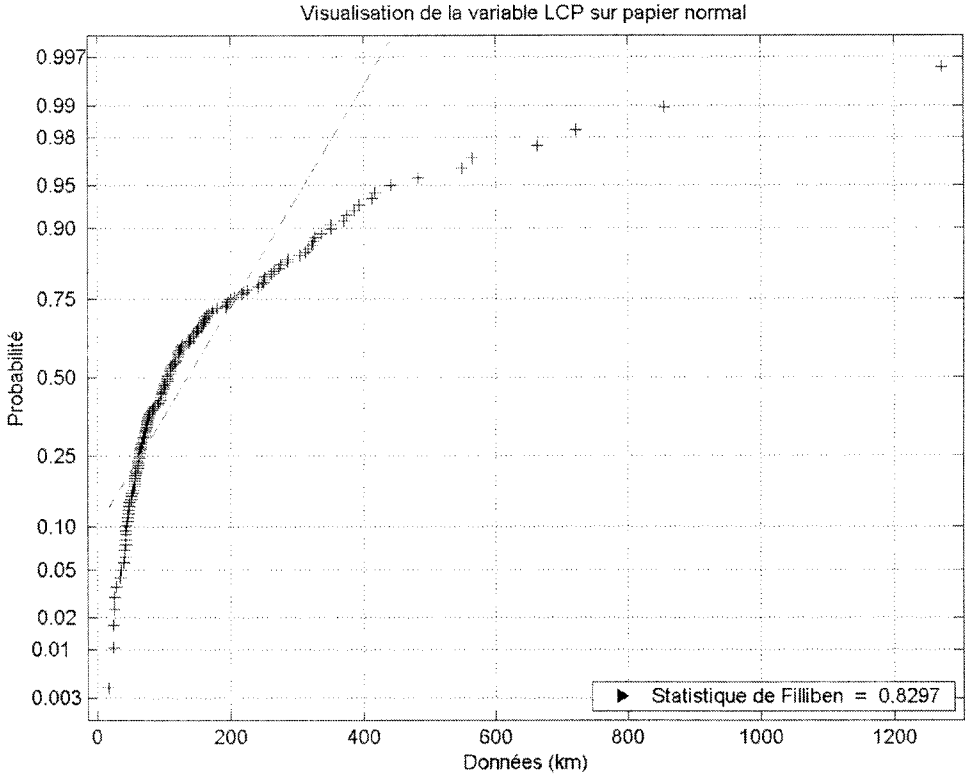
Stations hydrométriques dans l'étude régionale

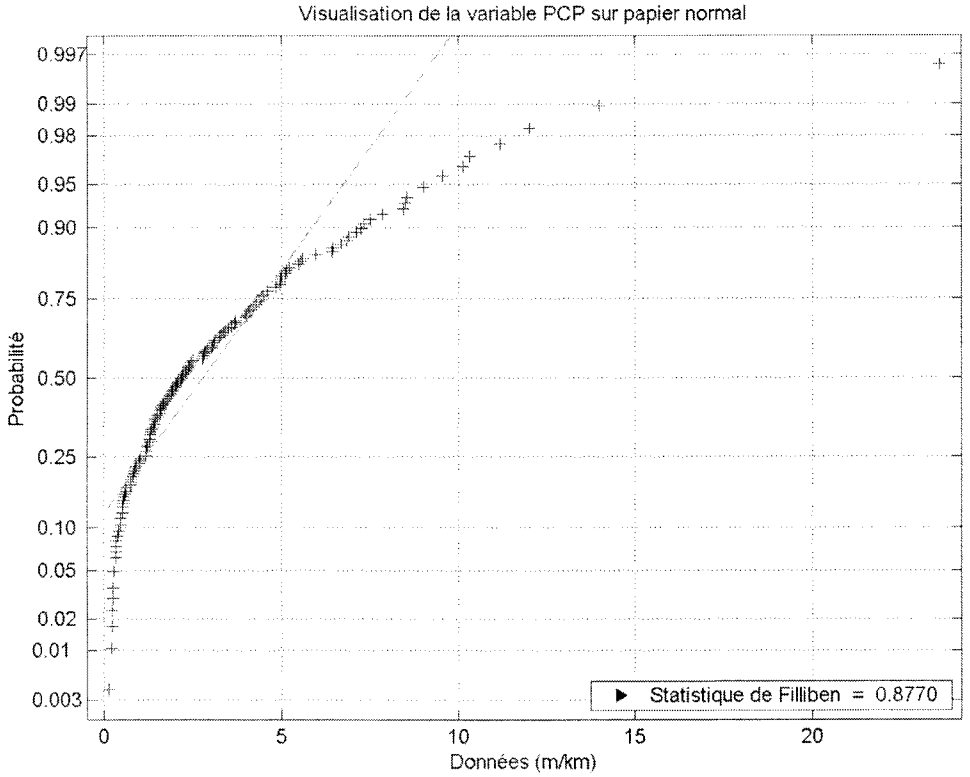
10801	22704	30403	50116	52233	72302	80801
10802	23101	30901	50117	52601	73301	80809
10901	23303	30905	50118	52801	73303	81002
10902	23401	30907	50119	52805	73503	81006
11003	23402	40201	50135	60101	73801	81007
11201	23403	40202	50144	60601	74601	81101
11507	23422	40204	50301	61020	74701	90601
11508	23426	40401	50302	61502	74902	90602
11601	23429	40406	50304	61801	74903	90605
20401	24001	40810	50305	61901	75601	90606
20404	24003	40814	50402	61905	76601	90607
20601	24007	40830	50408	61906	80101	90609
20602	30101	41301	50409	62101	80102	90610
20802	30103	41901	51001	62102	80104	90613
21407	30215	41902	51301	62209	80701	92703
21502	30219	41903	51502	62701	80703	92704
21601	30234	42103	52201	62802	80704	92706
22003	30282	42607	52202	70201	80705	92707
22301	30304	43008	52203	70401	80707	92708
22507	30401	43009	52212	71401	80717	92711
22701	30402	43012	52219	72301	80718	92715
Stations enlevées :		11601				92717
Stations combinées:						92722

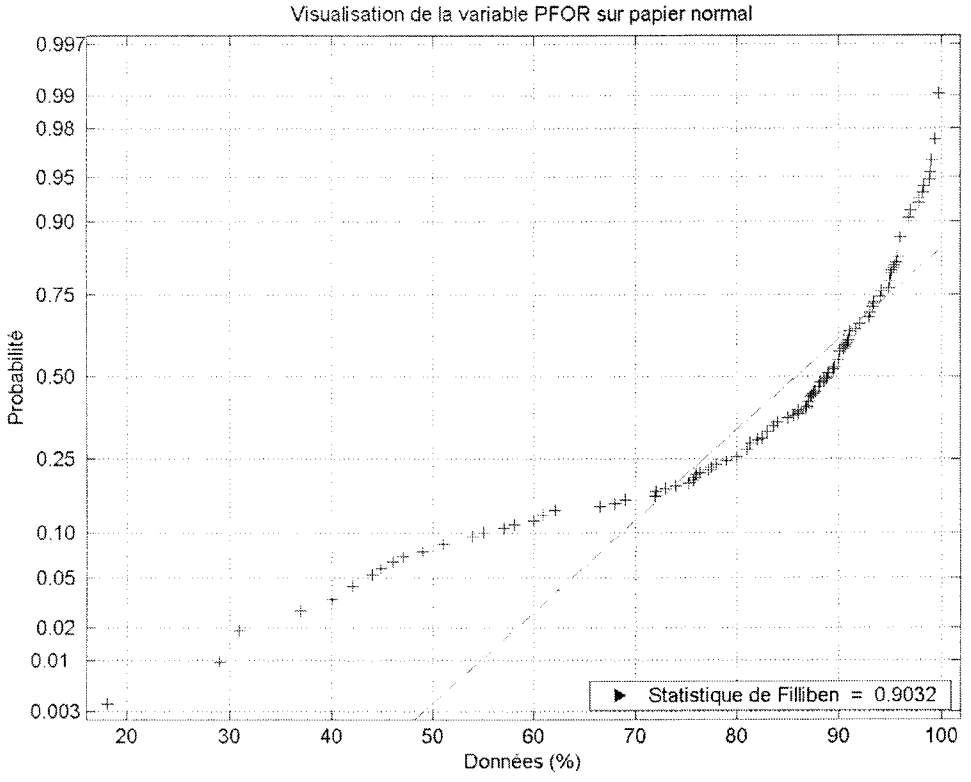
ANNEXE 2 :

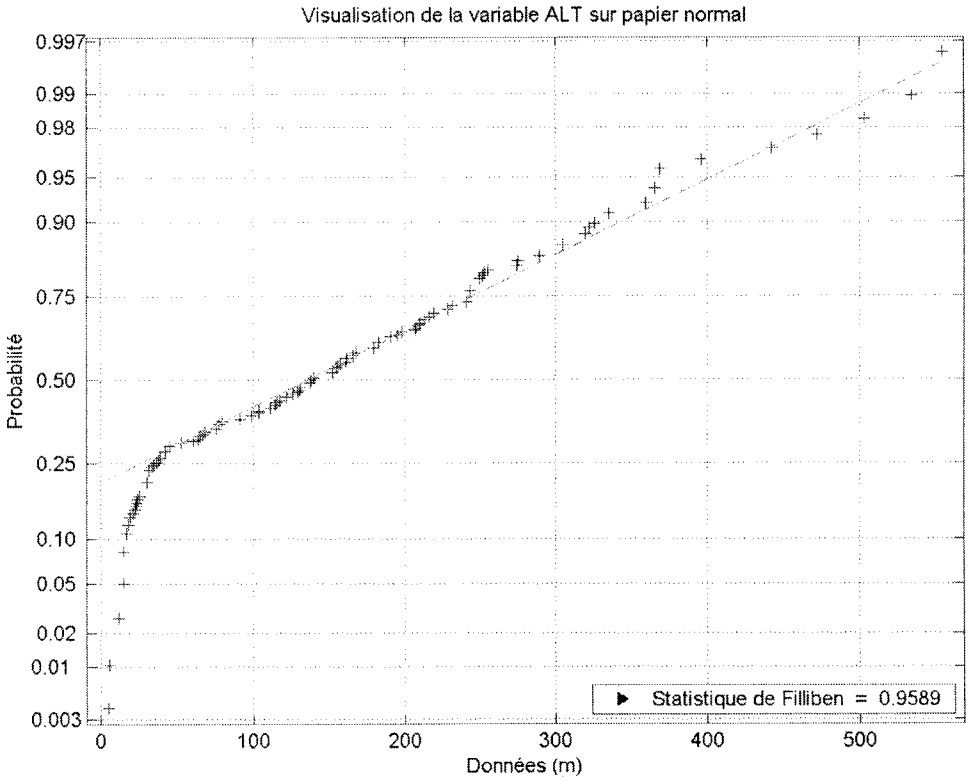
Analyse de l'hypothèse de normalité des 15 variables explicatives

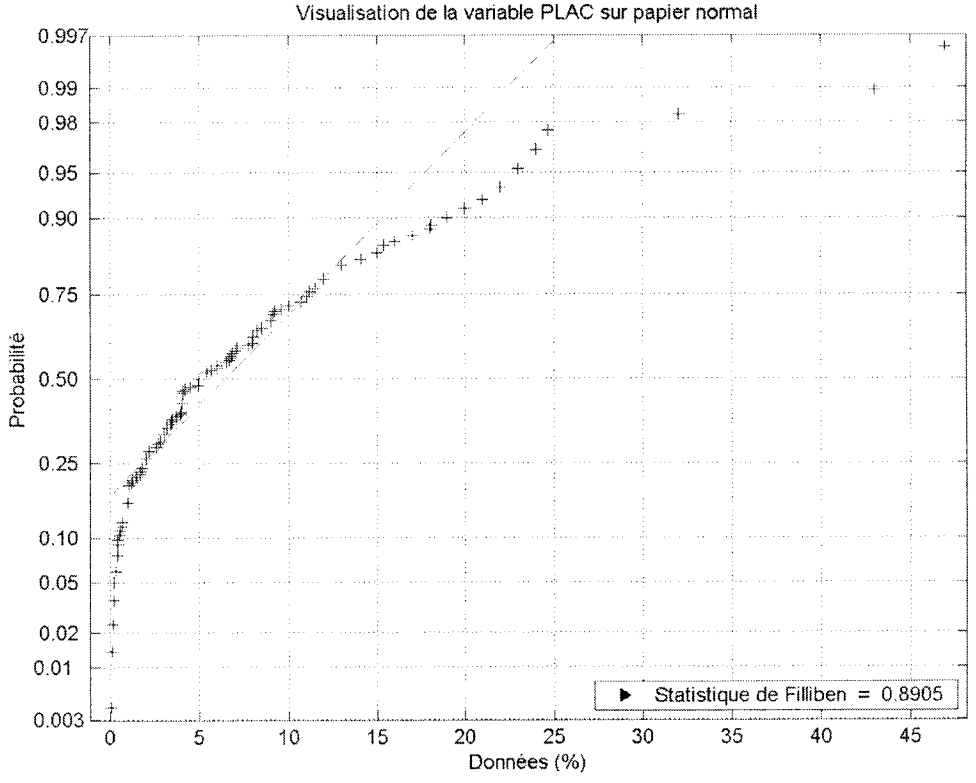

Visualisation de la variable LONG sur papier normal
Probabilité
0.997
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
0.003
-78
-76
-74
-72
-70
-68
-66
-64
-62
-60
-58
Données (°)
Statistique de Filliben = 0.9774

