

Université du Québec
INRS-ETE

ÉVALUATION D'UN INDICE DE PRESSION SUR
LES APPROVISIONNEMENTS MUNICIPAUX EN EAU POTABLE AU QUÉBEC
À L'AIDE D'UNE MÉTHODE DE RÉGIONALISATION DES DÉBITS D'ÉTIAGE

Par
Joëlle Bérubé, ing. jr

Mémoire
Présenté pour l'obtention
du grade de Maître ès sciences (M.Sc.)

Jury d'évaluation

Examineur externe	Jean-François Cyr, CEHQ
Examineur interne	Taha B.M.J. Ouarda, INRS-ETE
Directeur de recherche	Alain Mailhot, INRS-ETE
Codirecteur de recherche	Alain N. Rousseau, INRS-ETE

RÉSUMÉ

Dans un contexte de changements climatiques, il est primordial de se soucier de la question de l'approvisionnement en eau potable. Avant toutefois de s'intéresser aux possibles impacts que les changements climatiques auront sur la disponibilité de la ressource en eau, il importe d'identifier les systèmes municipaux d'approvisionnement qui, historiquement au Québec, ont été les plus sujets aux pénuries. L'identification de ces systèmes, dont les situations problématiques risquent de se trouver amplifiées, représente l'amorce d'un processus visant à mettre en place des stratégies d'adaptation et à maintenir un niveau d'approvisionnement adéquat. Dans ce but, une analyse de la pression exercée historiquement sur de nombreux systèmes municipaux d'approvisionnement du sud du Québec a été effectuée.

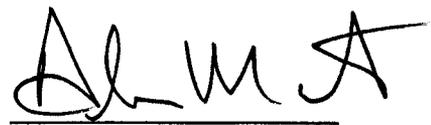
La pression sur les systèmes d'approvisionnement du Québec a été évaluée en classant d'abord 122 systèmes selon le rapport de l'aire du bassin versant de leur prise d'eau de surface sur la population desservie. Ces systèmes avaient été retenus d'un bilan détaillé des approvisionnements en eau au Québec contenant 316 systèmes, une fois éliminés ceux pour lesquels les données étaient incomplètes ou ne répondaient pas aux critères de sélection prescrits. Les 46 systèmes présentant le plus faible rapport de la superficie de bassin versant de leur prise d'eau sur la population ont été considérés pour le calcul des quantiles d'étiage. Les quantiles d'étiage $Q_{2,7}$ (débit d'étiage moyen 7 jours ayant une période de retour de 2 ans) et $Q_{10,7}$ (débit d'étiage moyen 7 jours ayant une période de retour de 10 ans) ont été obtenus en utilisant la méthode d'analyse régionale du logiciel ARIDE. Finalement, un indice de pression a été évalué pour les 46 systèmes d'approvisionnement retenus en comparant les quantiles d'étiage ($Q_{2,7}$ et $Q_{10,7}$) avec les volumes d'eau moyens distribués (ci-après noté Distribution). On dénombre sept systèmes dont le rapport $Q_{2,7} / \text{Distribution}$ est inférieur à 1 et qui subissent donc une pression considérable.

L'approche proposée permet l'identification des systèmes subissant la pression la plus élevée ainsi qu'une première estimation de la vulnérabilité globale des systèmes face aux situations problématiques d'approvisionnement. La suite du projet s'oriente vers l'intégration des impacts des changements climatiques sur le régime hydrologique des cours d'eau où s'approvisionnent les municipalités. Dans le cadre de l'étude, la pression sur les systèmes s'approvisionnant dans

l'axe du fleuve Saint-Laurent n'a pas été analysée en raison du caractère très régularisé de ce cours d'eau.



Joëlle Bérubé
Étudiante



Alain Mailhot
Directeur de recherche

REMERCIEMENTS

En préambule à ce mémoire, je souhaite adresser ici tous mes remerciements aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont ainsi contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Je tiens à remercier mon directeur de recherche, le professeur Alain Mailhot pour l'aide et le temps qu'il a bien voulu me consacrer. Il a toujours su bien m'orienter dans la réalisation de mon projet. Je remercie également mon co-directeur, le professeur Alain N. Rousseau pour sa disponibilité.

J'exprime ma gratitude à Ève Nantel pour sa précieuse collaboration. Je remercie également Taha B.M.J. Ouarda, André Saint-Hilaire, Zeljka Ristic Rudolf et Hugo Gingras de l'équipe d'hydrologie statistique de l'INRS pour leur soutien technique à l'utilisation du logiciel ARIDE. Je remercie Diane Tremblay pour son aide à la mise en page. J'exprime toute ma reconnaissance à mes supérieurs au Centre d'expertise hydrique du Québec de m'avoir accordé du temps pour terminer ma maîtrise, et à mes collègues de travail de m'avoir encouragée et supportée. Je remercie Marie-Lise Paquin qui a réalisé la dernière figure de ce document. Je souhaite également remercier les membres du jury d'avoir accepté de réviser ce mémoire.

Finalement, merci à mes proches, à mes amis et en particulier à mon conjoint qui m'ont appuyée tout au long de mes études.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	1
1.1 MÉTHODE	2
1.1.1 Hypothèses	3
2. REVUE DE LITTÉRATURE	5
2.1 SÉCHERESSE	5
2.2 DÉBITS D'ÉTIAGE ET QUANTILES	6
2.3 OCCURRENCE DE SÉCHERESSES AU CANADA.....	7
2.4 CHANGEMENTS CLIMATIQUES	8
2.4.1 Tendances historiques	8
2.4.2 Changements climatiques anticipés.....	10
2.4.3 Impacts des changements climatiques sur les eaux de surface.....	11
2.4.4 Impacts des changements climatiques sur les eaux souterraines.....	13
2.5 VOLUMES D'EAU DISTRIBUÉS	14
2.5.1 Demande actuelle	14
2.5.2 Variations futures de la demande	17
2.6 VULNÉRABILITÉ	19
2.7 TRAVAUX ANTÉRIEURS SUR LA VULNÉRABILITÉ DES APPROVISIONNEMENTS MUNICIPAUX.....	20
2.7.1 Étude de Kulshreshtha (1998)	21
2.7.2 Étude de Hurd et al. (1999).....	21
2.7.3 Groupe de travail sur la consommation et la demande d'eau (depuis 2000)	23
2.7.4 Étude de Cohen et Kulkami (2001).....	23
2.7.5 Étude de Fowler et al. (2003).....	24
2.7.6 Étude de Kreutzwiser et al. (2003).....	25
2.7.7 Étude de Cyr et Turcotte (2006).....	25
2.8 CONCLUSION – INDICE DE PRESSION	26
3. INVENTAIRE DES SYSTÈMES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU	27
3.1 DONNÉES DISPONIBLES.....	27
3.2 PREMIÈRE SÉLECTION DES SYSTÈMES D'APPROVISIONNEMENT	29
4. ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES SYSTÈMES	31
4.1 DÉTERMINATION DE LA SURFACE DU BASSIN VERSANT AUX SITES D'APPROVISIONNEMENT	31
4.2 ÉVALUATION DE LA PRESSION RELATIVE SUR LES SYSTÈMES	32

5. ESTIMATION DES QUANTILES D'ÉTIAGE.....	39
5.1 ANALYSE FRÉQUENTIELLE LOCALE.....	39
5.1.1 <i>Caractérisation des séries de données enregistrées aux stations</i>	39
5.1.2 <i>Tests d'hypothèses sur les séries de données</i>	40
5.1.3 <i>Ajustement de différentes distributions de probabilité</i>	41
5.1.4 <i>Choix de la meilleure loi ajustée aux données</i>	41
5.1.5 <i>Estimation des quantiles</i>	42
5.2 ANALYSE HYDROLOGIQUE RÉGIONALE	43
5.2.1 <i>Identification des voisinages hydrologiques homogènes</i>	43
5.2.2 <i>Estimation régionale</i>	45
5.3 LOGICIEL ARIDE	46
5.3.1 <i>Validation des résultats fournis par ARIDE</i>	47
5.4 CALCUL DES QUANTILES D'ÉTIAGE	49
6. INDICE DE PRESSION SUR LES SYSTÈMES D'APPROVISIONNEMENT	53
7. CONCLUSION	61
7.1 RECOMMANDATIONS POUR LES TRAVAUX FUTURS	62
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	65
ANNEXE A : Portrait actuel des systèmes d'approvisionnement municipaux en eau au Québec...73	
ANNEXE B : Pression relative sur 122 systèmes d'approvisionnement municipaux en eau du Québec.....	93

LISTE DES FIGURES

FIGURE 2.1 PRÉCIPITATIONS TOTALES MENSUELLES MESURÉES À QUÉBEC (AÉROPORT JEAN-LESAGE) EN 2002 ET PRÉCIPITATIONS MOYENNES	8
FIGURE 2.2 UTILISATION ET DISPONIBILITÉ DE L'EAU, PAR AIRE DE DRAINAGE.....	16
FIGURE 3.1 LOCALISATION DES PRISES D'EAU CONSIDÉRÉES DANS LA PRÉSENTE ÉTUDE.....	28
FIGURE 3.2 CARTE DES RÉGIONS HYDROGRAPHIQUES DU QUÉBEC	29
FIGURE 4.1 SUPERFICIE DU BASSIN VERSANT ET POPULATION DESSERVIE PAR LES PRISES D'EAU DES SYSTÈMES D'APPROVISIONNEMENT À L'ÉTUDE.....	33
FIGURE 4.2 RAPPORT DE L'AIRES DU BASSIN VERSANT (BV) SUR LA POPULATION DESSERVIE (POP)	34
FIGURE 4.3 PROBABILITÉ AU NON-DÉPASSEMENT DU RAPPORT BV/POP POUR LES 122 SYSTÈMES.....	35
FIGURE 5.1 QUANTILES LOCAUX ET QUANTILES RÉGIONAUX ESTIMÉS PAR ARIDE.....	48
FIGURE 6.1 RAPPORT DU $Q_{2,7}$ SUR LA DISTRIBUTION POUR LES SYSTÈMES D'APPROVISIONNEMENT.....	56
FIGURE 6.2 PROBABILITÉ AU NON-DÉPASSEMENT DU RAPPORT $Q_{2,7}$ / DISTRIBUTION POUR LES 46 SYSTÈMES.....	56
FIGURE 6.3 RAPPORT DU $Q_{10,7}$ SUR LA DISTRIBUTION POUR LES SYSTÈMES D'APPROVISIONNEMENT	57
FIGURE 6.4 PROBABILITÉ AU NON-DÉPASSEMENT DU RAPPORT $Q_{10,7}$ / DISTRIBUTION POUR LES 46 SYSTÈMES....	57
FIGURE 6.5 LOCALISATION ET INDICE DE PRESSION DES SYSTÈMES ÉTUDIÉS	58

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 2.1 APPROVISIONNEMENT EN EAU AU QUÉBEC : SOURCES ET USAGERS.....	15
TABLEAU 2.2 INDICATEURS DE VULNÉRABILITÉ DES RESSOURCES EN EAU - APPROVISIONNEMENT EN EAU, DISTRIBUTION ET CONSOMMATION.....	22
TABLEAU 2.3 INDICATEURS DE VULNÉRABILITÉ DES RESSOURCES EN EAU – USAGES SUR PLACE, QUALITÉ DE L’EAU ET MAINTIEN DE L’ÉCOSYÈME	22
TABLEAU 4.1 SYSTÈMES D’APPROVISIONNEMENT ÉTUDIÉS.....	36
TABLEAU 5.1 QUANTILES LOCAUX ET QUANTILES RÉGIONAUX ESTIMÉS PAR ARIDE	47
TABLEAU 5.2 COMPARAISON ENTRE QUANTILES LOCAUX ET QUANTILES RÉGIONAUX ESTIMÉS PAR ARIDE	48
TABLEAU 5.3 QUANTILES D’ÉTIAGES AUX PRISES D’EAU DES SYSTÈMES ÉTUDIÉS	49
TABLEAU 6.1 INDICES DE PRESSION SUR LES SYSTÈMES ÉTUDIÉS	54

1. INTRODUCTION

L'abondance de la ressource en eau du Québec fait l'envie du monde entier. En effet, l'eau douce couvre plus de 10% du territoire de la province et représente 3% des ressources mondiales d'eau renouvelable (Delisle, 1998). Les ressources en eau douce constituent d'ailleurs un pilier socio-économique de la société québécoise et le taux de consommation figure parmi les plus élevés de la planète. Mais, malgré cette relative abondance, certaines municipalités ont connu des difficultés d'approvisionnement en eau potable au cours des dernières années. Dans le contexte actuel des changements climatiques, où on pourrait potentiellement observer une diminution des débits d'étiage, il s'avère primordial de s'interroger sur la sensibilité de ces ressources, le devenir des usages et l'évolution de la demande en eau (Mailhot *et al.*, 2004).

Tout d'abord, il importe d'identifier les systèmes municipaux d'approvisionnement en eau qui, historiquement au Québec, ont été les plus sujets aux pénuries. L'identification de ces systèmes, dont les situations problématiques risquent de se trouver amplifiées sous des conditions de changements climatiques, représente l'amorce d'un processus visant à mettre en place des stratégies d'adaptation et à assurer un niveau d'approvisionnement adéquat. Ainsi, une analyse de la pression exercée historiquement sur de nombreux sites d'approvisionnement en eau de surface alimentant des réseaux d'aqueduc municipaux a été effectuée. Objectifs de recherche

1. Le premier objectif consiste à évaluer de façon préliminaire une pression relative sur les systèmes d'approvisionnement municipaux, afin d'identifier les systèmes qui seront priorisés dans la suite de l'étude.
2. Le deuxième objectif est l'estimation des quantiles d'étiage aux sites d'approvisionnement jugés prioritaires.
3. Le troisième objectif de l'étude réside dans l'évaluation des systèmes municipaux subissant la plus grande pression.

1.1 Méthode

La méthode suivie pour évaluer un indice de pression sur les approvisionnements municipaux en eau potable au Québec se divise en quatre étapes principales décrites dans les chapitres suivants.

Le chapitre 3 (première étape) consiste à effectuer une première sélection des systèmes d'approvisionnement à étudier parmi un inventaire détaillé des approvisionnements en eau au Québec. Un certain nombre de sites pour lesquels les données étaient incomplètes ou ne répondant pas aux critères de sélection prescrits ont été éliminés.

Le chapitre 4 (deuxième étape) qui répond au premier objectif de cette étude consiste à évaluer de façon préliminaire la pression relative sur les systèmes d'approvisionnement municipaux, afin d'identifier les systèmes subissant la plus grande pression qui seront priorisés dans la suite de l'étude. Pour chaque prise d'eau, la surface du bassin versant et le nombre d'usagers sont comparés. Les sites présentant le plus faible rapport de la superficie de bassin versant sur la population sont considérés pour le calcul des quantiles d'étiage.

Le chapitre 5 (troisième étape) vise à répondre au deuxième objectif et porte sur l'estimation des quantiles d'étiage aux sites d'approvisionnement jugés prioritaires. Les quantiles d'étiage $Q_{2,7}$ (débit d'étiage moyen 7 jours ayant une période de retour de 2 ans) et $Q_{10,7}$ (débit d'étiage moyen 7 jours ayant une période de retour de 10 ans) ont été obtenus en utilisant la méthode d'analyse régionale du logiciel ARIDE, basée sur les données enregistrées aux stations hydrométriques du Québec. Ils sont utilisés afin d'établir la pression exercée historiquement sur les réseaux de distribution.

Finalement, le chapitre 6 (quatrième étape) qui consiste à répondre au troisième objectif présente l'identification des systèmes municipaux subissant la plus grande pression. Des indices de pression sont attribués aux systèmes retenus en comparant les quantiles d'étiage des prises d'eau avec les volumes d'eau moyens distribués dans les réseaux d'aqueduc.

1.1.1 Hypothèses

Les approvisionnements en eau potable du Québec ont été étudiés dans la mesure où les données étaient disponibles. Seules les prises d'eau alimentant des réseaux d'aqueduc municipaux ont donc été considérées. Les sites d'approvisionnement destinés aux usages agricoles et industriels n'ont pas été pris en compte. Les réseaux de distribution municipaux desservent environ 86% de la population québécoise, le reste s'approvisionnant à partir d'une installation individuelle de captage (MDDEP, 2006). Parmi les réseaux municipaux, les systèmes alimentés uniquement par de l'eau souterraine n'ont pas pu être étudiés, dû au peu de données disponibles sur le renouvellement de cette ressource. Finalement, les approvisionnements analysés sont des systèmes municipaux alimentés par de l'eau de surface ou par une combinaison d'eau de surface et d'eau souterraine. Dans ce dernier cas, seule la composante d'eau de surface a pu être évaluée et l'apport en eau souterraine a été supposé nul.

La pression sur les approvisionnements situés dans l'axe du fleuve Saint-Laurent n'a pas été analysée en raison du caractère fortement régularisé de ce cours d'eau et de la nature particulière de la problématique liée aux changements climatiques (problème de profondeur des ouvrages de captage).

De plus, la préservation d'un débit écologique en rivière, qui augmenterait la pression sur les réseaux, n'a pas été prise en compte.

Aux fins de la présente étude, on considère le volume d'eau total distribué dans un réseau, incluant les fuites. Les notions de demande et de consommation d'eau ne sont pas utilisées car elles ne tiennent pas compte du volume total prélevé du cours d'eau tenant lieu de source d'approvisionnement.

2. REVUE DE LITTÉRATURE

Afin d'étudier la pression exercée sur les approvisionnements municipaux en eau potable du Québec, il importe de faire un état des connaissances relativement aux sécheresses, aux changements climatiques, à la consommation d'eau au Québec, à la notion de vulnérabilité et aux travaux antérieurs réalisés sur le sujet.

2.1 Sécheresse

Il n'existe pas de définition précise universelle de la notion de sécheresse. Évidemment, contrairement à l'aridité, la sécheresse est un phénomène temporaire caractérisé par une divergence avec les conditions normales. Les scientifiques s'entendent sur différentes définitions. Celle de Beran et Rodier (1985) en est un exemple : « La principale caractéristique d'une sécheresse est la diminution de la disponibilité de l'eau pendant une certaine période dans une certaine région » (traduction de l'auteure). Puisqu'un évènement de sécheresse peut affecter un grand nombre d'activités de la société, plusieurs autres définitions sont également possibles (Wilhite et Glantz, 1985). Les facteurs qui influencent le choix d'une définition sont, entre autres, le problème particulier à l'étude, la disponibilité des données ainsi que les caractéristiques climatiques et régionales. Wilhite et Glantz (1985) ont ainsi recensé plus de 150 définitions de la sécheresse.

Dans un rapport technique pour le projet intitulé « Assesment of the Regional Impact of Droughts in Europe (ARIDE) », Hisdal et Tallaksen (2000) présentent différents systèmes de classification des évènements de sécheresse. Ils distinguent entre autres les sécheresses à caractère local et les sécheresses régionales. Les sécheresses locales comprennent les sécheresses météorologiques (périodes de faible précipitation), les sécheresses hydrologiques en eau de surface (conditions de faible débit), les sécheresses hydrologiques en eau souterraine (abaissement de la nappe phréatique) et les sécheresses socio-économiques (les volumes d'eau disponibles ne suffisent pas à combler la demande, les causes étant d'origine hydrologique et humaine).

2.2 Débits d'étiage et quantiles

Une sécheresse implique habituellement une période d'étiage. Un étiage se définit comme étant « le niveau minimal atteint par un cours d'eau en période sèche » (Grand dictionnaire terminologique, 2006). Il est normalement alimenté par des écoulements des eaux souterraines ou des eaux superficielles des lacs, des marécages ou de la fonte glacière. En hydrologie, l'étiage est caractérisé par l'amplitude, la durée, la variabilité des débits et le taux d'épuisement de l'écoulement fluvial (Herrera *et al.*, 2003). Au Québec, on peut identifier deux saisons d'étiage. La première se produit à la fin de l'hiver, lorsque le principal apport à l'écoulement provient des eaux souterraines, car la couverture de neige permet peu d'apports de surface. La deuxième survient pendant l'été ou l'automne, principalement à cause de la rareté des précipitations (Herrera *et al.*, 2003) ainsi que de la faible contribution à l'écoulement des eaux souterraines, la teneur en eau des sols étant réduite à cette période de l'année.

Des indices statistiques sont utilisés pour caractériser les étiages, il s'agit des quantiles d'étiage. Les quantiles d'étiages fournissent deux informations pour un emplacement donné sur un cours d'eau : le débit minimum moyen sur un certain nombre de jours consécutifs et la période de retour associée. Par exemple, le $Q_{2,7}$ correspond au débit minimum sur 7 jours consécutifs ayant une période de retour de 2 ans (probabilité d'occurrence annuelle de 0,5). Il est important de mentionner que la période de retour est une récurrence moyenne sur une longue période de temps, et non une récurrence fixe.

Le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP) se base sur le $Q_{2,7}$ pour déterminer le débit pouvant être prélevé d'une source d'eau de surface non régularisée (MENV, 2004). Aussi, le MDDEP utilise, selon les effets évalués, le $Q_{10,7}$, le $Q_{30,5}$ ou le $Q_{2,7}$ dans les calculs visant à éviter le dépassement des critères de qualité de l'eau dans les cas de rejets de contaminants (MENV, 2001). Dans l'ensemble de la littérature, les quantiles les plus utilisés sont le $Q_{10,7}$ et le $Q_{2,7}$, respectivement (Pyrce, 2004). Le $Q_{10,7}$ est largement employé dans les études de protection de la qualité de l'eau aux sites de rejet d'eaux usées, de charge en polluants permise et de protection des habitats aquatiques. Les autres quantiles les plus utilisés sont le $Q_{20,7}$, le $Q_{10,1}$ et le $Q_{10,30}$. Le ministère des Ressources naturelles de l'Ontario utilise généralement le $Q_{10,7}$, le $Q_{2,7}$ et le $Q_{20,7}$ pour le maintien des habitats aquatiques, tandis que le ministère de l'Environnement de l'Ontario les utilise pour des

conditions limites ou la conception en lien avec des rejets d'eaux usées ou des prises d'eau (Pyrce, 2004).

2.3 Occurrence de sécheresses au Canada

Bien que le Canada possède d'abondantes ressources en eau, celle-ci n'est pas répartie uniformément sur le territoire et sa disponibilité varie d'une année à l'autre et de saison en saison (Ressources naturelles Canada, 2004a). Parfois, des pénuries d'eau surviennent suite à une période de sécheresse. Par exemple, la sécheresse qui a sévi en 2001 sur le territoire canadien a eu des impacts économiques et sociaux considérables (Ressources naturelles Canada, 2004a). Ce fut l'été le plus sec en 54 ans pour le bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent, et Montréal a connu le mois d'avril le plus sec de son histoire avec 35 jours consécutifs sans précipitations mesurables (Ressources naturelles Canada, 2004a). La sécheresse de l'année 2001-2002 fut l'évènement climatique le plus coûteux pour le Canada, le coût ayant été estimé à 5 milliards de dollars (Ouranos, 2004). Les municipalités qui s'alimentent en eau potable à partir de la rivière des Mille-Îles ont été inquiétées à l'été 2001 et à l'automne 2002 par une baisse de la qualité de l'eau causée par une dilution moindre des charges polluantes suite aux débits très faibles (Ouranos 2004).

À l'été 2002, la ville de Québec a également connu une période difficile où le niveau de sa source, le lac Saint-Charles, a atteint un seuil critique. De fait, la saison estivale de l'année 2002 a été sèche dans la région de Québec avec seulement 144,6 mm de précipitation enregistrés durant les mois de juin, juillet et août (figure 2.1), par rapport à une moyenne de 358,7 mm pour cette période (Environnement Canada, 2004b). Au début de septembre, on pouvait constater une baisse inquiétante de plus d'un mètre par rapport à la cote normale du niveau du lac Saint-Charles, site d'approvisionnement pour quelque 240 000 habitants de la ville (Radio-Canada, 2002a). Afin d'éviter la pénurie, la Ville avait alors incité la population à économiser l'eau et avait imposé certaines restrictions sur les usages. Certains secteurs de la ville, alimentés par le lac Saint-Charles, avaient été reconnectés à des secteurs voisins, tels ceux de Sainte-Foy, de Beauport ou de Charlesbourg, qui sont alimentés par le fleuve Saint-Laurent ou la rivière Montmorency. De plus, une ancienne station de pompage avait été remise en opération au coût de 2,5 millions de dollars afin de transférer temporairement de l'eau

de la rivière Jacques-Cartier à la rivière Nelson, cette dernière étant un affluent de la rivière Saint-Charles (Radio-Canada, 2002b). Notons que le bassin versant du lac Saint-Charles est soumis à une pression considérable de $970,6 \text{ m}^3/\text{jour}/\text{km}^2$, puisqu'il s'étend sur 170 km^2 et fournit en eau potable municipale un débit moyen de $165\,000 \text{ m}^3/\text{jour}$, soit l'équivalent de 53 piscines olympiques quotidiennement.

