

**RAPPORT ~~FINAL~~ POUR LE PROJET PARDE**  
*synthèse*

DÉVELOPPEMENT D'UN MODÈLE HYDROLOGIQUE  
VISANT L'ESTIMATION DES DÉBITS D'ÉTIAGE  
POUR LE QUÉBEC HABITÉ

NOVEMBRE 2005

RAPPORT DE RECHERCHE N° 684-S



# **RAPPORT SYNTHÈSE POUR LE PROJET PARDE**

## **DÉVELOPPEMENT D'UN MODÈLE HYDROLOGIQUE VISANT L'ESTIMATION DES DÉBITS D'ÉTIAGE POUR LE QUÉBEC HABITÉ**

*Rapport préparé à l'attention de :*

**Madame Marthe Côté**  
Coordination des programmes d'aide à la recherche  
Direction des affaires intergouvernementales et des études économiques

Ministère de l'Environnement  
675, boul. René-Lévesque Est  
29e étage, boîte 97  
Québec (Québec) G1R 5V7

*par:*

**Taha B.M.J. Ouarda**  
**Véronique Jourdain**  
**Nicolas Gignac**  
**Hugo Gingras**  
**Edgar Herrera**  
**Bernard Bobée**

Chaire de recherche du Canada en estimation des variables hydrologiques,  
INRS-ETE, 490, de la Couronne, Québec(Québec), G1K 9A9

Novembre 2005



## **ÉQUIPE DE RECHERCHE**

ONT PARTICIPÉ À LA RÉALISATION DE CETTE ÉTUDE :

**Chaire en Hydrologie Statistique**

**Institut National de la Recherche Scientifique, INRS-ETE**

---

Taha B.M.J. Ouarda

Véronique Jourdain

Nicolas Gignac

Hugo Gingras

Edgar Herrera

Karem Chokmani

Aziz Kouider

Bernard Bobée

**Ministère de l'Environnement du Québec**

---

Van Diem Hoang

William Larouche

André Thibault

Lucie Wilson



# TABLE DES MATIÈRES

---

Table des matières.....	iii
1. <i>Problématique</i> .....	1
2. <i>Choix des stations</i> .....	2
3. <i>Phase I : Analyse fréquentielle locale</i> .....	3
4. <i>Phase II : Comparaison de diverses approches de régionalisation pour les débits d'étiage</i> .....	5
5. <i>Phase III : Développement de l'outil géomatique (ARIDE)</i> .....	6
6. <i>Conclusions</i> .....	7
7. <i>Recommandations</i> .....	8
8. <i>Références</i> .....	9



# **SOMMAIRE DU RAPPORT FINAL POUR LE PROJET PARDE CONCERNANT LA RÉGIONALISATION DES DÉBITS D'ÉTIAGE DU QUÉBEC HABITÉ**

---

## **1. Problématique**

La compréhension de la fréquence et de la durée des débits d'étiage est critique pour la bonne gestion des ressources en eau. Les statistiques sur les débits d'étiage sont utiles spécialement dans un contexte où la conservation de l'eau est un enjeu important, de même que pour la gestion de la qualité de l'eau et des systèmes d'irrigation, pour l'analyse de l'impact des sécheresses sur les écosystèmes aquatiques et pour des fins de récréation.

En 1976, l'ASCE (*American Society of Civil Engineers*) a mis sur pied le Comité Hydrologique des Eaux Superficielles pour déterminer l'information nécessaire dans l'évaluation des débits d'étiage, ainsi que pour décrire les méthodes d'analyse et d'échantillonnage disponibles. Cependant, il existe encore une certaine ambiguïté dans la procédure d'estimation statistique des débits d'étiage, et ce, autant pour les sites jaugés que non-jaugés (Kroll et Vogel, 2002). Les méthodes proposées, dans le cadre de ce travail, sont basées sur les techniques d'analyse fréquentielle. Le tout consiste à combiner les avancées récentes et les nouvelles méthodologies en hydrologie statistique pour améliorer la capacité d'estimation des débits d'étiage. La méthodologie développée fournit une procédure avec des bases scientifiques pour estimer les statistiques des débits d'étiage dans les bassins jaugés et non jaugés du Québec.

Le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), agence du Ministère de l'Environnement du Québec (MENV), et la Chaire en Hydrologie statistique (Hydro-Québec/CRSNG/ALCAN) à l'INRS-ETE ont établi l'étude intitulée « Développement d'un modèle hydrologique visant l'estimation des débits d'étiage pour le Québec habité » dans le cadre du projet PARDE. Cet outil hydrologique/statistique permettra d'estimer les débits d'étiage pour la région du Québec habité (entre le 45e et le 55e parallèle) selon une procédure objective, rapide et efficace. Et cela autant pour des sites jaugés que pour des sites non-jaugés.