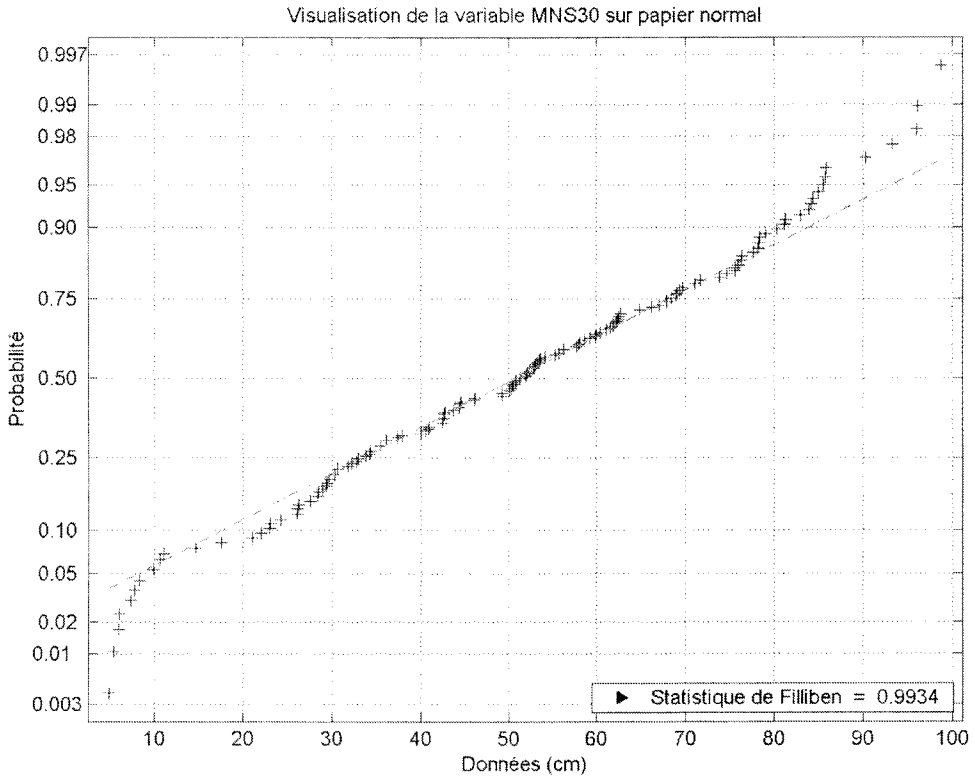

Visualisation de la variable LCP sur papier normal
Probabilité
0.997
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
0.003
0
200
400
600
800
1000
1200
Données (km)
Statistique de Filliben = 0.8297

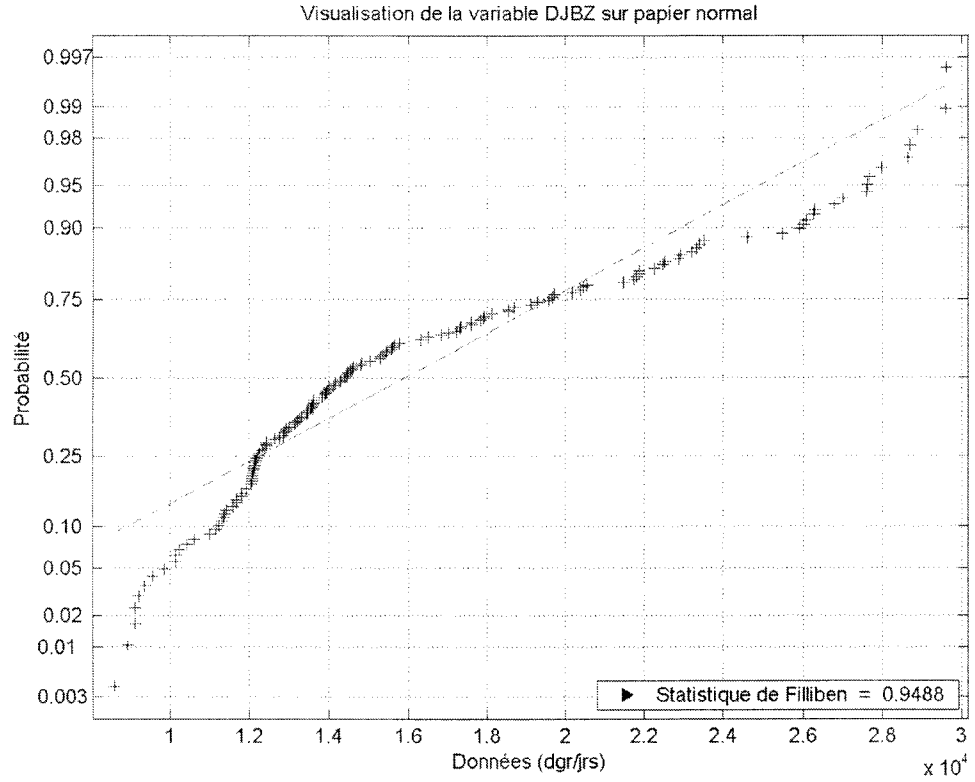

Visualisation de la variable PCP sur papier normal
Probabilité
0.997
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
0.003
0
5
10
15
20
Données (m/km)
Statistique de Filliben = 0.8770

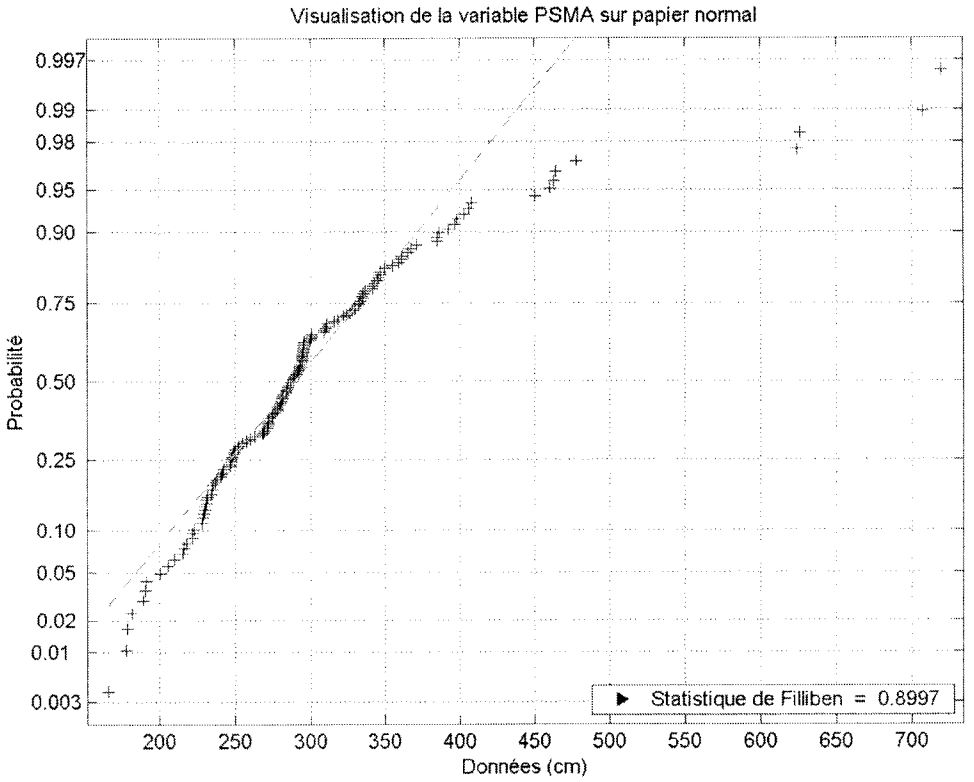

Visualisation de la variable PFOR sur papier normal
Probabilité
0.997
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
0.003
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Données (%)
Statistique de Filliben = 0.9032

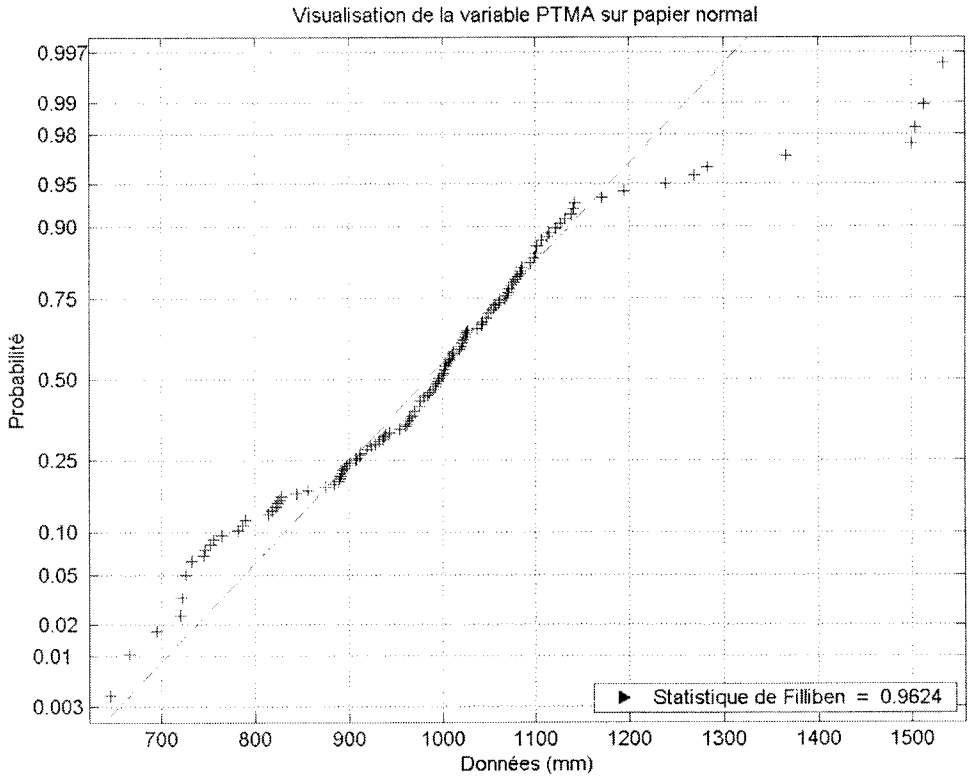

Visualisation de la variable ALT sur papier normal
Probabilité
0.997
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
0.003
0
100
200
300
400
500
Données (m)
Statistique de Filliben = 0.9589

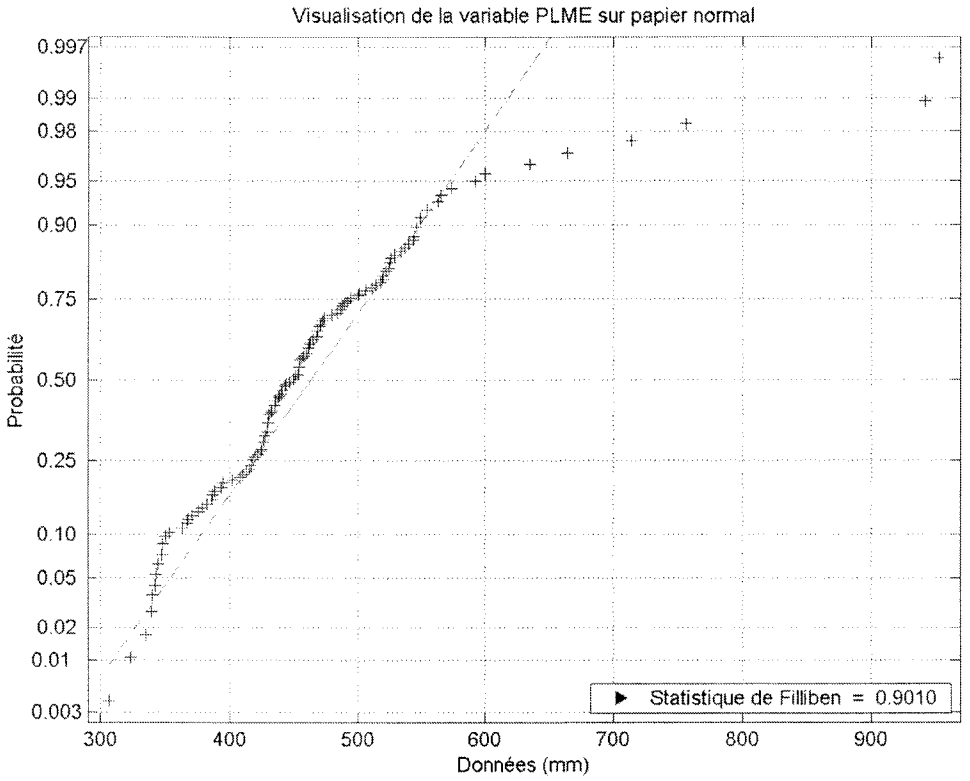

Visualisation de la variable PLAC sur papier normal
Probabilité
0.997
0.99
0.98
0.95
0.90
0.75
0.50
0.25
0.10
0.05
0.02
0.01
0.003
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
Données (%)
Statistique de Filliben = 0.8905


Visualisation de la variable MNS30 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
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Données (cm)
Statistique de Filliben = 0.9934


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
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
2.2
2.4
2.6
2.8
3
Données (dgr/jrs)
x 10^4
Statistique de Filliben = 0.9488


Visualisation de la variable PSMA 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
200
250
300
350
400
450
500
550
600
650
700
Données (cm)
Statistique de Filliben = 0.8997


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
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
Données (mm)
Statistique de Filliben = 0.9624


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
400
500
600
700
800
900
Données (mm)
Statistique de Filliben = 0.9010

ANNEXE 3 :

Caractéristiques physiographiques et climatiques des bassins versants d'une superficie supérieure à 500 km^2 (126)

Caractéristiques physiographiques et météorologiques des moyens et grands bassins

STATION	BV	PMBV	PFOR	PLAC	PTMA	PLME	DJBZ
N° MENV	km^2	°	%	%	mm	mm	dgr-jr
011003	1680	4,26	99,4	0,5	1102	460	1355,3
011201	1140	3,55	98,2	0,2	1083	486	1319,7
011507	2760	2,74	83,6	2,6	1024	454	1430,7
011508	558	3,24	72,1	9,2	1002	431	1345,8
020401	1010	4,09	98,3	0,4	1022	435	1212,3
020404	659	3,90	99,4	0,3	1042	418	1236,5
020601	748	4,21	98,9	0,1	1006	433	1122,5
020602	645	4,04	99,8	0,2	970	430	1117,1
020802	1200	4,75	99,0	1,0	976	386	1217,7
021407	774	6,95	99,0	1,0	1012	426	1315,4
021502	721	5,39	97,8	0,4	1080	461	1241,7
021601	1650	3,28	94,0	1,0	1052	469	1398,7
022003	1610	2,13	92,0	3,5	1069	444	1394,4
022301	932	1,79	74,0	1,0	1027	456	1411,2
022507	525	1,93	93,0	0,4	1020	440	1359,3
023101	826	2,64	98,9	0,1	1127	514	1262,9
023303	1160	2,69	62,1	0,7	1107	522	1287,3
023401	709	3,65	44,0	4,0	1115	526	1232,3
023402	5820	2,45	69,0	2,0	1084	501	1208,9
023403	1170	3,68	90,0	4,1	1055	494	1159,4
023422	691	1,25	81,0	3,0	1067	525	1345,2
023426	4090	2,26	95,0	1,3	1026	492	1211,2
023429	3070	2,75	96,0	1,7	980	480	1169,1
024001	1410	3,44	46,0	2,0	1141	546	1206,1
024003	919	3,44	53,9	2,8	1142	549	1206
024007	2330	2,20	47,0	4,0	1095	537	1204,1
030101	549	1,87	49,0	1,0	1101	534	1099,7
030103	1540	1,99	40,0	1,0	1085	546	1138
030215	519	4,03	57,0	4,0	1070	461	984,6
030219	839	2,89	89,0	0,7	1102	520	1179,6
030234	642	2,36	84,0	4,0	1132	518	1143,3
030282	738	2,89	89,4	0,3	1195	520	1179,8
030304	1490	1,21	42,0	1,0	1049	525	1042,2
030907	643	1,22	90,0	0,1	932	454	912,7