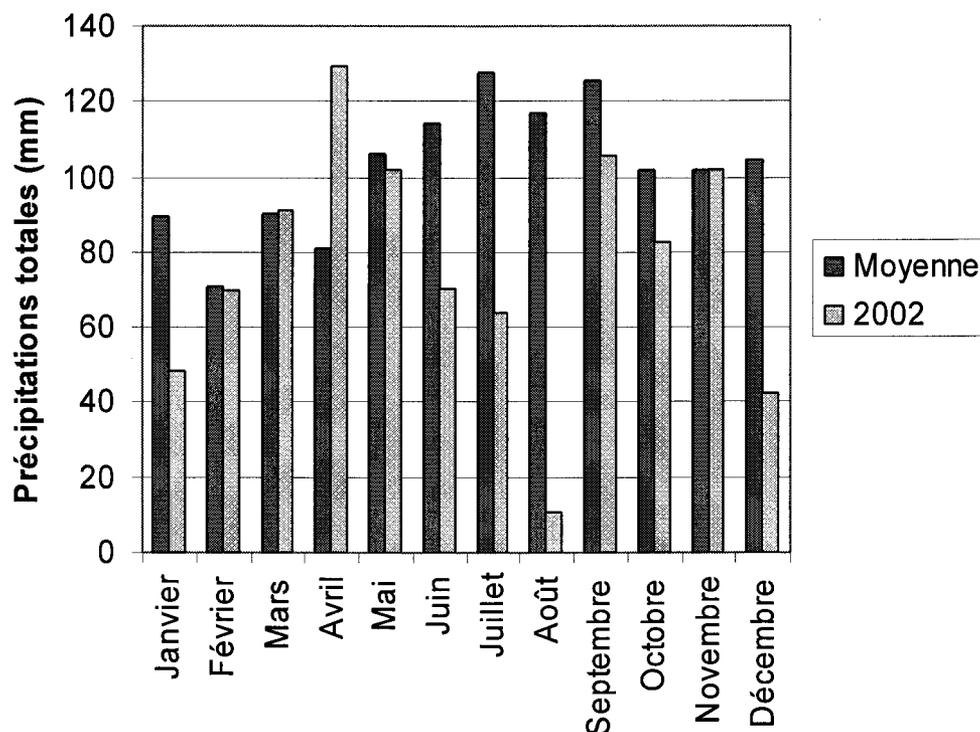


Figure 2.1 Précipitations totales mensuelles mesurées à Québec (aéroport Jean-Lesage) en 2002 et précipitations moyennes

2.4 Changements climatiques

2.4.1 Tendances historiques

Il est de plus en plus évident que des changements climatiques sont en train de se produire. À l'échelle planétaire, la moyenne des températures de surface a augmenté d'environ $0,6^\circ\text{C}$ au

cours du XX^e siècle (Ressources naturelles Canada, 2004a). Une analyse des températures globales et des précipitations extrêmes du XX^e siècle publiée par Alexander *et al.* (2006) révèle, sur plus de 70% du territoire échantillonné, une réduction significative de l'occurrence annuelle des nuits froides et une hausse significative de l'occurrence annuelle des nuits chaudes. L'ensemble des indices analysés indique un réchauffement significatif au cours du siècle, ainsi qu'une tendance vers des conditions plus humides. D'après Ouranos (2004), la couverture de neige aurait d'ailleurs diminué de 10% sur l'hémisphère Nord, depuis la fin des années 1960, alors que la durée de la couverture de glace des lacs et des rivières aurait été réduite d'environ deux semaines depuis le début du XX^e siècle.

Concernant plus spécifiquement le Canada, la température moyenne annuelle a augmenté d'environ 0,9°C et les précipitations moyennes ont augmenté de 12% au sud du pays entre 1900 et 1998 (Zhang *et al.* 2000). Aussi, une analyse des indices de précipitation pour la période 1950-2003 montre une augmentation du nombre de jours avec précipitations, une réduction de la quantité journalière moyenne de précipitations et une réduction générale du nombre maximal de jours consécutifs sans pluie (Vincent et Mékis, 2005). Entre 1900 et 2003, le nombre maximal de jours consécutifs sans pluie a même diminué d'environ 10 jours à plusieurs stations du sud du pays, ce qui concorde avec la hausse observée de la fréquence de jours avec précipitations.

Le phénomène El Niño est survenu plus fréquemment et de façon plus intense pendant les 20 à 30 dernières années. Comme El Niño est associé à des hivers plus secs et plus chauds dans la majeure partie du sud du Canada, ce phénomène pourrait avoir des effets sur les conditions de sécheresse en hiver (Shabbar *et al.*, 1997; Shabbar et Khandekar, 1996). D'ailleurs, la plupart des études de modélisation prévoient une augmentation continue des conditions de type El Niño dans un monde à concentration accrue de gaz à effet de serre (Bruce *et al.*, 2000).

Pour le Québec dans son ensemble, on observe un réchauffement allant du début du siècle jusqu'au début des années 1940, suivi d'un léger refroidissement de 1940 au milieu des années 1970 puis d'une hausse des températures assez prononcée jusqu'à aujourd'hui. Ce qui donne, pour toute la période, une augmentation moyenne totale de 0,6°C (Ouranos 2004).

2.4.2 Changements climatiques anticipés

La plupart des modèles semble indiquer que, presque partout au Canada, il y aura une diminution des précipitations en été mais une augmentation en hiver (Ressources naturelles Canada, 2004a). Cependant, les résultats de la plupart des travaux de recherche sur les impacts des changements climatiques laissent à penser que les plus importants défis seront liés à l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements climatiques extrêmes tels que les inondations, les sécheresses, les vagues de chaleur et les tempêtes (Ressources naturelles Canada, 2004a).

Par ailleurs, l'ensemble des modèles climatiques prévoit une augmentation de l'assèchement des zones situées à l'intérieur du continent en été et donc du risque de sécheresse. Le risque de sécheresse accru est attribué à une combinaison de la hausse des températures et de l'évaporation potentielle non compensées par des précipitations (GIEC, 2001). Dans son rapport « Menaces pour la disponibilité de l'eau au Canada », Environnement Canada (2004a) affirme qu'il existe une incertitude considérable sur les précipitations futures, particulièrement à l'échelle régionale et intrasaisonnaire. De plus, peu de choses sont connues sur les changements liés aux régimes de circulation de l'air à grande échelle et, puisque ces régimes ont un effet significatif sur les températures et les précipitations au Canada, l'occurrence future de sécheresses reste difficile à prédire. Environnement Canada a identifié que, pour en savoir plus sur l'occurrence de sécheresses, c'est-à-dire sur les régions probables et sur les possibilités de variation de leur fréquence, de leur durée et de leur gravité, il faut :

- des simulations climatiques plus fiables (en particulier pour les précipitations) à partir de modèles globaux et régionaux;
- de meilleures méthodes d'étude des phénomènes de sous-échelle pour l'application de données climatiques modélisées à des échelles spatiales et temporelles appropriées;
- des connaissances sur les changements qui toucheront les régimes de circulation et les oscillations de la circulation à grande échelle (ENSO, PDO, NAO, etc.).

Pour le Québec, selon divers modèles globaux de climat, il faut envisager d'ici 2100 des augmentations de température en été de 2 à 3°C dans le Sud (sous 50°N) avec des précipitations annuelles augmentant en moyenne de 0 à 5%. Dans le Nord (au-delà de 50°N), la même hausse des températures conduirait à une hausse des précipitations de 5 à 10 %. En hiver, les températures seraient plus élevées de 3 à 4°C dans le Sud avec une augmentation des précipitations de l'ordre de 10 à 20%, alors que dans le Nord, les températures augmenteraient de 4 à 5°C avec des précipitations sous forme de pluie ou de neige plus élevées de 10 à 25% (Ouranos, 2004).

2.4.3 Impacts des changements climatiques sur les eaux de surface

Il est difficile de prévoir les variations de la disponibilité de l'eau de surface. En effet, la complexité des écosystèmes naturels limite notre capacité à prévoir les changements hydrologiques à l'échelle des bassins versants. L'interaction complexe entre le climat et l'hydrologie peut être examinée selon différentes approches, notamment l'analyse statistique de données existantes, les techniques d'analogies temporelles et spatiales de climat et la modélisation de processus hydrologiques. L'utilisation d'une seule technique peut mener à des mauvaises interprétations par simplification des phénomènes par ailleurs complexes (Cohen et Kulkarni, 2001).

De manière générale, des changements dans la température et dans les précipitations peuvent vraisemblablement influencer sur l'approvisionnement en eau, en modifiant les régimes de ruissellement et d'évaporation ainsi que la quantité d'eau dans les glaciers, les lacs et les sols (Ressources naturelles Canada, 2004a). Des modifications de la fréquence et de l'ampleur des événements extrêmes ont néanmoins encore plus d'incidence sur l'hydrologie et la gestion des ressources en eau que les changements des moyennes (Environnement Canada, 1997b).

Bien que nombre de régions puissent s'attendre à des précipitations accrues, les changements climatiques pourraient mener paradoxalement dans la plupart des cas à une réduction des volumes d'eau disponibles (Schindler *et al.*, 1996). Même si les précipitations demeuraient constantes, la température plus élevée de l'air, l'allongement de la saison sans glace ni gel, ainsi que de la saison de croissance, mèneraient à une période plus longue d'évaporation et de transpiration. Selon toute évidence, le rapport évaporation/précipitation augmentera. À moins

que la hausse des températures et des taux d'évaporation s'accompagne d'augmentations importantes des précipitations, il est raisonnable de s'attendre à une baisse du niveau des lacs, de l'écoulement fluvial, des terres humides, de l'humidité du sol et des eaux souterraines (Croley, 1990; Hartmann, 1990; Marsh et Lesack, 1996; Poiani *et al.*, 1996; Sanderson et Smith, 1993 et Schindler, 1997).

Il est donc permis de penser que les problèmes de sécheresses et de qualité de l'eau deviendront plus fréquents (Ressources naturelles Canada, 2004a). Dans plusieurs régions du Canada, les changements climatiques se traduiront vraisemblablement par une diminution des débits pendant la période estivale, une élévation des températures de l'eau durant l'été et une augmentation des débits pendant l'hiver. La hausse des débits en hiver serait causée par un adoucissement des températures hivernales qui augmenterait la fréquence des dégels et des épisodes de pluie sur neige.

Durant les 30 à 50 dernières années, le débit moyen des cours d'eau a diminué dans plusieurs régions du Canada, surtout au sud et particulièrement en août et septembre (Zhang *et al.*, 2000). On prévoit que cette tendance se poursuivra sous l'effet des changements climatiques (Ressources naturelles Canada, 2004a). Plus particulièrement, on s'attend à une diminution des débits des principaux tributaires du Saint-Laurent au cours des mois de juillet à octobre, et à une augmentation durant les mois de novembre à mars (Bruce *et al.*, 2000; Environnement Canada, 1997 a,b; MENV, 2000). La diminution des débits en été pourrait augmenter la fréquence des situations problématiques pour les municipalités qui s'alimentent en eau de surface à partir de ces tributaires (Ouranos 2004).

Dans un scénario de changements climatiques suivant lequel le débit moyen du fleuve Saint-Laurent diminuerait d'environ 24%, on pourrait s'attendre à un débit annuel moyen d'un peu plus de 7000 m³/s. Une telle diminution du débit provoquerait à certains endroits une baisse du niveau qui pourrait atteindre 1 m (Morin et Bouchard, 2000). Mortsch *et al.*, (2000) rapportent quant à eux que la moyenne des débits mensuels à Montréal pourrait, par rapport à la moyenne pour la période 1900-1990, diminuer de 40% (8 200 m³/s à 5 100 m³/s), ce qui entraînerait une baisse moyenne de niveau de 1,25 m. Des problèmes d'approvisionnement pourraient alors apparaître pour certaines municipalités dont la prise d'eau, située dans le fleuve, se trouve à une profondeur insuffisante (Carrière *et al.*, 2004). Des choix pourraient devoir être faits entre

les besoins de la navigation commerciale qui requiert de plus hauts niveaux d'eau à l'automne et ceux des municipalités dont l'approvisionnement en eau est plus critique en été (Ouranos, 2004).

En ce qui concerne la qualité de l'eau, des effets indésirables du changement climatique sont à prévoir. D'une part, la réduction des débits minimaux entraînera des périodes de concentration plus élevée de toxines, de bactéries et d'algues nuisibles dans les cours d'eau. D'autre part, l'augmentation des débits et de la fréquence des inondations accentuera la turbidité de l'eau par érosion et lessivage des sols ainsi que le rejet de contaminants dans le réseau hydrographique (Ressources naturelles Canada, 2004a).

2.4.4 Impacts des changements climatiques sur les eaux souterraines

Malgré l'importance des ressources en eau souterraine, on ignore pratiquement les taux d'alimentation des nappes et on connaît mal la dynamique des eaux souterraines (Maathuis et Thorleifson, 2000). Les recherches sur les impacts des changements climatiques restent encore peu nombreuses. Dans l'étude de Rivard *et al.* (2003), la difficulté à analyser le comportement de la recharge a été mise en évidence. On a néanmoins observé, à 15 sites répartis au Québec, au Nouveau-Brunswick et à l'île-du-Prince-Édouard, que les courbes de recharge semblent être plutôt stables ou encore à la baisse depuis les dernières décennies.

Le renouvellement des eaux souterraines dépend de la recharge des nappes, qui est une résultante de la précipitation, de l'évapotranspiration et de l'écoulement de surface (Rivard *et al.*, 2003). Les changements climatiques pourraient causer une diminution de la recharge des aquifères en occasionnant un accroissement des températures et une augmentation de l'évaporation et de l'évapotranspiration. De plus, si les précipitations devenaient moins fréquentes mais plus abondantes, elles seraient moins efficaces pour reconstituer les nappes souterraines que les pluies plus longues et régulières puisqu'elles provoqueraient un fort ruissellement, le sol ne pouvant absorber qu'une certaine quantité d'eau durant une courte période (Ressources naturelles Canada, 2003b). En général, les nappes libres et peu profondes risquent d'être les plus touchées. Les aquifères profonds, quant à eux, sont moins exposés aux impacts directs des changements climatiques. Toutefois, ils risquent de faire l'objet d'une

exploitation massive si les puits peu profonds venaient à s'assécher (Maathuis et Thorleifson, 2000).

2.5 Volumes d'eau distribués

2.5.1 Demande actuelle

Même si le Canada est considéré comme possédant des ressources en eau abondantes, certains endroits ont déjà été privés d'eau pour des raisons de pénuries ou de mauvaise qualité. Une des causes fondamentales est que l'eau n'est pas toujours abondante là où on en a le plus besoin. En fait, la majorité des Canadiens, soit 90%, vivent dans une bande étroite le long de la frontière sud du pays, alors que 60% des ressources en eau se trouvent au nord de cette bande. Même à l'intérieur de la bande habitée, la population est concentrée en majeure partie dans des zones relativement petites, où les approvisionnements en eau sont soumis à de fortes sollicitations (Ressources naturelles Canada, 2004b). En 2001, 38 des 312 municipalités répondant à une enquête d'Environnement Canada, qui représentaient 24,5% de la population canadienne desservie en eau, ont signalé avoir connu des problèmes d'alimentation en eau. Le problème a été repéré soit à la source, soit à la station de traitement ou dans le réseau de distribution (Environnement Canada, 2005a). De faibles pluviométries, des bris accidentels d'infrastructures et de trop fortes demandes ponctuelles ont ainsi été à l'origine d'interdictions d'arrosage, de lavage de véhicules ou de remplissage de piscines (Rousseau *et al.*, 2004). À titre d'exemple au Québec, à l'été 2005, Gatineau secteur Aylmer (Duquette, 2005), Le Bic (Thériault, 2005), Laval (Champagne, 2005) et Shawinigan (Montminy, 2005) ont connu des situations problématiques.

L'enquête d'Environnement Canada de 2001 a révélé que le volume d'eau moyen distribué dans le secteur résidentiel au Canada a diminué en 2001 à 335 L/j/habitant, deuxième taux le plus faible depuis 1991, reprenant sa tendance à la baisse des dix dernières années qui avait été interrompue une seule fois (légère hausse en 1999). Exception faite de cette tendance positive de comportement de la société, les Canadiens se classent toujours parmi les plus

grands consommateurs d'eau des 30 pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). Pour desservir l'ensemble des secteurs municipaux, le volume d'eau total distribué dans les réseaux des municipalités est évalué à 622 L/j/habitant (Environnement Canada, 2005a).

Quant au Québec, l'eau douce couvre plus de 10% de sa superficie, ce qui représente 3% des ressources mondiales renouvelables d'eau douce (Delisle, 1998). En 2001, le volume d'eau moyen distribué a été évalué à 395 L/j/habitant pour le secteur résidentiel et à 777 L/j/habitant pour l'ensemble des secteurs municipaux (Environnement Canada, 2005a). Les prélèvements annuels s'élèvent à 4600 Mm³. Le tableau 2.1 présente un résumé des sources d'approvisionnement et des principaux usages avec prélèvements (Rousseau *et al.*, 2004). On y remarque qu'environ 80% des approvisionnements proviennent des eaux de surface et 20% des eaux souterraines. Mentionnons que le fleuve Saint-Laurent dessert à lui seul 80% de la population (Rousseau *et al.*, 2004). La moitié des eaux souterraines puisées atteint les consommateurs du secteur résidentiel par des réseaux municipaux, l'autre moitié par des puits individuels (Slivitzky, 1998).

Tableau 2.1 Approvisionnement en eau au Québec : sources et usagers (Rousseau *et al.*, 2004)

Prélèvement annuel	Sources d'approvisionnement	Usagers (Secteurs d'activités)
4600 Mm ³	45% Fleuve Saint-Laurent 35% Lacs et rivières	49% Municipal 46% Manufacturier 5% Agricole et minier
	20% Eaux souterraines	54% Consommation domestique 23% Aquaculture 16% Élevage et irrigation 7% Divers usages industriels

Les volumes d'eau distribués pour l'ensemble des secteurs municipaux québécois sont répartis de la façon suivante : 56% pour le secteur résidentiel, 25% pour les secteurs commercial et industriel et 19% de pertes en réseau (Environnement Canada, 2005a). Les pertes en réseau englobent les fuites, les utilisations non comptabilisées, notamment pour la lutte contre les incendies et le rinçage des réseaux de distribution, ainsi que les autres utilisations n'ayant pas

pu être classées dans les autres catégories. Ces volumes d'eau sont pris en compte dans le calcul des volumes distribués dans les réseaux, mais pas dans la consommation puisque les pertes ne sont pas consommées par les usagers.

Environnement Canada (2005b) a construit une carte montrant les rapports entre le volume d'eau douce de surface prélevée et le débit fluvial (figure 2.2). Ces rapports constituent une évaluation grossière de la disponibilité de l'eau pour les grands bassins versants. Selon cette carte, le sud du Québec utilise entre 10 et 20% du débit fluvial disponible, tandis que le Nord et la Gaspésie en utilisent moins de 10%.

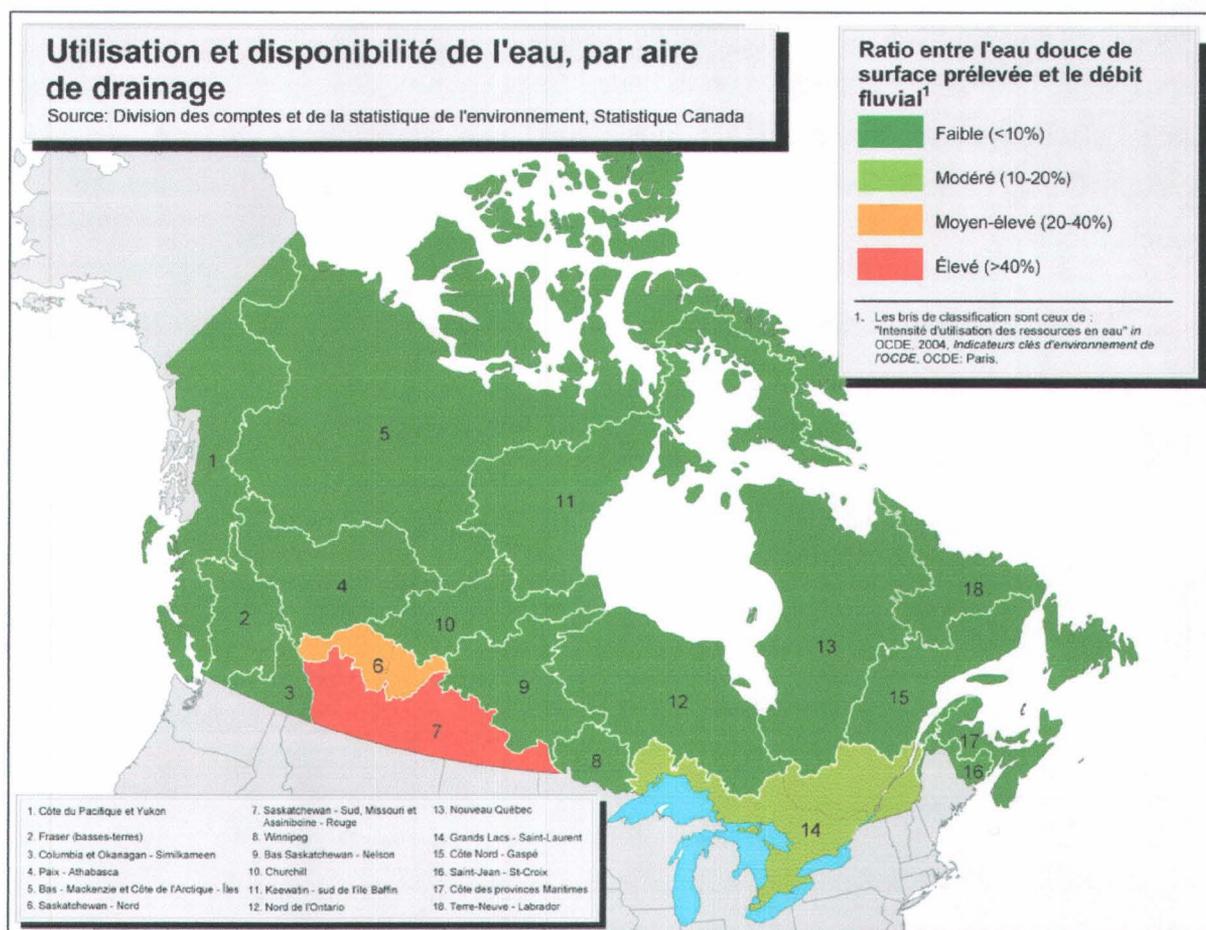


Figure 2.2 Utilisation et disponibilité de l'eau, par aire de drainage (Environnement Canada, 2005b)

2.5.2 Variations futures de la demande

Les conséquences du changement climatique sur les ressources en eau dépendent des variations possibles de la ressource (offre), mais également des variations de la consommation d'eau chez les humains et dans l'environnement (demande) (Arnell et Liu, 2001). Les changements non climatiques pourraient avoir dans ce domaine une plus forte incidence que les changements climatiques eux-mêmes (GIEC, 2001). La demande sera déterminée par plusieurs facteurs, notamment la croissance, la richesse et la répartition de la population (Ressources naturelles Canada, 2004a). Dans les conditions climatiques actuelles, les besoins en eau augmentent déjà en raison de la croissance de la population et du développement économique (Environnement Canada, 1997b). L'augmentation des températures entraînerait une augmentation supplémentaire des besoins des populations urbaines et rurales à des fins domestiques (ex. jardinage et arrosage des pelouses) et récréatives (Ouranos, 2004), alors que l'agriculture exigerait davantage d'irrigation pour compenser les pertes par évaporation des cultures (GIEC, 2001).

Par exemple, Lamothe et Périard (1989) ont suggéré que le réchauffement climatique augmenterait la consommation d'eau pour l'entretien des pelouses de 20% à 30%. Également, une étude effectuée par Akuoko-Asibey *et al.* (1993) traitant de la ville de Calgary a révélé que la consommation d'eau par personne demeure relativement constante lorsque les températures maximales moyennes sont inférieures à 15°C, mais qu'elle a tendance à augmenter lorsque les températures montent.

Il est également possible que la demande en eau diminue, puisqu'une baisse de l'utilisation d'eau par personne a été notée aux États-Unis entre 1985 et 1995, après avoir été en hausse depuis les années 1950 (Solley et Perlman, 1999). Les principaux facteurs ayant influencé les changements dans les patrons d'utilisation de l'eau sont les suivants :

- La croissance continue de la population entre 1950 et 1995;
- Des techniques d'irrigation améliorées, des débits d'arrosage et une superficie de terrain irrigué relativement constante depuis 1980;
- Dans le secteur industriel, des nouvelles technologies qui requièrent moins d'eau, une efficacité accrue des équipements, davantage de recyclage d'eau et des modifications aux lois et aux règlements concernant l'eau;

- Le passage d'une gestion de l'approvisionnement à une gestion de la demande qui a encouragé une utilisation plus efficace de l'eau;
- La prise de conscience par la population des questions relatives à l'eau, résultant de programmes actifs de conservation dans plusieurs États.

En effet, des mesures de conservation de l'eau, telles l'imposition de restrictions à la consommation et la mise en place d'une gestion plus efficace peuvent diminuer la demande de base (de Løe *et al.*, 2001).

Les résultats de l'enquête d'Environnement Canada en 2001 sur l'eau potable et les eaux usées des municipalités sont encourageants en ce sens (Environnement Canada, 2005a). En effet, au lieu de chercher de nouvelles sources d'approvisionnement, de nombreuses municipalités s'efforcent de réduire la demande en eau sur leur territoire. Les stratégies adoptées pour contrôler la demande varient. Des 967 municipalités qui ont participé à l'enquête, 12% ont dit informer leurs clients industriels, commerciaux et institutionnels des moyens de réduire leur consommation d'eau, 11% ont eu recours à la promotion publique de la conservation de l'eau, 6% ont installé du matériel pour économiser la ressource, 35% ont offert des vérifications à domicile, 8% ont vendu des trousseaux d'économie de l'eau et 33% ont adopté des règlements pour restreindre l'arrosage des pelouses. Des programmes pour l'installation de plus de compteurs d'eau étaient prévus ou avaient déjà débuté dans 5% des municipalités répondantes, et 21% ont signalé utiliser d'autres mesures de gestion de la demande. En général, les grandes municipalités étaient plus actives en matière de conservation de l'eau que les petites. Dans les petites collectivités (moins de 5 000 personnes), les mesures de gestion de la demande les plus couramment employées étaient les règlements sur l'arrosage des pelouses et les vérifications à domicile permettant d'évaluer les habitudes de consommation d'eau à la maison et de dégager des possibilités de réduire les volumes utilisés (Environnement Canada, 2005a).

2.6 Vulnérabilité

L'analyse de la vulnérabilité sert de point de départ pour trouver des moyens efficaces de promotion des mesures correctives susceptibles de limiter les impacts, en appuyant des stratégies d'atténuation et en facilitant l'adaptation (Kelly et Adger, 2000). Identifier les régions potentiellement vulnérables permet également de mieux fixer les priorités (Hurd *et al.*, 1999).

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) définit la vulnérabilité comme le « degré par lequel un système risque de subir ou d'être affecté négativement par les effets néfastes des changements climatiques, y compris la variabilité climatique et les phénomènes extrêmes » (Ressources naturelles Canada, 2004a). La vulnérabilité est donc fonction de l'exposition du système aux impacts du climat, de sa sensibilité à ces impacts et de sa capacité à s'adapter (Yohe et Schlesinger, 2002). Selon le GIEC, il est important de distinguer la vulnérabilité de la sensibilité, qui se définit comme le « degré d'affectation positive ou négative d'un système par des stimuli liés au climat (p. ex. pourcentage d'augmentation ou de réduction des apports) ». La sensibilité fait abstraction de l'effet modérateur des stratégies d'adaptation, tandis que la vulnérabilité se rapporte aux impacts qui restent après que les mesures d'adaptation ont été prises en compte (Kelly et Adger, 2000). Ainsi, un système considéré comme très sensible ne sera pas nécessairement vulnérable. Des facteurs économiques et sociaux jouent un rôle important dans la vulnérabilité d'un système ou d'une région (Ressources naturelles Canada, 2004a).