Cette étude a été divisée selon les trois volets suivants :

1. L'analyse fréquentielle locale (Herrera et al., 2003), qui consiste à estimer les débits d'étiage  $Q_{2,7}$  (minimum sur 7 jours consécutifs ayant une période de retour de 2 ans),  $Q_{10,7}$  (minimum sur 7 jours consécutifs ayant une période de retour de 10 ans) et  $Q_{5,30}$  (minimum sur 30 jours consécutifs ayant une période de retour de 5 ans). Ces estimations sont effectuées à partir du réseau des stations hydrométriques du MENV pour les périodes annuelle, estivale et hivernale.
2. La régionalisation des débits d'étiage pour les sites où l'on ne dispose pas de suffisamment d'informations en utilisant les données d'écoulement disponibles pour d'autres stations appartenant à une même région hydrologique. L'estimation des quantiles est faite en deux étapes : 1) définition et détermination des régions hydrologiquement homogènes, et 2) estimation régionale.
3. L'aspect géomatique, où l'on procède à la préparation des cartes de résultats qui permettront à l'utilisateur d'estimer les équations régionales des quantiles de débits d'étiage pour n'importe quel bassin du Québec habité.

## **2. Choix des stations**

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

Au Québec, le réseau recense des stations figurant dans la banque du Centre d'Expertise Hydrique du Québec (CEHQ) sous la tutelle du MENV. Trois critères ont été utilisés pour la sélection des stations de l'étude :

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

2. Le régime hydrologique : les stations à retenir doivent être situées sur des cours d'eau où le régime hydrologique est le plus proche possible du régime naturel ;
3. La taille des séries : pour assurer la fiabilité des études fréquentielles le nombre d'années d'observations disponibles doit être supérieur à un seuil minimal, fixé à 10 ans d'observations.

Les données des débits moyens journaliers de ces stations ont été extraites de la Banque de Données Hydriques (BDH) du MENV.

### **3. Phase I : Analyse fréquentielle locale**

Quand on dispose de suffisamment de données au site d'intérêt, il est possible d'extraire les indicateurs d'étiage à l'aide de la technique d'analyse fréquentielle. L'objectif principal de l'analyse fréquentielle en hydrologie est de relier l'amplitude des événements extrêmes à leur fréquence d'occurrence au moyen de l'utilisation de distributions de probabilité. En hydrologie, on s'intéresse généralement à l'ensemble des valeurs extrêmes au cours d'une année, telles que les crues (maximum du débit moyen quotidien par année ou par saison) et les étiages. Pour les étiages, la durée de la valeur extrême (par année ou par saison) est normalement considérée sur une période de plusieurs jours. Il est important d'utiliser des périodes plus longues si l'on souhaite observer les impacts des faibles débits sur des phénomènes observables seulement après plusieurs jours, tel que l'effet sur les poissons (Loganathan et al., 1985) ou sur la gestion des eaux de déchets vers les eaux superficielles (Ries III et Friesz, 2000).

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

étudiées, les quantiles correspondants aux périodes de retour d'intérêt identifiées par le MENV, soit 2, 5 et 10 ans.

L'estimation de ces quantiles s'est faite selon l'approche suivante :

1. caractérisation des échantillons (détermination de l'information apportée sur la valeur centrale, la dispersion, la forme et la concentration) ;
2. tests d'hypothèses sur les séries de données (stationnarité, indépendance et homogénéité);
3. ajustement de différentes distributions statistiques ;
4. estimation des paramètres de chaque distribution ;
5. choix de la meilleure loi ajustée aux données ;
6. estimation des quantiles correspondants aux périodes de retour identifiées.

Les quantiles pour les périodes annuelle, hivernale et estivale considérés dans la présente étude sont :

- $Q_{10,7}$ , qui correspond au minimum sur 7 jours consécutifs ayant une période de retour de 10 ans ;
- $Q_{2,7}$ , qui correspond au minimum sur 7 jours consécutifs ayant une période de retour de 2 ans ;
- $Q_{5,30}$ , qui correspond au minimum sur 30 jours consécutifs ayant une période de retour de 5 ans.

La description détaillée des résultats obtenus lors de cette phase du projet a été consignée par Herrera et al. (2003).

## **4. Phase II : Comparaison de diverses approches de régionalisation pour les débits d'étiage**

La régionalisation permet le transfert de l'information disponible à l'intérieur d'une région hydrologiquement homogène vers des sites partiellement jaugés ou non-jaugés. Dans le cas des étiages, la méthode régionale proposée a comme but ultime l'obtention d'une estimation de débits  $Q_{T,d}$  de durée  $d$  jours et de période de retour  $T$  pour des sites cibles où les données hydrométriques sont insuffisantes ou pour lesquels aucune mesure de débit n'existe.