040201	2570	2,00	92,0	5,0	976	469	1398,8
040401	1300	1,68	81,0	15,0	996	454	1192,9
040406	1330	1,72	81,0	15,0	996	454	1192,9
040810	1780	1,80	88,5	9,6	893	418	1292,8
040814	1290	1,61	88,9	7,1	965	426	1224,3
040830	6840	1,48	94,8	4,2	970	500	1734,7
041301	5150	1,61	90,0	10,0	1003	426	1314,5
041902	3760	1,24	88,0	12,0	954	430	1361,4
042103	575	2,19	76,0	24,0	986	436	1206,5
043008	984	2,12	83,0	14,1	889	426	1790,3
043009	1680	2,12	85,5	8,5	892	428	1854,4
043012	2590	1,12	88,1	8,2	900	429	1868,3
050117	1850	2,09	95,7	3,9	937	430	1631,4
050118	997	2,80	93,0	6,0	1008	468	1439
050119	1390	2,03	90,6	6,5	919	430	1481,2
050135	1570	2,09	96,0	3,0	975	430	1631,4
050301	4580	2,04	75,7	5,7	1078	554	1478,9
050305	2870	1,99	94,0	6,0	1122	573	1537,9
050402	751	3,55	95,7	1,8	1509	661	1561,7
050408	1550	3,53	93,4	2,7	1495	657	1543,2
050409	642	3,46	96,0	4,0	1366	656	1529,8
051001	1100	4,29	96,0	2,0	1508	614	1565,8
051301	865	4,91	91,0	1,0	1002	413	1390,2
051502	1700	4,79	96,0	3,0	1010	422	1504,6
052201	549	3,53	93,4	4,9	1018	471	1330
052233	647	1,60	85,0	4,0	999	455	1167,7
052601	1030	2,50	81,3	5,4	986	447	1274,8
052801	1380	2,40	86,0	6,9	992	454	1381,8
052805	774	2,24	92,0	8,0	976	438	1428,1
060101	736	5,32	95,7	4,0	990	415	1392
060601	572	3,13	95,4	3,4	908	420	1558,5
061020	1110	2,14	96,8	3,2	1269	600	1722,5
061502	2280	2,02	96,0	4,0	1071	544	1684,6
061801	1090	2,03	89,0	6,7	928	468	1783,5
061901	15300	1,88	92,0	8,0	891	408	1970,7
061905	11100	2,12	91,0	9,0	895	410	2016
061906	4330	2,04	87,0	13,0	912	425	1957,2
062101	9320	2,50	94,0	5,0	943	451	2186,6

062102	9870	1,97	95,0	4,0	911	429	2054,8
062209	3600	2,38	92,0	8,0	964	430	2252,5
062701	746	3,49	91,0	1,7	1060	546	1651
062802	1100	4,26	95,1	4,5	1057	511	1458,9
070201	793	3,01	95,0	5,0	1001	450	1354,7
070401	3085	3,02	94,1	6,0	1037	470	1529,4
071401	1570	2,99	93,3	6,7	907	348	1242,4
072301	19000	2,93	88,0	12,0	975	382	2293,4
072302	3390	1,69	86,7	10,7	828	379	2601,9
073503	7230	3,05	90,4	7,7	919	388	2181
073801	13000	2,33	88,0	12,0	1007	386	2224,6
074601	2060	2,06	86,0	10,0	1047	443	1731,3
074701	5590	2,30	87,0	11,0	1042	424	1912,6
074902	11600	2,14	92,9	6,8	1022	395	2332,4
074903	15600	2,25	87,0	11,0	1021	402	2246,5
075601	2950	1,79	90,0	9,0	993	506	1326,5
080701	57500	1,72	81,0	19,0	856	439	1967,8
080703	2010	2,22	81,0	18,1	939	450	1760,1
080704	18700	1,01	79,0	21,0	890	441	2038,8
080707	22200	2,01	82,0	18,0	875	453	1813,6
080718	31900	1,59	80,0	19,0	884	435	2045,0
080801	17100	1,91	68,0	32,0	790	387	2172,5
080809	9820	2,11	73,0	20,0	826	393	2188,1
081002	40900	1,71	78,0	20,0	782	368	2340,7
081006	7280	2,26	88,8	11,2	818	393	2460,5
081007	18100	1,58	78,0	22,0	814	376	2350,8
090601	44300	1,73	94,0	5,0	646	339	2320
090602	27700	2,37	90,0	9,0	747	363	2609,3
090605	1870	1,99	84,0	15,0	733	343	2549,8
090606	1970	1,75	91,6	7,0	723	335	2678,7
090607	3390	1,97	87,5	12,0	727	343	2591,7
090609	3700	2,03	87,6	11,0	727	339	2628,2
090610	11600	2,77	90,8	8,0	790	371	2700,9
090613	21400	2,43	90,7	9,0	787	367	2628,9
092703	37000	1,46	76,4	23,0	753	347	2888,9
092704	96600	2,30	82,5	17,0	666	340	2798,8
092706	18600	2,90	89,5	9,0	695	306	2963,1
092707	10900	1,46	77,5	22,0	746	344	2863,9

092708	19100	3,12	86,8	12,0	723	342	2768,1
092715	13200	2,70	86,0	13,0	765	348	2763,1
092717	10200	2,54	77,2	22,0	756	323	2958,8
092722	12800	1,46	76,0	24,0	822	353	2869,3
010801/010802	1910	3,28	99,8	0,2	1071	465	1242,7
010901/010902	1340	3,58	96,0	1,0	1025	472	1129,6
030901/030905	2490	1,00	31,0	3,0	954	458	920,6
040202/040204	5460	2,14	90,1	8,0	960	469	1346,4
050116/050144	2640	1,65	90,9	9,1	923	426	1578,2
052202/052219	1340	2,48	96,0	1,5	1003	461	1226,3
052203/052212	1270	3,18	95,0	4,1	1074	484	1283,9
073301/073303	684	2,40	93,0	7,0	967	486	1444,5
080705/080717	8310	1,10	83,0	17,0	936	462	1793,1
022701/022704	795	1,44	89,0	0,2	1049	460	1299,7
050302/050304	4480	1,78	95,3	3,7	1099	524	1454,4
080101/080102	3680	1,02	72,0	23,0	844	417	1929,6

ANNEXE 4 :

Répartition des stations jaugées selon les régions homogènes

Classification ascendante hiérarchique (CAH)

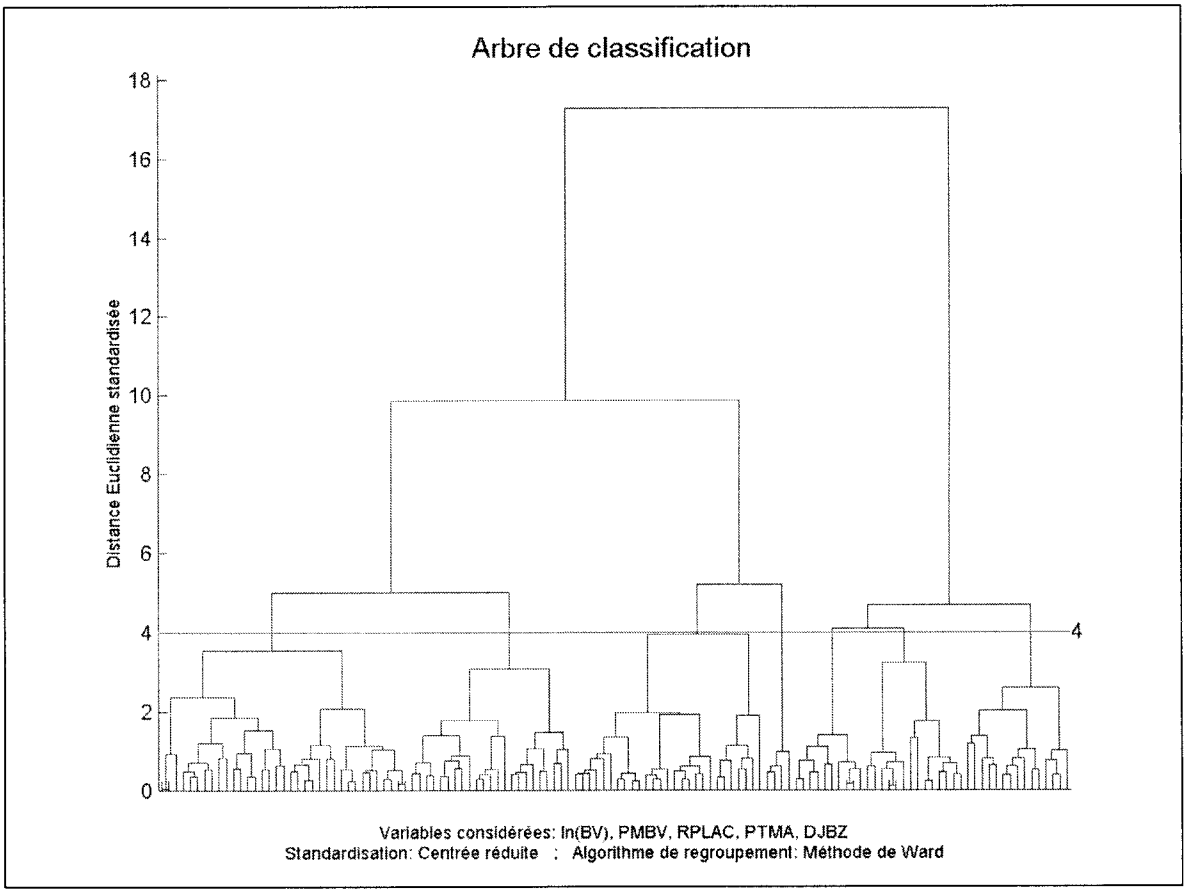
A) REGROUPEMENTS HOMOGÈNES CONSIDÉRÉS POUR LES CRUES ANNUELLES ET PRINTANIÈRES

Arbre de classification et coupe de regroupement à 4.

Type de distance : euclidienne standardisée.

Algorithme de regroupement : méthode de Ward.

Variables explicatives considérées : **BV, PMBV, PLAC, PTMA, DJBZ.**



Modifications manuelles :

Élimination de la classe 7 insérée dans la classe 1.

Stations 040810 et 041301 venant de la classe 2 insérées dans la classe 4.

Classe1	Classe2	Classe3	Classe4	Classe5	Classe6
010801/010802	11508	72302	11507	080101/080102	61901
010901/010902	40201	81006	22003	80701	61905
11003	040202/040204	90601	22301	80704	62101
11201	40401	90602	22507	80707	62102
20401	40406	90605	022701/022704	80718	62209
20404	40814	90606	23402	80801	72301
20601	40830	90607	23422	80809	73503
20602	41902	90609	23426	81002	73801
20802	42103	90610	23429	81007	74902
21407	43008	90613	24007	92703	74903
21502	43009	92704	30101	92707	
21601	43012	92706	30103	92717	
23101	050116/050144	92708	30234	92722	
23303	50117	92715	30304		
23401	50118		030901/030905		
23403	50119		30907		
24001	50135		50301		
24003	52201		050302/050304		
30215	52601		50305		
30219	52801		052202/052219		
30282	52805		52233		
51301	60601		61020		
51502	61801		61502		
052203/052212	61906		40810		
60101	70201		41301		
62701	70401				
62802	71401				
50402	073301/073303				
50408	74601				
50409	74701				
51001	75601				
	80703				
	080705/080717				

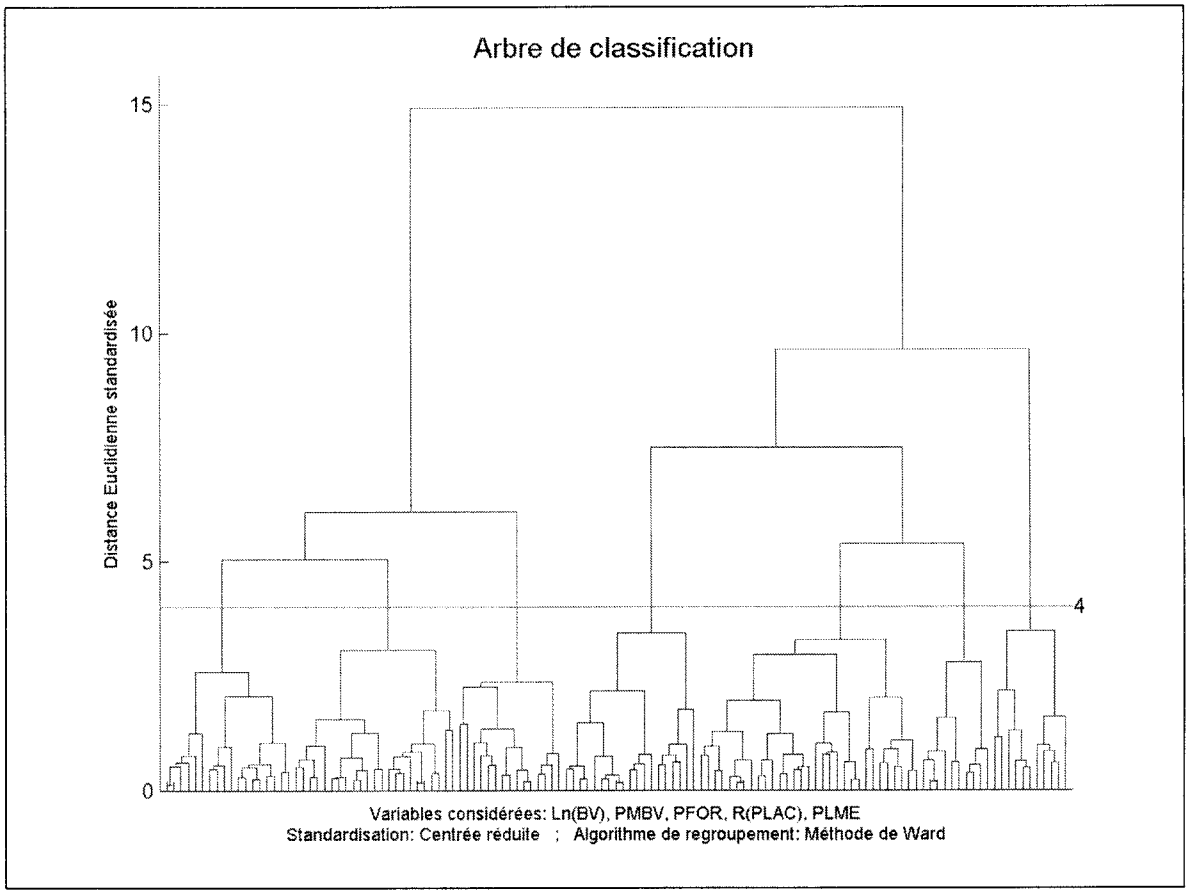
B) REGROUPEMENTS HOMOGÈNES CONSIDÉRÉS
POUR LES CRUES ESTIVALES ET AUTOMNALES

Arbre de classification et coupe de regroupement à 4.