La méthode fondée sur la vulnérabilité, utilisée dans la recherche sur les changements climatiques et l'adaptation, comporte cinq grandes étapes (Ressources naturelles Canada, 2004a) :

1. Mobiliser les intervenants
2. Évaluer la vulnérabilité actuelle
3. Estimer les conditions futures
4. Estimer la vulnérabilité future
5. Décisions et mise en œuvre.

Souvent, on évalue la vulnérabilité actuelle d'un système d'après la façon dont il a réagi à la variabilité par le passé. Par contre, une région ou une collectivité a la capacité de tirer des

leçons de l'expérience passée et peut avoir mis en œuvre des stratégies d'adaptation (Ressources naturelles Canada, 2004a), ce qui peut s'avérer difficile à prendre en compte.

Pour évaluer la vulnérabilité future d'un système, c'est-à-dire déterminer la probabilité de dépassement des seuils critiques, les chercheurs appliquent des scénarios à partir des connaissances acquises sur la vulnérabilité du système. Parmi les facteurs importants à prendre en compte, il y a la nature et le rythme du changement climatique à venir, les variations des conditions climatiques extrêmes et l'influence des changements socio-économiques (Ressources naturelles Canada, 2004a).

Selon Ressources naturelles Canada (2004a), puisque les projections des changements climatiques et des variations hydrologiques à l'échelle locale resteront probablement entachés d'une forte incertitude, il faut considérer le changement climatique dans le contexte de la gestion des risques et de l'évaluation des vulnérabilités. Vu la complexité de l'interaction de nombreux facteurs qui jouent sur l'offre et la demande en eau, et compte tenu du grand nombre des activités dépendantes des ressources hydriques, il est nécessaire de réaliser des études intégrées qui tiennent compte à la fois des déterminants environnementaux et des déterminants humains.

Il est important de constater que notre vulnérabilité aux événements extrêmes augmente constamment en raison de la croissance des populations et de l'urbanisation (Ouranos, 2004). La vulnérabilité aux événements extrêmes est donc une question majeure, même en l'absence de changements climatiques. Ce phénomène vient cependant ajouter une variable supplémentaire dans l'étude des impacts des événements extrêmes sur la société (Ouranos, 2004).

2.7 Travaux antérieurs sur la vulnérabilité des approvisionnements municipaux

Sept études peuvent être citées en lien avec le sujet du présent mémoire, plus particulièrement avec la détermination de la vulnérabilité de sources d'eau municipales.

2.7.1 Étude de Kulshreshtha (1998)

En 1998, une étude sur la vulnérabilité de la ressource en eau à l'échelle mondiale a été publiée intitulée « A Global Outlook for Water Resources to the Year 2025 » (Kulshreshtha, 1998). Afin d'analyser la vulnérabilité en 1990 et en 2025 d'un pays selon la disponibilité et l'usage relatif de la ressource, quatre facteurs ont été pris en compte : la croissance de la population, l'auto-suffisance alimentaire, le développement industriel et les changements climatiques. Les résultats suggéraient que la croissance de la population était le facteur principal ayant un impact sur la vulnérabilité liée aux ressources en eau. Par contre, l'approche utilisée fournit des résultats très globaux, notamment parce qu'une seule valeur est assignée par pays et que les données requises n'étaient pas toujours disponibles. Les résultats obtenus pour le Canada montrent des vulnérabilités nulles pour 1990 et 2025.

2.7.2 Étude de Hurd *et al.* (1999)

En 1999, quatre chercheurs américains ont publié une étude portant le titre « Relative Regional Vulnerability of Water Resources to Climate Change » (Hurd *et al.*, 1999). Cette étude a d'abord identifié des aspects clés de l'approvisionnement en eau et de son utilisation qui pourraient être affectés négativement par les changements climatiques, soient des indicateurs de vulnérabilité des ressources en eau. Puis ont été développés des mesures et des critères d'évaluation de ces indicateurs. Ensuite, une base de données régionale des variables sensibles a été établie en tenant compte des mesures de vulnérabilité. Finalement, les chercheurs ont appliqué les critères d'évaluation à une étude régionale de la vulnérabilité des ressources hydriques aux États-Unis.

Les indicateurs de la vulnérabilité régionale utilisés sont divisés en deux catégories. La première catégorie comprend les indicateurs relatifs à l'approvisionnement en eau, la distribution et la consommation (Hurd *et al.*, 1999) (tableau 2.2). La deuxième catégorie d'indicateurs comprend les indicateurs relatifs aux usages sur place (utilisations non consommatrices), à la qualité de l'eau et au maintien des écosystèmes (tableau 2.3).

Tableau 2.2 Indicateurs de vulnérabilité des ressources en eau - approvisionnement en eau, distribution et consommation

Niveau de développement Q_W/Q_S	Rapport des prélèvements annuels totaux d'eau de surface et souterraine en 1990 (Q_W) sur le débit moyen annuel naturel (Q_S).
Variabilité naturelle $\sigma_{Q_S}/Q_S = CV$	Coefficient de variation (CV) du débit naturel, calculé comme le rapport de l'écart-type du débit annuel naturel (σ_{Q_S}) sur le débit moyen annuel naturel (Q_S).
Rapport d'aridité $(P-Q_S)/P$	Portion des précipitations moyennes annuelles totales (P) perdue par évapotranspiration (ET), où ET est définie comme $P-Q_S$.
Réduction de l'eau souterraine Q_{GW}/Q_{Base}	Rapport des prélèvements moyens d'eau souterraine (Q_{GW}) en 1990 sur le débit de base annuel moyen (Q_{Base}), reflétant les taux d'utilisation de l'eau souterraine excédant la recharge.
Flexibilité de l'usage industriel de l'eau	Partie de l'utilisation industrielle annuelle moyenne qui est consommée (non retournée dans le système).
Flexibilité institutionnelle	Un score de flexibilité entre un et cinq est assigné à chaque État selon le degré relatif de barrières au commerce de l'eau.

Tableau 2.3 Indicateurs de vulnérabilité des ressources en eau – usages sur place, qualité de l'eau et maintien de l'écosystème

Risque d'inondation	Population habitant dans la zone inondable de récurrence de 500 ans.
Navigation	Dépenses annuelles moyennes allouées au dragage des voies navigables.
Sensibilité thermique de l'écosystème	Basé sur la sensibilité aux changements dans les températures extrêmes. Combine la vulnérabilité de deux sous-indicateurs : Chaleur – Nombre annuel moyen de jours où la température maximale dépasse 35°C Froid – Nombre annuel moyen de jours où la température moyenne est sous 0°C
Oxygène dissous	Pourcentage d'observations de concentrations inférieures à 5 mg/L.
Sensibilité aux étiages	Débit de base moyen naturel, la portion de débit en rivière provenant de l'eau souterraine.
Espèces à risques	Nombre d'espèces aquatiques et d'espèces vivant en milieu humide reconnues à risque, c'est-à-dire menacées ou en péril.

Une série de cartes des États-Unis présente les zones assignées des différents degrés de vulnérabilité, selon les différents indicateurs et regroupements d'indicateurs.

2.7.3 Groupe de travail sur la consommation et la demande d'eau (depuis 2000)

Le Groupe de travail sur la consommation et la demande d'eau a été formé à l'initiative des gouvernements canadien et ontarien (Environnement Canada, 2003a). Ce groupe, constitué de représentants d'Environnement Canada (Région de l'Ontario), du ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, du ministère de l'Environnement de l'Ontario et de Conservation Ontario, a entrepris à l'automne 2000 une évaluation fédérale-provinciale de l'utilisation de l'eau et de l'approvisionnement pour le bassin des Grands Lacs. L'étude devait initialement s'étendre sur cinq ans, mais elle est actuellement toujours en cours. Elle visait initialement à évaluer l'utilisation actuelle et future de l'eau dans chacun des quatre sous-bassins des Grands Lacs, dans le bassin de la rivière des Outaouais et dans le bassin du tronçon supérieur du fleuve Saint-Laurent pour des fins d'approvisionnement en eau de surface et en eau souterraine et afin de répondre aux besoins écologiques, et ce en considérant les impacts des changements climatiques. Cet effort des gouvernements canadien et ontarien est entrepris à l'appui de la directive de la Commission des Grands Lacs qui vise à élaborer un système d'aide à la décision pour la gestion des ressources en eau des Grands Lacs (États-Unis et Canada).

2.7.4 Étude de Cohen et Kulkami (2001)

Une étude a été réalisée par Environnement Canada et UBC (University of British Columbia) en 2001 sur la gestion de l'eau, les impacts des changements climatiques et les stratégies d'adaptation possibles dans le bassin de la rivière Okanagan (Cohen et Kulkami, 2001). L'étude visait également à tester une approche de collaboration avec les gestionnaires et les intervenants régionaux dans le domaine de l'eau, par l'organisation d'ateliers de discussion. Elle se voulait un exercice à court terme d'utilisation de modèles scientifiques pour former la base d'un dialogue régional sur les impacts des changements climatiques et l'adaptation. Des scénarios hydrologiques ont permis d'obtenir des tendances pour les débits au cours de l'année, soit une crue de printemps et un débit estival plus faibles ainsi qu'un débit hivernal

accru. En revanche, aucune conclusion n'a été tirée quant à la tendance du débit annuel total. Les stratégies d'adaptation considérées par les participants comprenaient des mesures dites structurales (p. ex. la fabrication de plus de neige artificielle, le rehaussement des barrages, le contrôle de l'aménagement du territoire et de l'irrigation), des mesures sociales (p. ex. l'usage d'énergies alternatives, la planification de l'aménagement du territoire, le changement des habitudes de vie) et des d'autres mesures diverses (p. ex. l'augmentation de la recherche, l'amélioration de la gouvernance).

2.7.5 Étude de Fowler *et al.* (2003)

Une autre étude, en 2003, portait sur la modélisation des impacts des changements climatiques et de la variation climatique naturelle sur la fiabilité, la résilience (capacité à se remettre d'une perturbation) et la vulnérabilité du système des ressources hydriques de la région de Yorkshire en Angleterre (Fowler *et al.*, 2003). La modélisation relativement sophistiquée incluait des changements dans la fréquence des types de conditions météorologiques, dans les statistiques de précipitations moyennes et dans l'évapotranspiration potentielle. Des indices de fiabilité, de résilience et de vulnérabilité ont été calculés pour chaque source d'eau du système. La performance du système de ressources hydriques, comprenant la capacité des conduites et les restrictions liées au traitement de l'eau, a également été évaluée par rapport à la demande. Puisqu'une pénurie implique un déficit à plusieurs sources d'eau, un indice combinant les différentes sources a été utilisé. Dans cette étude, la vulnérabilité a été définie comme la durée maximale du manque d'eau en jours (lorsque les volumes disponibles ne suffisent pas à la demande) et comme l'amplitude cumulative maximale du manque d'eau (en volume).

Les résultats indiquent une amélioration future dans la fiabilité des ressources hydriques due à l'augmentation des précipitations hivernales. Par contre, des précipitations estivales réduites et une variabilité climatique accrue augmenteront significativement l'ampleur et la durée des sécheresses hydrologiques. L'étude conclut donc également à une réduction dans la résilience de la ressource et à un accroissement de sa vulnérabilité aux sécheresses.

2.7.6 Étude de Kreutzwiser et al. (2003)

En 2003, un article sur la sensibilité à la sécheresse de systèmes municipaux d'approvisionnement en eau de l'Ontario (Kreutzwiser et al., 2003) comparait des caractéristiques de plusieurs systèmes, telles que le type de source et la capacité de stockage, ainsi que des facteurs définissant le contexte d'opération du système tels que le taux de croissance de la population et l'appui politique à l'égard de la conservation de l'eau. L'analyse suggère que les caractéristiques des systèmes qui augmentent la sensibilité aux périodes de sécheresse incluent des sources d'eau souterraines et en rivière (par opposition à une source d'eau dans un lac), des infrastructures plus âgées ou mal entretenues ainsi qu'une capacité de stockage limitée par rapport à la demande. Les autres facteurs qui augmentent la sensibilité sont une augmentation rapide de la population et un manque de mesures de gestion de la demande. Inversement, les caractéristiques qui réduisent la sensibilité sont l'interconnexion de systèmes de distribution et une source d'eau abondante.

2.7.7 Étude de Cyr et Turcotte (2006)

Une étude a été réalisée en 2005 le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) sur l'impact des changements climatiques sur la gestion de la ressource en eau dans le bassin versant de la rivière Des Anglais et dans le système du Haut Saint-François (Cyr et Turcotte, 2006). L'étude a permis d'évaluer les impacts éventuels, d'une part, sur les besoins en eau d'irrigation et, d'autre part, sur l'ajustement d'un plan de gestion de lacs-réservoirs de grande taille. Au total, six scénarios du climat futur (période 2040-2069), produits de la combinaison de deux scénarios d'émission de gaz à effet de serre et de trois modèles de circulation générale, ont été analysés au plan hydrologique à l'aide du modèle HYDROTEL.

D'une part, l'étude portant sur les besoins en irrigation sur le bassin de la rivière des Anglais montre que ces besoins augmenteront de 10% à 20% par rapport aux besoins sous les conditions climatiques actuelles (période 1961-1990) selon les scénarios climatiques utilisés. D'autre part, l'étude du système de réservoirs du Haut Saint-François révèle que des adaptations raisonnables à la gestion des barrages permettraient de maintenir les objectifs

actuels de gestion mais que ces adaptations peuvent différer significativement en fonction du scénario climatique considéré.

2.8 Conclusion – Indice de pression

Aux fins de la présente étude, la vulnérabilité des systèmes d'approvisionnement municipaux ne peut pas être évaluée selon la définition présentée à la section 2.6. En effet, la capacité de chaque municipalité à s'adapter face aux situations problématiques d'approvisionnement n'a pas été prise en compte dans les analyses.

Le résultat des analyses constitue donc plutôt un indice de pression sur les systèmes d'approvisionnement municipaux. La pression sera plus élevée sur un système si le volume quotidien prélevé à sa prise d'eau est comparable à la valeur du débit d'étiage choisi. Certes, les systèmes subissant une pression importante peuvent potentiellement être plus vulnérables aux problèmes d'approvisionnement. L'indice de pression évalué fait donc figure de point de départ pour une analyse ultérieure de la vulnérabilité.

3. Inventaire des systèmes d'approvisionnement en eau

Un bilan des systèmes d'approvisionnement municipaux en eau potable du Québec, et des principales données les caractérisant, est nécessaire pour pouvoir évaluer la pression exercée sur ces systèmes.

3.1 Données disponibles

La liste de données utilisée est le produit d'un travail d'inventaire des systèmes d'approvisionnement municipaux du sud du Québec préalablement réalisé par Nantel (2006). Les données proviennent de diverses sources, principalement de la *Banque eau potable* du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) et du *Répertoire 2003-2004 de l'industrie environnementale du Québec*. Elles sont considérées à jour en 2003. Le MDDEP a mis en ligne, en juillet 2006, la liste de tous les réseaux municipaux de distribution d'eau potable compilés en date du 1^{er} décembre 2005 (MDDEP, 2006). Étant donné la disponibilité tardive de la liste ministérielle dans le cours du présent travail, elle n'a pas constitué la base du travail mais a plutôt été consultée à des fins de vérification.

La liste dressée par Nantel (2006) contient 389 prises d'eau desservant 316 réseaux municipaux alimentés uniquement par de l'eau de surface ou par une combinaison d'eaux de surface et souterraine. La figure 3.1 présente une carte des 313 prises d'eau de localisations connues. Ces réseaux alimentent une population de l'ordre de 5,4 millions de personnes, soit 71% de la population du Québec en considérant une population de 7,6 millions d'habitants (Statistique Canada, 2005).

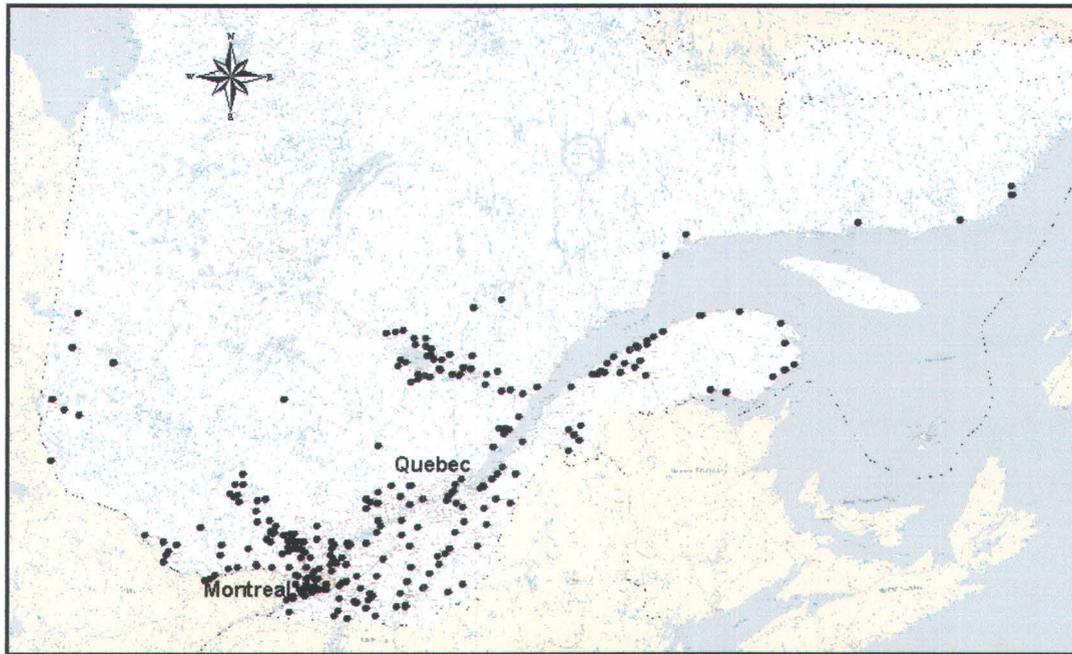


Figure 3.1 Localisation des prises d'eau considérées dans la présente étude

Les régions hydrographiques 08, 09 et 10 situées au nord du Québec (figure 3.2) n'ont pas été considérées et sont absentes de la liste, puisqu'elles comptent un très faible pourcentage de la population du Québec. De plus, la liste ne contient aucune prise d'eau alimentant des réseaux privés, tels les campings ou les sites touristiques. L'information colligée comprend, pour chaque système d'approvisionnement, le numéro d'identification du MDDEP, le numéro des prises d'eau, la localisation géographique, le nombre de personnes desservies et le volume moyen journalier distribué. Les noms des sources d'eau de surface des systèmes d'approvisionnement ont pu être ajoutés à la liste. Ils ont été obtenus à l'aide de l'application SGIH (Système Géomatique de l'Information Hydrique) du Centre d'expertise hydrique du Québec. La liste de ces systèmes d'approvisionnement est présentée à l'annexe A.

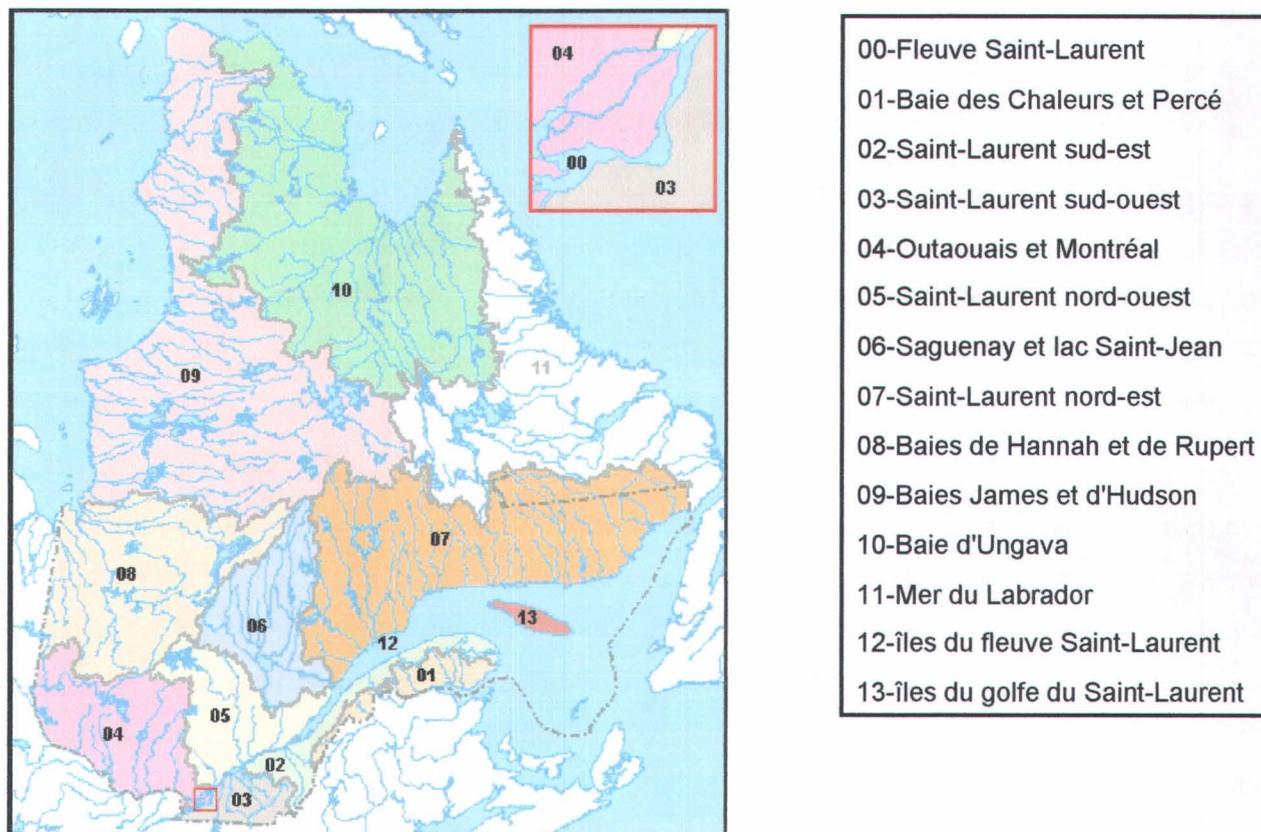


Figure 3.2 Carte des régions hydrographiques du Québec (CEHQ, 2003)

3.2 Première sélection des systèmes d'approvisionnement

De la liste contenant les 316 systèmes d'approvisionnement, une première sélection a conduit à l'élimination de 80 systèmes. L'annexe A peut être consultée pour voir quels réseaux ont été ainsi exclus de l'étude. Il s'agissait de systèmes comprenant des prises non localisées, d'urgence, non opérationnelles, privées, situées dans le fleuve Saint-Laurent ainsi que de systèmes alimentés par plus d'une prise d'eau de surface.

En effet, les prises d'eau de neuf systèmes d'approvisionnement n'ont pas pu être localisées géographiquement. Ces systèmes n'ont pas été considérés pour la présente étude. Suite à la consultation des gestionnaires de certains réseaux, trois systèmes ont été éliminés puisqu'il a été découvert que deux prises de la liste n'existent pas et que trois prises d'eau de surface ont été identifiées comme des prises d'urgence, donc pratiquement jamais utilisées. Ces prises

d'urgence pourraient toutefois jouer un rôle important lors de situations critiques. De plus, sept systèmes étaient privés plutôt que municipaux et ont donc été éliminés.

La liste contenait également 52 prises d'eau localisées dans l'axe du fleuve Saint-Laurent. Elles ne sont pas considérées puisque la problématique de ces prises est particulière et a déjà fait l'objet de travaux (Carrière *et al.*, 2004). L'élimination des prises d'eau situées dans l'axe du fleuve a conduit à l'élimination de 42 systèmes d'approvisionnement, un système pouvant contenir plus d'une prise.

Finalement, les réseaux comportant plus d'une prise d'eau de surface n'ont pas pu être considérés puisque leur complexité rend très difficile l'établissement de la relation entre une prise d'eau particulière et le nombre de personnes desservies. Ainsi, 19 systèmes supplémentaires ont été exclus. Par contre, les réseaux comprenant une seule prise d'eau de surface et une ou plusieurs prises d'eau souterraine ont été conservés, mais seule la composante d'eau de surface a pu être évaluée et l'apport en eau souterraine a été supposé nul.

Les 236 réseaux municipaux retenus à la suite de la première sélection alimentent une population totale de 2,0 millions de personnes, soit 26% de la population québécoise de 2005.

4. Analyse préliminaire des systèmes

Afin de déterminer les systèmes d'approvisionnement à prioriser dans les analyses de débits d'étiage, une identification des systèmes subissant le plus de pression s'est effectuée en comparant la surface du bassin versant de leur prise d'eau de surface à la population alimentée.

4.1 Détermination de la surface du bassin versant aux sites d'approvisionnement

Le calcul des superficies du bassin versant à chaque prise d'eau a été réalisé en utilisant le logiciel ARIDE (Ouarda *et al.*, 2005). Ce logiciel a été développé à l'INRS-ETE par les membres de la Chaire de recherche du Canada en estimation des variables hydrologiques. La composante géomatique du logiciel développée dans ArcView GIS permet d'estimer la surface du bassin versant à un point donné.

Des 236 réseaux de distribution conservés à l'étape précédente, 114 d'entre eux n'ont pu être considérés dans la suite de l'étude parce qu'il n'était pas possible de calculer l'aire du bassin versant alimentant leurs prises d'eau. En effet, pour des raisons de résolution spatiale, les cours d'eau de 88 sites d'approvisionnement n'apparaissent pas sur la carte du logiciel. Les 88 systèmes d'approvisionnement correspondant à ces sites ne pouvaient donc pas faire partie de l'étude. On dénombre également huit systèmes dont la prise d'eau a un bassin versant qui est inférieur à 5 km². Ceux-ci ont été écartés de l'étude, puisqu'ARIDE n'est pas en mesure d'estimer les débits d'étiage dans ces cas. Comme ARIDE contient des données uniquement pour la province de Québec, les prises dont le bassin versant en dépasse les frontières ne peuvent pas être traités. Cette contrainte entraîne l'exclusion de dix systèmes dont le bassin de la prise d'eau s'étend aux États-Unis, soit le bassin des rivières Richelieu, Châteauguay et Magog, et de huit systèmes s'alimentant dans la rivière des Outaouais, dont une partie du bassin versant se trouve en Ontario. L'annexe A permet de voir les réseaux de distribution

éliminés. Les 122 réseaux municipaux dont la surface du bassin versant de la prise d'eau peut être calculée alimentent une population totale de 1,2 million de personnes, soit 16% de la population de 2005.