Les principales étapes de la méthode d'analyse régionale sont les suivantes :

1. détermination des stations hydrométriques jaugées qui seront étudiées et construction de la base de données physiographiques et météorologiques de référence ;
2. identification des variables physiographiques et météorologiques indépendantes permettant de discriminer les groupes de stations homogènes ;
3. délimitation et détermination des groupes de stations homogènes ayant un comportement hydrologique semblable ;
4. application d'une technique d'estimation régionale ;
5. production d'équations régionales, utilisant la relation entre les variables physiographiques et météorologiques et les débits pour toutes les durées et les périodes de retour d'intérêt ;
6. application de la méthodologie aux stations non-jaugées.

Une méthode de régionalisation complète des étiages, la méthode des L-moments, a tout d'abord été présentée. Ensuite, deux méthodes de détermination des régions homogènes ont été considérées, soit la classification ascendante hiérarchique et l'analyse canonique des corrélations (ACC). Dans le but d'effectuer une analyse régionale complète, ces deux méthodes ont été combinées à la régression multiple, technique permettant d'obtenir les estimations régionales.

Les fondements théoriques de ces trois approches de régionalisation, de même que la comparaison de leur performance respective lorsque appliquées à la base de données du MENV

est reportée par Ouarda et al. (2005). Brièvement, on y constate que l'approche par ACC se révèle généralement supérieure à l'approche par classification, tandis que l'approche basée sur les L-moments n'a pas pu conduire à des résultats satisfaisants au niveau des regroupements de stations.

## **5. Phase III : Développement de l'outil géomatique (ARIDE)**

Les données cartographiques (réseau hydrographique, précipitation, occupation 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 de traitement et d'analyse d'un système d'information géographique (SIG). Le SIG est un outil de gestion des données à référence spatiale lié à un concept de géographie informatisée du territoire. Le SIG permet, entre autres, l'intégration (plans, cartes, images), le stockage (base de données), la compilation (classification, interprétation), la modélisation (simulation, création de modèle), l'analyse (topologique, métrique, statistique) et la diffusion (cartographie, diffusion simultanée dans Internet) de l'information géographique (Thériault, 1994). D'autre part, l'exploitation de l'information cartographique 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 continu 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 spatiale des impacts éventuels et de lui permettre une meilleure évaluation des actions à prendre face à de futurs cas extrêmes (ex. débits d'étiage).

C'est dans cet esprit qu'un outil de régionalisation des étiages exploitant les capacités d'un SIG a été délivré au CEHQ. Dénommé ARIDE (pour Analyse Régionale Intégrée des Débits d'Étiage), cet utilitaire a été développé dans l'environnement ArcGIS 9 et permet d'effectuer une étude régionale complète des débits d'étiage pour n'importe quel site non jaugé situé sur un cours d'eau

de la partie habitée du Québec (i.e. au sud du 55<sup>ème</sup> parallèle). Un guide de l'utilisateur du logiciel ARIDE est inclus en annexe dans le rapport final du projet (Ouarda et al., 2005).

## 6. Conclusions

Les résultats obtenus dans le cadre de ce projet PARDE d'estimation régionale des débits d'étiage pour le Québec habité ont permis d'en arriver aux conclusions suivantes:

- La méthode de régionalisation des étiages combinant la classification ascendante hiérarchique et la régression multiple (CAH-RM) conduit à des résultats acceptables. Cependant, la méthode de régionalisation faisant plutôt appel à l'analyse canonique des corrélations combinée à la régression multiple (ACC-RM) permet d'obtenir des estimations plus précises.
- L'approche par ACC pour la détermination des régions homogènes est donc à privilégier par rapport aux approches par la CAH et par les L-moments, cette dernière se révélant d'ailleurs plutôt inappropriée pour la régionalisation des débits d'étiage au Québec.
- L'utilisation d'une variable de température (NJH27) et d'une variable caractérisant les propriétés du sol (NCM) permet d'améliorer les estimations des débits d'étiage pour les périodes annuelle et estivale.
- La méthodologie de régionalisation découlant de la combinaison ACC-RM est celle qui a été implantée dans l'outil géomatique développé pour l'estimation des débits d'étiage pour le Québec habité.
- De plus, contrairement à ce qui avait été constaté lors de l'étude de la régionalisation des crues (Gignac et al., 2003), les débits d'étiage ne semblent pas être influencés outre mesure par la taille du bassin versant.
- La base cartographique utilisée dans ce projet a une précision au-delà du 1 : 1 000 000, donc si le MENV détient d'autres données spatiales plus précises, il pourra dans le futur les remplacer aux données présentement utilisées. Or une mise à jour de la base cartographique vers une échelle de 1 : 100 000 a été complétée à l'automne 2004 par Nicolas Gignac. Un compte-

rendu détaillé de cette mise à jour est d'ailleurs présentée à l'Annexe 11 du rapport final du projet (Ouarda et al., 2005).