Type de distance : euclidienne standardisée.

Algorithme de regroupement : méthode de Ward.

Variables explicatives considérées : **BV, PMBV, PLAC, PFOR, PLME.**



Modification manuelle :

Aucune modification manuelle.

Classe1	Classe2	Classe3	Classe4	Classe5	Classe6	Classe7
11508	010801/010802	11507	040202/040204	23101	40401	080101/080102
23303	010901/010902	22003	61901	30219	40810	80701
23401	11003	22301	61905	30282	40814	80704
24001	11201	22507	61906	50402	41902	80707
24003	20401	022701/022704	62101	50408	42103	80718
24007	20404	23402	62102	50409	43008	80801
30101	20601	23422	62209	51001	43009	80809
30103	20602	23426	72301	61020	43012	81002
30215	20802	23429	73503	62701	050116/050144	81007
30304	21407	30234	73801		50119	92703
030901/030905	21502	30907	74701		71401	92707
	21601	40201	74902		72302	92717
	23403	40830	74903		74601	92722
	51301	50117	080705/080717		80703	
	51502	50118	81006		90605	
	52201	50135	90601		90606	
	052203/052212	50301	90602		90607	
	60101	050302/050304	90610		90609	
	62802	50305	90613			
		052202/052219	92704			
		52233	92706			
		52601	92708			
		52801	92715			
		52805				
		60601				
		61502				
		61801				
		70201				
		70401				
		073301/073303				
		75601				

ANNEXE 5 :

Analyse comparative des résultats de l'estimation des quantiles de débits de crues extrêmes annuelles de périodes de retour T (10 et 100 ans)

ACC-RM, ACC-RM-spécifique et CAH-RM

Application aux moyens et grands bassins

Estimation des quantiles de débits extrêmes annuels avec l'ACC-RM (T=10)

Station	Locale	Régionale	Erreur relative	Erreur relative quadratique	BV*	Voisins
010801/010802	655,12	894,11501	0,364811042	0,133087097	2130	26
010901/010902	450,89	477,77779	0,059632704	0,003556059	1410	39
11003	674,45	614,58248	-0,088764949	0,007879216	1680	30
11201	378,46	446,30142	0,179256513	0,032132898	1140	36
11507	653,51	683,97696	0,046620495	0,002173471	2760	29
11508	81,05	114,40779	0,411570512	0,169390286	558	15
20401	299,67	390,54549	0,303251877	0,091961701	1010	43
20404	223,52	295,00223	0,319802389	0,102273568	659	40
20601	393,75	319,02805	-0,189770032	0,036012665	748	46
20602	321,82	256,40539	-0,203264589	0,041316493	645	42
20802	434,94	387,68703	-0,108642502	0,011803193	1200	43
21407	329,26	300,74291	-0,08660964	0,00750123	774	43
21502	322,35	334,59226	0,03797816	0,001442341	721	45
21601	482,8	521,77808	0,080733389	0,00651788	1650	31
22003	379,15	372,96361	-0,016316471	0,000266227	1610	43
22301	296,73	287,2347	-0,031999798	0,001023987	932	46
22507	115,95	244,74852	1,110810867	1,233900782	525	31
022701/022704	270,54	298,6066	0,103742885	0,010762586	802	44
23101	344,24	341,80953	-0,007060394	4,98492E-05	826	43
23303	335,06	416,48682	0,243021608	0,059059502	1160	41
23401	252,6	196,8651	-0,220644893	0,048684169	709	35
23402	1619,11	1491,8063	-0,078625726	0,006182005	5820	23
23403	263,22	299,97274	0,13962746	0,019495828	1170	44
23422	248,99	176,77711	-0,290023254	0,084113488	691	25
23426	1187,1	1109,3412	-0,065503159	0,004290664	4090	22
23429	1075,84	736,28957	-0,315614246	0,099612352	3070	27
24001	473,04	476,27667	0,006842275	4,68167E-05	1410	38
24003	315,14	282,02274	-0,105087453	0,011043373	919	43
24007	716,06	571,09501	-0,202448105	0,040985235	2330	35
30101	200,78	201,2167	0,002175017	4,7307E-06	549	31
30103	616,55	480,47147	-0,220709642	0,048712746	1540	37
30215	152,99	147,68509	-0,034674881	0,001202347	519	23
30219	304,9	310,53662	0,018486783	0,000341761	839	44
30234	270,56	178,66487	-0,339647878	0,115360681	642	27
30282	315,78	314,76596	-0,003211223	1,0312E-05	738	41
30304	521,35	346,10276	-0,336141249	0,112990939	1490	42
030901/030905	629,04	438,34929	-0,303145603	0,091897257	2440	41
30907	223,01	179,59424	-0,194680777	0,037900605	643	33
40201	400,86	535,97011	0,337050616	0,113603118	2570	39
040202/040204	704,61	816,81845	0,159249017	0,025360249	5440	31
40401	104,29	134,51881	0,28985339	0,084014987	1300	24
40406	121,86	129,28241	0,060909322	0,003709946	1330	24
40810	153,61	194,55269	0,266536619	0,071041769	1780	42
40814	137,98	192,62511	0,396036455	0,156844873	1290	40
40830	1167,53	1265,22	0,083672368	0,007001065	6840	23
41301	555,93	752,94056	0,354380156	0,125585295	5150	29
41902	281,43	527,17594	0,873204491	0,762486084	3760	42
42103	91,31	19,848854	-0,782621246	0,612496015	575	2

43008	59,09	111,45844	0,886248773	0,785436888	984	18
43009	209,06	226,74813	0,084607912	0,007158499	1680	42
43012	351,41	299,08169	-0,148909564	0,022174058	2590	42
050116/050144	326,3	346,68381	0,062469537	0,003902443	2670	42
50117	291,63	353,2227	0,211201522	0,044606083	1850	44
50118	157,41	201,66876	0,281168668	0,07905582	997	38
50119	198,74	216,6649	0,090192714	0,008134726	1390	44
50135	366,3	333,24663	-0,09023579	0,008142498	1570	43
50301	751,85	874,72217	0,163426441	0,026708202	4596	28
050302/050304	825,66	1118,0214	0,354094179	0,125382688	4480	23
50305	499,68	637,23675	0,275289685	0,075784411	2870	30
50402	398,82	369,14338	-0,074411063	0,005537006	751	40
50408	653,84	531,25444	-0,187485562	0,035150836	1550	30
50409	241,39	266,7206	0,10493641	0,01101165	642	43
51001	468,89	594,29051	0,267441212	0,071524802	1100	30
51301	340,08	317,92035	-0,065160109	0,00424584	865	44
51502	444,79	477,92813	0,074502867	0,005550677	1700	38
52201	159,78	137,81089	-0,137495994	0,018905149	549	20
052202/052219	267,47	376,90447	0,409146708	0,167401029	1340	45
052203/052212	270,64	310,19515	0,146154116	0,021361026	1260	44
52233	162,4	143,70304	-0,115129064	0,013254701	647	22
52601	162,84	197,90982	0,21536367	0,04638151	1030	39
52801	198,56	240,15716	0,209494158	0,043887802	1380	42
52805	127,74	125,97874	-0,01378785	0,000190105	774	21
60101	174,89	207,32045	0,185433415	0,034385552	736	34
60601	97,54	168,56356	0,728148042	0,530199571	572	20
61020	283,19	331,67155	0,171197959	0,029308741	1110	41
61502	676,07	515,28426	-0,237824101	0,056560303	2280	35
61801	158,3	196,01053	0,23822192	0,056749683	1090	33
61901	1905,22	1885,8732	-0,010154628	0,000103116	15300	22
61905	1398,11	1431,878	0,024152606	0,000583348	11100	24
61906	417,71	565,12472	0,352911637	0,124546624	4330	34
62101	1345,97	1760,6291	0,308074548	0,094909927	9320	24
62102	1657,02	1799,7736	0,086150801	0,00742196	9870	23
62209	739,65	568,27084	-0,231703049	0,053686303	3600	30
62701	243,06	283,46805	0,166247223	0,027638139	746	42
62802	335,94	278,14857	-0,172029023	0,029593985	1100	44
70201	210,74	172,52051	-0,181358499	0,032890905	793	29
70401	743	610,36883	-0,178507631	0,031864974	3085	31
71401	522,82	239,12448	-0,542625607	0,29444255	1570	42
72301	2999,49	2457,5312	-0,18068365	0,032646581	19000	15
72302	586,2	332,84382	-0,432200921	0,186797636	3390	42
073301/073303	283,98	119,85772	-0,577936052	0,33401008	684	18
73503	1189,85	1110,0976	-0,067027272	0,004492655	7230	25
73801	2140,75	2000,4756	-0,06552582	0,004293633	13000	23
74601	491,18	324,22142	-0,339913229	0,115541003	2080	43
74701	1165,02	768,19675	-0,340614968	0,116018556	5590	29
74902	2599,44	2246,4548	-0,135792786	0,018439681	11600	21
74903	2158,42	2483,1916	0,150467286	0,022640404	15600	17
75601	702,91	443,41243	-0,369176097	0,13629099	2950	41
080101/080102	248,31	181,62271	-0,268564657	0,072126975	3680	41

80701	3656,53	5947,5297	0,626550227	0,392565186	57500	5
80703	145,83	172,84817	0,185271686	0,034325598	2010	40
80704	1505,59	1103,4742	-0,267081875	0,071332728	18700	25
080705/080717	833,38	783,75128	-0,059551129	0,003546337	8310	28
80707	1759,2	1576,9765	-0,103583163	0,010729472	22200	22
80718	1959,18	2310,637	0,179389847	0,032180717	31900	14
80801	972,33	763,93775	-0,214322555	0,045934158	17100	25
80809	636,4	805,60598	0,265879918	0,070692131	9820	26
81002	1673,34	2550,1371	0,523980243	0,274555295	40900	13
81006	1205,09	811,54876	-0,32656585	0,106645254	7280	27
81007	813,45	1220,0376	0,49983109	0,249831118	18100	23
90601	3749,39	2869,7832	-0,234599975	0,055037148	44300	6
90602	2750,13	2700,4202	-0,018075436	0,000326721	27700	13
90605	138	114,01986	-0,17376913	0,030195711	1870	23
90606	288,84	220,18583	-0,237689274	0,056496191	1970	43
90607	287,54	322,98995	0,123287021	0,01519969	3390	45
90609	410,24	338,06847	-0,175925141	0,030949655	3700	43
90610	1294,89	1309,6118	0,011369151	0,000129258	11600	24
90613	2036,41	2288,8527	0,123964575	0,015367216	21400	17
92703	2540,96	1836,6548	-0,277180751	0,076829168	37000	21
92704	5671,97	5063,0093	-0,107363174	0,011526851	96600	3
92706	1325,11	1497,7126	0,1302553	0,016966443	18600	23
92707	664,81	727,62683	0,094488395	0,008928057	10900	28
92708	1292,41	1455,0055	0,125807987	0,015827649	19100	23
92715	1139,31	1155,5042	0,014214042	0,000202039	13200	23
92717	816,43	708,78231	-0,131851708	0,017384873	10200	27
92722	831,76	811,28867	-0,024612064	0,000605754	12700	27
			BRM**	EQRM***		
			0,029036968	0,08222629		

*BV : Superficie du bassin versant.

** BRM : Biais relatif moyen.

***EQRM : Écart quadratique relatif moyen.

Estimation des quantiles de débits extrêmes annuels avec l'ACC-RM (T=100)

Station	Locale	Régionale	Erreur relative	Erreur relative quadratique	BV	Voisins
010801/010802	942,37	1310,9603	0,391131191	0,152983608	2130	26
010901/010902	739,9	694,80072	-0,06095321	0,003715294	1410	39
11003	1110,5	875,89338	-0,211262152	0,044631697	1680	30
11201	505,31	645,61875	0,277668659	0,077099884	1140	36
11507	899,5	962,33215	0,069852307	0,004879345	2760	29
11508	102,13	171,90124	0,683161069	0,466709047	558	15
20401	412,3	573,5095	0,391000485	0,152881379	1010	43
20404	323,43	451,3665	0,395561636	0,156469008	659	40
20601	644,03	476,47602	-0,260164868	0,067685759	748	46
20602	517	385,98136	-0,253420967	0,064222187	645	42
20802	665,34	546,18409	-0,179090255	0,032073319	1200	43
21407	468,29	440,60794	-0,059113071	0,003494355	774	43
21502	437,99	499,84046	0,14121432	0,019941484	721	45
21601	618,98	757,29038	0,223448867	0,049929396	1650	31