4.2 Évaluation de la pression relative sur les systèmes

Une fois calculée la superficie du bassin versant des 122 prises d'eau où ce calcul était possible, la pression relative sur les systèmes d'approvisionnement a pu être évaluée. Cette valeur de pression préliminaire a été déterminée en divisant la surface du bassin versant des prises d'eau par la population alimentée par chaque système. Le nombre d'individus alimentés est une donnée provenant de la liste des approvisionnements décrite à la section 3.1.

La figure 4.1 présente un graphique des superficies des bassins versants en fonction des populations desservies pour les 122 systèmes retenus. Les systèmes subissant la pression la plus importante sont évidemment ceux qui desservent une grande population par rapport à la superficie du bassin versant de leur prise d'eau, donc les points situés près de l'axe des y.

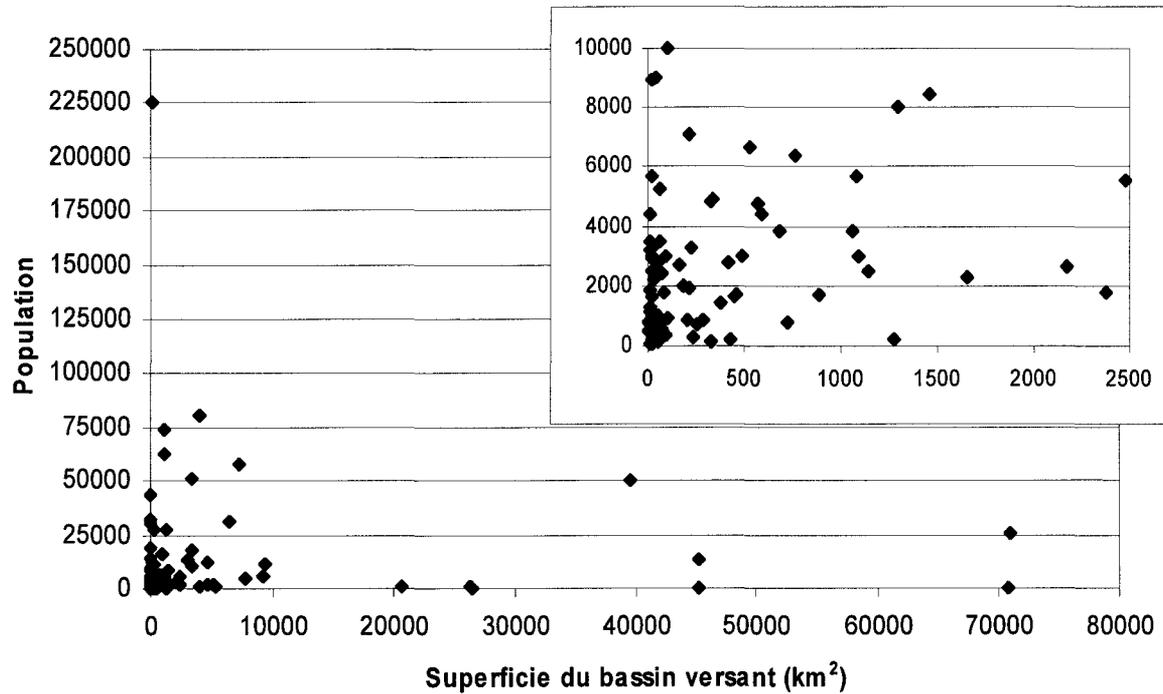


Figure 4.1 Superficie du bassin versant et population desservie par les prises d'eau des systèmes d'approvisionnement à l'étude (le graphique de la partie supérieure à droite correspond à un agrandissement de la région près de l'origine)

Le rapport de l'aire du bassin versant sur la population desservie a ensuite été calculé à l'aide de l'équation 4.1 pour ces 122 prises d'eau. Les résultats complets peuvent être consultés à l'annexe B. On peut constater, lorsque les prises sont classées selon l'ordre croissant de ce rapport (figure 4.2), que la grande majorité des prises ont un rapport BV/Pop inférieur à 6 km²/habitant. La figure 4.3 présente la probabilité au non-dépassement des rapports calculés.

$$\text{Superficie par habitant} = \frac{\text{BV}}{\text{Pop}} \quad (4.1)$$

où Superficie par habitant (km²/habitant)
 BV : superficie du bassin versant à la prise d'eau (km²)
 Pop : nombre d'habitants alimentés par le système

Les systèmes dont le rapport BV/Pop est inférieur à $0,04 \text{ km}^2/\text{habitant}$ ont été retenus en tant que systèmes prioritaires. Une superficie de $0,04 \text{ km}^2$ fournirait $21\,918 \text{ L/j/habitant}$, en considérant un ruissellement minimal de 200 mm/an au Québec (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2000). Il a été estimé qu'au-delà de cette valeur, la pression sur les systèmes était très faible, puisqu'une majorité de municipalités consomment en moyenne moins de 700 L/j/habitant (Nantel, 2006).

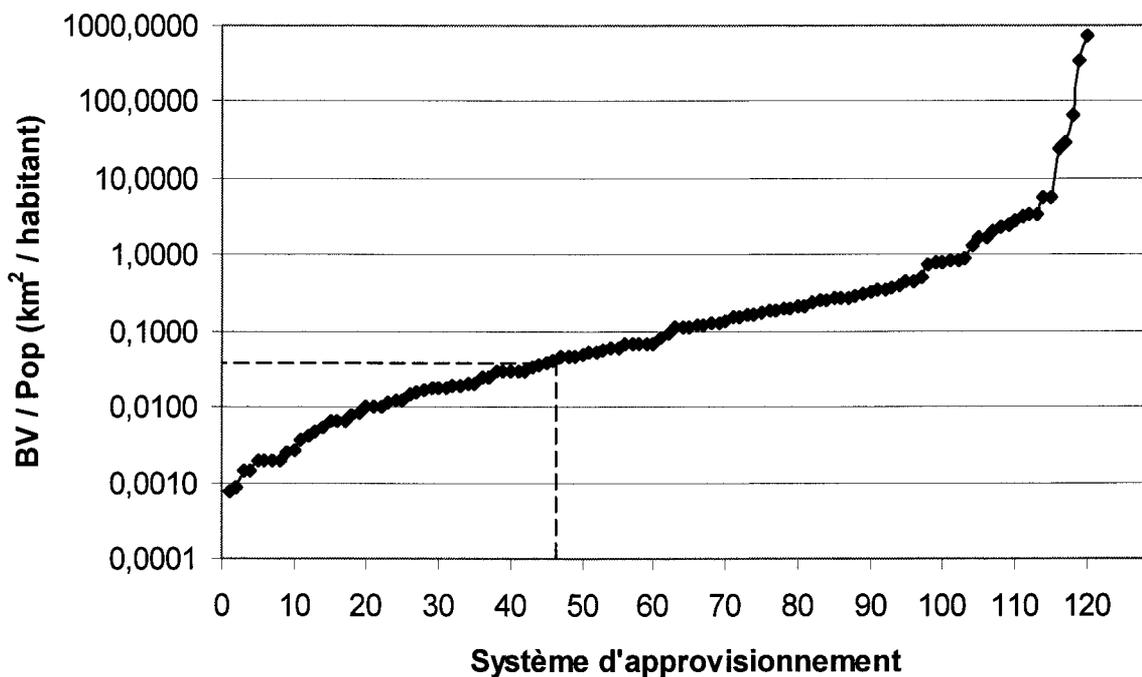


Figure 4.2 Rapport de l'aire du bassin versant (BV) sur la population desservie (Pop)
(les systèmes sont classés selon un ordre croissant du rapport BV/Pop)

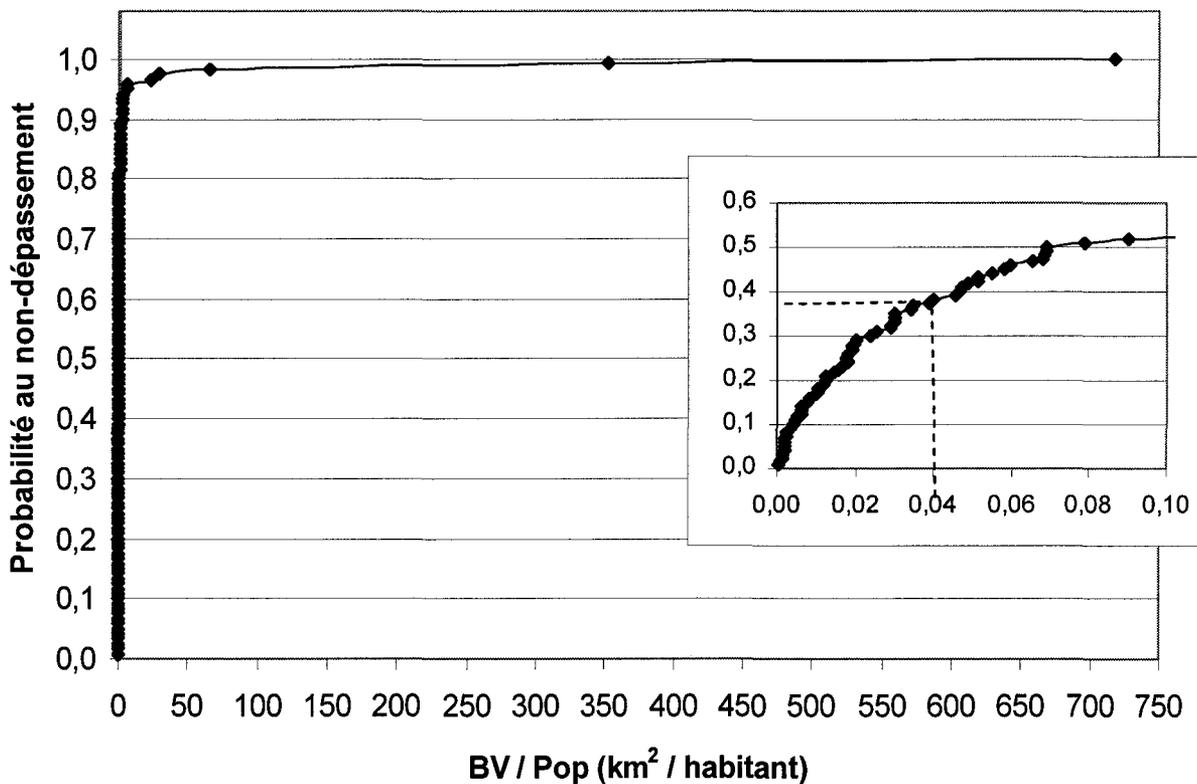


Figure 4.3 Probabilité au non-dépassement du rapport BV/Pop pour les 122 systèmes
(le graphique de la partie droite correspond à un agrandissement de la région près de l'origine)

Ainsi, 46 systèmes de distribution dont le rapport BV/Pop est inférieur à $0,04 \text{ km}^2/\text{habitant}$ ont été retenus. Les autres systèmes, soit la majorité d'entre eux, ne justifient pas une analyse des débits d'étiage. Les 46 systèmes retenus et leurs caractéristiques sont présentés au tableau 4.1 en ordre croissant du rapport BV/Pop. On constate que 66% de ces systèmes ont un bassin versant mesurant moins de 50 km^2 , et que 19% ont un bassin versant mesurant entre 50 et 100 km^2 . Il est à noter que les systèmes d'approvisionnement analysés dans les travaux de Nantel (2006) ne figurent pas parmi ces 46 systèmes.

Tableau 4.1 Systèmes d'approvisionnement étudiés

Approvisionnement	Numéro	Bassin versant (km ²)	Volume distribué (m ³ /j)	Population	Superficie par habitant (km ² /habitant)	*Prob. non-dépassement
1 Québec (lac Saint-Charles)	3 772	169,7	190 000	225 000	0,00075	0,0083
2 Grand-Mère	3 889	12,0	13 250	14 269	0,00084	0,0167
3 Thetford Mines	3 053	26,8	14 473	19 272	0,00139	0,0250
4 Jonquière	2 022	64,1	29 085	44 001	0,00146	0,0333
5 Valcourt	5 991	8,4	3 320	4 430	0,00190	0,0417
6 Baie-Comeau (Sainte-Amélie)	10 199	17,4	8 760	8 970	0,00194	0,0500
7 Shawinigan	4 226	62,7	29 000	32 300	0,00194	0,0583
8 Sutton (Réservoir captage Lac Spruce)	24 729	7	1 729	3 500	0,00200	0,0667
9 Bromptonville	5 835	8,1	1 581	3 200	0,00253	0,0750
10 Rouyn-Noranda	9 597	80,1	16 000	30 001	0,00267	0,0833
11 Boischatel	3 350	21,4	3 650	5 700	0,00375	0,0917
12 Saint-Gabriel	11 494	36,7	4 653	9 000	0,00408	0,1000
13 New Carlisle	1 008	9	1 136	1 875	0,00480	0,1083
14 L'Islet	2 774	15,6	1 000	2 943	0,00530	0,1167
15 Lac-au-Saumon	893	7,4	611	1 170	0,00632	0,1250
16 Lac-Etchemin	3 079	19,0	1 450	3 000	0,00633	0,1333
17 Saint-Gabriel	1 180	5,1	208	800	0,00638	0,1417
18 Barrage Saint-Jean-Port-Joli (aut. trait.)	11 593	25,6	1 800	3 305	0,00775	0,1500
19 La Rédemption	885	5,7	386	700	0,00814	0,1583
20 Barrage des Perdrix Montmagny (sta. pur.)	2 808	98,9	6 000	10 000	0,00989	0,1667
21 Baie-Comeau (Saint-Georges)	9 787	25	1 543	2 461	0,01016	0,1750
22 Eastman	5 900	5,1	306	500	0,01020	0,1833
23 Beauceville	2 758	61,1	3 200	5 220	0,01170	0,1917
24 Victoriaville	5 223	332	17 962	27 250	0,01218	0,2000
25 Maria	935	27	1 825	2 200	0,01227	0,2083
26 Beauport	3 707	1063	36 000	74 000	0,01436	0,2167
27 Saint-Fulgence	1 636	25	850	1 635	0,01529	0,2250

4. Analyse préliminaire des systèmes

Approvisionnement	Numéro	Bassin versant (km ²)	Volume distribué (m ³ /j)	Population	Superficie par habitant (km ² /habitant)	*Prob. non-dépassement	
28	Château-Richer	3 418	57,3	1 712	3 466	0,01653	0,2333
29	Sainte-Félicité	1 297	17	530	960	0,01771	0,2417
30	Cowansville	6 866	213	11 320	12 010	0,01774	0,2500
31	Saint-Jérôme	7 955	1124	46 000	62 268	0,01805	0,2583
32	Hébertville	1 453	44	1 442	2 300	0,01913	0,2667
33	Val-Brillant	1 321	15	310	783	0,01916	0,2750
34	Dégelis	810	55,1	2 200	2 800	0,01968	0,2833
35	L'Anse-Saint-Jean	1 479	23	800	1 100	0,02045	0,2917
36	Sainte-Madeleine-de-la-rivière-Madeleine	18 242	10,7	275	450	0,02378	0,3000
37	La Tuque	3 921	277,5	7 458	11 000	0,02523	0,3083
38	Scostown	5 975	21,6	414	750	0,02880	0,3167
39	Témiscaming	9 753	87	2 160	3 000	0,02900	0,3250
40	Newport	1 016	211	2 495	7 070	0,02984	0,3333
41	Saint-Donat	1 164	12	244	400	0,03000	0,3417
42	Danville	11 296	72,5	1 505	2 400	0,03021	0,3500
43	Les Méchins	901	30	487	882	0,03401	0,3583
44	Parent	3 954	16,3	360	470	0,03468	0,3667
45	Percé	1 040	31	442	800	0,03875	0,3750
46	Baie-Trinité	9 803	23,8	331	600	0,03967	0,3833

* Les valeurs de la probabilité au non-dépassement présentées à la figure 4.3 et au tableau 4.1 sont les mêmes. Elles sont calculées sur l'échantillon comprenant les 122 prises d'eau.

5. Estimation des quantiles d'étiage

Les quantiles d'étiage ont été utilisés afin de quantifier les volumes d'eau disponibles aux sites d'approvisionnement en période de faible débit. Idéalement, un quantile d'étiage se calcule par une analyse locale, c'est-à-dire à l'aide de données enregistrées à une station hydrométrique située près du site à l'étude. Puisque, dans le cas présent, très peu de prises d'eau parmi celles retenues sont situées à proximité d'une station hydrométrique, les quantiles d'étiage ont été estimés à l'aide d'une méthode d'analyse régionale. Le logiciel ARIDE a permis cette analyse aux 46 sites d'approvisionnement retenus.

5.1 Analyse fréquentielle locale

Avant de procéder à une analyse hydrologique régionale, des analyses hydrologiques locales doivent être réalisées afin d'estimer les quantiles d'étiage pour un certain nombre de stations hydrométriques. L'analyse fréquentielle permet d'estimer les quantiles d'étiage à partir de données enregistrées à une station hydrométrique. Il s'agit de relier l'amplitude des événements extrêmes à leur fréquence d'occurrence en utilisant des distributions de probabilité théoriques. Une distribution de probabilité permet de déterminer les chances d'occurrence d'un événement en particulier qui, tel le débit d'étiage d'une certaine rivière dans un certain temps, est une variable aléatoire (Herrera *et al.*, 2003). Les différentes étapes de l'analyse fréquentielle sont présentées aux sections suivantes.

5.1.1 Caractérisation des séries de données enregistrées aux stations

Les données de base de l'analyse sont des débits moyens journaliers. Dans le cas des débits d'étiage, et en particulier dans le cadre du développement d'ARIDE, deux séries de données sont constituées pour chaque station : une série de débits moyens minimums calculés sur une plage de 7 jours consécutifs et une autre calculée sur une plage de 30 jours consécutifs.

Les caractéristiques statistiques de ces séries de minimums décrivent : la valeur centrale ou de position (moyenne, quantiles), la dispersion (variance, écart-type, valeurs extrêmes), la forme et la concentration (asymétrie et aplatissement) (Herrera *et al.*, 2003). Cette caractérisation permet, entre autres, de détecter une valeur aberrante.

5.1.2 Tests d'hypothèses sur les séries de données

Pour s'assurer que les données de chaque série n'ont pas été influencées, par exemple par des variations climatiques, par une modification du régime d'écoulement ou par le déplacement de la station, des tests permettent de vérifier qu'elles sont indépendantes (absence d'auto-corrélation) et identiquement distribuées (stationnarité et homogénéité). Les tests suivants ont été utilisés par la Chaire de recherche du Canada en estimation des variables hydrologiques dans le cadre du développement du modèle ARIDE (Herrera *et al.*, 2003).

Test d'indépendance

L'absence d'auto-corrélation entre les données de débit d'une série indique que l'occurrence d'une observation n'est pas affectée par les observations précédentes. Le test de Wald-Wolfowitz (1943), dont l'hypothèse à vérifier au niveau de signification de 95% s'énonce « les observations sont indépendantes », est utilisé pour valider l'indépendance des données.

Test de stationnarité

Le test de stationnarité de Kendall (Mann, 1945) permet de vérifier que les caractéristiques statistiques (moyenne, variance, etc.) sont invariantes dans le temps. Ainsi, l'hypothèse « la moyenne est constante » doit être acceptée au niveau de signification de 95%.

Test d'homogénéité

Dans le cas où une série de données est formée de plus d'un sous-échantillon, par exemple si plusieurs stations hydrométriques ont été successivement en opération sur un même cours d'eau, le test de Wilcoxon (1945) permet de confirmer que la

série de données est homogène. L'échantillon doit d'abord être divisé en deux à la jonction des deux sous-échantillons. Puis, l'hypothèse « les moyennes des deux sous-échantillons sont égales » doit être acceptée au niveau de signification de 95%.

5.1.3 Ajustement de différentes distributions de probabilité

Les caractéristiques statistiques des séries de données permettent d'ajuster des lois de probabilité à ces séries. Les paramètres de ces lois peuvent être évalués par différentes méthodes, notamment la méthode du maximum de vraisemblance et la méthode des moments (Morgenthaler, 1997). Les lois de probabilité suivantes figurent parmi les plus employées en analyse de fréquence : Gamma, Log-Pearson type III, Gumbel, Weibull, Normale, Log-normale (2 ou 3 paramètres) et Valeurs extrêmes généralisées (GEV). Les détails théoriques relatifs à ces lois peuvent être trouvés dans Herrera *et al.* (2003).

5.1.4 Choix de la meilleure loi ajustée aux données

Pour retenir la loi de probabilité qui représente le mieux la série de données de chaque station, l'ajustement est évalué graphiquement et à l'aide de critères d'information tels le critère d'Akaike (AIC) et le critère Bayésien (BIC). Les meilleurs ajustements correspondent aux plus faibles valeurs de ces critères, ceux-ci étant définis par rapport à la fonction de vraisemblance (Tsay, 1984) par les équations ci-dessous.

$$AIC(\hat{\theta}) = -2\log(L) + 2k \quad (5.1)$$

$$BIC(\hat{\theta}) = -2\log(L) + 2k \log(N) \quad (5.2)$$

où L : fonction de vraisemblance
 $\hat{\theta}$: vecteur des paramètres estimés
k : nombre de paramètres
N : taille de l'échantillon

5.1.5 Estimation des quantiles

Les quantiles pour chaque station hydrométrique peuvent finalement être estimés à l'aide de la loi de probabilité retenue. Il s'agit de relier les événements hydrologiques extrêmes et leurs probabilités au non-dépassement (Herrera *et al.*, 2003). Dans le cas des périodes d'étiage, un événement extrême survient quand le débit minimum ne dépasse pas un débit minimum critique. La probabilité que l'évènement extrême de période de retour T ne dépasse pas le débit minimum critique s'exprime par l'équation 5.3.

$$P(Q_T \leq q_c) = \frac{1}{T} \quad (5.3)$$

où P : probabilité au non-dépassement
 Q_T : débit minimum observé
 T : période de retour
 q_c : débit minimum critique

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

$$F(Q_T | \underline{\theta}) = P(Q_T \leq q_c) = \frac{1}{T} \quad (5.4)$$

où $\underline{\theta}$: vecteur des paramètres de la loi

Le quantile Q_T est calculé en appliquant la fonction inverse F^{-1} de l'équation 5.5.

$$Q_T = F^{-1}\left(\frac{1}{T} | \underline{\theta}\right) \quad (5.5)$$

En pratique, les débits minimums observés sont classés en ordre croissant et sont présentés sur un graphique où l'axe des x est la probabilité au non-dépassement. Pour assigner une

probabilité au non-dépassement aux valeurs de débit, on utilise une formule de probabilité empirique, par exemple celle de Cunnane (1978) :

$$P = \frac{(i - 0,40)}{(N + 0,2)} \quad (5.6)$$

où i : rang de l'observation
 N : nombre d'observations

5.2 Analyse hydrologique régionale

La régionalisation consiste à transférer les résultats de l'analyse fréquentielle pour les sites jaugés vers les sites non-jaugés ou partiellement jaugés. Les analyses régionales requièrent des données enregistrées à plusieurs stations hydrométriques ayant des caractéristiques physiographiques et météorologiques similaires à celles du site à l'étude. Les deux principales étapes des méthodes d'analyse régionale sont l'identification des voisinages hydrologiques homogènes et l'estimation régionale (Hosking et Wallis, 1997).

5.2.1 Identification des voisinages hydrologiques homogènes

Pour l'identification des voisinages hydrologiques homogènes, la méthode de l'analyse canonique des corrélations (ACC) a été retenue par la Chaire de recherche du Canada en estimation des variables hydrologiques dans le cadre du développement du modèle ARIDE (Ouarda *et al.*, 2005). Le choix des stations hydrométriques à considérer et la détermination de leurs variables physiographiques et météorologiques doivent d'abord être faits. Pour l'estimation des étiages annuels, les variables physiographiques et météorologiques identifiées pour discriminer les groupes de stations homogènes sont la superficie du bassin versant (BV), le pourcentage de superficie de lac et de marécages (PLAC), le nombre de jours où la température est supérieure à 27°C (NJH27) et un indice caractérisant le sol (NCM).

La description qui suit est tirée de Ouarda *et al.* (2005). L'ACC permet de relier les caractéristiques similaires des différentes stations, et de maximiser le choix des voisinages hydrologiques homogènes. L'ACC est une méthode d'analyse statistique multivariée permettant

de décrire la relation de dépendance qui existe entre deux ensembles de variables aléatoires. Dans le présent cas, un ensemble contient les variables hydrologiques des stations hydrométriques et l'autre contient leurs variables physiographiques et météorologiques. Il s'agit d'abord de déterminer des paires de combinaisons linéaires de chaque ensemble de variables. Ces combinaisons sont nommées variables canoniques et elles présentent la caractéristique que la corrélation entre chaque paire de variables canoniques est maximisée tandis que la corrélation entre les variables canoniques provenant de paires différentes est nulle. On obtient un ensemble de variables canoniques pour les deux ensembles de variables aléatoires, qui sont associées à différents coefficients de corrélation canonique. La transformation de l'espace physique dans l'espace canonique des variables permet de déduire de l'information sur les variables canoniques d'un ensemble en connaissant les variables canoniques de l'autre ensemble. On peut donc calculer une distance entre deux variables canoniques pour déterminer le voisinage hydrologique, c'est-à-dire un groupe de stations homogènes ayant un comportement hydrologique semblable.