- L'application de la méthode développée dans ce rapport peut être utilisée sans les outils de géomatique, cependant les résultats obtenus de cette façon seront évidemment nettement différents et la consistance dans les estimations risquent d'en être affectée sérieusement. Une application dans Internet pourrait évidemment régler ce problème. Par exemple, un usager voulant connaître sa valeur d'étiage critique pourrait n'avoir qu'à cliquer sur une carte, disponible par l'entremise d'un site web, à l'endroit qui l'intéresse et ainsi obtenir une estimation régionale retransmise par voie Internet sécurisée, sans toutefois bénéficier d'outils de géomatique sur son poste de travail.
- Le format de données utilisé dans le cadre de ce projet pourra facilement s'intégrer dans le système d'information du MENV.
- Une période d'intégration devra être planifiée pour tester l'outil de régionalisation des débits d'étiages dans le SIG du CEHQ.
- L'outil de régionalisation des débits d'étiage créé dans le cadre de ce projet présente quelques limites, soit le nombre de variables explicatives utilisées, la précision des données (résolution de 1km → 100 m) ainsi que la qualité des données utilisées.
- Bien que de bons résultats d'estimation aient été obtenus, il est fortement conseiller de toujours procéder à la validation de ces derniers et de s'assurer de bien connaître les caractéristiques du site à l'étude, et ce, dans le but d'éviter de mauvaises interprétations des résultats.

## **7. Recommandations**

Quelques recommandations ont par ailleurs été établies dans le but d'assurer une bonne gestion en ce qui concerne l'estimation régionale des débits d'étiage:

- Parmi les stations problématiques supprimées de la base de données, plusieurs font parties des régions hydrographiques 02 et 03. Il est donc impératif d'être prudent lors du calcul des estimations pour des cours d'eau provenant de ces régions du Québec.
- Il serait intéressant d'approfondir l'utilisation de variables caractérisant le sol en ce qui concerne l'étude des étiages. La variable utilisée dans ce projet (NCM) a permis l'amélioration des résultats, mais il existe peut-être un indice de sol plus approprié qui permettrait d'expliquer encore mieux la variabilité des débits d'étiage.
- Ne pas perdre de vue qu'afin d'interpréter correctement et de bien utiliser les estimations découlant de la méthodologie développée dans cette étude, il est important de rester conscient des limites de cette approche (résultat d'apport naturel uniquement, altération des débits par les infrastructures humaines, limites de la base de données cartographique, etc.).
- Assurer la mise à jour continuelle de l'information et enrichir la base de données pour que le système ne demeure pas statique. Entre autres, l'acquisition de données supplémentaires pour les bassins frontaliers de même que l'ajout d'un plus grand nombre de stations jaugées de petite superficie seraient des initiatives particulièrement bénéfiques à l'amélioration de la qualité des estimations régionales obtenues avec ARIDE.
- Il serait aussi intéressant d'utiliser des cartes interactives à travers un réseau Intranet étendu permettant la localisation du site cible et la production d'estimations régionales. Cela pourrait être une stratégie très enrichissante pour les demandes externes en régionalisation.

## 8. Références

Gignac, N., T.B.M.J. Ouarda, K. Chokmani, H. Gingras, B. Bobée, 2003 : Régionalisation et cartographie des crues. INRS-ETE, Rapport de recherche No R-636-f1.

Herrera, E., T.B.M.J. Ouarda, H. Gingras et B. Bobée, 2003 : Rapport d'étape pour le projet PARDE – Développement d'un modèle hydrologique visant l'estimation des débits d'étiage pour le Québec habité. INRS-ETE, Rapport de recherche No R-684-e1.

Kroll, C.N. et M. Voxel, 2002 : Probability distribution of low streamflow series in the United States. *J. Hydrologic Eng.*, **7(2)**, 137-146.

Loganathan, G.V., P. Mattejat, C.Y. Kuo et M.H. Diskin, 1986 : Frequency analysis of low flows : hypothetical distribution methods and a physically based approach. *Nordic Hydrology*, **17**, 129-150.

Ouarda, T.B.M.J., V. Jourdain, N. Gignac, H. Gingras, E. Herrera et B. Bobée, 2005 : Rapport final pour le projet PARDE – Développement d’un modèle hydrologique visant l’estimation des débits d’étiage pour le Québec habité. INRS-ETE, Rapport de recherche No R-684-F1.

Ries III, K.G. et P.J. Friesz, 2000 : Methods for estimating low-flow statistics for Massachusetts streams. USGS, Water-Resources Investigations Report 00-4135.

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