22003	542,37	511,30033	-0,057285008	0,003281572	1610	43
22301	428,37	429,63457	0,002952051	8,7146E-06	932	46
22507	161,55	399,21009	1,471124048	2,164205965	525	31
022701/022704	438,45	465,42492	0,061523366	0,003785125	802	44
23101	432,44	518,04169	0,197950444	0,039184378	826	43
23303	386,98	602,33865	0,55651106	0,30970456	1160	41
23401	324,95	278,85873	-0,141841114	0,020118902	709	35
23402	2126,79	1885,2786	-0,113556769	0,01289514	5820	23
23403	356,3	405,50503	0,1381	0,01907161	1170	44
23422	348,32	271,63144	-0,220166973	0,048473496	691	25
23426	1453,81	1525,4089	0,049249145	0,002425478	4090	22
23429	1424,74	1077,0351	-0,244047967	0,05955941	3070	27
24001	725,97	687,88243	-0,052464386	0,002752512	1410	38
24003	414,05	385,48144	-0,068997851	0,004760703	919	43
24007	966,81	796,30281	-0,176360598	0,031103061	2330	35
30101	266,17	304,68533	0,144701995	0,020938667	549	31
30103	746,27	680,35059	-0,08833185	0,007802516	1540	37
30215	201,32	221,32144	0,09935148	0,009870717	519	23
30219	377,26	444,76215	0,178927398	0,032015014	839	44
30234	395,17	255,19686	-0,354209935	0,125464678	642	27
30282	447,37	456,4246	0,020239623	0,000409642	738	41
30304	686,76	487,20165	-0,29057946	0,084436423	1490	42
030901/030905	874,33	620,26859	-0,290578397	0,084435805	2440	41
30907	434,7	239,84599	-0,44824939	0,200927516	643	33
40201	565,5	730,72215	0,292170027	0,085363324	2570	39
040202/040204	871,52	1128,9106	0,295335276	0,087222925	5440	31
40401	152,97	172,64148	0,12859698	0,016537183	1300	24
40406	140,77	179,50531	0,275167365	0,075717079	1330	24
40810	210,53	250,80742	0,191314397	0,036601198	1780	42
40814	179,95	263,11185	0,46213865	0,213572131	1290	40
40830	1786,17	1566,9404	-0,122737253	0,015064433	6840	23
41301	754,1	1008,5308	0,337396632	0,113836487	5150	29
41902	369,32	700,82383	0,897605951	0,805696444	3760	42
42103	131,31	34,597456	-0,736520783	0,542462864	575	2
43008	83,53	157,26528	0,882740093	0,779230072	984	18
43009	281,95	307,17609	0,089470083	0,008004896	1680	42
43012	452,55	405,31106	-0,104383913	0,010896001	2590	42
050116/050144	470,01	454,58464	-0,032819217	0,001077101	2670	42
50117	363,43	489,90672	0,348008475	0,121109899	1850	44
50118	223,91	281,8005	0,258543611	0,066844799	997	38
50119	260,14	301,77608	0,160052587	0,025616831	1390	44
50135	579,52	463,10946	-0,200874068	0,040350391	1570	43
50301	956,04	1174,6411	0,228652671	0,052282044	4596	28
050302/050304	1045,93	1433,1687	0,370233859	0,13707311	4480	23
50305	569,67	851,42327	0,494590324	0,244619589	2870	30
50402	682,86	434,44808	-0,363781624	0,13233707	751	40
50408	949,78	704,3189	-0,258439955	0,06679121	1550	30
50409	329,21	385,9928	0,172482002	0,029750041	642	43
51001	607,98	859,74167	0,414095316	0,17147493	1100	30
51301	673,83	453,42917	-0,327086698	0,106985708	865	44
51502	638,2	687,27461	0,076895346	0,005912894	1700	38

52201	256,66	199,86066	-0,221301878	0,048974521	549	20
052202/052219	346,8	532,95251	0,536771943	0,288124119	1340	45
052203/052212	314,8	424,89629	0,349734085	0,12231393	1260	44
52233	193,79	224,39766	0,157942412	0,024945805	647	22
52601	205,34	276,65347	0,347294585	0,120613528	1030	39
52801	249	316,04133	0,269242289	0,07249141	1380	42
52805	165,84	173,78579	0,047912385	0,002295597	774	21
60101	220,84	315,28506	0,427662833	0,182895499	736	34
60601	166,88	255,81502	0,532927972	0,284012224	572	20
61020	436,68	445,77574	0,020829303	0,00043386	1110	41
61502	1218,86	649,5752	-0,467063321	0,218148146	2280	35
61801	212,84	288,9758	0,357713776	0,127959145	1090	33
61901	2386,62	2423,1308	0,01529812	0,000234032	15300	22
61905	1684,95	1839,6587	0,091817977	0,008430541	11100	24
61906	495,07	743,19008	0,501181813	0,251183209	4330	34
62101	1560,3	2329,9927	0,493297891	0,24334281	9320	24
62102	2042,5	2372,5002	0,161566805	0,026103833	9870	23
62209	924,48	730,44118	-0,209889689	0,044053682	3600	30
62701	324,79	440,52444	0,356336217	0,1269755	746	42
62802	391,16	389,53651	-0,00415045	1,72262E-05	1100	44
70201	339,98	242,45168	-0,286864874	0,082291456	793	29
70401	1185,68	838,18834	-0,29307373	0,085892211	3085	31
71401	785,12	307,17342	-0,608756088	0,370583975	1570	42
72301	3816,68	3143,0896	-0,176485951	0,031147291	19000	15
72302	711,42	425,61263	-0,401742107	0,161396721	3390	42
073301/073303	747,76	166,36202	-0,777519498	0,60453657	684	18
73503	1518,63	1339,4957	-0,11795783	0,01391405	7230	25
73801	2555,66	2604,7878	0,019223136	0,000369529	13000	23
74601	569,08	425,41398	-0,252453117	0,063732576	2080	43
74701	1357,2	1008,1107	-0,257212865	0,066158458	5590	29
74902	4007,09	2702,0116	-0,32569231	0,106075481	11600	21
74903	2828,5	3360,6945	0,188154322	0,035402049	15600	17
75601	1161,9	587,89323	-0,494024245	0,244059954	2950	41
080101/080102	319,59	225,36124	-0,294842642	0,086932184	3680	41
80701	4825,58	7036,4128	0,458148616	0,209900155	57500	5
80703	234,1	214,37991	-0,08423789	0,007096022	2010	40
80704	2020,04	1392,8736	-0,310472268	0,096393029	18700	25
080705/080717	1178,84	977,1006	-0,171133826	0,029286787	8310	28
80707	2283,39	1934,287	-0,152888031	0,02337475	22200	22
80718	2555,3	3060,0035	0,197512425	0,039011158	31900	14
80801	1293,06	901,99647	-0,302432625	0,091465493	17100	25
80809	765,97	1044,4892	0,36361633	0,132216835	9820	26
81002	2002,97	3255,1351	0,625154196	0,390817769	40900	13
81006	1495,51	1032,0048	-0,309931194	0,096057345	7280	27
81007	978,82	1554,8103	0,58845375	0,346277816	18100	23
90601	4394,75	3938,533	-0,103809545	0,010776422	44300	6
90602	3499,09	3144,6809	-0,101286077	0,010258869	27700	13
90605	174,22	157,65575	-0,095076627	0,009039565	1870	23
90606	469,92	318,20683	-0,322848932	0,104231433	1970	43
90607	364,85	445,78749	0,221837714	0,049211971	3390	45
90609	518,26	469,04347	-0,09496494	0,00901834	3700	43

90610	1877,6	1620,8737	-0,136731093	0,018695392	11600	24
90613	2395,76	2745,7031	0,146067678	0,021335767	21400	17
92703	3374,12	2351,6591	-0,30303039	0,091827417	37000	21
92704	7179,22	6582,5347	-0,083112831	0,006907743	96600	3
92706	1695,63	1891,2002	0,11533778	0,013302804	18600	23
92707	847,7	819,11747	-0,033717742	0,001136886	10900	28
92708	1743,83	1773,1108	0,016791086	0,000281941	19100	23
92715	1337,43	1452,7546	0,086228513	0,007435356	13200	23
92717	951,94	907,23095	-0,046966248	0,002205828	10200	27
92722	963,96	985,83221	0,022689956	0,000514834	12700	27
			BRM	EQRM		
			0,047832668	0,115403943		

Estimation des quantiles de débits extrêmes annuels avec l'ACC-RM associée aux débits spécifiques (T=10)

Station	Locale	Régionale	Erreur relative	Erreur relative quadratique	BV	Voisins
010801/010802	655,188	817,47909	0,24770156	0,061356063	2130	47
010901/010902	450,918	498,39693	0,105293934	0,011086812	1410	60
11003	674,52	640,65456	-0,050206725	0,002520715	1680	46
11201	378,48	436,20618	0,152521084	0,023262681	1140	45
11507	653,568	761,86212	0,165696791	0,027455426	2760	72
11508	81,0774	101,294298	0,249353063	0,06217695	558	54
20401	299,667	377,38145	0,25933603	0,067255176	1010	50
20404	223,5328	248,064734	0,109746462	0,012044286	659	49
20601	393,7472	280,543384	-0,287503799	0,082658435	748	47
20602	321,7905	231,73044	-0,279871718	0,078328178	645	55
20802	435	401,874	-0,076151724	0,005799085	1200	61
21407	329,2596	270,019962	-0,179917724	0,032370388	774	56
21502	322,3591	280,652134	-0,129380452	0,016739301	721	43
21601	482,79	547,3248	0,13367054	0,017867813	1650	60
22003	379,155	423,57812	0,117163482	0,013727282	1610	74
22301	296,7488	272,100196	-0,083062186	0,006899327	932	64
22507	115,9725	172,40475	0,486600272	0,236779824	525	60
022701/022704	270,5146	260,035668	-0,038737029	0,001500557	802	60
23101	344,2768	312,66991	-0,091806622	0,008428456	826	43
23303	335,008	420,22276	0,254366343	0,064702237	1160	54
23401	252,6167	228,020781	-0,09736458	0,009479862	709	66
23402	1619,124	1876,27488	0,158820992	0,025224108	5820	63
23403	263,25	360,17514	0,368186667	0,135561422	1170	73
23422	248,9673	162,948856	-0,345500971	0,119370921	691	74
23426	1186,918	1283,53607	0,081402481	0,006626364	4090	63
23429	1075,728	942,86761	-0,12350742	0,015254083	3070	69
24001	473,055	505,84596	0,069317437	0,004804907	1410	60
24003	315,1251	318,659574	0,011216098	0,000125801	919	61
24007	716,009	650,99734	-0,090797267	0,008244144	2330	74
30101	200,7693	189,010269	-0,058569866	0,003430429	549	61
30103	616,616	519,05392	-0,158221778	0,025034131	1540	61
30215	153,0012	186,339165	0,217893487	0,047477572	519	66

30219	304,8926	312,572806	0,025189873	0,00063453	839	52
30234	270,5388	189,114582	-0,300970574	0,090583287	642	71
30282	315,7902	285,93441	-0,094543118	0,008938401	738	40
30304	521,351	455,01322	-0,127242069	0,016190544	1490	64
030901/030905	629,032	488,32452	-0,223688906	0,050036727	2440	59
30907	222,9924	204,42256	-0,083275663	0,006934836	643	63
40201	400,92	521,15231	0,299891026	0,089934627	2570	64
040202/040204	704,48	833,27744	0,182826255	0,033425439	5440	56
40401	104,26	131,0816	0,257256858	0,066181091	1300	55
40406	121,828	132,561366	0,08810262	0,007762072	1330	53
40810	153,614	184,12676	0,198632677	0,03945494	1780	49
40814	138,03	205,87626	0,49153271	0,241604405	1290	55
40830	1167,588	1265,42052	0,083790275	0,00702081	6840	60
41301	555,685	712,7497	0,282650602	0,079891363	5150	54
41902	281,248	400,16176	0,422807487	0,178766171	3760	53
42103	91,31	31,288165	-0,65734131	0,432097598	575	39
43008	59,1384	95,5597824	0,615866889	0,379292024	984	55
43009	208,992	215,52384	0,031254019	0,000976814	1680	49
43012	351,463	296,21312	-0,157199705	0,024711747	2590	54
050116/050144	326,274	310,9215	-0,04705401	0,00221408	2670	51
50117	291,56	367,36375	0,259993655	0,067596701	1850	64
50118	157,4263	212,681037	0,350987967	0,123192553	997	68
50119	198,77	211,74287	0,065265734	0,004259616	1390	56
50135	366,281	350,6909	-0,042563223	0,001811628	1570	75
50301	751,9056	1018,79532	0,3549511	0,125990284	4596	73
050302/050304	825,664	1189,59232	0,440770483	0,194278619	4480	73
50305	499,667	671,42215	0,34373923	0,118156658	2870	75
50402	398,8561	306,133134	-0,232472227	0,054043337	751	28
50408	653,79	644,2327	-0,014618303	0,000213695	1550	36
50409	241,392	226,064892	-0,063494681	0,004031574	642	53
51001	468,93	500,2844	0,066863711	0,004470756	1100	26
51301	340,118	284,760595	-0,16275941	0,026490626	865	60
51502	444,72	506,8346	0,139671254	0,019508059	1700	68
52201	159,759	134,014194	-0,161147766	0,025968603	549	73
052202/052219	267,464	417,68738	0,561658317	0,315460065	1340	64
052203/052212	270,648	366,25554	0,35325419	0,124788523	1260	71
52233	162,397	141,29186	-0,129960159	0,016889643	647	69
52601	162,843	223,32769	0,371429475	0,137959855	1030	68
52801	198,582	251,81136	0,268047255	0,071849331	1380	58
52805	127,71	122,59773	-0,040030303	0,001602425	774	57
60101	174,8736	201,29968	0,15111532	0,02283584	736	73
60601	97,526	129,074088	0,323483871	0,104641815	572	70
61020	283,161	352,38282	0,244460996	0,059761178	1110	58
61502	676,02	526,56144	-0,221086003	0,048879021	2280	71
61801	158,268	170,30269	0,076039945	0,005782073	1090	56
61901	1904,85	2015,0712	0,057863454	0,003348179	15300	49
61905	1398,6	1447,3623	0,034865079	0,001215574	11100	50
61906	417,845	475,03564	0,136870466	0,018733525	4330	57