L'ACC se déroule de la façon suivante. Les détails théoriques peuvent être trouvés dans Ouarda *et al.* (2000 et 2001). On note $Y'=(Y_1, \dots, Y_p)$ et $X'=(X_1, \dots, X_q)$ respectivement l'ensemble des variables hydrologiques et l'ensemble des variables caractérisant la géomorphologie des bassins versants. On note aussi W le vecteur de variables canoniques hydrologiques, V le vecteur de variables canoniques physiographiques, $(\lambda_1, \dots, \lambda_p)$ les coefficients de corrélation canonique, et Λ la matrice diagonale formée par les coefficients de corrélation canonique. On suppose que les vecteurs de variables canoniques W et V suivent une distribution multi-normale. La distribution conditionnelle de W étant donné V est alors p -normale. Ainsi, des bassins avec un vecteur canonique physiographique commun V sont répartis autour de la position moyenne ΛV dans l'espace canonique hydrologique. La distance à la position moyenne est contrôlée par la forme quadratique de la distribution conditionnelle représentée par une distance de Mahalanobis avec une distribution khi-deux à p degrés de liberté. La position moyenne est alors estimée pour les bassins jaugés par le vecteur canonique hydrologique réel W_0 calculé en considérant ce bassin. Pour les bassins non-jaugés, la position moyenne est déterminée, en utilisant une estimation de Λ , par ΛV_0 , où V_0 est le vecteur canonique physiographique connu. On peut ainsi définir le voisinage d'un bassin jaugé à un

niveau de confiance $(1-\alpha)$ par l'ensemble des bassins dont la position W dans l'espace canonique hydrologique vérifie la relation :

$$(W - W_0)'(I_p - \hat{\Lambda}\hat{\Lambda}')^{-1}(W - W_0) \leq \chi_{\alpha,p}^2 \quad (5.7)$$

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

$$(W - \hat{\Lambda}V_0)'(I_p - \hat{\Lambda}\hat{\Lambda}')^{-1}(W - \hat{\Lambda}V_0) \leq \chi_{\alpha,p}^2 \quad (5.8)$$

Le paramètre α contrôle la taille du voisinage. Dans le cadre du développement du modèle ARIDE, une nouvelle approche a été utilisée afin de faciliter le choix d'un paramètre α optimal. Elle peut se résumer sous la forme suivante, où l'on assignera une observation W au voisinage du site cible dont la position dans l'espace physiographique est donnée par V_0 si et seulement si (Girard *et al.*, 2000) :

$$(W - \Lambda V_0)'(I_p - \Lambda\Lambda')^{-1}(W - \Lambda V_0) \leq (W - 0)'I_p^{-1}(W - 0) + \ln\left(\frac{|I_p|}{|I_p - \Lambda\Lambda'|}\right) \quad (5.9)$$

5.2.2 Estimation régionale

Toujours dans le cadre du développement du modèle ARIDE, les chercheurs ont retenu la méthode de la régression multiple pour effectuer l'estimation régionale. La régression multiple permet de calculer les quantiles aux sites non-jaugés grâce à la production d'équations régionales qui utilisent la relation entre les caractéristiques physiographiques et météorologiques aux sites jaugés du voisinage hydrologique et les débits pour les durées et les périodes de retour d'intérêt. Les caractéristiques des bassins versants (p. ex. physiographiques, climatiques, etc.) sont donc utilisées comme prédicteurs dans les équations de régression pour estimer les caractéristiques statistiques des étiages (p. ex. moyenne, médiane, quantiles, etc.). L'équation 5.10 montre la forme des équations de régression régionales. Une description plus détaillée de cette méthode peut être trouvée dans Ouarda *et al.* (2005).

$$\log(Q_{T,d}) = \log(K) + \beta_{BV} \log(BV) + \beta_{NJH27} NJH27 + \beta_{PLAC} \sqrt{PLAC} + \beta_{NCM} NCM + \varepsilon \quad (5.10)$$

où $Q_{T,d}$: quantile d'étiage de période de retour T et de durée d
K : constante du modèle régressif
 β : coefficient associé à la variable
 ε : erreur d'estimation du modèle

5.3 Logiciel ARIDE

Le logiciel ARIDE intègre les bases de données, les éléments cartographiques, le modèle statistique de régionalisation et la représentation graphique des résultats de l'estimation régionale. Il permet donc de situer un point sur la carte du Québec, d'extraire ses variables physiographiques et météorologiques, de lui attribuer un voisinage hydrologique et de faire l'estimation régionale des quantiles d'étiage.

ARIDE permet de calculer des quantiles d'étiage pour n'importe quel site au Québec dont le bassin versant est supérieur à 5 km². La régionalisation des étiages a été réalisée pour les étiages estivaux, hivernaux et annuels. Les quantiles d'étiage de période de retour 2, 5 et 10 ans et d'une durée de 7 ou 30 jours ont été étudiés, et ce pour des conditions d'écoulement naturel puisque les stations hydrométriques utilisées sont situées sur des cours d'eau où le régime d'écoulement est naturel ou quasi-naturel (influence journalière par un ouvrage).

Par contre, comme toutes les méthodes de régionalisation, les résultats obtenus à l'aide du logiciel ARIDE ne sauraient être aussi exacts que ceux obtenus d'une analyse locale. De plus, l'analyse et l'interprétation des résultats fournis par ce type d'approche doivent tenir compte de certaines contraintes : les intervalles de confiance sont souvent assez larges, les résultats ne sont valides que pour les cours d'eau en régime d'écoulement naturel et les estimations peuvent s'avérer moins bonnes pour les petits bassins versants, surtout ceux qui font moins de 100 km², étant donné le peu de stations hydrométriques en opération sur des petits bassins au Québec.

5.3.1 Validation des résultats fournis par ARIDE

Une comparaison entre les quantiles obtenus par analyse locale et par analyse régionale, pour les quelques sites où pareille analyse était possible, a d'abord été réalisée. Le tableau 5.1 présente les quantiles locaux (Nantel, 2006) et les quantiles régionaux estimés par ARIDE ainsi que les intervalles de confiance de 95% associés. La figure 5.1 et le tableau 5.2 présentent les résultats de la comparaison et permet de constater un accord acceptable entre quantiles régionaux et locaux. En effet, le rapport des quantiles régionaux sur les quantiles locaux varie de 0,7 à 1,7 et les intervalles de confiance de 95% des quantiles régionaux et locaux se chevauchent pour toutes ces localités sauf une, à savoir Acton Vale. Ce site avait toutefois déjà été identifié comme problématique par l'équipe de développement du logiciel, qui avait noté, sans plus d'explications, que le site comportait un régime hydrologique particulier. La plus grande différence entre les quantiles s'observe à la prise d'eau d'Asbestos, laquelle a, de fait, le plus petit bassin versant avec 528 km².

Tableau 5.1 Quantiles locaux et quantiles régionaux estimés par ARIDE

Nom de la prise d'eau	Q _{2,7} local (m ³ /j)	Intervalle de confiance (95%)	Q _{2,7} régional (m ³ /j)	Intervalle de confiance (95%)
Asbestos	59 232	48 749 - 69 714	100 224	60 480 - 164 160
Joliette	342 317	293 475 - 391 159	381 024	267 840 - 535 680
Saint-Hyacinthe	335 135	194 400 - 475 891	462 240	328 320 - 656 640
Acton Vale	25 931	9 770 - 35 932	91 584	60 480 - 146 880
Sainte-Jeanne-d'Arc	304 926	282 433 - 324 380	221 184	146 880 - 336 960
Fort-Coulonge	1 425 188	1 275 428 - 1 574 950	1 702 080	1 149 120 - 2 522 880

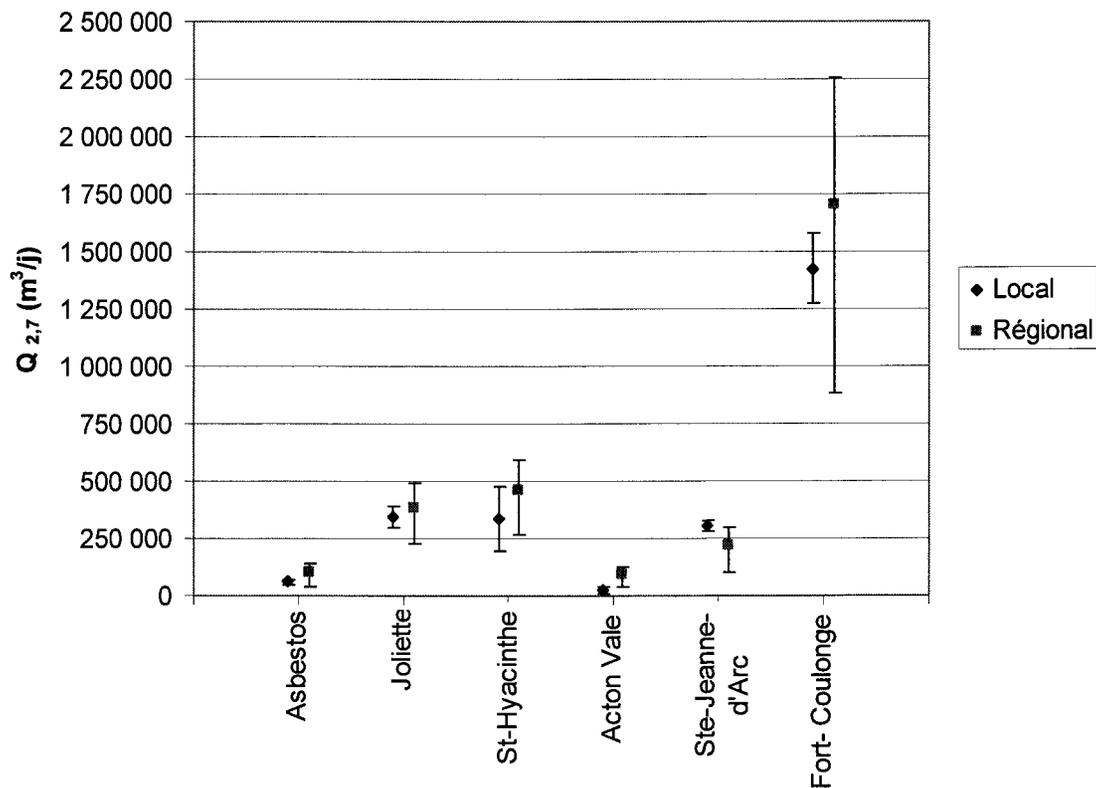


Figure 5.1 Quantiles locaux et quantiles régionaux estimés par ARIDE

Tableau 5.2 Comparaison entre quantiles locaux et quantiles régionaux estimés par ARIDE

Nom de la prise d'eau	Bassin versant (km ²)	Régional / Local	Intervalles de confiance (95%) se chevauchent ?
Asbestos	528	1,7	oui
Joliette	1 307	1,1	oui
Saint-Hyacinthe	3 334	1,4	oui
Acton Vale	595	3,5	non
Sainte-Jeanne-d'Arc	722	0,7	oui
Fort-Coulonge	5 157	1,2	oui

5.4 Calcul des quantiles d'étiage

Les résultats du modèle ARIDE étant jugés satisfaisants, les quantiles d'étiage annuels ont été calculés pour les 46 prises d'eau retenues préalablement. Le tableau 5.3 présente les quantiles obtenus ainsi que, dans certains cas, les intervalles de confiance de 95%. Les systèmes apparaissent dans le même ordre que dans le tableau 4.1.

Tableau 5.3 Quantiles d'étiages aux prises d'eau des systèmes étudiés

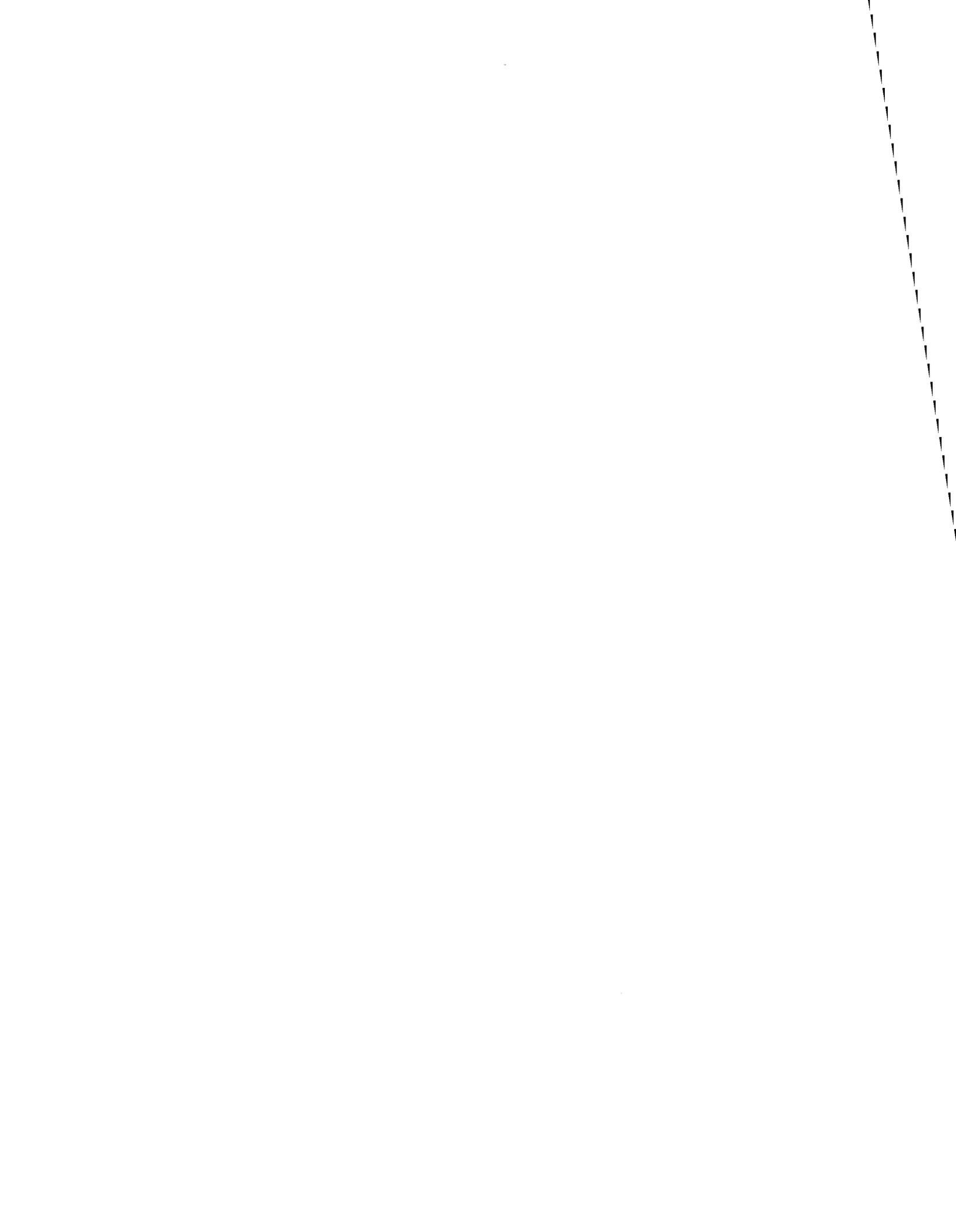
Approvisionnement	Numéro	Q _{3,7} (m ³ /j)	Intervalle de confiance (95%)	Q _{10,7} (m ³ /j)	Intervalle de confiance (95%)
1 Québec (lac Saint-Charles)	3 772	67 392	43 200-103 680	38 016	25 920-60 480
2 Grand-Mère	3 889	3 456	-	1 728	-
3 Thetford Mines	3 053	6 048	-	4 320	-
4 Jonquière	2 022	8 640	-	5 184	-
5 Valcourt	5 991	6 048	-	1 728	-
6 Baie-Comeau (Sainte-Amélie)	10 199	10 368	-	3 456	-
7 Shawinigan	4 226	27 648	17 280-51 840	12 960	-
8 Sutton (Réservoir captage Lac Spruce)	24 729	691	-	346	-
9 Bromptonville	5 835	6 048	-	1 728	-
10 Rouyn-Noranda	9 597	15 552	-	6 048	-
11 Boischatel	3 350	4 320	-	2 592	-
12 Saint-Gabriel	11 494	7 776	-	4 320	-
13 New Carlisle	1 008	4 320	-	2 592	-
14 L'Islet	2 774	4 320	-	2 592	-
15 Lac-au-Saumon	893	5 184	-	1 728	-
16 Lac-Etchemin	3 079	10 368	-	6 048	-
17 Saint-Gabriel	1 180	1 728	-	1 728	-
18 Barr. Saint-Jean- Port-Joli (aut. trait.)	11 593	9 504	-	4 320	-
19 La Rédemption	885	1 728	-	1 728	-
20 Barr. des Perdrix Montmagny (sta. pur.)	2 808	13 824	-	8 640	-

Approvisionnement	Numéro	Q_{3,7} (m³/j)	Intervalle de confiance (95%)	Q_{10,7} (m³/j)	Intervalle de confiance (95%)
21 Baie-Comeau (Saint-Georges)	9 787	16 416	-	4 320	-
22 Eastman	5 900	864	-	864	-
23 Beauceville	2 758	11 232	-	4 320	-
24 Victoriaville	5 223	54 432	34 560-86 400	34 560	25 920-51 840
25 Maria	935	7 776	-	5 184	-
26 Beauport	3 707	391 392	285 120-535 680	314 496	198 720-501 120
27 Saint-Fulgence	1 636	6 912	-	2 592	-
28 Château-Richer	3 418	9 504	-	6 048	-
29 Sainte-Félicité	1 297	6 048	-	3 456	-
30 Cowansville	6 866	40 608	25 920-51 840	17 280	-
31 Saint-Jérôme	7 955	367 200	276 480-492 480	240 192	146 880-388 800
32 Hébertville	1 453	8 640	-	6 048	-
33 Val-Brillant	1 321	4 320	-	2 592	-
34 Dégelis	810	8 640	-	5 184	-
35 L'Anse-St-Jean	1 479	7 776	-	3 456	-
36 Ste-Madeleine-de- la-rivière- Madeleine	18 242	3 456	-	2 592	-
37 La Tuque	3 921	108 864	69 120-172 800	62 208	34 560-112 320
38 Scostown	5 975	7 776	-	5 184	-
39 Témiscaming	9 753	19 008	-	9 504	-
40 Newport	1 016	70 848	51 840-103 680	54 432	34 560-95 040
41 Saint-Donat	1 164	4 320	-	2 592	-
42 Danville	11 296	9 504	-	5 184	-
43 Les Méchins	901	8 640	-	6 048	-
44 Parent	3 954	3 456	-	2 592	-
45 Percé	1 040	8 640	-	5 184	-
46 Baie-Trinité	9 803	9 504	-	3 456	-

Dépendant des cours d'eau analysés, les quantiles varient de 691 m³/j à 391 392 m³/j pour le Q_{2,7} et de 346 m³/j à 314 496 m³/j pour le Q_{10,7}.

Pour plusieurs quantiles, les intervalles de confiance fournis par le logiciel ARIDE ne sont pas présentés car imprécis. En effet, ARIDE fournit deux décimales sur les valeurs en m³/s des quantiles et une seule décimale sur les valeurs en m³/s des bornes de l'intervalle de confiance.

Dans la majorité des cas, les valeurs sont faibles et le nombre de chiffres significatifs est insuffisant. Par exemple, dans le cas du système d'approvisionnement de Baie-Trinité, le $Q_{2,7}$ est de $0,11 \text{ m}^3/\text{s}$ ou $9504 \text{ m}^3/\text{j}$. L'intervalle de confiance fourni est de $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ à $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ soit de $8640 \text{ m}^3/\text{j}$ à $8640 \text{ m}^3/\text{j}$. Le $Q_{10,7}$ est de $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$ ou $3456 \text{ m}^3/\text{j}$ et l'intervalle de confiance correspondant est de $0,0 \text{ m}^3/\text{s}$ à $0,0 \text{ m}^3/\text{s}$.



6. Indice de pression sur les systèmes d'approvisionnement

L'indice de pression sur les systèmes d'approvisionnement considéré est défini par le rapport des quantiles $Q_{2,7}$ et $Q_{10,7}$ des prises d'eau sur le volume d'eau moyen distribué (ci-après noté Distribution) :

$$IP = \frac{Q_{2,7}}{D} \text{ et } \frac{Q_{10,7}}{D} \quad (6.1)$$

où IP : indice de pression
 $Q_{2,7}$ et $Q_{10,7}$: quantiles d'étiage (m^3/j)
D : volume d'eau moyen distribué (Distribution) (m^3/j)

Les indices de pression sont présentés au tableau 6.1, les systèmes apparaissant dans le même ordre que dans les tableaux 4.1 et 5.3. Les figures 6.1 à 6.4 montrent la comparaison des quantiles $Q_{2,7}$ et $Q_{10,7}$ des prises d'eau avec la distribution, les numéros en abscisse des figures 6.1 et 6.3 correspondant à la numérotation des 46 systèmes dans le tableau 6.1. La probabilité au non-dépassement du rapport des quantiles sur la distribution est présentée au tableau 6.1 ainsi qu'aux figures 6.2 et 6.4. Finalement, la figure 6.5 présente la localisation des systèmes étudiés et permet de voir lesquels ont un indice de pression plus faible.

Tableau 6.1 Indices de pression sur les systèmes étudiés

	Approvisionnement	Numéro	Q_{2,7} / Distribution	Prob. non- dépassement	Q_{10,7} / Distribution	Prob. non- dépassement
1	Québec (lac Saint-Charles)	3 772	0,35	0,0652	0,20	0,0870
2	Grand-Mère	3 889	0,26	0,0217	0,13	0,0217
3	Thetford Mines	3 053	0,42	0,1087	0,30	0,1087
4	Jonquière	2 022	0,30	0,0435	0,18	0,0435
5	Valcourt	5 991	1,82	0,2391	0,52	0,1957
6	Baie-Comeau (Sainte-Amélie)	10 199	1,18	0,1739	0,39	0,1522
7	Shawinigan	4 226	0,95	0,1304	0,45	0,1739
8	Sutton (Rés. captage Lac Spruce)	24 729	0,40	0,0870	0,20	0,0652
9	Bromptonville	5 835	3,83	0,3913	1,09	0,2609
10	Rouyn-Noranda	9 597	0,97	0,1522	0,38	0,1304
11	Boischatel	3 350	1,18	0,1957	0,71	0,2174
12	Saint-Gabriel	11 494	1,67	0,2174	0,93	0,2391
13	New Carlisle	1 008	3,80	0,3696	2,28	0,3696
14	L'Islet	2 774	4,32	0,4565	2,59	0,4348
15	Lac-au-Saumon	893	8,48	0,6739	2,83	0,5000
16	Lac-Etchemin	3 079	7,15	0,5870	4,17	0,6087
17	Saint-Gabriel	1 180	8,31	0,6522	8,31	0,7826
18	Barrage Saint-Jean-Port- Joli (aut. trait.)	11 593	5,28	0,5000	2,40	0,4130
19	La Rédemption	885	4,48	0,4783	4,48	0,6957
20	Barrage des Perdrix Montmagny (sta. pur.)	2 808	2,30	0,2609	1,44	0,3044
21	Baie-Comeau (Saint-Georges)	9 787	10,64	0,7609	2,80	0,4565
22	Eastman	5 900	2,82	0,2826	2,82	0,4783
23	Beauceville	2 758	3,51	0,3261	1,35	0,2826
24	Victoriaville	5 223	3,03	0,3043	1,92	0,3478
25	Maria	935	4,26	0,4348	2,84	0,5217
26	Beauport	3 707	10,87	0,7826	8,74	0,8478
27	Saint-Fulgence	1 636	8,13	0,6304	3,05	0,5435
28	Château-Richer	3 418	5,55	0,5217	3,53	0,5870
29	Sainte-Félicité	1 297	11,41	0,8043	6,52	0,7391
30	Cowansville	6 866	3,59	0,3478	1,53	0,3261
31	Saint-Jérôme	7 955	7,98	0,6087	5,22	0,7174
32	Hébertville	1 453	5,99	0,5435	4,19	0,6304

6. Indice de pression sur les systèmes d'approvisionnement

	Approvisionnement	Numéro	Q_{2,7} / Distribution	Prob. non- dépassement	Q_{10,7} / Distribution	Prob. non- dépassement
33	Val-Brillant	1 321	13,94	0,8478	8,36	0,8261
34	Dégelis	810	3,93	0,4130	2,36	0,3913
35	L'Anse-Saint-Jean	1 479	9,72	0,7391	4,32	0,6522
36	Sainte-Madeleine-de-la- rivière-Madeleine	18 242	12,57	0,8261	9,43	0,8696
37	La Tuque	3 921	14,60	0,8696	8,34	0,8044
38	Scostown	5 975	18,78	0,9348	12,52	0,9783
39	Témiscaming	9 753	8,80	0,6957	4,40	0,6739
40	Newport	1 016	28,40	0,9783	21,82	1,0000
41	Saint-Donat	1 164	17,70	0,8913	10,62	0,9130
42	Danville	11 296	6,31	0,5652	3,44	0,5652
43	Les Méchins	901	17,74	0,9130	12,42	0,9565
44	Parent	3 954	9,60	0,7174	7,20	0,7609
45	Percé	1 040	19,55	0,9565	11,73	0,9348
46	Baie-Trinité	9 803	28,71	1,0000	10,44	0,8913

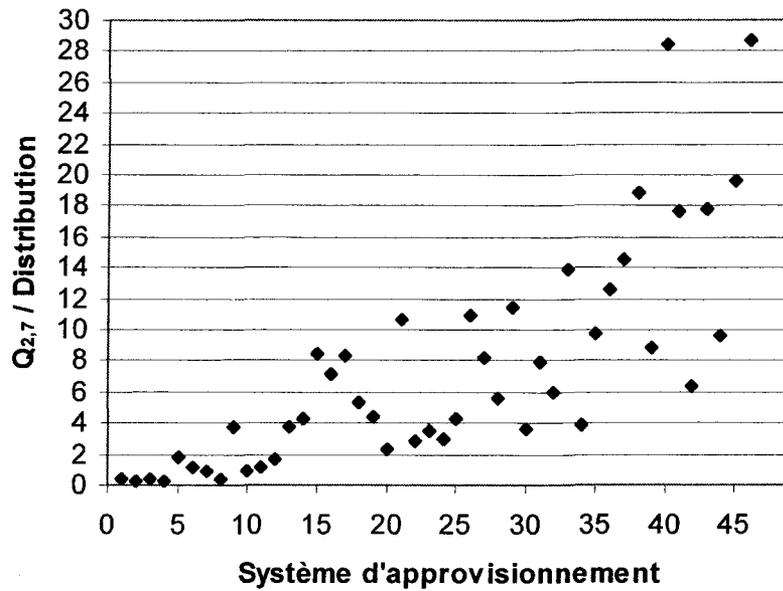


Figure 6.1 Rapport du Q_{2,7} sur la distribution pour les systèmes d'approvisionnement