62101	1345,808	1710,76056	0,271177285	0,07353712	9320	59
62102	1657,173	1746,08196	0,053650983	0,002878428	9870	57
62209	739,8	607,41	-0,178953771	0,032024452	3600	55
62701	243,0468	225,300952	-0,073014119	0,005331062	746	61
62802	335,94	305,668	-0,090111329	0,008120052	1100	71
70201	210,7794	181,370995	-0,139522197	0,019466443	793	72
70401	742,868	672,298625	-0,094995847	0,009024211	3085	73
71401	522,81	245,57469	-0,530279279	0,281196114	1570	56
72301	3000,1	3036,58	0,012159595	0,000147856	19000	51
72302	586,131	345,8478	-0,409947947	0,168057319	3390	50
073301/073303	283,9968	116,716392	-0,589022158	0,346947103	684	53
73503	1190,058	1209,99111	0,016749696	0,000280552	7230	55
73801	2141,1	2090,218	-0,02376442	0,000564748	13000	51
74601	491,088	341,89792	-0,303795002	0,092291403	2080	55
74701	1164,956	932,45672	-0,199577735	0,039831272	5590	53
74902	2599,56	2059,6032	-0,207710843	0,043143794	11600	55
74903	2159,04	2721,888	0,260693642	0,067961175	15600	53
75601	702,985	404,05265	-0,4252329	0,180823019	2950	53
080101/080102	248,4	219,594064	-0,115965926	0,013448096	3680	29
80701	3657	4038,48375	0,104316038	0,010881836	57500	36
80703	145,926	188,397903	0,291050964	0,084710664	2010	49
80704	1505,35	1283,07058	-0,147659627	0,021803366	18700	33
080705/080717	833,493	759,836484	-0,088370887	0,007809414	8310	48
80707	1758,24	1579,97844	-0,101386364	0,010279195	22200	40
80718	1958,66	2454,53593	0,25317101	0,06409556	31900	38
80801	972,99	908,20323	-0,066585237	0,004433594	17100	20
80809	636,336	658,207104	0,03437037	0,001181322	9820	35
81002	1672,81	2669,48574	0,595809291	0,354988711	40900	32
81006	1204,84	731,3488	-0,392990937	0,154441876	7280	53
81007	812,69	1189,07226	0,463131403	0,214490697	18100	32
90601	3747,78	3975,82754	0,0608487	0,003702564	44300	48
90602	2750,61	2666,01974	-0,030753273	0,000945764	27700	52
90605	138,006	130,834924	-0,05196206	0,002700056	1870	34
90606	288,802	179,38229	-0,378874488	0,143545878	1970	50
90607	287,472	263,93184	-0,081886792	0,006705447	3390	38
90609	410,33	309,27301	-0,246282236	0,06065494	3700	40
90610	1294,56	1406,5928	0,086541219	0,007489383	11600	54
90613	2037,28	2363,6942	0,160220588	0,025670637	21400	56
92703	2541,9	2234,6853	-0,120860262	0,014607203	37000	24
92704	5670,42	5783,88636	0,020010221	0,000400409	96600	29
92706	1324,32	1728,10368	0,304898876	0,092963325	18600	47
92707	664,9	680,5742	0,02357377	0,000555723	10900	24
92708	1293,07	1569,88821	0,214078287	0,045829513	19100	42
92715	1139,16	1126,6794	-0,010955968	0,000120033	13200	42
92717	816	616,30746	-0,24472125	0,05988849	10200	29
92722	831,85	846,4296	0,017526718	0,000307186	12700	29
			BRM	EQRM		
			0,030302921	0,05931969		

Estimation des quantiles de débits extrêmes annuels avec l'ACC-RM associée aux débits spécifiques (T=100)

Station	Locale	Régionale	Erreur relative	Erreur relative quadratique	BV	Voisins
010801/010802	942,312	1184,52069	0,257036618	0,066067823	2130	47
010901/010902	739,968	712,91997	-0,036552973	0,00133612	1410	60
11003	1110,48	925,722	-0,166376702	0,027681207	1680	46
11201	505,362	635,70732	0,257924656	0,066525128	1140	45
11507	899,484	1064,30568	0,183240258	0,033576992	2760	72
11508	102,114	135,758052	0,32947541	0,108554046	558	54
20401	412,282	550,64897	0,335612445	0,112635713	1010	50
20404	323,4372	361,155065	0,116615729	0,013599228	659	49
20601	644,028	391,429148	-0,392217189	0,153834324	748	47
20602	517,032	332,930295	-0,356074102	0,126788766	645	55
20802	665,4	583,6632	-0,122838593	0,01508932	1200	61
21407	468,27	394,164918	-0,158252893	0,025043978	774	56
21502	438,0075	401,685683	-0,082925103	0,006876573	721	43
21601	618,915	798,29145	0,289824047	0,083997978	1650	60
22003	542,409	582,95202	0,074746215	0,005586997	1610	74
22301	428,3472	389,168716	-0,091464317	0,008365721	932	64
22507	161,5425	255,10275	0,579168021	0,335435596	525	60
022701/022704	438,4534	375,425824	-0,143749771	0,020663997	802	60
23101	432,411	444,677926	0,028368672	0,000804782	826	43
23303	386,976	607,75764	0,570530576	0,325505138	1160	54
23401	324,9347	320,986988	-0,012149247	0,000147604	709	66
23402	2126,628	2642,94348	0,242785988	0,058945036	5820	63
23403	356,265	506,66733	0,422164204	0,178222615	1170	73
23422	348,3331	223,160523	-0,359347352	0,129130519	691	74
23426	1453,995	1848,81497	0,271541491	0,073734781	4090	63
23429	1424,787	1363,10456	-0,043292394	0,001874231	3070	69
24001	726,009	704,77299	-0,02925034	0,000855582	1410	60
24003	414,0095	444,021283	0,072490566	0,005254882	919	61
24007	966,717	906,45621	-0,062335503	0,003885715	2330	74
30101	266,1552	267,64299	0,005589934	3,12474E-05	549	61
30103	746,284	741,79952	-0,00600908	3,6109E-05	1540	61
30215	201,3201	267,179124	0,32713586	0,107017871	519	66
30219	377,2983	443,17658	0,174605292	0,030487008	839	52
30234	395,151	259,465584	-0,343376117	0,117907158	642	71
30282	447,3756	385,129728	-0,139135599	0,019358715	738	40
30304	686,741	651,04954	-0,051972228	0,002701113	1490	64
030901/030905	874,252	754,6676	-0,136784817	0,018710086	2440	59
30907	434,668	281,512473	-0,352350592	0,124150939	643	63
40201	565,4	730,394	0,291818182	0,085157851	2570	64
040202/040204	871,488	1117,83296	0,28267166	0,079903268	5440	56
40401	153,01	175,2439	0,14531011	0,021115028	1300	55
40406	140,714	182,15813	0,29452741	0,086746395	1330	53
40810	210,574	250,30004	0,188655959	0,035591071	1780	49

40814	179,955	283,53942	0,575612903	0,331330214	1290	55
40830	1785,924	1685,62908	-0,05615856	0,003153784	6840	60
41301	753,96	947,44035	0,256618852	0,065853235	5150	54
41902	369,232	537,67624	0,456201629	0,208119927	3760	53
42103	131,33	41,698885	-0,682487741	0,465789516	575	39
43008	83,5416	125,3124	0,5	0,25	984	55
43009	281,904	280,5264	-0,00488677	2,38805E-05	1680	49
43012	452,473	387,46141	-0,143680595	0,020644113	2590	54
050116/050144	469,92	409,21488	-0,129181818	0,016687942	2670	51
50117	363,34	513,0457	0,412026477	0,169765817	1850	64
50118	223,9262	288,933591	0,290307213	0,084278278	997	68
50119	260,208	286,38726	0,100608974	0,010122166	1390	56
50135	579,487	484,85368	-0,163305337	0,026668633	1570	75
50301	955,968	1355,571816	0,418009615	0,174732039	4596	73
050302/050304	1046,08	1624,16128	0,552616702	0,30538522	4480	73
50305	569,695	891,04603	0,564075567	0,318181245	2870	75
50402	682,8843	407,916915	-0,402655889	0,162131765	751	28
50408	949,84	885,30885	-0,067938969	0,004615703	1550	36
50409	329,2176	301,83309	-0,083180577	0,006919008	642	53
51001	607,97	751,2065	0,235597974	0,055506405	1100	26
51301	673,835	407,85615	-0,394724005	0,15580704	865	60
51502	638,18	714,9282	0,120261055	0,014462721	1700	68
52201	256,6575	185,694309	-0,27648984	0,076446631	549	73
052202/052219	346,792	601,85564	0,73549459	0,540952293	1340	64
052203/052212	314,748	508,98456	0,617117694	0,380834248	1260	71
52233	193,7765	204,136911	0,053465776	0,002858589	647	69
52601	205,382	316,50252	0,541043129	0,292727668	1030	68
52801	248,952	341,5431	0,371923503	0,138327092	1380	58
52805	165,8682	163,281492	-0,01559496	0,000243203	774	57
60101	220,8736	289,154528	0,309140287	0,095567717	736	73
60601	166,8524	184,137096	0,103592732	0,010731454	572	70
61020	436,674	477,97266	0,094575496	0,008944524	1110	58
61502	1218,888	694,36032	-0,430332959	0,185186456	2280	71
61801	212,877	227,07534	0,066697389	0,004448542	1090	56
61901	2386,8	2629,1979	0,101557692	0,010313965	15300	49
61905	1684,98	1860,5154	0,104176548	0,010852753	11100	50
61906	494,919	615,6827	0,244006999	0,059539416	4330	57
62101	1560,168	2301,98408	0,475471924	0,22607355	9320	59
62102	2042,103	2377,15989	0,164074432	0,026920419	9870	57
62209	924,48	788,49	-0,14709891	0,021638089	3600	55
62701	324,8084	329,85509	0,015537437	0,000241412	746	61
62802	391,16	422,7817	0,080840832	0,00653524	1100	71
70201	339,9591	251,139928	-0,261264287	0,068259028	793	72
70401	1185,5655	899,237395	-0,24151184	0,058327969	3085	73
71401	785,157	331,87445	-0,577314537	0,333292075	1570	56
72301	3817,1	3752,177	-0,017008462	0,000289288	19000	51
72302	711,561	439,46604	-0,382391615	0,146223347	3390	50
073301/073303	747,7488	156,532032	-0,790662276	0,625146835	684	53

73503	1518,3	1564,68045	0,030547619	0,000933157	7230	55
73801	2555,8	2629,822	0,02896236	0,000838818	13000	51
74601	569,088	444,00512	-0,219795322	0,048309983	2080	55
74701	1357,252	1203,36489	-0,113381384	0,012855338	5590	53
74902	4006,64	2605,0236	-0,349823393	0,122376406	11600	55
74903	2828,28	3402,126	0,202895753	0,041166687	15600	53
75601	1162,005	529,8849	-0,543990861	0,295926056	2950	53
080101/080102	319,424	280,46752	-0,121958525	0,014873882	3680	29
80701	4824,25	5254,235	0,089129917	0,007944142	57500	36
80703	234,165	244,86021	0,04567382	0,002086098	2010	49
80704	2019,6	1593,00999	-0,211225	0,044616001	18700	33
080705/080717	1179,189	993,05331	-0,157850599	0,024916812	8310	48
80707	2284,38	2062,98162	-0,096918367	0,00939317	22200	40
80718	2555,19	3179,45386	0,24431211	0,059688407	31900	38
80801	1292,76	1122,83559	-0,131443122	0,017277294	17100	20
80809	765,96	860,76228	0,123769231	0,015318822	9820	35
81002	2004,1	3394,39734	0,693726531	0,481256499	40900	32
81006	1495,312	943,35696	-0,369123661	0,136252277	7280	53
81007	979,21	1518,09044	0,550321627	0,302853893	18100	32
90601	4394,56	5448,1912	0,239758065	0,05748393	44300	48
90602	3498,51	3439,5644	-0,016848773	0,000283881	27700	52
90605	174,284	163,948136	-0,059304721	0,00351705	1870	34
90606	469,845	220,54938	-0,530591195	0,281527016	1970	50
90607	364,764	328,817457	-0,098547398	0,00971159	3390	38
90609	518,37	395,123	-0,237758744	0,05652922	3700	40
90610	1878,04	1767,3412	-0,058943792	0,003474371	11600	54
90613	2396,8	3030,6252	0,264446429	0,069931914	21400	56
92703	3374,4	2670,512	-0,208596491	0,043512496	37000	24
92704	7177,38	7178,36532	0,000137281	1,88462E-08	96600	29
92706	1696,32	2180,1432	0,285219298	0,081350048	18600	47
92707	848,02	817,92183	-0,035492288	0,001259703	10900	24
92708	1743,83	1986,6292	0,139233297	0,019385911	19100	42
92715	1337,16	1452,99	0,086623889	0,007503698	13200	42
92717	951,66	791,92086	-0,167853162	0,028174684	10200	29
92722	963,93	1071,15864	0,111241107	0,012374584	12700	29
			BRM	EQRM		
			0,042497773	0,089007449		

Estimation des quantiles de débits extrêmes annuels avec la CAH-RM (T=10)

Station	Locale	Régionale	Erreur relative	Erreur relative quadratique	BV
010801/010802	655,12	710,325	0,084267005	0,007100928	2130
010901/010902	450,89	427,839	-0,051123334	0,002613595	1410
11003	674,45	603,464	-0,105250204	0,011077605	1680
11201	378,46	447,444	0,182275538	0,033224372	1140
11507	653,51	575,437	-0,119467185	0,014272408	2760
11508	81,05	117,393	0,448402221	0,201064552	558
20401	299,67	385,425	0,286164781	0,081890282	1010

20404	223,52	283,095	0,266530959	0,071038752	659
20601	393,75	312,169	-0,207189841	0,04292763	748
20602	321,82	250,701	-0,220989994	0,048836578	645
20802	434,94	388,384	-0,107040052	0,011457573	1200
21407	329,26	332,743	0,010578266	0,0001119	774
21502	322,35	347,667	0,078538855	0,006168352	721
21601	482,8	475,529	-0,015060066	0,000226806	1650
22003	379,15	373,477	-0,014962416	0,000223874	1610
22301	296,73	239,792	-0,191884879	0,036819807	932
22507	115,95	185,309	0,59818025	0,357819612	525
022701/022704	270,54	287,992	0,064508021	0,004161285	802
23101	344,24	330,359	-0,040323611	0,001625994	826
23303	335,06	382,55	0,141735809	0,020089039	1160
23401	252,6	206,373	-0,183004751	0,033490739	709
23402	1619,1	1761,502	0,087944612	0,007734255	5820
23403	263,22	304,939	0,158494795	0,0251206	1170
23422	248,99	156,017	-0,373400538	0,139427962	691
23426	1187,1	1123,849	-0,053281948	0,002838966	4090
23429	1075,8	683,03	-0,365119349	0,133312139	3070
24001	473,04	428,106	-0,094989853	0,009023072	1410
24003	315,14	285,022	-0,095570223	0,009133667	919
24007	716,06	621,09	-0,132628551	0,017590332	2330
30101	200,78	249,24	0,241358701	0,058254023	549
30103	616,55	575,714	-0,066233071	0,00438682	1540
30215	152,99	179,371	0,172436107	0,029734211	519
30219	304,9	296,949	-0,026077402	0,000680031	839
30234	270,56	184,822	-0,316890893	0,100419838	642
30282	315,78	321,655	0,018604725	0,000346136	738
30304	521,35	538,765	0,033403664	0,001115805	1490
030901/030905	629,04	563,074	-0,104867735	0,010997242	2440
30907	223,01	250,048	0,1212412	0,014699429	643
40201	400,86	478,645	0,194045303	0,037653579	2570
040202/040204	704,61	886,79	0,258554378	0,066850366	5440
40401	104,29	157,31	0,508390066	0,258460459	1300
40406	121,86	157,408	0,2917118	0,085095775	1330
40810	153,61	232,217	0,511731007	0,261868624	1780
40814	137,98	190,457	0,380323235	0,144645763	1290
40830	1167,5	1123,324	-0,037862839	0,001433595	6840
41301	555,93	734,688	0,321547677	0,103392908	5150
41902	281,43	385,051	0,368194578	0,135567247	3760
42103	91,31	38,448	-0,578928923	0,335158698	575
43008	59,09	107,294	0,81577255	0,665484854	984
43009	209,06	204,106	-0,023696546	0,000561526	1680
43012	351,41	198,58	-0,434905097	0,189142443	2590
050116/050144	326,3	304,392	-0,067140668	0,004507869	2670
50117	291,63	337,737	0,158101018	0,024995932	1850
50118	157,41	229,809	0,459939013	0,211543895	997
50119	198,74	198,189	-0,002772467	7,68657E-06	1390
50135	366,3	335,644	-0,083690964	0,007004177	1570
50301	751,85	845,84	0,125011638	0,01562791	4596
050302/050304	825,66	1028,765	0,245991086	0,060511614	4480

50305	499,68	578,155	0,157050512	0,024664863	2870
50402	398,82	362,255	-0,091682965	0,008405766	751
50408	653,84	590,914	-0,096240671	0,009262267	1550
50409	241,39	241,91	0,00215419	4,64054E-06	642
51001	468,89	565,275	0,205559939	0,042254889	1100
51301	340,08	307,239	-0,096568454	0,009325466	865
51502	444,79	437,471	-0,016454956	0,000270766	1700
52201	159,78	149,38	-0,065089498	0,004236643	549
052202/052219	267,47	387,117	0,447328672	0,200102941	1340
052203/052212	270,64	309,586	0,14390334	0,020708171	1260
52233	162,4	144,688	-0,109064039	0,011894965	647
52601	162,84	216,742	0,331012036	0,109568968	1030
52801	198,56	263,575	0,327432514	0,107212051	1380
52805	127,74	126,383	-0,010623141	0,000112851	774
60101	174,89	227,378	0,300120075	0,09007206	736
60601	97,54	126,25	0,294340783	0,086636497	572
61020	283,19	409,716	0,446788375	0,199619852	1110
61502	676,07	365,12	-0,45993758	0,211542578	2280
61801	158,3	157,975	-0,002053064	4,21507E-06	1090
61901	1905,2	1932,656	0,014400437	0,000207373	15300
61905	1398,1	1502,332	0,074544921	0,005556945	11100
61906	417,71	466,587	0,117011802	0,013691762	4330
62101	1346	1715,479	0,274529893	0,075366662	9320
62102	1657	1394,122	-0,158657107	0,025172078	9870
62209	739,65	1029,005	0,3912053	0,153041587	3600
62701	243,06	230,676	-0,050950383	0,002595941	746
62802	335,94	274,402	-0,183181521	0,033555469	1100
70201	210,74	189,2	-0,102211256	0,010447141	793
70401	743	795,045	0,070047106	0,004906597	3085
71401	522,82	163,406	-0,687452661	0,472591161	1570
72301	2999,5	3062,181	0,020900553	0,000436833	19000
72302	586,2	664,924	0,134295462	0,018035271	3390
073301/073303	283,98	109,882	-0,6130643	0,375847836	684
73503	1189,9	959,708	-0,193421019	0,037411691	7230
73801	2140,8	1710,205	-0,201118767	0,040448758	13000
74601	491,18	334,825	-0,318325258	0,10133097	2080
74701	1165	930,397	-0,201389676	0,040557801	5590
74902	2599,4	2177,116	-0,162467301	0,026395624	11600
74903	2158,4	2656,697	0,230852661	0,053292951	15600
75601	702,91	411,485	-0,414597886	0,171891407	2950
080101/080102	248,31	241,901	-0,025810479	0,000666181	3680
80701	3656,5	3221,253	-0,119041003	0,01417076	57500
80703	145,83	217,199	0,489398615	0,239511004	2010
80704	1505,6	1108,988	-0,263419656	0,069389915	18700
080705/080717	833,38	769,062	-0,077177278	0,005956332	8310
80707	1759,2	1310,036	-0,255322874	0,06518977	22200
80718	1959,2	2248,863	0,147859308	0,021862375	31900
80801	972,33	592,83	-0,39029959	0,15233377	17100
80809	636,4	703,767	0,10585638	0,011205573	9820
81002	1673,3	2571,133	0,536527544	0,287861805	40900
81006	1205,1	761,11	-0,368420616	0,13573375	7280

81007	813,45	1167,07	0,434716332	0,188978289	18100
90601	3749,4	4830,342	0,288300764	0,08311733	44300
90602	2750,1	2779,839	0,010802762	0,0001167	27700
90605	138	193,775	0,404166667	0,163350694	1870
90606	288,84	221,231	-0,234070766	0,054789123	1970
90607	287,54	333,387	0,159445642	0,025422913	3390
90609	410,24	351,281	-0,143718311	0,020654953	3700
90610	1294,9	1341,112	0,035695696	0,001274183	11600
90613	2036,4	2718,461	0,334928133	0,112176854	21400
92703	2541	1657,522	-0,34767883	0,120880569	37000
92704	5672	3432,451	-0,394839712	0,155898398	96600
92706	1325,1	1326,795	0,001271593	1,61695E-06	18600
92707	664,81	640,403	-0,036712745	0,001347826	10900
92708	1292,4	1235,57	-0,043979852	0,001934227	19100
92715	1139,3	1159,311	0,017555362	0,000308191	13200
92717	816,43	568,157	-0,304095881	0,092474305	10200
92722	831,76	1137,296	0,367336732	0,134936274	12700
			BRM	EQRM	
			0,028554178	0,072387279	

Estimation des quantiles de débits extrêmes annuels avec la CAH-RM (T=100)

Station	Locale	Régionale	Erreur relative	Erreur relative quadratique	BV
010801/010802	942,37	1045,963	0,10992816	0,0120842	2130
010901/010902	739,9	590,601	-0,201782673	0,040716247	1410
11003	1110,5	903,875	-0,186064836	0,034620123	1680
11201	505,31	656,155	0,298519721	0,089114024	1140
11507	899,5	773,672	-0,139886604	0,019568262	2760
11508	102,13	181,884	0,780906688	0,609815255	558
20401	412,3	571,971	0,387268979	0,149977262	1010
20404	323,43	409,428	0,265893702	0,070699461	659
20601	644,03	468,183	-0,273041628	0,074551731	748
20602	517	360,616	-0,302483559	0,091496303	645
20802	665,34	573,031	-0,138739592	0,019248674	1200
21407	468,29	569,813	0,216795148	0,047000136	774
21502	437,99	574,347	0,311324459	0,096922919	721
21601	618,98	651,309	0,052229474	0,002727918	1650
22003	542,37	509,503	-0,060598853	0,003672221	1610
22301	428,37	366,063	-0,145451362	0,021156099	932
22507	161,55	296,352	0,834428969	0,696271705	525
022701/022704	438,45	442,091	0,008304254	6,89606E-05	802
23101	432,44	459,641	0,062901212	0,003956562	826
23303	386,98	514,983	0,3307742	0,109411572	1160
23401	324,95	265,429	-0,183169718	0,033551146	709
23402	2126,79	2188,295	0,028919169	0,000836318	5820
23403	356,3	393,945	0,105655347	0,011163052	1170
23422	348,32	238,384	-0,315617823	0,09961461	691
23426	1453,81	1524,927	0,048917671	0,002392939	4090

23429	1424,74	890,942	-0,374663447	0,140372699	3070
24001	725,97	581,015	-0,199670785	0,039868422	1410
24003	414,05	378,408	-0,086081391	0,007410006	919
24007	966,81	782,476	-0,190662074	0,036352027	2330
30101	266,17	351,95	0,322275238	0,103861329	549
30103	746,27	792,549	0,062013748	0,003845705	1540
30215	201,32	241,145	0,197819392	0,039132512	519
30219	377,26	402,502	0,066908763	0,004476783	839
30234	395,17	211,5	-0,464787307	0,21602724	642
30282	447,37	448,432	0,002373874	5,63528E-06	738
30304	686,76	784,894	0,14289417	0,020418744	1490
030901/030905	874,33	771,368	-0,117761028	0,01386766	2440
30907	434,7	336,328	-0,226298597	0,051211055	643
40201	565,5	673,156	0,190373121	0,036241925	2570
040202/040204	871,52	1253,265	0,438022076	0,191863339	5440
40401	152,97	208,498	0,362999281	0,131768478	1300
40406	140,77	220,559	0,566804007	0,321266782	1330
40810	210,53	315,11	0,496746307	0,246756893	1780
40814	179,95	272,94	0,516754654	0,267035373	1290
40830	1786,17	1414,576	-0,208039548	0,043280454	6840
41301	754,1	921,844	0,222442647	0,049480731	5150
41902	369,32	496,628	0,344709195	0,118824429	3760
42103	131,31	52,165	-0,602733988	0,363288261	575
43008	83,53	154,335	0,847659524	0,718526668	984
43009	281,95	296,507	0,051629722	0,002665628	1680
43012	452,55	268,69	-0,40627555	0,165059822	2590
050116/050144	470,01	415,203	-0,116608157	0,013597462	2670
50117	363,43	498,81	0,372506397	0,138761016	1850
50118	223,91	339,008	0,51403689	0,264233924	997
50119	260,14	291,173	0,119293457	0,014230929	1390
50135	579,52	478,883	-0,173655784	0,030156331	1570
50301	956,04	1115,794	0,167099703	0,027922311	4596
050302/050304	1045,93	1384,277	0,323489144	0,104645226	4480
50305	569,67	789,348	0,385623256	0,148705295	2870
50402	682,86	477,857	-0,300212342	0,09012745	751
50408	949,78	832,647	-0,123326455	0,015209414	1550
50409	329,21	308,306	-0,063497464	0,004031928	642
51001	607,98	919,378	0,512184611	0,262333076	1100
51301	673,83	429,05	-0,363266699	0,131962695	865
51502	638,2	600,589	-0,058932936	0,003473091	1700
52201	256,66	228,782	-0,108618406	0,011797958	549
052202/052219	346,8	538,965	0,554108997	0,30703678	1340
052203/052212	314,8	390,627	0,240873571	0,058020077	1260
52233	193,79	213,216	0,100242531	0,010048565	647
52601	205,34	325,662	0,585964741	0,343354678	1030
52801	249	381,549	0,532325301	0,283370226	1380
52805	165,84	185,713	0,119832369	0,014359797	774
60101	220,84	315,727	0,42966401	0,184611162	736

60601	166,88	197,645	0,184354027	0,033986407	572
61020	436,68	532,313	0,219000183	0,04796108	1110
61502	1218,86	490,265	-0,597767586	0,357326087	2280
61801	212,84	231,389	0,087149972	0,007595118	1090
61901	2386,62	2316,764	-0,029269846	0,000856724	15300
61905	1684,95	1810,152	0,074306062	0,005521391	11100
61906	495,07	645,788	0,304437756	0,092682347	4330
62101	1560,3	2273,798	0,457282574	0,209107352	9320
62102	2042,5	1777,222	-0,12987907	0,016868573	9870
62209	924,48	1716,609	0,856837357	0,734170257	3600
62701	324,79	285,143	-0,122069645	0,014900998	746
62802	391,16	365,104	-0,066612128	0,004437176	1100
70201	339,98	283,348	-0,166574504	0,027747066	793
70401	1185,68	1076,093	-0,092425444	0,008542463	3085
71401	785,12	250,526	-0,680907377	0,463634856	1570
72301	3816,68	5130,094	0,344124737	0,118421834	19000
72302	711,42	922,461	0,29664755	0,087999769	3390
073301/073303	747,76	154,777	-0,793012464	0,628868768	684
73503	1518,63	954,867	-0,371231307	0,137812683	7230
73801	2555,66	2199,609	-0,13931861	0,019409675	13000
74601	569,08	468,55	-0,176653546	0,031206475	2080
74701	1357,2	1263,148	-0,069298556	0,00480229	5590
74902	4007,09	2712,181	-0,323154459	0,104428804	11600
74903	2828,5	3297,675	0,165874138	0,02751423	15600
75601	1161,9	542,291	-0,533272227	0,284379268	2950
080101/080102	319,59	324,726	0,01607059	0,000258264	3680
80701	4825,58	4216,161	-0,126289275	0,015948981	57500
80703	234,1	282,274	0,205783853	0,042346994	2010
80704	2020,04	1438,402	-0,287933902	0,082905932	18700
080705/080717	1178,84	938,537	-0,203847002	0,0415536	8310
80707	2283,39	1633,344	-0,284684614	0,081045329	22200
80718	2555,3	2838,079	0,110663719	0,012246459	31900
80801	1293,06	600,741	-0,53541135	0,286665314	17100
80809	765,97	853,249	0,113945716	0,012983626	9820
81002	2002,97	3465,497	0,730179184	0,533161641	40900
81006	1495,51	882,884	-0,409643533	0,167807824	7280
81007	978,82	1476,859	0,508815717	0,258893434	18100
90601	4394,75	8080,263	0,838617214	0,703278831	44300
90602	3499,09	3428,845	-0,02007522	0,000403014	27700
90605	174,22	249,831	0,433997245	0,188353609	1870
90606	469,92	277,076	-0,410376234	0,168408654	1970
90607	364,85	436,574	0,196584898	0,038645622	3390
90609	518,26	469,462	-0,094157373	0,008865611	3700
90610	1877,6	1694,547	-0,097493076	0,0095049	11600
90613	2395,76	3441,85	0,436642235	0,190656441	21400
92703	3374,12	2040,747	-0,39517652	0,156164482	37000
92704	7179,22	2586,965	-0,639659322	0,409164049	96600
92706	1695,63	2080,365	0,226897967	0,051482687	18600

92707	847,7	766,491	-0,095799221	0,009177491	10900
92708	1743,83	1547,552	-0,112555696	0,012668785	19100
92715	1337,43	1492,97	0,116297675	0,013525149	13200
92717	951,94	643,448	-0,324066643	0,105019189	10200
92722	963,96	1464,511	0,519265322	0,269636475	12700
			BRM	EQRM	
			0,052505311	0,122829284	

ANNEXE 6 :

Caractéristiques physiographiques et météorologiques des petits bassins

(26 stations jaugées)