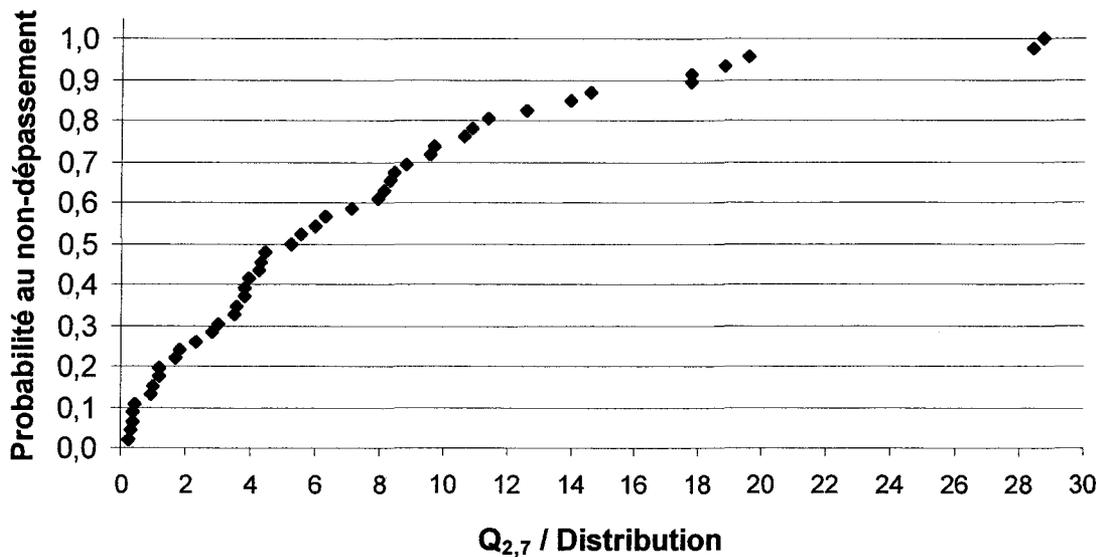


Figure 6.2 Probabilité au non-dépassement du rapport Q_{2,7} / Distribution pour les 46 systèmes

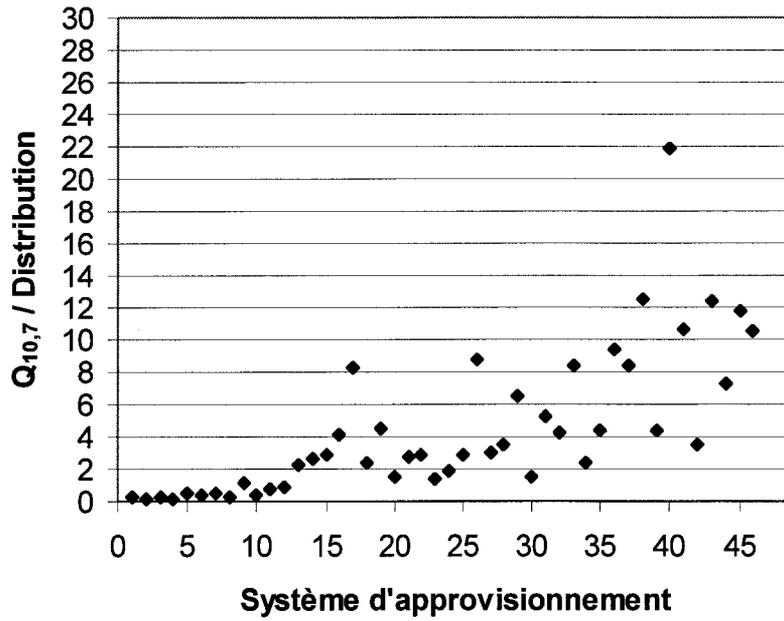


Figure 6.3 Rapport du $Q_{10,7}$ sur la distribution pour les systèmes d'approvisionnement

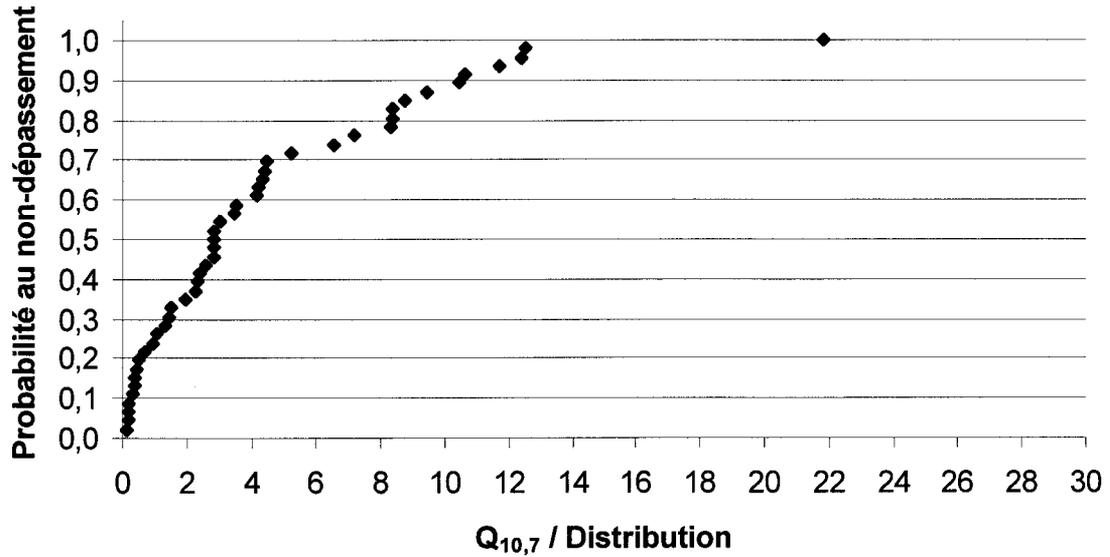


Figure 6.4 Probabilité au non-dépassement du rapport $Q_{10,7}$ / Distribution pour les 46 systèmes

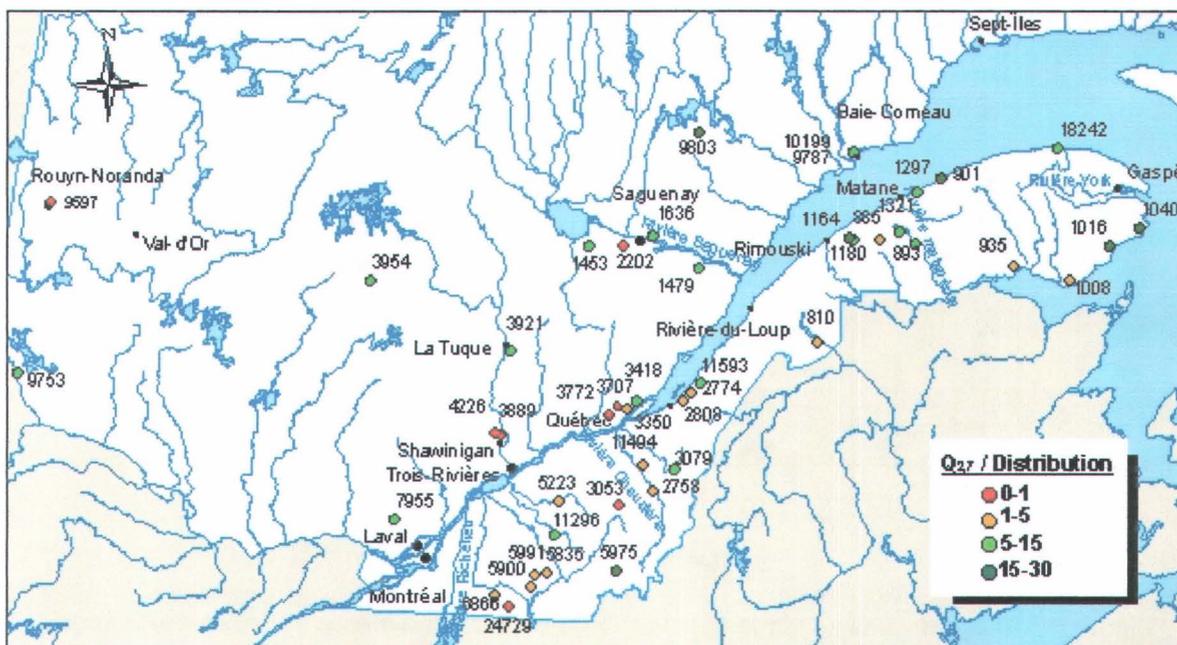


Figure 6.5 Localisation et indice de pression des systèmes étudiés

L'évaluation des rapports $Q_{2,7} / \text{Distribution}$ et $Q_{10,7} / \text{Distribution}$ des systèmes présentés au tableau 6.1 peut faciliter l'établissement des priorités en matière d'évaluation de la vulnérabilité. Les systèmes d'approvisionnement dont les rapports entre le $Q_{2,7}$ ou le $Q_{10,7}$ à la prise d'eau et la demande sont les plus faibles sont identifiés comme subissant davantage de pression. Sept systèmes présentent un $Q_{2,7} / \text{Distribution} < 1$. Cela signifie que, statistiquement, il surviendrait tous les deux ans une période de sept jours consécutifs durant laquelle le débit moyen du cours d'eau d'approvisionnement serait inférieur au débit moyen habituellement distribué dans le réseau d'aqueduc municipal. Il s'agit des systèmes de Québec (rivière Saint-Charles), secteur Grand-Mère de Shawinigan, Thetford-Mines, secteur Jonquière de Saguenay, Shawinigan, Sutton et Rouyn-Noranda.

Advenant une période sèche au Québec, ces municipalités risquent, selon l'estimateur utilisé et les données disponibles, d'être les premières à ressentir une pression particulièrement importante sur leur système d'approvisionnement en eau potable. Dans ce cas, la menace d'une pénurie pourra être réduite par des mesures d'adaptation, par exemple si les

municipalités possèdent une certaine capacité de réserve d'eau ou si les usagers parviennent à diminuer temporairement leur consommation.

Bien qu'apparaissant dans cette section du mémoire, les systèmes des municipalités de New Carlisle et de Victoriaville subissent en réalité une pression moindre que celle présentée, puisque ces municipalités possèdent respectivement deux et une prises d'eau souterraine en plus de la prise d'eau de surface considérée dans la présente étude.

7. Conclusion

L'eau potable est une ressource dont la population québécoise se préoccupe de plus en plus. Les effets des changements climatiques sur les ressources en eau se manifestant peu à peu, la disponibilité des volumes d'eau nécessaires pour combler nos besoins est-elle menacée? Un travail d'analyse de la pression actuelle sur les systèmes d'approvisionnement en eau potable du Québec s'inscrit dans un cadre social et environnemental de recherche de première importance.

La pression sur les systèmes de distribution d'eau potable municipaux du sud du Québec a été évaluée en calculant d'abord, pour 122 systèmes, le rapport de l'aire du bassin versant de leur prise d'eau de surface sur le nombre d'usagers. Ces 122 systèmes d'approvisionnement avaient été retenus d'une liste plus vaste, une fois éliminés les systèmes pour lesquels les données étaient incomplètes ou ne répondant pas aux critères de sélection prescrits. Les 46 systèmes de distribution présentant un rapport inférieur à 0,04 km²/habitant ont été considérés pour le calcul des quantiles d'étiage. Les quantiles d'étiage ont été obtenus en utilisant la méthode d'analyse régionale du logiciel ARIDE, développé à l'INRS-ETE. Finalement, un indice de pression a été évalué pour les 46 systèmes retenus en comparant les quantiles d'étiage ($Q_{2,7}$ et $Q_{10,7}$) avec les volumes d'eau moyens distribués (Distribution). On dénombre sept systèmes dont l'indice $Q_{2,7} / \text{Distribution}$ est inférieur à 1 et qui subissent donc une pression considérable.

L'approche proposée permet une première estimation de la pression exercée sur plusieurs systèmes d'approvisionnement municipaux. Toutefois, l'évaluation de la vulnérabilité d'un réseau de distribution donné doit s'appuyer sur une analyse plus locale des caractéristiques hydrologiques du site d'approvisionnement et des infrastructures en place. Par exemple, une municipalité peut posséder une certaine capacité de réserve d'eau ou des ouvrages dont la gestion peut permettre de réduire l'ampleur des étiages. Les résultats obtenus doivent aussi être interprétés à la lumière des incertitudes sur les paramètres considérés (p. ex. les intervalles de confiance associés aux quantiles d'étiage sont très larges). Enfin, il faut mentionner que les volumes d'eau distribués, et ainsi la demande en eau, ont été supposés constants. Or, la

demande a très certainement varié par le passé, par exemple lors de l'augmentation d'activités industrielles ou commerciales exigeant beaucoup d'eau, de la mise en place de programmes d'économie d'eau ou de la réfection des infrastructures de distribution et conséquemment diminution des fuites en réseau. La demande fluctue également autour de la moyenne durant l'année, augmentant bien sûr pendant les périodes de chaleur.

7.1 Recommandations pour les travaux futurs

Afin de compléter les conclusions de ce mémoire et d'en approfondir certains points, quatre principaux éléments peuvent être soulignés.

1. D'une part, les systèmes d'approvisionnement subissant les plus grandes pressions devraient être l'objet d'études plus poussées et être traités cas par cas. Les gestionnaires des réseaux concernés pourraient être contactés afin d'analyser les événements historiques d'étiage ayant occasionné des problèmes d'approvisionnement. La prise en compte des caractéristiques locales de chaque système rendrait possible une évaluation de la vulnérabilité globale, selon la définition de RNC (2004a), ou d'une vulnérabilité plus exacte et précise, selon la définition de Kelly et Adger (2000). En effet, l'hydrologie particulière d'un cours d'eau, les différents prélèvements effectués, la gestion de son débit, s'il y a lieu, ainsi que les mesures d'urgence potentiellement mises en place par les autorités responsables conditionnent la vulnérabilité réelle d'un système d'approvisionnement.
2. D'autre part, les eaux souterraines devraient être considérées dans de futurs travaux puisqu'un pourcentage significatif de la population est desservi par cette ressource, uniquement ou en partie.
3. Également, le recensement des approvisionnements reliés aux secteurs agricoles et industriels devrait être entrepris afin de compléter le bilan des prélèvements d'eau du Québec.
4. Enfin, puisque les résultats présentés dans ce mémoire s'appuient sur des données hydrologiques stationnaires enregistrées au cours des dernières décennies, il serait

opportun d'évaluer un indice de pression similaire mais sous des conditions climatiques futures, c'est-à-dire en considérant l'impact des changements climatiques sur le régime hydrologique des cours d'eau. Tel qu'expliqué au chapitre 2, les changements climatiques menacent d'accroître la fréquence des étiages et la pression sur certains systèmes d'approvisionnement pourrait donc se trouver amplifiée. La demande en eau risque également de varier dans le temps. Mais, alors que le temps chaud risque d'entraîner une hausse de la demande, des mesures d'économie d'eau mises en place peuvent permettre de réduire la consommation et ainsi diminuer la vulnérabilité.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE CANADA. (2000). *La santé de l'eau : Vers une agriculture durable au Canada*. D.R. Coote et L.J. Gregorich (dirs.). Ottawa : Ministre des Travaux publics et Services gouvernementaux Canada. Publication 2020/F.

ALEXANDER, L.V., ZHANG, X., PETERSON, T. C., CAESAR, J., GLEASON, B., KLEIN TANK, A., HAYLOCK, M., COLLINS, D., TREWIN, B., RAHIMZADEH, F., TAGIPOUR, A., RUPA KUMAR, K., REVADEKAR, J., GRIFFITHS, G., VINCENT, L., STEPHENSON, D., BURN, J., AGUILAR, E., BRUNET, M., TAYLOR, M., NEW, M., ZHAI P., RUSTICUCCI, M. et VASQUEZ-AGUIRRE, J.L. (2006). « Global observed changes in daily climate extremes of temperatures and precipitation » *Journal of Geophysical Research* 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290.

AKUOKO-ASIBEY, A., NKEMDIRIM, L., DRAPER, D. (1993). «The Impacts of Climatic Variables on Seasonal Water Consumption in Calgary, Alberta». *Revue canadienne des ressources en eau* 18 (2) : 107-116.

ARNELL, N. et LIU, C. (2001). « Hydrology and water resources ». Dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White. Cambridge : University Press, 191-233.

BERAN, M. et RODIER, J. A. (1985). *Hydrological aspects of drought*. Studies and reports in hydrology 39. UNESCO-WMO. Paris, France.

BRUCE, J., BURTON, I., MARTIN, H., MILLS, B. et MORTSCH, L. (2000). *Le secteur de l'eau : vulnérabilité et adaptation aux changements climatiques*. Document de travail pour les ateliers régionaux préparé avec l'appui du Fonds d'action pour le changement climatique, Ressources naturelles Canada, 70 p.

CARRIÈRE, A., BARBEAU, B. et PÉLOQUIN, D. (2004). « Impacts of water levels on water treatment plants operation in the lower St.Lawrence River ». Dans *Recueil de conférences du 57^e congrès de l'Association canadienne des ressources hydriques, eau et changement climatique : comprendre pour mieux s'adapter*. 16-18 juin 2004. Montréal, Québec : ACRH.

CEHQ. (2003). *Suivi hydrologique de stations hydrologiques (niveau et débit)*. Centre d'expertise hydrique du Québec. www.cehq.gouv.qc.ca/index.asp (Consultation en ligne le 10 août 2006).

CHAMPAGNE, S. (2005). « Les Lavallois doivent “fermer” le robinet ». *La Presse*. Actualités. 10 août. p.A17.

COHEN, S. et KULKARNI, T. (2001). *Water management & climate change in the Okanagan basin*, Environment Canada & University of British Columbia. 75 p.

CROLEY II, T. (1990). « Laurentian Great lakes double-Co₂ climate change hydrology impacts », *Climatic Change* 17 (1) : 27-47.

CUNNANE, C. (1978). « Unbiased plotting positions – a review ». *Journal of Hydrology* 37 : 205-222.

CYR, J.-F. et TURCOTTE, R. (2006). « Adaptation aux changements climatiques dans le sud du Québec. Applications en gestion des barrages et en gestion de la ressource eau ». Conférence présentée à l'Atelier d'une journée organisé par Ouranos dans le cadre du 74e congrès ACFAS - Changements climatiques : de la modélisation à l'adaptation. 18 mai.

DELISLE, A. (1998). *Un portait à jour de l'eau du Québec*. Symposium sur la Gestion de l'Eau au Québec, Volume 1 : Recueil de textes des conférenciers. J.-P. Villeneuve, A.N. Rousseau et S. Duchesne (éd.). Québec : Université du Québec, INRS-Eau, 18-26.

DE LÖE, R., KREUTZWISER, R. et MORARU, L. (2001). « Adaptation options for the near term: climate change and the Canadian water sector ». *Global Environmental Change* 11 (3) : 231-245.

DUQUETTE, P. (2005). « L'eau se fait plus rare à Gatineau ». *Le Droit*. Manchette, 7 juin. p.4

ENVIRONNEMENT CANADA. (1997a). *Étude pan-canadienne sur l'adaptation à la variabilité et au changement climatique au Québec : Tome V*, par Luc Bergeron, Gérald Vigeant et Jacinthe Lacroix.

ENVIRONNEMENT CANADA. (1997b). *Étude pan-canadienne sur l'adaptation à la variabilité et au changement climatique : Tome VII, Questions sectorielles*. Chapitre 1 : Changement et variabilité climatiques : Impacts sur l'eau du Canada. Ottawa.

ENVIRONNEMENT CANADA. (2003a). *Projet d'utilisation et d'approvisionnement d'eau. Les sources, l'utilisation et la demande future d'eau des Grands Lacs à l'échelon des sous-bassins et les répercussions éventuelles du changement climatique*. www.on.ec.gc.ca/water/water-use/intro-f.html (Mise à jour le 10 juin 2003).

ENVIRONNEMENT CANADA. (2004a). *Menaces pour la disponibilité de l'eau au Canada. Rapport No 3. Série de rapports d'évaluation scientifique de l'INRE et Série de documents d'évaluation de la science de la DGSAC*. Burlington, Ontario : Institut national de recherche scientifique, 148 p.

ENVIRONNEMENT CANADA. (2004b). *Archives climatiques nationales*. www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca. (Consultation en ligne le 11 septembre 2006).

ENVIRONNEMENT CANADA. (2005a). *Rapport de 2004 sur l'utilisation municipale de l'eau. Utilisation de l'eau par les municipalités : statistiques de 2001*. www.ec.gc.ca/water/fr/info/pubs/sss/f_mun2001.htm#1 (Mise à jour le 21 février 2005).

ENVIRONNEMENT CANADA. (2005b). *La gestion de l'eau. L'utilisation de l'eau*. www.ec.gc.ca/water/fr/manage/use/f_use.htm (Mise à jour le 8 avril 2005).

FOWLER, H.J., KILSBY, C.G. ET O'CONNELL, P.E. (2003). « Modeling the impacts of climatic change and variability on the reliability, resilience, and vulnerability of a water resource system ». *Water Resources Research* 39 (8) : 1222.

GIEC. (2001). *Bilan 2001 des changements climatiques : Conséquences, adaptation et vulnérabilité*. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Contribution du Groupe de travail II au troisième rapport d'évaluation du GIEC. 97 p.

GIRARD, C., OUARDA, T.B.M.J. et BOBÉE, B. (2000). *Une approche par classification à la constitution de voisinages homogènes basés sur l'ACC*. INRS-Eau, Rapport de recherche No R-576. Québec. 21 p.

GRAND DICTIONNAIRE TERMINOLOGIQUE. (2006) www.granddictionnaire.com. (Consultation en ligne le 13 septembre 2006).

HARTMANN, H. C. (1990). « Climate change impacts on Great Lakes levels ». *Climatic Change* 17 (1) : 49-67.

HERRERA, E. OUARDA, T.B.M.J., GINGRAS, H., BOBÉE, B. (2003). *Rapport d'étape pour le projet Parde, Développement d'un modèle hydrologique visant l'estimation des débits d'étiage pour le Québec habité*. Chaire en Hydrologie Statistique, INRS-ETE, Rapport de recherche No R-684-E1. Québec. 479 p.

HISDAL, H. et TALLAKSEN, M. (2000). *Drought event definition*. Technical report to the ARIDE project No. 6. Supplement to Work Package 2 Hydro-meteorological Drought. Department of Geophysics, University of Oslo, Norvège. 41 p.

HOSKING, J.R.M. et WALLIS, J.R. (1997). *Regional frequency analysis*. Cambridge University Press.

HURD, B. H., LEARY, N., JONES, R. et SMITH, J. B. (1999). « Relative Regional Vulnerability of Water Resources to Climate Change ». *Journal of the American Water Resources Association* 35 (6) : 1399-1410.

KELLY, P.M. et ADGER, W.N. (2000). « Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation », *Climatic Change* 47 (4) : 325-352.

KREUTZWISER, R.D., MORARU, L., DE LOË, R., MILLS, B. et SCHAEFER, K. (2003). « Drought sensitivity of municipal water supply systems in Ontario ». *Great Lakes Geographer* 9 (2) : 59-70.

KULSHRESHTHA, S.N. (1998). « A global outlook for water resources to the year 2025 », *Water Resources Management* 12 (3) : 167-184.

LAMOTHE et PÉRIARD, consultants. (1989). *Les repercussions d'un changement climatique sur les besoins en eau des municipalités et sur l'industrie du golf au Québec, Sommaire du changement climatique SCC 89-04*. SEA, Environnement Canada. Downsview (Ontario). 6 p.

MAATHUIS, H. et THORLEIFSON, L.H. (2000). *Potential impact of climate change on Prairie groundwater supplies : review of current knowledge*, Geological Survey of Canada. Saskatchewan Research Council, publication no 11304-2E00 : 43p.

MAILHOT, A., ROUSSEAU, A.N., LACROIX-VACHON, B., NANTEL, E. VILLENEUVE, J.-P. (2004). « Approvisionnement en eau au Québec : Cartographie et estimation des volumes d'eau de surface prélevés alimentant des réseaux municipaux ». Dans *Recueil de conférence du 57^e congrès annuel de l'Association Canadienne des Ressources Hydriques, eau et changement climatique : comprendre pour mieux s'adapter*. 16-18 juin, Montréal, Québec, : ACRH.

MANN, H.B. (1945). « Nonparametric tests against trend ». *Econometrica* 3 : 245-259

MARSH, P. et LESACK, L. F. W. (1996). « Climate change and the hydrological regime of lakes in the Mackenzie Delta ». *Limnology and Oceanography* 41: 849-856.

MDDEP. (2006). Répertoire de tous les réseaux municipaux de distribution d'eau potable. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. www.mddep.gouv.qc.ca/eau/potable/distribution/index.htm (Consulté en ligne le 10 août 2006).

MENV. (2000). *Plan d'action québécois 2000-2002 sur les changements climatiques*. Ministère de l'Environnement du Québec. Envirodoq : ENV2000-0173.

MENV. (2001). *Méthode de calcul des objectifs environnementaux de rejet pour les contaminants du milieu aquatique*. Ministère de l'Environnement du Québec. Direction du suivi de l'état de l'environnement, éd. rév. Québec, 21 p.

MENV. (2004). *Guide de conception des installations de production d'eau potable*. Ministère de l'Environnement du Québec. www.mddep.gouv.qc.ca/eau/potable/guide (Mise à jour le 26 janvier 2004).

MONTMINY, M.J. (2005). « Le niveau des sources au seuil critique. La Ville de Shawinigan émet une interdiction d'arroser ». *Le Nouvelliste (Trois-Rivières)*, Actualités, 12 août.

MORGENTHALER, S. (1997). *Introduction à la statistique*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes Lausanne, collection : Méthodes mathématiques pour l'ingénieur 09, 317 p.

MORIN, J. et BOUCHARD, A. (2000). *Les bases de la modélisation du tronçon Montréal/Trois-Rivières*. Rapport scientifique, Service météorologique du Canada, Hydrométrie RS-100. Environnement Canada, Sainte-Foy, 55 p.

MORSTCH, L.D., HENGEVELD, H., LISTER, M., LOFGREN, B., QUINN, F. SLIVITZKY, M. ET WENGER, L. (2000). « Climate change impacts on the Hydrology of the Great Lakes-St. Lawrence system ». *Canadian Water Resources Journal*, 25 (2) : 153-179.

NANTEL, E. (2006). *Élaboration d'une méthode d'estimation des vulnérabilités historiques des approvisionnements en eau potable au Québec*. [Mémoire de maîtrise] Québec : Université du Québec, INRS-ETE, 134 p.

OUARDA, T.B.M.J., HACHÉ, M., BRUNEAU, P. et BOBÉE, B. (2000). « Regional flood peak and volume estimation northern Canadian basin ». *Journal of Cold Regions Engineering* 14 (4) : 176-191.

OUARDA, T.B.M.J., GIRARD, C., CAVADIAS, G.S. et BOBÉE, B. (2000). « Regional flood frequency estimation with canonical correlation analysis ». *Journal of Hydrology* 254 (1-4) : 157-173.