Caractéristiques physiographiques et météorologiques des petits bassins jaugés

STATION	BV	PMBV	PFOR	PLAC	PTMA	DJBZ	PLME
N° MENV	km^2	°	%	%	mm	dgr-jr	mm
51004	1,2	3,98	99,0	0,1	1406	1735	623
51007	3,6	3,94	99,0	0,1	1454	1720	619
51002	3,9	3,94	99,0	0,1	1454	1720	622
51003	9,2	4,12	99,0	0,1	1439	1712	623
40212	39,9	3,86	89,0	4,0	1009	1332,7	474
51006	58,8	3,11	95,0	1,0	1520	1785,8	591
30335	59,3	1,47	98,0	1,7	1244	1078,3	573
40129	109	1,89	97,6	1,8	1155	1307,3	490
30309	139	1,52	94,0	5,0	1186	1066	567
40115	163	1,9	89,0	4,0	1092	1139,4	511
30242	190	2,76	98,0	0,5	1101	1126,8	499
021701/021702	208	1,93	83,0	0,4	964	1213,2	417
30314	210	2,94	66,5	0,6	1095	1013,3	563
31401	218	5,42	84,0	1	1113	1135	472
24013	227	2,71	60,9	1,8	1139	1213,1	540
51005	269	3,08	97,0	2	1452	1759,2	601
30340	271	1,62	95,6	3,4	1171	1023,3	554
30415	309	1,6	42,0	2	1004	957,6	489
30316	316	0,19	29,0	0,2	993	1062,9	488
30421	345	1	18,0	1,2	984	858,9	454
50701	355	1,71	58,0	3,4	1239	1292	664
23701	356	1	60,9	2,6	1076	1216,6	529
30420	404	3,01	51,0	5	1061	892,2	543
21915	494	2,53	97,8	2,2	995	1415,8	435
61022	495	2,44	97,0	3	1283	1702,2	565
22504	500	1,93	90,0	1	1020	1360,2	441

ANNEXE 7 :

Résultats de l'estimation régionale des petits bassins jaugés

Application avec l'ACC associée aux débits spécifiques et au facteur de correction

Estimation des quantiles de débits extrêmes annuels avec l'ACC-RM associée aux débits spécifiques et au facteur de correction régional (T=10)

Station	BV	Locale	Régionale	Erreur relative	Erreur relative quadratique
51004	1,2	0,80004	0,73457333	-0,081829243	0,006696025
51007	3,6	2,49984	2,16470237	-0,134063634	0,017973058
51002	3,9	1,70001	2,60014962	0,529490781	0,280360487
51003	9,2	5,49976	5,71616153	0,039347449	0,001548222
40212	40	19,69863	11,9791679	-0,391878118	0,15356846
30335	59	16,30157	25,4904742	0,563682161	0,317737579
51006	59	37,00284	32,2076044	-0,129591015	0,016793831
40129	109	27,795	41,8874949	0,507015467	0,257064684
30309	139	34,8056	47,1139959	0,353632631	0,125056038
40115	163	40,1958	52,7273281	0,311762127	0,097195624
30242	190	88,901	84,2068661	-0,052801812	0,002788031
021701/022704	208	76,0656	81,5682106	0,07234033	0,005233123
30314	210	102,669	95,5040599	-0,069786792	0,004870196
31401	218	89,925	98,4223759	0,094494033	0,008929122
24013	227	90,3687	91,0476336	0,007512928	5,64E-05
51005	269	146,5781	128,474316	-0,123509473	0,01525459
30340	271	73,3597	101,307999	0,380976186	0,145142854
30415	309	161,7306	107,372795	-0,336100929	0,112963835
30316	316	129,7496	102,110206	-0,213021032	0,04537796
30421	345	125,1315	129,750112	0,03691007	0,001362353
50701	355	83,567	128,584722	0,538702142	0,290199998
23701	356	137,8432	108,532777	-0,212635976	0,045214058
30420	404	185,5572	129,713509	-0,300951355	0,090571718
21915	494	153,1894	156,505504	0,021647082	0,000468596
61022	495	138,402	180,905001	0,307098171	0,094309286
22504	500	154,2	176,41938	0,144094555	0,020763241
				BRM	EQRM
				0,071636028	0,082980747

Estimation des quantiles de débits extrêmes annuels avec l'ACC-RM associée aux débits spécifiques et au facteur de correction régional (T=100)

Station	BV	Locale	Régionale	Erreur relative	Erreur relative quadratique
51004	1,2	1,29996	1,005624169	-0,226419144	0,051265629
51007	3,6	3,80016	3,123956037	-0,177940919	0,031662971
51002	3,9	2,40006	3,818537326	0,591017444	0,349301619
51003	9,2	8,09968	8,210499212	0,013681925	0,000187195
40212	40	30,49956	17,42119573	-0,428805015	0,18387374

30335	59	21,09894	37,24910653	0,76544919	0,585912462
51006	59	48,29832	51,24227015	0,060953469	0,003715325
40129	109	31,0977	56,61505694	0,820554476	0,673309649
30309	139	61,4936	62,99161864	0,024360562	0,000593437
40115	163	46,7973	78,13083065	0,669558514	0,448308604
30242	190	105,298	117,7835006	0,118573008	0,014059558
021701/022704	208	101,712	113,0799313	0,111765881	0,012491612
30314	210	146,832	135,555652	-0,076797619	0,005897874
31401	218	112,9022	140,1611661	0,24143875	0,05829267
24013	227	105,0556	126,8258127	0,207225628	0,042942461
51005	269	178,0242	181,7636477	0,021005277	0,000441222
30340	271	118,5896	139,8706159	0,179450946	0,032202642
30415	309	238,9188	159,8792951	-0,330821622	0,109442945
30316	316	168,0804	149,679945	-0,109474127	0,011984584
30421	345	219,972	183,6816699	-0,164977043	0,027217425
50701	355	93,6845	173,0005104	0,846628956	0,716780589
23701	356	202,4572	152,5811398	-0,2463536	0,060690096
30420	404	369,7408	199,8400205	-0,459513203	0,211152384
21915	494	221,3614	216,9642483	-0,019864131	0,000394584
61022	495	195,2775	234,7430498	0,202099831	0,040844342
22504	500	185,75	242,1321309	0,303537717	0,092135146
				BRM	EQRM
				0,112935967	0,144811568

Estimation des quantiles de débits extrêmes printaniers avec l'ACC-RM associée aux débits spécifiques et au facteur de correction régional (T=10)

Station	BV	Locale	Régionale	Erreur relative	Erreur relative quadratique
51004	1,2	0,80004	0,699333896	-0,125876337	0,015844852
51007	3,6	2,19996	2,146370708	-0,024359212	0,000593371
51002	3,9	1,60017	2,640232096	0,649969751	0,422460677
51003	9,2	5,09956	5,564142174	0,091102404	0,008299648
40212	39,9	19,79838	12,05488071	-0,391117823	0,152973152
51006	58,8	36,59712	31,32034967	-0,144185398	0,020789429
30335	59,3	16,30157	25,47764716	0,562895302	0,316851121
40129	109	27,795	41,24334728	0,483840521	0,23410165
30309	139	31,4001	42,8189589	0,363656768	0,132246245
40115	163	39,9024	50,00147615	0,253094454	0,064056803
30242	190	96,596	83,77573708	-0,132720433	0,017614713
021701/022704	208	75,0048	80,30015069	0,070600158	0,004984382
30314	210	97,398	93,71028912	-0,037862285	0,001433553

31401	218	90,47	98,64917583	0,090407603	0,008173535
24013	227	101,6506	91,29936368	-0,101831532	0,010369661
51005	269	143,6191	123,5074041	-0,140034967	0,019609792
30340	271	70,7852	104,5294091	0,476712775	0,22725507
30415	309	155,5197	108,0331063	-0,305341341	0,093233334
30316	316	128,1696	107,3099048	-0,162750724	0,026487798
30421	345	122,2335	117,1434545	-0,041641985	0,001734055
50701	355	79,4135	125,1185612	0,575532638	0,331237818
23701	356	141,332	106,4100048	-0,247091919	0,061054417
30420	404	188,1024	138,3262287	-0,264622734	0,070025191
21915	494	153,1894	154,310171	0,007316244	5,35274E-05
61022	495	121,2255	175,3248614	0,446270474	0,199157336
22504	500	167,25	172,06889	0,028812496	0,00083016
				BRM	EQRM
				0,07618365	0,093902742

Estimation des quantiles de débits extrêmes printaniers avec l'ACC-RM associée aux débits spécifiques et au facteur de correction régional (T=100)

Station	BV	Locale	Régionale	Erreur relative	Erreur relative quadratique
51004	1,2	1,29996	1,04704304	-0,194557494	0,037852618
51007	3,6	2,99988	3,204373388	0,068167189	0,004646766
51002	3,9	2,4999	4,03214628	0,612923029	0,375674639
51003	9,2	8,00032	8,448972786	0,056079355	0,003144894
40212	39,9	32,90154	18,39436182	-0,440927026	0,194416642
51006	58,8	49,29792	43,60193396	-0,115542117	0,013349981
30335	59,3	20,29839	35,14596381	0,73146559	0,535041909
40129	109	31,501	56,51714755	0,794138203	0,630655486
30309	139	47,8994	58,19745933	0,214993493	0,046222202
40115	163	47,4004	73,13512577	0,542922122	0,294764431
30242	190	125,4	121,3015387	-0,032683105	0,001068185
021701/022704	208	107,744	114,4969117	0,062675525	0,003928221
30314	210	142,191	139,5111738	-0,018846665	0,000355197
31401	218	114,232	151,6984455	0,327985551	0,107574522
24013	227	168,9107	129,0641216	-0,235903222	0,05565033
51005	269	191,5549	166,7402307	-0,129543381	0,016781487
30340	271	113,278	149,2984033	0,317982338	0,101112767
30415	309	255,9447	162,9445621	-0,36336028	0,132030693
30316	316	166,4056	150,4150225	-0,096093986	0,009234054
30421	345	181,5045	205,8802366	0,134298249	0,01803602
50701	355	88,821	172,5272129	0,942414664	0,888145399
23701	356	207,8684	146,5385323	-0,295041804	0,087049666
30420	404	378,75	204,1057144	-0,461107025	0,212619688

21915	494	221,3614	220,5252662	-0,003777234	1,42675E-05
61022	495	138,6	244,8542256	0,766625004	0,587713897
22504	500	209,1	245,6967711	0,175020426	0,03063215
				BRM	EQRM
				0,129242592	0,168758312

Estimation des quantiles de débits extrêmes estivaux-automnaux avec l'ACC-RM associée aux débits spécifiques et au facteur de correction régional (T=10)

Station	BV	Locale	Régionale	Erreur relative	Erreur relative quadratique
51004	1,2	0,50004	0,542679084	0,085271345	0,007271202
51007	3,6	2,00016	1,526040674	-0,2370407	0,056188293
51002	3,9	1,4001	1,786406906	0,275913796	0,076128423
51003	9,2	4,1998	4,066322389	-0,031781897	0,001010089
40212	39,9	11,00043	7,255742318	-0,340412846	0,115880906
51006	58,8	25,9014	19,5429603	-0,245486333	0,06026354
30335	59,3	9,29824	15,70466759	0,688993571	0,474712141
40129	109	20,1977	19,91031531	-0,014228585	0,000202453
30309	139	20,1967	28,04707061	0,388695708	0,151084354
40115	163	25,8029	28,62651979	0,109430327	0,011974997
30242	190	62,605	47,52819478	-0,240824299	0,057996343
021701/021702	208	29,0784	36,844603	0,267078072	0,071330696
30314	210	69,069	69,704313	0,009198237	8,46E-05
31401	218	61,1708	48,25464095	-0,211149095	0,04458394
24013	227	69,5074	60,84935795	-0,124562882	0,015515912
51005	269	102,5428	80,14796982	-0,218394955	0,047696356
30340	271	48,8613	54,64103928	0,118288692	0,013992215
30415	309	92,8854	67,19429581	-0,276589261	0,07650162
30316	316	75,4924	71,93417806	-0,047133512	0,002221568
30421	345	50,163	73,15323061	0,45831052	0,210048533
23701	356	88,3948	81,71567439	-0,075560164	0,005709338
30420	404	83,7896	108,1946014	0,291265281	0,084835464
21915	494	32,9498	74,56372808	1,262949337	1,595041029
61022	495	93,5055	123,7196989	0,323127504	0,104411384
22504	500	90,1	87,4374256	-0,029551325	0,000873281
				BRM	EQRM
				0,087432261	0,131422347

Estimation des quantiles de débits extrêmes estivaux-automnaux avec l'ACC-RM associée aux débits spécifiques et au facteur de correction régional (T=100)

Station	BV	Locale	Régionale	Erreur relative	Erreur relative quadratique
51004	1,2	0,9	0,915941278	0,017712531	0,000313734
51007	3,6	3,6	2,591746674	-0,280070368	0,078439411
51002	3,9	2,4	3,059933324	0,274972218	0,075609721
51003	9,2	7,4	6,947482012	-0,061151079	0,003739455
40212	39,9	16,3	12,02552775	-0,262237561	0,068768538
51006	58,8	45,5	33,15588267	-0,271299282	0,0736033
30335	59,3	12,8	30,33646039	1,370035968	1,876998554
40129	109	36,3	40,27130284	0,109402282	0,011968859
30309	139	38,9	57,65466285	0,482125009	0,232444524
40115	163	49,8	54,80823427	0,100566953	0,010113712
30242	190	100,4	93,81736811	-0,065564063	0,004298646
021701/021702	208	50,25	87,79566807	0,747177474	0,558274178
30314	210	125,8	115,0564693	-0,085401675	0,007293446
31401	218	87,17	84,25322211	-0,0334608	0,001119625
24013	227	101,98	99,28650347	-0,026412008	0,000697594
51005	269	183,02	147,141778	-0,196034434	0,038429499
30340	271	101,82	110,8640932	0,088824329	0,007889761
30415	309	170,86	115,1198915	-0,326232638	0,106427734
30316	316	137,01	99,12695677	-0,276498381	0,076451355
30421	345	63,35	121,7034622	0,921128054	0,848476891
23701	356	215,27	139,019716	-0,354207665	0,12546307
30420	404	149,26	166,8757571	0,118020616	0,013928866
21915	494	53,59	137,7684	1,570785594	2,467367383
61022	495	237,09	228,8515729	-0,0347481	0,00120743
22504	500	174,83	188,0293904	0,075498429	0,005700013
				BRM	EQRM
				0,144117256	0,267801012