OUARDA, T.B.M.J., JOURDAIN, V., GIGNAC, N., GINGRAS, H., HERRERA, E. et BOBÉE, B. (2005). *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. Québec. 117 p.

OURANOS. (2004). *S'adapter aux changements climatiques*. www.ouranos.ca/cc/table_f.html (Consulté en janvier 2005).

POIANI, K., JOHNSON, W., SWANSON, G. A. et WINTER, T. C. (1996). « Climate change and northern prairie wetlands : Simulations of long-term dynamics ». *Limnology and Oceanography* 41(5) : 871-881.

PYRCE, R.S. (2004). *Hydrological low flow indices and their uses*. WSC Report No.04-2004. Watershed Science Center, Peterborough, Ontario : 33 p.

RADIO-CANADA. (2002a). *La Ville de Québec pourrait manquer d'eau si la sécheresse se poursuit*. www.radio-canada.ca/Québec. Mise à jour du 2002-09-04.

RADIO-CANADA. (2002b). *Le pompage de l'eau dans la Jacques-Cartier est commencé*. www.radio-canada.ca/Québec. Mise à jour du 2002-09-30.

RESSOURCES NATURELLES CANADA. (2004a). Direction des impacts et de l'adaptation liés au changement climatique. *Les ressources en eau – Impacts et adaptation liés au changement climatique : perspective canadienne*. 190 p.

RESSOURCES NATURELLES CANADA. (2004b). *L'Atlas du Canada*. <http://atlas.gc.ca/site/francais/maps/freshwater/consumption/1> (mise à jour du 26 mars 2004).

RIVARD, C., MARION, J., MICHAUD, Y., BENHAMMANE, S., MORIN, A., LEFEBVRE, R. et RIVERA, A. (2003). *Étude de l'impact potentiel des changements climatiques sur les ressources en eau souterraine dans l'Est du Canada*. Commission géologique du Canada. Ressources naturelles Canada. Dossier public 1577. 164 p.

ROUSSEAU A.N., MAILHOT, A., SLIVITZKY, M., VILLENEUVE, J.-P., RODRIGUEZ, M.J. et BOURQUE, A. (2004). « Usages et approvisionnement en eau dans le sud du Québec ». *Revue canadienne des ressources hydriques* 29 (2) : 125-138.

SANDERSON, M. et SMITH, J. (1993). « The present and 2xCO₂ climate and water balance in the basin ». *The Impact of Climate Change on Water in the Grand River Basin, Ontario*. M. Sanderson (dir.) Department of Geography Publication Series, No. 40, Université de Waterloo, Waterloo, Ontario : 3-24.

SCHINDLER, D. (1997). « Widespread effects of climatic warming on freshwater ecosystems in North America ». *Hydrologic Processes* 11 : 1004-1017.

SCHINDLER, D., BAYLEY, S., PARKER, B., BEATY, K., CRUIKSHANK, D., FEE, E., SCHINDLER, E. et STANTON, M. (1996). « The effects of climatic warming on the properties of boreal lakes and streams at the Experimental Lakes Area, northwestern Ontario ». *Limnology and Oceanography* 41 (5) : 1004-1017.

SHABBAR, A., BONSAI, B.R. et KHANDEKAR, M. (1997). « Canadian precipitation patterns associated with the Southern Oscillation ». *Journal of Climate* 10 (12) : 3016-3027.

SHABBAR, A. et KHANDEKAR, M. (1996). « The impact of El Niño-Southern Oscillation on the temperature field over Canada ». *Atmosphere-Ocean* 34 (2) : 401-416.

SOLLEY, W.B. et PERLMAN, H.A. (1999). *Factors affecting water-use patterns in the United States, 1950-95, with projections to 2040*. Proceedings of the Specialty Conference on Potential Consequences of Climate Variability and Change to Water Resources of the United States. AWRA.

SLIVITZKY, M. (1998). *Le capital eau : son potentiel et ses usages. Les lacs et les rivières*. Symposium sur la Gestion de l'Eau au Québec, Volume 1 : Recueil de textes des conférenciers. J.-P. Villeneuve, A.N. Rousseau et S. Duchesne (éd.). Université du Québec, INRS-Eau, Québec, Canada : 69-83.

STATISTIQUE CANADA. (2005). Démographie. Données générales. *Population par année d'âge et par sexe, Québec, 1er juillet 2005*. www.stat.gouv.qc.ca/donstat/societe/demographie/struc_popt/201_05.htm. (Consultation en ligne le 14 septembre 2006).

THÉRIAULT, C. (2005). « Pénurie d'eau et rareté du saumon au Bic ». *Le Soleil*. L'Est et la Côte-Nord, 23 juillet. p. A18.

TSAY, R.S. (1984). « Order selection in nonstationary autoregressive models ». *The Annals of Statistics* 12 (4) : 1425-1433.

VINCENT, L.A. et MÉKIS, É. (2005). « Changes in Daily and Extreme Temperature and Precipitation Indices for Canada over the 20th Century ». *Atmosphere and Ocean* (soumis).

WALD, A. et WOLFOWITZ, J. (1943). « An exact test for randomness in the non-parametric case based on serial correlation ». *The Annals of Mathematical Statistics* 14 : 378-388.

WILCOXON, F. (1945). « Individual comparisons by ranking methods ». *Biometrika Bulletin* 1 : 80-83.

WILHITE, D.A. et GLANTZ, M.H. (1985). « Understanding the drought phenomenon : the role of definitions ». *Water International* 10 (3) : 111-120.

YOHE, G. et SCHLESINGER, M. (2002). « The economic geography of the impacts of climate change ». *Journal of Economic Geography* 2 (3) : 311-341.

ZHANG, X., VINCENT, L.A., HOGG, W.D. et NIITSOO, A. (2000). « Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century ». *Atmosphere-Ocean* 38 (3) : 395-429.

Annexe A : Portrait actuel des systèmes d’approvisionnement municipaux en eau au Québec

Le bilan présenté dans cette annexe donne la liste de 389 prises d’eau desservant 316 systèmes d’approvisionnement municipaux (Nantel, 2006). Le nom des approvisionnements indiqué provient de la *Banque eau potable* du MDDEP ou réfère à l’emplacement de la source ou des usagers. Pour chaque système d’approvisionnement, le tableau A.1 présente le nom de la source d’eau, si disponible, le nombre d’usagers desservis et le volume d’eau moyen prélevé en date de 2003. La raison de l’exclusion du système de l’étude, s’il y a lieu, est également indiquée. Les prises d’eau appartenant à un même système d’approvisionnement ont été regroupées sur une seule ligne, et les valeurs de population et de volume moyen distribué se rapportent à l’ensemble du système. Les prises d’eau souterraine sont identifiées par (s).

Tableau A.1 Portrait actuel des approvisionnements municipaux en eau au Québec

Nom de l’approvisionnement	Numéro d’approvisionnement	Source	Population desservie	Volume distribué (m ³ /j)	Raison de l’exclusion
ACTON VALE	6791	Riv. Noire	4 430	10 000	
ALBANEL RANGS 6 ET 7 NORD	1396	Lac Mistassini	350	214	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
ALMA	1404	Riv. Saguenay	25 763	15 000	
AMHERST	8045		495	302	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
ANGLIERS	9613		94	59	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
ASBESTOS	5710	Riv. Nicolet-Sud	6 700	4 600	
AYER’S CLIFF	5728	Lac Massawippi	1 417	1 000	
AYLMER	8896	Riv. des Outaouais	29 100	19 177	Exclu : BV Ontario (section 4.1)

Tableau A.1 (suite) Portrait actuel des approvisionnements municipaux en eau au Québec

Nom de l'approvisionnement	Numéro d'approvisionnement	Source	Population desservie	Volume distribué (m³/j)	Raison de l'exclusion
AYLMER SOUND	10389		108	68	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
BAIE-COMEAU (Mc CORMICK)	9779	Riv. Manicouagan	63	40	
BAIE-COMEAU (MINGAN)	9795	Riv. Manicouagan	13 183	8 520	
BAIE-COMEAU (Sainte-Amélie)	10199	Lac à la Chasse	8 970	8 760	
BAIE-COMEAU (SAINT-GEORGES)	9787	Lac à la Chasse	2 461	1 543	
BAIE-JOHAN-BEETZ	12302	Riv. Piashti	135	85	
BAIE-TRINITÉ	9803	Riv. de la Trinité	600	331	
BARRAGE DES PERDRIX MONTMAGNY (STA. PUR.)	2808	Riv. des Perdrix	10 000	6 000	
BARRAGE SAINT-JEAN-PORT-JOLI (AUT.TRAIT.)	11593	Riv. Trois Saumons Est	3 305	1 800	
BEAUCEVILLE	2758	Riv. du Moulin	5 220	3 200	
BEAUHARNOIS	6809	Fleuve Saint-Laurent	9 218	5 000	Exclu : Fleuve (section 3.2)
BEAUPORT	3707	Riv. Montmorency	74 000	36 000	
BEAUPRÉ	3756	Riv. aux Chiens	6 300	4 782	Exclu : >1 prise surface (section 3.2)
BÉCANCOUR	5058	Fleuve Saint-Laurent	9 302	4 964	Exclu : Fleuve (section 3.2)
BEDFORD	6817	Baie Missisquoi	4 750	3 218	
BELLETERRE	9647	Lac aux Sables	361	221	

Tableau A.1 (suite) Portrait actuel des approvisionnements municipaux en eau au Québec

Nom de l'approvisionnement	Numéro d'approvisionnement	Source	Population desservie	Volume distribué (m ³ /j)	Raison de l'exclusion
BERTHIERVILLE	7617	Fleuve Saint-Laurent	8 484	12 000	Exclu : Fleuve (section 3.2)
BLAINVILLE	8003+8722(s)	Fleuve Saint-Laurent	80 610	51 349	Exclu : Fleuve (section 3.2)
BOISCHATEL	3350	Riv. Ferrée	5 700	3 650	
BONNE-ESPÉRANCE	9837	Lac Birchy	506	279	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
BOUCHERVILLE	6346+6742+6932	Fleuve Saint-Laurent	236 573	145 000	Exclu : Fleuve (section 3.2)
BRÉBEUF	7856		822	454	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
BROMONT	6825	Riv. Yamaska	4 920	3 752	
BROMPTONVILLE	5835	Lac Montjoie	3 200	1 581	
BROWNSBURG-CHATHAM RIV OUEST	15297	Riv. de l'Ouest	2 600	2 000	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
BRYSON	9092	Riv. des Outaouais	790	436	Exclu : BV Ontario (section 4.1)
BUCKINGHAM	8904	Riv. du Lièvre	11 550	7 831	
CABANO	752+10835(s)	Lac Témiscouata	3 000	1 881	
CAMPBELL'S BAY	9100	Riv. des Outaouais	880	486	Exclu : BV Ontario (section 4.1)
CANDIAC	6833+17962	Fleuve Saint-Laurent	706 431	239 827	Exclu : Fleuve (section 3.2)
CAPLAN	760	Tributaire riv. Caplan	1 300	679	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
CARIGNAN	11643	Riv. Richelieu	3 070	1 517	Exclu : BV É-U (section 4.1)
CARLETON-SUR-MER	778+786(s)		1 471	768	Exclu : Prise inexistante (section 3.2)
CHAPEAU	9118	Riv. des Outaouais	400	244	Exclu : BV Ontario (section 4.1)
CHARLESBOURG	10579+10561+3723+3731(s)+3715	Riv. Montmorency	70 000	32 000	Exclu : >1 prise surface (section 3.2)

Tableau A.1 (suite) Portrait actuel des approvisionnements municipaux en eau au Québec

Nom de l'approvisionnement	Numéro d'approvisionnement	Source	Population desservie	Volume distribué (m³/j)	Raison de l'exclusion
CHÂTEAUGUAY	10272+6353+7005 +17970(s)+17988(s) +17996(s)+18002(s) +18010(s)	Fleuve Saint-Laurent	62 869	45 000	Exclu : Fleuve (section 3.2)
CHÂTEAU-RICHER	3418	Riv. du Sault à la Puce	3 466	1 712	
CHÉNÉVILLE	9126	Riv. de la Petite Nation	230	145	
CHICOUTIMI	1982	Riv. Chicoutimi	51 056	35 000	
CHICOUTIMI-NORD	1420	Tributaire de riv. Caribou	10 000	5 170	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
CLORIDORME	802+20750	Riv. du Grand Cloridorme	1 460	762	Exclu : >1 prise surface (section 3.2)
COLOMBIER	10041		850	200	
CONTRECOEUR	6841	Fleuve Saint-Laurent	5 856	6 500	Exclu : Fleuve (section 4.2)
COOP. D'AQ. DES LOTS-RENVERSÉS	18705+18697(s) +18689(s)		225	142	Exclu : Prise privée (section 3.2)
COTEAU-DU-LAC	6379	Fleuve Saint-Laurent	5 972	3 661	Exclu : Fleuve (section 3.2)
COURCELLES PRISE D'EAU #4	17616+5884(s) +11791(s)+11809(s)		750	414	Exclu : Prise non-localisée (section 3.2)
COWANSVILLE	6866	Lac Davignon	12 010	11 320	
CRABTREE	7633	Riv. Ouareau	2 273	1 400	
DANVILLE (RIVIÈRE)	11296	Riv. Danville	2 400	1 505	
DAVELUYVILLE	5116	Riv. Bécancour	2 600	1 630	
DEGELIS	810	Riv. aux Perches	2 800	2 200	

Tableau A.1 (suite) Portrait actuel des approvisionnements municipaux en eau au Québec

Nom de l'approvisionnement	Numéro d'approvisionnement	Source	Population desservie	Volume distribué (m ³ /j)	Raison de l'exclusion
DELISLE	1438	Riv. aux Harts	4 090	2 600	Exclu : < 5 km ² (section 4.1)
DESBIENS	1446		1 593	828	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
DEUX-MONTAGNES (RIE)	7864	Lac des Deux Montagnes	33 660	22 705	Exclu : Fleuve (section 3.2)
DONNACONA	3749	Riv. Jacques-Cartier	5 500	4 900	
DORVAL	7641	Lac Saint-Louis	17 320	30 000	Exclu : Fleuve (section 3.2)
DRUMMONDVILLE	5124	Riv. Saint-François	58 167	39 000	
EAST ANGUS	11858+18141+5892(s)		4 800	2 942	Exclu : >1 prise surface (section 3.2)
EAST BROUGHTON	2899		1 200	626	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
EASTMAN	5900	Lac Orford	500	306	
ESTÉREL	8847	Lac Masson	77	48	Exclu : < 5 km ² (section 4.1)
FARNHAM	6874+25312+25304	Riv. Yamaska	8 282	1 600	Exclu : >1 prise surface (section 3.2)
FASSETT	9142		300	183	
FERME-NEUVE	7872	Riv. du Lièvre	2 360	571	
FERMONT	9852		3 290	1 625	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
FORT-COULONGE	9159	Riv. Coulonge	1 640	853	
FOSSAMBAULT-SUR-LE-LAC	3442	Lac Saint-Joseph	1 933	1 005	
FRANQUELIN	9878	Lac Morris	300	183	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
GASPÉ	836	Riv. Saint-Jean	5 670	3 476	
GASPÉ / SAINT-MAURICE	844+20800	Riv. de la Petite Fourche	4 320	2 510	Exclu : >1 prise surface (section 3.2)
GATINEAU	8912	Riv. des Outaouais	105 234	63 836	Exclu : BV Ontario (section 4.1)

Tableau A.1 (suite) Portrait actuel des approvisionnements municipaux en eau au Québec

Nom de l'approvisionnement	Numéro d'approvisionnement	Source	Population desservie	Volume distribué (m³/j)	Raison de l'exclusion
GRACEFIELD	10991+9167(s) +15834(s)	Riv. Gatineau	867	479	
GRANBY	6882+18150	Riv. Yamaska Nord	44 000	3 600	Exclu : >1 prise surface (section 3.2)
GRANDE-RIVIÈRE	851	La Grande Rivière	3 824	11 913	
GRANDES-BERGERONNES	9894	Lac de l'Aqueduc	900	497	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
GRAND-MÈRE	3889	Lac des Piles	14 269	13 250	
GRENVILLE	8839		1 500	783	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
GROSSES-ROCHES	869	Riv. des Grosses Roches	500	306	
HARRINGTON HARBOUR ÉTANG NORD	10132+12435		310	189	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
HÉBERTVILLE	1453	Ruis. de la Belle Rivière	2 300	1 442	
HÉBERTVILLE-STATION	1461		1 477	771	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
HÉROUXVILLE	3897		800	442	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
HUBERDEAU	8086	Lac à la Loutre	800	442	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
HULL	8920	Riv. des Outaouais	170 999	13 519	Exclu : BV Ontario (section 4.1)
HUNTINGDON	6890	Riv. Châteauguay	3 500	1 729	Exclu : BV É-U (section 4.1)
IBERVILLE	7021	Riv. Richelieu	12 700	8 000	Exclu : BV É-U (section 4.1)
ISLE-AUX-COUDRES	84		252	154	Exclu : Prise non-localisée (section 3.2)
JOLIETTE	7658	Riv. l'Assomption	27 831	18 341	

Tableau A.1 (suite) Portrait actuel des approvisionnements municipaux en eau au Québec

Nom de l'approvisionnement	Numéro d'approvisionnement	Source	Population desservie	Volume distribué (m ³ /j)	Raison de l'exclusion
JONQUIÈRE	2022	Riv. aux Sables	44 001	29 085	
JONQUIÈRE SECTEUR ARVIDA	2014	Riv. Chicoutimi	18 001	13 519	
L'ANSE-SAINT-JEAN	1479		1 100	800	
L'ASCENSION	8110		400	244	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
L'ASSOMPTION	7674	Riv. l'Assomption	1 200	8 136	
L'ÉPIPHANIE	7690	Riv. de l'Achigan	4 664	1 500	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
L'ÎLE-DORVAL	10223	Lac Saint-Louis	51	30	Exclu : Fleuve (section 3.2)
L'ILE-PERROT	6924	Fleuve Saint-Laurent	9 513	6 000	Exclu : Fleuve (section 3.2)
LA CONCEPTION	8805	Lac de la Tuque	555	306	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
LA MALBAIE	3475		350	214	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
LA MALBAIE	3467+3376(s)		2 700	1 693	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
LA MARTRE (OUEST)	273(s)+18077	Riv. à la Martre Ouest	120	75	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
JONQUIÈRE	2022	Riv. aux Sables	44 001	29 085	
LA MARTRE SECTEUR EST	281	Riv. à la Martre	145	91	
LA MINERVE	8789	Lac Chapleau	250	157	
LA POCATIÈRE (LAC LITALIEN)	13888+877	Lac Litalien et lac Bourgelas	5 305	4 000	Exclu : >1 prise surface (section 3.2)
LA PRAIRIE	6908+17954	Fleuve Saint-Laurent	18 150	10 000	Exclu : Fleuve (section 3.2)
LA RÉDEMPTION	885	Petite riv. Rouge	700	386	
LA ROMAINE	12419	Riv. Olomane	975	538	
LA TUQUE	3921	Lac Wayagamac	11 000	7 458	
LABELLE	8128	Lac Blanc	2 000	1 196	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)

Tableau A.1 (suite) Portrait actuel des approvisionnements municipaux en eau au Québec

Nom de l'approvisionnement	Numéro d'approvisionnement	Source	Population desservie	Volume distribué (m³/j)	Raison de l'exclusion
LAC AYLMER	59		380	290	
LAC HOLLAND	17590+17582(s) +17574(s)		3 000	1 881	Exclu : Prise d'urgence (section 3.2)
LAC MASSAWIPPI HATLEY ACRES	17459	Lac Massawippi	190	120	
LAC-À-LA-TORTUE	3913+5132(s)+5140(s)	Crique de la Pointe aux Ormes	3 050	1 200	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
LAC-AU-SAUMON	893	Ruis. de l'Aqueduc	1 170	611	
LAC-AUX-SABLES	4325	Lac aux Sables	1 015	540	
LAC-DELAGE	3491		290	177	Exclu : Prise non-localisée (section 3.2)
LAC-DES-ÉCORCES	8821	Lac Rond	1 080	350	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
LAC-ETCHEMIN	3079	Lac Etchemin	3 000	1 450	
LAC-FRONTIÈRE	2923		189	119	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
LACHINE	7666	Fleuve Saint-Laurent	65 000	65 000	Exclu : Fleuve (section 3.2)
LACHUTE	11239	Ruis. Williams	9 201	4 757	
LAC-MÉGANTIC	5769	Lac Mégantic	6 376	5 000	
LACOLLE	6403+17749	Riv. Richelieu	1 600	832	Exclu : >1 prise surface (section 3.2)
LAC-SAINT-PAUL / AQ. LAC-SAINT- PAUL	21840	Lac Boucher	180	113	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
LANTIER (B.BRITH PISCINE CHLO.)	25648	Lac Ludger	150	87	Exclu : Prise privée (section 3.2)
LAROUCHE	1867	Lac de l'Aqueduc	727	401	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)

Tableau A.1 (suite) Portrait actuel des approvisionnements municipaux en eau au Québec

Nom de l'approvisionnement	Numéro d'approvisionnement	Source	Population desservie	Volume distribué (m ³ /j)	Raison de l'exclusion
LATULIPE-ET-GABOURY	9670	Lac de l'Aqueduc	223	140	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
LAVAL (CHOMEDEY)	7898	Fleuve Saint-Laurent	359 707	116 000	Exclu : Fleuve (section 3.2)
LAVAL (POINT-VIAU)	7906	Fleuve Saint-Laurent	359 707	61 700	Exclu : Fleuve (section 3.2)
LAVAL (SAINTE-ROSE)	7914	Fleuve Saint-Laurent	359 707	59 000	Exclu : Fleuve (section 3.2)
LAVALTRIE	7682	Fleuve Saint-Laurent	6 000	3 678	Exclu : Fleuve (section 3.2)
LES ESCOUMINS	10173	Lac Gardner	2 145	2 000	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
LES MÉCHINS	901	Ruis. à Pierre	882	487	
LESLIE-CLAPHAM-ET-HUDDERSFIELD	9183	Petit lac Hugues	200	126	
LÉVIS	2766	Riv. Chaudière	31 254	11 500	
L'ISLET	2774	Ruis. Sauvage	2 943	1 000	
LONGUEUIL USINE	10512	Fleuve Saint-Laurent	34 800	20 000	Exclu : Fleuve (section 3.2)
MACAMIC	9605	Riv. Lois	1 711	1 200	
MAGOG	5777	Lac Memphrémagog	18 000	13 500	Exclu : BV É-U (section 4.1)
MALARTIC	9415(s)+9423(s) +19133+19141 +19158+19166		4 140	2 538	Exclu : >1 prise surface (section 3.2)
MANDEVILLE	10686		990	546	Exclu : Prise non-localisée (section 3.2)
MARIA	935	Ruis. Mius	2 200	1 825	

Tableau A.1 (suite) Portrait actuel des approvisionnements municipaux en eau au Québec

Nom de l'approvisionnement	Numéro d'approvisionnement	Source	Population desservie	Volume distribué (m³/j)	Raison de l'exclusion
MARIEVILLE	6437+10256+6635	Riv. Richelieu	5 650	3 993	Exclu : >1 prise surface (section 3.2)
MATANE	950+968(s)		14 300	9 695	Exclu : < 5 km ² (section 4.1)
MATAPÉDIA	1339	Ruis. Harris	480	650	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
MÉTIS-SUR-MER	927	Décharge du lac Astle	450	275	
MIRABEL / SAINT-BENOÎT LAC	18796+18804(s)	Ruis. Lefebvre	1 059	615	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
MISTASSINI	1537		5 500	3 372	
MONT-CARMEL	976	Riv. Kamouraska	600	331	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
MONTEBELLO	9209	Lac Écho	1 240	1 300	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
MONT-JOLI	984	Ruis. Caron	7 400	4 800	Exclu : Prise non-localisée (section 3.2)
MONT-LAURIER	8706+8698	Lac de la Dame et lac Thibault	8 144	7 600	Exclu : >1 prise surface (section 3.2)
MONTRÉAL (CHARLES DES BAILLETS)	7716	Fleuve Saint-Laurent	1 525 361	1 136 000	Exclu : Fleuve (section 3.2)
MONTRÉAL (USINE ATWATER)	7708	Fleuve Saint-Laurent	1 525 361	1 364 000	Exclu : Fleuve (section 3.2)
MONT-TREMBLANT (LAC BRIÈRE)	8557	Lac Fortier	90	57	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
MONT-TREMBLANT (LAC TREMBLANT)	18606	Lac Tremblant	3 286	1 623	
MONT-TREMBLANT (RIVIÈRE LA DIABLE)	8383	Riv. du Diable	3 849	1 901	

Tableau A.1 (suite) Portrait actuel des approvisionnements municipaux en eau au Québec

Nom de l'approvisionnement	Numéro d'approvisionnement	Source	Population desservie	Volume distribué (m ³ /j)	Raison de l'exclusion
MORIN-HEIGHTS	8649	Lac Vert	1 599	831	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
MURDOCHVILLE	22475+992(s)		4 407	2 701	Exclu : Prise d'urgence (section 3.2)
NEW CARLISLE	1008+18549(s) +18556(s)	Lac Blanc	1 875	1 136	
NEWPORT	1016	Riv. Grand Pabos Ouest	7 070	2 495	
NICOLET	5173	Riv. Nicolet	10 800	7 322	
NOMININGUE	8813		2 000	1 040	
NOMININGUE	21733	Lac Nominingue	234	147	Exclu : Prise privée (section 3.2)
NORTH HATLEY	11957	Lac Massawippi	1 700	884	
NOTRE-DAME-AUXILIATRICE-DE-BUCKLAND	2949		515	284	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
NOTRE-DAME-DE-LA-SALETTE	9258		300	183	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
NOTRE-DAME-DU-LAC	1024	Lac Témiscouata	1 800	936	
OKA	8029	Fleuve Saint-Laurent	2 000	820	Exclu : Fleuve (section 3.2)
PARENT	3954	Riv. Dandurand	470	360	
PERCÉ	1040	Ruis. de la Côte de la Fourche	800	442	
PÉRIBONKA	1545	Riv. Péribonka	401	245	
PETIT-SAGUENAY	1552		248	625	
PIERREFONDS	7799	Riv. des Prairies	120 000	60 000	Exclu : Fleuve (section 3.2)

Tableau A.1 (suite) Portrait actuel des approvisionnements municipaux en eau au Québec

Nom de l'approvisionnement	Numéro d'approvisionnement	Source	Population desservie	Volume distribué (m ³ /j)	Raison de l'exclusion
PIERREVILLE	5181	Riv. Saint-François	4 590	2 500	
PLAGE-WILSON	1669	Tributaire sans nom	201	126	
PLESSISVILLE	5199		8 450	5 963	
POINTE-AU-PIC	3541+20842+3533(s) +20859(s)+20867(s)	Ruis. de la Côte à Pontage	3 548	1 753	Exclu : >1 prise surface (section 3.2)
POINTE-CLAIRE	7724	Lac Saint-Louis	80 000	81 830	Exclu : Fleuve (section 3.2)
POINTE-DES-CASCADES	6452	Fleuve (Canal de Soulanges)	711	392	Exclu : Fleuve (section 3.2)
PONTIAC	9217	Riv. des Outaouais	600	331	Exclu : BV Ontario (section 4.1)
PORTAGE-DU-FORT	9225	Riv. des Outaouais	360	220	Exclu : BV Ontario (section 4.1)
PORT-CARTIER	10215	Fleuve Saint-Laurent Riv. aux Rochers	7 001	5 280	Exclu : Fleuve (section 3.2)
POTTON SECTEUR OWL'S HEAD	5942	Lac Memphrémagog	300	100	Exclu : BV É-U (section 4.1)
QUÉBEC	3772	Riv. Saint-Charles	225 000	190 000	
R.I.E.U.R. (OTTERBURN PARK)	6460+6593	Lac Hertel	5 528	3 389	Exclu : >1 prise surface (section 3.2)
RAGUENEAU	9985		1 819	946	Exclu : Fleuve (section 3.2)
RAWDON	7419	Lac Vail	5 100	3 126	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
RÉGIE HENRYVILLE VENISE RIAEPHV	6478	Riv. Richelieu	3 350	910	Exclu : BV É-U (section 4.1)
REIP (ST PUR N.D.- DE-L'ÎLE-PERROT)	11171	Lac Saint-Louis	18 649	7 000	Exclu : Fleuve (section 3.2)

Tableau A.1 (suite) Portrait actuel des approvisionnements municipaux en eau au Québec

Nom de l'approvisionnement	Numéro d'approvisionnement	Source	Population desservie	Volume distribué (m ³ /j)	Raison de l'exclusion
REPENTIGNY	7740	Riv. L'Assomption	80 737	30 776	
RIMOUSKI	1057+1065+1073(s)	Lac à l'Anguille et riv. Neigette	37 001	24 457	Exclu : >1 prise surface (section 3.2)
RIVIÈRE-BLEUE	1081	Riv. Pelletier	1 200	500	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
RIVIÈRE-DU-LOUP	1412		15 678	11 774	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
RIVIÈRE-DU-LOUP	1362+20339(s)	Riv. du Loup	15 678	11 774	
ROBERVAL	2048	Lac Saint-Jean	11 886	6 500	
ROSEMÈRE	7930	Riv. des Mille Iles	16 500	12 392	Exclu : Fleuve (section 3.2)
ROUYN-NORANDA	9597	Lac Dufault	30 001	16 000	
SAINT-ADELME	1099	Ruis. Gagnon	201	225	Exclu : < 5 km ² (section 4.1)
SAINT-ADOLPHE-D'HOWARD TERRASS.	15305	Lac Saint-Denis	350	214	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINT-AIMÉ-DES-LACS	3590	Lac Sainte-Marie	363	190	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINT-ALPHONSE	1123+18069(s)		530	293	Exclu : Prise non-localisée (section 3.2)
SAINT-ANDRÉ	1909+1917(s)		350	214	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINT-ANSELME	2824	Riv. Etchemin	2 962	3 000	
SAINT-BONIFACE	3996	Lac de l'Aqueduc	575	317	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINT-BRUNO	1578	Riv. Raquette (lac à Bertrand-Tremblay)	2 625	1 646	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINT-CASIMIR	3830	Riv. Niagarette	1 860	967	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINT-CHARLES-BORROMÉE	15438	Riv. L'Assomption	8 001	5 000	
SAINT-CÔME	7476		900	497	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)

Tableau A.1 (suite) Portrait actuel des approvisionnements municipaux en eau au Québec

Nom de l'approvisionnement	Numéro d'approvisionnement	Source	Population desservie	Volume distribué (m³/j)	Raison de l'exclusion
SAINT-CUTHBERT	7831		1 785	928	
SAINT-CYPRIEN	10496		875	483	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINT-DAVID-DE-FALARDEAU	1586		1 950	1 330	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINT-DONAT	1164	Cours d'eau à Miron	400	244	
SAINTE-ADÈLE	7971	Lac Matley	2 000	1 040	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINTE-ADÈLE	10520		300	183	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINTE-ADÈLE (MONT-ROLLAND)	8680		1 500	783	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINTE-AGATHE-DES-MONTS	8490		70	44	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINTE-AGATHE-DES-MONTS	8508	Petit lac des Sables	5 500	3 372	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINTE-AGATHE-DES-MONTS S.S.	15263	Lac à la Truite	3 395	1 677	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINTE-ANNE-DE-BELLEVUE	7823	Fleuve Saint-Laurent	9 853	15 202	Exclu : Fleuve (section 3.2)
SAINTE-ANNE-DU-LAC	8326	Lac de l'Aqueduc	350	277	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINTE-ÉMÉLIE-DE-L'ÉNERGIE	7484		950	524	Exclu : Prise non-localisée (section 3.2)
SAINTE-FÉLICITÉ	1297	Riv. Savard	960	530	
SAINTE-FOY	3798	Fleuve Saint-Laurent	98 868	56 000	Exclu : Fleuve (section 3.2)
SAINTE-HEDWIDGE	1701		720	397	

Tableau A.1 (suite) Portrait actuel des approvisionnements municipaux en eau au Québec

Nom de l'approvisionnement	Numéro d'approvisionnement	Source	Population desservie	Volume distribué (m ³ /j)	Raison de l'exclusion
SAINTE-JEANNE-D'ARC	1735	Petite riv. Péribonka	800	442	
SAINT-ÉLIE-D'ORFORD	5967		900	497	Exclu : Prise non-localisée (section 3.2)
SAINTE-LUCIE	22202	Lac Sarrazin	99	62	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINTE-MADELEINE-DE-LA-RIVIÈRE-MADELEINE	18242	Petite riv. Madeleine	450	275	
SAINTE-MARGUERITE-DU-LAC-MASSON	8441	Lac Masson	1 336	697	Exclu : < 5 km ² (section 4.1)
SAINTE-MONIQUE	1719	Riv. Péribonka	900	497	
SAINTE-PERPÉTUE	3046		1 610	837	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINTE-ROSE-DU-NORD	1743	Tributaire sans nom	139	170	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINTE-SOPHIE	15289	Riv. de l'Achigan	840	464	
SAINT-EUGÈNE	1602		350	140	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINT-EUSTACHE	7948	Riv. des Mille Iles	37 600	27 000	Exclu : Fleuve (section 3.2)
SAINTE-VÉRONIQUE	8433	Lac Tibériade	600	331	
SAINT-FABIEN	1172	Lac Pichenin	1500	783	Exclu : < 5 km ² (section 4.1)
SAINT-FAUSTIN / MOUNTCAN PROPERTIES	21915	Lac Rougeaud	63	40	Exclu : Prise privée (section 3.2)
SAINT-FÉLIX-D'OTIS	1628	Tributaire sans nom	400	244	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)

Tableau A.1 (suite) Portrait actuel des approvisionnements municipaux en eau au Québec

Nom de l'approvisionnement	Numéro d'approvisionnement	Source	Population desservie	Volume distribué (m³/j)	Raison de l'exclusion
SAINT-FRANÇOIS-DE-LA-RIVIÈRE-DU-SUD	2964	Riv. Morigeau	1 015	530	
SAINT-FRANÇOIS-DE-SALES	10892	Lac Un Mille	800	442	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINT-FULGENCE	1636	Riv. aux Foins	1 635	850	
SAINT-GABRIEL	1180	Lac Hallé	800	208	
SAINT-GABRIEL	11494		9 000	4 653	
SAINT-GÉDÉON	1644		1 751	1 358	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINT-GEORGES	2832	Riv. Chaudière	13 157	8 920	
SAINT-GEORGES (DE-BEAUCE-OUEST)	11106+12955+12989	Lac Pouline et lac Cygnes	6 800	5 161	Exclu : >1 prise surface (section 3.2)
SAINT-HENRI	19067	Riv. Etchemin	2 500	1 568	
SAINT-HENRI-DE-TAILLON	1651		479	293	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINT-HIPPOLYTE	8565		196	123	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINT-HIPPOLYTE / SYLVAIN FORBES	21980	Lac Connely	180	113	Exclu : Prise privée (section 3.2)
SAINT-HUBERT	1198	Cours d'eau Sud du Village	867	479	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINT-HYACINTHE	6957+17657	Riv. Yamaska	52 363	29 400	Exclu : >1 prise surface (section 3.2)
SAINT-IRÉNÉE	3632	Tributaire de riv. Jean-Noël	377	230	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINT-JEAN-SUR-RICHELIEU	11254	Riv. Richelieu	58 317	45 000	Exclu : BV É-U (section 4.1)

Tableau A.1 (suite) Portrait actuel des approvisionnements municipaux en eau au Québec

Nom de l'approvisionnement	Numéro d'approvisionnement	Source	Population desservie	Volume distribué (m ³ /j)	Raison de l'exclusion
SAINT-JÉRÔME	7955	Riv. du Nord	62 268	46 000	
SAINT-JOSEPH-DE-COLERAINE	2980+19513(s)	Lac de l'Est	1 800	936	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINT-LAMBERT	10462	Fleuve Saint-Laurent	110 687	69 511	Exclu : Fleuve (section 3.2)
SAINT-MARC-DES-CARRIÈRES	3640+17269(s) +17277(s)+17285		2 650	1 662	Exclu : >1 prise surface (section 3.2)
SAINT-MARC-DU-LAC-LONG	1206	Ruis. d'Omer-Boutin	350	214	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINT-NAZAIRE	1685	Lac à la Mine	1 300	937	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINT-PASCAL	18713	Riv. Kamouraska	2 699	1 600	
SAINT-PAUL-DE-MONTMINY	3004	Tributaire de riv. Moulin	800	442	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINT-PIERRE-DE-LA-RIVIÈRE-DU-SUD	3020+17434	Ruis. de la Blague et ?	800	442	Exclu : >1 prise surface (section 3.2)
SAINT-PIERRE-LES-BECQUETS	4127	Tributaire sans nom	1 944	1 011	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINT-PRIME	1693		2 011	1 261	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINT-SIMÉON	3673	Lac Noir	990	546	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINT-THOMAS-DIDYME	1727	Lac Clair	850	469	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINT-TITE	4135+11353(s)	Lac Éric	5 080	3 114	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINT-ULRIC	1271	Riv. Blanche	838	463	
SAINT-VIANNEY	1289	Cours d'eau Kennedy	500	306	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAINT-ZÉNON	7815		532	294	Exclu : Prise non-localisée (section 3.2)
SAINT-ZOTIQUE	6627	Fleuve Saint-Laurent	3 900	2 500	Exclu : Fleuve (section 3.2)

Tableau A.1 (suite) Portrait actuel des approvisionnements municipaux en eau au Québec

Nom de l'approvisionnement	Numéro d'approvisionnement	Source	Population desservie	Volume distribué (m³/j)	Raison de l'exclusion
SALABERRY-DE-VALLEYFIELD	7054	Fleuve Saint-Laurent	34 772	22 984	Exclu : Fleuve (section 3.2)
SALABERRY-DE-VALLEYFIELD SECTEUR GRANDE-ÎLE	7013	Fleuve Saint-Laurent	3 130	3 650	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SAYABEC	737	Lac Saint-Noël	1 870	972	Exclu : < 5 km ² (section 4.1)
SCOTSTOWN	5975		750	414	
SENNEVILLE	7575	Fleuve Saint-Laurent	51	32	Exclu : Fleuve (section 3.2)
SEPT-ÎLES	10082	Lac des Rapides	900	28 200	
SHAWINIGAN	4226	Lac à la Pêche	32 300	29 000	
SHERBROOKE	5983	Lac Memphrémagog	117 170	73 583	Exclu : BV É-U (section 4.1)
SHIPSHAW	15321		2 537	1 591	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
SKI MORIN-HEIGHTS	21725	Tributaire sans nom	84	53	Exclu : Prise privée (section 3.2)
SOREL	7062+17624	Riv. Richelieu	37 808	22 700	Exclu : BV É-U (section 4.1)
SUTTON (RÉS. CAPTAGE LAC SPRUCE)	24729		3 500	1 729	
TADOUSSAC	10108	Lac de l'Aqueduc	900	540	Exclu : < 5 km ² (section 4.1)
TÉMISCAMING	9753	Lac aux Brochets	3 000	2 160	
TERREBONNE	7849	Riv. des Mille Îles	12 000	8 136	Exclu : Fleuve (section 3.2)
THETFORD MINES	3053	Lac à la Truite	19 272	14 473	
THURSO	8938	Riv. Blanche	2 780	1 743	
TRACY	6965	Riv. Richelieu	22 520	14 000	Exclu : BV É-U (section 4.1)

Tableau A.1 (suite) Portrait actuel des approvisionnements municipaux en eau au Québec

Nom de l'approvisionnement	Numéro d'approvisionnement	Source	Population desservie	Volume distribué (m ³ /j)	Raison de l'exclusion
TROIS-RIVIÈRES	5207	Riv. Saint-Maurice	50 000	36 000	
USINE FILTRATION GRÈVE GILMOUR+LAUZON (RITEP)	2840+14548+2990	Fleuve Saint-Laurent	26 000	9 500	Exclu : Fleuve (section 3.2)
USINE FILTRATION SECTEUR LÉVIS	2782	Fleuve Saint-Laurent	75 000	45 000	Exclu : Fleuve (section 3.2)
VAL-BARRETTE	8342	Lac de l'Aqueduc	500	306	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
VAL-BRILLANT	1321	Tributaire sans nom	783	310	
VALCOURT	5991	Lac Bowker	4 430	3 320	
VAL-DES-BOIS	15271	Lac de l'Aqueduc	230	145	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
VAL-MORIN / FAR HILLS INN	22335	Lac Lavallée	48	30	Exclu : Prise privée (section 3.2)
VARENNES	6973+17772	Fleuve Saint-Laurent	60 000	26 167	Exclu : Fleuve (section 3.2)
VAUDREUIL	6981	Riv. Quinchien	11 561	8 000	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
VERCHÈRES	6999	Fleuve Saint-Laurent	4 800	2 862	Exclu : Fleuve (section 3.2)
VICTORIAVILLE	5223+4151(s)	Réservoir Beaudet	27 250	17 962	
VIEUX-FORT	9829		330	202	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
VILLAGE ALPIN DE VALINOUILLE	1594	à Saint-David-de-Falardeau	1 001	523	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
WATERVILLE LAC MASSAWIPPI	6007	Lac Massawippi	1 600	832	
WEEDON LAC DU FER À CHEVAL	6015	Lac Fer à Cheval	1 200	850	Exclu : Pas dans ARIDE (section 4.1)
WINDSOR RIVIÈRE WATOPEKA	10447	Riv. Watopeka	4 820	3 500	



Annexe B : Pression relative sur 122 systèmes d'approvisionnement municipaux en eau du Québec

L'annexe B présente les résultats complets de la pression relative évaluée à la section 4.2. Une pression relative a été évaluée pour les 122 systèmes d'approvisionnement retenus à la suite des étapes de sélection des sections 3.2 et 4.1. Pour chaque système d'approvisionnement retenu, le tableau B.1 présente le nombre d'usagers desservis, la superficie du bassin versant de la prise d'eau de surface ainsi que le rapport de l'aire du bassin versant sur la population desservie. Ce rapport a servi d'indicateur de la pression relative.

Tableau B.1 Pression relative sur 122 systèmes d'approvisionnement municipaux en eau du Québec

Nom de l'approvisionnement	Numéro d'approvisionnement	Population desservie	Superficie du Bassin Versant (km ²)	Superficie du BV / Population (km ² /habitant)
ACTON VALE	6791	4 430	595	0,13431
ALMA	1404	25 763	70954	2,75410
ASBESTOS	5710	6 700	528	0,07881
AYER'S CLIFF	5728	1 417	380	0,26817
BAIE-COMEAU (Mc CORMICK)	9779	63	45259	718,39683
BAIE-COMEAU (MINGAN)	9795	13 183	45259	3,43313
BAIE-COMEAU (Sainte-Amélie)	10199	8 970	17,4	0,00194
BAIE-COMEAU (SAINT-GEORGES)	9787	2 461	25	0,01016
BAIE-JOHAN-BEETZ	12302	135	328	2,42963
BAIE-TRINITÉ	9803	600	23,8	0,03967

Tableau B.1 (suite) Pression relative sur 122 systèmes d'approvisionnement municipaux en eau du Québec

Nom de l'approvisionnement	Numéro d'approvisionnement	Population desservie	Superficie du Bassin Versant (km²)	Superficie du BV / Population (km²/habitant)
BARRAGE DES PERDRIX MONTMAGNY (STA. PUR.)	2808	10 000	98,9	0,00989
BARRAGE SAINT-JEAN-PORT-JOLI (AUT.TRAIT.)	11593	3 305	25,6	0,00775
BEUCEVILLE	2758	5 220	61,1	0,01170
BEAUPORT	3707	74 000	1063	0,01436
BEDFORD	6817	4 750	569	0,11979
BELLETERRE	9647	361	65,4	0,18116
BOISCHATEL	3350	5 700	21,4	0,00375
BROMONT	6825	4 920	340	0,06911
BROMPTONVILLE	5835	3 200	8,1	0,00253
BUCKINGHAM	8904	11 550	9464	0,81939
CABANO	752+10835(s)	3 000	489	0,16300
CHÂTEAU-RICHER	3418	3 466	57,3	0,01653
CHÉNÉVILLE	9126	230	1274	5,53913
CHICOUTIMI	1982	51 056	3460	0,06777
COLOMBIER	10041	850	38,8	0,04565
COWANSVILLE	6866	12 010	213	0,01774
CRABTREE	7633	2 273	1658	0,72943
DANVILLE (RIVIÈRE)	11296	2 400	72,5	0,03021

Tableau B.1 (suite) Pression relative sur 122 systèmes d'approvisionnement municipaux en eau du Québec

Nom de l'approvisionnement	Numéro d'approvisionnement	Population desservie	Superficie du Bassin Versant (km ²)	Superficie du BV / Population (km ² /habitant)
DAVELUYVILLE	5116	2 600	2172	0,83538
DEGELIS	810	2 800	55,1	0,01968
DONNACONA	3749	5 500	2484	0,45164
DRUMMONDVILLE	5124	58 167	7314	0,12574
EASTMAN	5900	500	5,1	0,01020
FASSETT	9142	300	237	0,79000
FERME-NEUVE	7872	2 360	4687	1,98602
FORT-COULONGE	9159	1 640	5157	3,14451
FOSSAMBAULT-SUR-LE-LAC	3442	1 933	212	0,10967
GASPÉ	836	5 670	1086	0,19153
GRACEFIELD	10991+9167(s) +15834(s)	867	20573	23,72895
GRANDE-RIVIÈRE	851	3 824	688	0,17992
GRAND-MÈRE	3889	14 269	12,0	0,00084
GROSSES-ROCHES	869	500	29	0,05800
HÉBERTVILLE	1453	2 300	44	0,01913
JOLIETTE	7658	27 831	1307	0,04696
JONQUIÈRE	2022	44 001	64,1	0,00146
JONQUIÈRE SECTEUR ARVIDA	2014	18 001	3451	0,19171
L'ANSE-SAINT-JEAN	1479	1 100	23	0,02045

Tableau B.1 (suite) Pression relative sur 122 systèmes d'approvisionnement municipaux en eau du Québec

Nom de l'approvisionnement	Numéro d'approvisionnement	Population desservie	Superficie du Bassin Versant (km²)	Superficie du BV / Population (km²/habitant)
L'ASSOMPTION	7674	1 200	3998	3,33167
LA MARTRE SECTEUR EST	281	145	50	0,34483
LA MINERVE	8789	250	31	0,12400
LA RÉDEMPTION	885	700	5,7	0,00814
LA ROMAINE	12419	975	5359	5,49641
LA TUQUE	3921	11 000	277,5	0,02523
LAC AYLMER	59	380	93,4	0,24579
LAC MASSAWIPPI HATLEY ACRES	17459	190	432	2,27368
LAC-AU-SAUMON	893	1 170	7,4	0,00632
LAC-AUX-SABLES	4325	1 015	55,5	0,05468
LAC-ETCHEMIN	3079	3 000	19,0	0,00633
LAC-MÉGANTIC	5769	6 376	763	0,11967
LES MÉCHINS	901	882	30	0,03401
LESLIE-CLAPHAM-ET- HUDDERSFIELD	9183	200	30,3	0,15150
LÉVIS	2766	31 254	6517	0,20852
L'ISLET	2774	2 943	15,6	0,00530
MACAMIC	9605	1 711	888	0,51899
MARIA	935	2 200	27	0,01227
MÉTIS-SUR-MER	927	450	22	0,04889

Tableau B.1 (suite) Pression relative sur 122 systèmes d'approvisionnement municipaux en eau du Québec

Nom de l'approvisionnement	Numéro d'approvisionnement	Population desservie	Superficie du Bassin Versant (km ²)	Superficie du BV / Population (km ² /habitant)
MISTASSINI	1537	5 500	9320	1,69455
MONT-TREMBLANT (LAC TREMBLANT)	18606	3 286	226	0,06878
MONT-TREMBLANT (RIVIÈRE LA DIABLE)	8383	3 849	1064	0,27644
NEW CARLISLE	1008+18549(s) +18556(s)	1 875	9	0,00480
NEWPORT	1016	7 070	211	0,02984
NICOLET	5173	10 800	3384	0,31333
NOMININGUE	8813	2 000	180	0,09000
NORTH HATLEY	11957	1 700	455	0,26765
NOTRE-DAME-DU-LAC	1024	1 800	2378	1,32111
PARENT	3954	470	16,3	0,03468
PERCÉ	1040	800	31	0,03875
PÉRIBONKA	1545	401	26411	65,86284
PETIT-SAGUENAY	1552	248	51,2	0,20645
PIERREVILLE	5181	4 590	7858	1,71198
PLAGE-WILSON	1669	201	70771	352,09453
PLESSISVILLE	5199	8 450	1456	0,17231
QUÉBEC	3772	225 000	169,7	0,00075
REPENTIGNY	7740	80 737	4126	0,05110

Tableau B.1 (suite) Pression relative sur 122 systèmes d'approvisionnement municipaux en eau du Québec

Nom de l'approvisionnement	Numéro d'approvisionnement	Population desservie	Superficie du Bassin Versant (km²)	Superficie du BV / Population (km²/habitant)
RIVIÈRE-DU-LOUP	1362+20339(s)	15 678	1027	0,06551
ROBERVAL	2048	11 886	4724	0,39744
ROUYN-NORANDA	9597	30 001	80,1	0,00267
SAINT-ANSELME	2824	2 962	1089	0,36766
SAINT-CHARLES-BORROMÉE	15438	8 001	1293	0,16160
SAINT-CUTHBERT	7831	1 785	83	0,04650
SAINT-DONAT	1164	400	12	0,03000
SAINTE-FÉLICITÉ	1297	960	17,4	0,01813
SAINTE-HEDWIDGE	1701	720	252	0,35000
SAINTE-JEANNE-D'ARC	1735	800	722	0,90250
SAINTE-MADELEINE-DE-LA-RIVIÈRE-MADELEINE	18242	450	10,7	0,02378
SAINTE-MONIQUE	1719	900	26317	29,24111
SAINTE-SOPHIE	15289	840	281	0,33452
SAINTE-VÉRONIQUE	8433	600	68,1	0,11350
SAINST-FRANÇOIS-DE-LA-RIVIÈRE-DU-SUD	2964	1 015	52,2	0,05143
SAINT-FULGENCE	1636	1 635	25	0,01529

Tableau B.1 (suite) Pression relative sur 122 systèmes d'approvisionnement municipaux en eau du Québec

Nom de l'approvisionnement	Numéro d'approvisionnement	Population desservie	Superficie du Bassin Versant (km ²)	Superficie du BV / Population (km ² /habitant)
SAINT-GABRIEL	1180	800	5,1	0,00638
SAINT-GABRIEL	11494	9 000	36,7	0,00408
SAINT-GEORGES	2832	13 157	3070	0,23334
SAINT-HENRI	19067	2 500	1143	0,45720
SAINT-JÉRÔME	7955	62 268	1124	0,01805
SAINT-PASCAL	18713	2 699	161	0,05965
SAINT-ULRIC	1271	838	208	0,24821
SCOTSTOWN	5975	750	21,6	0,02880
SEPT-ÎLES	10082	900	97,4	0,10822
SHAWINIGAN	4226	32 300	62,7	0,00194
SUTTON (RÉSERVOIR CAPTAGE LAC SPRUCE)	24729	3 500	7	0,00200
TÉMISCAMING	9753	3 000	87	0,02900
THETFORD MINES	3053	19 272	26,8	0,00139
THURSO	8938	2 780	416	0,14964
TROIS-RIVIÈRES	5207	50 000	39519	0,79038
VAL-BRILLANT	1321	783	15	0,01916
VALCOURT	5991	4 430	8,4	0,00190

Tableau B.1 (suite) Pression relative sur 122 systèmes d'approvisionnement municipaux en eau du Québec

Nom de l'approvisionnement	Numéro d'approvisionnement	Population desservie	Superficie du Bassin Versant (km²)	Superficie du BV / Population (km²/habitant)
VICTORIAVILLE	5223+4151(s)	27 250	332	0,01218
WATERVILLE LAC MASSAWIPI	6007	1 600	451	0,28188
WINDSOR RIVIÈRE WATOPEKA	10447	4 820	330	0,06846

**REPROGRAPHIE DE LA REMISE FINALE
DU MÉMOIRE OU DE LA THÈSE**

Lors de la remise finale de mon mémoire ou de ma thèse, les photocopies ont été effectuées par :

l'étudiant(e) :



*Les photocopies effectuées par l'étudiant(e)
seront sous sa responsabilité.*

JOËLLE BÉRUBÉ

Nom

Joëlle Bérubé
Signature

Nom du directeur de recherche: *Alain Moulhot*

Nom du co-directeur de recherche: *Alain N. Rousseau*

Boursier ou non-boursier: