

Université du Québec
INRS-ETE

**ÉTUDE COMPARATIVE DE MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE
PÉRIMÈTRES DE PROTECTION AUTOUR DES OUVRAGES DE CAPTAGE
DANS LES AQUIFÈRES CAPTIFS FRACTURÉS DU SUD-OUEST DU QUÉBEC**

Par
Gilbert Karanta

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

Jury d'évaluation

Président du jury et
Examineur interne

René Lefebvre, ing., Ph.D.
INRS-ETE
Université du Québec

Examineur externe

Alain Rouleau, ing., Ph.D.
Université du Québec
à Chicoutimi

Directeur de recherche

Richard Martel, ing., Ph.D.
INRS-ETE
Université du Québec

Codirecteurs de recherche

Miroslav Nastev, ing., Ph.D.
Commission géologique
du Canada

René Therrien, ing., Ph.D.
Université Laval

Octobre 2002

© droits réservés de *Gilbert Karanta*, 2002

RÉSUMÉ

Les activités anthropiques, qu'elles soient agricoles, industrielles ou commerciales, peuvent contribuer à la dégradation des eaux potables. Au Québec, l'eau souterraine constitue la source privilégiée d'alimentation en eau pour près de 20 % de la population. Les risques inhérents à la pollution de cette ressource sont en grande partie tributaires des activités humaines à la surface du sol. Afin de préserver sa qualité au fil des années, il s'avère nécessaire d'avoir une connaissance adéquate du système d'écoulement de l'eau souterraine et de faire la délimitation d'un périmètre autour des ouvrages de captage, à l'intérieur duquel les sources potentielles de contamination sont gérées. Le périmètre de protection (PDP) définit un territoire, comprenant la surface et le sous-sol autour d'un ouvrage de captage (puits, sources), à travers lequel des contaminants peuvent migrer et atteindre l'eau souterraine pompée par le captage (EPA, 1991). Le Ministère de l'Environnement du Québec (MENVQ, 2002) définit deux types de périmètres de protection selon le nouveau *Règlement sur le captage des eaux souterraines* : le périmètre rapproché et le périmètre éloigné. Le périmètre rapproché vise à protéger le captage contre les sources de contamination bactérienne ou virale et correspond à une distance équivalente à un temps de transport de 200 jours (protection bactériologique) et 550 jours (protection virologique). Le temps de transport utilisé dans les calculs des aires de protection dans ce mémoire et qui était en vigueur au moment de l'étude est de 60 jours. Le périmètre éloigné a pour but de protéger le captage contre les substances polluantes persistantes et il est défini par l'aire d'alimentation du captage. Plusieurs méthodes de détermination des PDP existent et diffèrent tant par leur degré de complexité d'application que par leurs coûts. Une méthode est d'autant plus exacte si elle permet l'intégration des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques de la région étudiée.

Aucune étude comparative de périmètres de protection n'a jusqu'à lors été faite au Québec dans les aquifères captifs de roc fracturé. Le but principal de cette étude vise à identifier le seuil d'information nécessaire qui assure une détermination réaliste des périmètres de protection pour des conditions représentant les aquifères fracturés des Basses-Terres du St-Laurent. L'objectif de la présente recherche est d'appliquer, de

comparer et de valider différentes méthodes de détermination des périmètres de protection applicables aux aquifères captifs en milieux fracturés.

Le contexte hydrogéologique de deux municipalités a été étudié, soit Sainte-Anne-des-Plaines et Saint-Janvier. Un essai de pompage d'une durée de sept jours a été réalisé à chaque site, où les variations de la nappe ont été enregistrées par des capteurs de pression installés dans des puits d'observation. Les données recueillies ont permis d'évaluer les propriétés hydrauliques des aquifères et de permettre le calcul des périmètres de protection autour des ouvrages de captage. Sept méthodes de délimitation de périmètres de protection ont été évaluées. Pour les périmètres rapprochés, la méthode CAPZONE/GWPATH est privilégiée. Pour les périmètres éloignés, c'est la méthode hybride 3A2E qui représente le niveau minimum de sophistication qui semble assurer une détermination réaliste des périmètres de protection.

Gilbert Karanta
Étudiant

Richard Martel
Directeur de recherche

ABSTRACT

Human activities, whether they are agricultural, industrial or commercial, can contribute to the degradation of drinking water quality. In Quebec, groundwater constitutes the main water supply source for nearly 20 % of the population. The risks of contaminating this resource are mainly tributary of the activities occurring at the ground surface. In order to preserve its quality, a good knowledge of the groundwater flow system and the delineation of an area surrounding a production well within which potential contamination sources are managed are essential. A wellhead protection area (WHPA) is defined by the U.S. Environmental Protection Agency (EPA, 1991) as "the surface and subsurface area surrounding a water well or wellfield, supplying a public water system, an area through which contaminants are reasonably likely to move toward and reach such water well or wellfield." The Ministère de l'Environnement du Québec (MENVQ, 2002) defines two zones within the WHPA according to the new *Regulation respecting groundwater catchment* : the zone of travel (ZOT) and the zone of contribution (ZOC). The ZOT defines a distance from the well equivalent to a time that is necessary for any bacteria (200 days) or viruses (550 days) to be degraded naturally. The time of travel used for the WHPA delineations, which was in effect at the time of the study, is 60 days. The ZOC is the area where all flow paths intercept the well over an infinite period of time. Several methods for area delineation of wellhead protection exist and differ by their degree of complexity and their costs. The integration of more hydraulic characteristics of the study area increases the precision of any given method.

No WHPA comparative studies were carried in confined fractured rock aquifers in Quebec until now. The overall goal of this study is to identify the minimal information necessary to allow a realistic determination of WHPA for conditions that represent the fractured rock aquifers of the St-Lawrence Lowlands. The objective is mainly to apply, compare and validate different methods applicable to confined fractured aquifers.

The hydrogeological context of two municipalities has been investigated : Sainte-Anne-des-Plaines and Saint-Janvier. Aquifer tests were conducted to obtain hydraulic properties. A seven day pumping test was conducted in each study area to monitor spatial and temporal hydraulic head changes. Data collected from these tests were used to evaluate the hydraulic properties of the aquifers and to delineate the wellhead protection areas. Seven delineation methods were evaluated in this study. For the zone of contribution (ZOC), the 3A2E hybrid method represents the minimal information necessary to ensure a realistic determination of wellhead protection areas. For the zone of travel (ZOT), CAPZONE/GWPATH is considered the most precise method.

REMERCIEMENTS

Je tiens en premier lieu à remercier mon directeur de recherche, Richard Martel, pour son support au niveau scientifique et pour la confiance qu'il m'a accordée tout au long de ma maîtrise. Je remercie également mes co-directeurs de recherche, Miroslav Nastev et René Therrien, pour leur grande disponibilité et leurs précieux conseils qui ont su guider mes réflexions. Un merci très spécial à Daniel Paradis pour toute l'attention qu'il a voulu porter à mon projet. Son savoir et sa grande disponibilité m'ont grandement facilité la tâche dans plusieurs étapes de ma recherche. Je désire aussi remercier René Lefebvre qui a pris le temps de répondre à mes interrogations.

Les travaux de terrain n'auraient pu avoir lieu sans le support des municipalités avec lesquelles j'ai travaillé. Un grand merci à M. Forget de Sainte-Anne-des-Plaines pour sa disponibilité et sa gentillesse. Merci également à M. Roy, M. Lajeunesse et Mme Trudeau de Mirabel pour leur soutien continué tout au long du projet. Je tiens sincèrement à remercier toute l'équipe du projet AFSOQ de la CGC-Québec, dirigé par Martine Savard, pour leur assistance sur le terrain et leur compétence. Enfin, je remercie la population des deux municipalités pour leur grande collaboration à notre projet en nous donnant l'accessibilité à leur puits.

L'étude en cours a aussi été rendue possible grâce au support financier de plusieurs organismes dont l'INRS-ETE, le programme de bourse du FCAR ainsi que le CRSNG.

Je profite aussi de l'occasion pour remercier Édith Bourque et Nathalie Fagnan pour leurs précieux conseils et leur support au cours des campagnes des étés 1999-2000. Merci aussi pour votre bonne humeur et votre humanité.

Finalement, merci à ma famille, Dominic et Mélanie pour leur patience, leur compréhension et leur appui dans ce grand défi qu'a représenté pour moi la réalisation de ce projet de recherche.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	III
ABSTRACT.....	V
REMERCIEMENTS.....	VII
TABLE DES MATIÈRES	VIII
LISTE DES TABLEAUX.....	XII
LISTE DES FIGURES	XIII
CHAPITRE 1. INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
1.1 PROBLÉMATIQUE.....	1
1.2 OBJECTIFS	4
1.3 MÉTHODOLOGIE.....	4
<i>1.3.1 COMPILATION DES DONNÉES EXISTANTES.....</i>	<i>4</i>
<i>1.3.2 TRAVAUX DE TERRAIN.....</i>	<i>5</i>
<i>1.3.3 ANALYSE DES DONNÉES.....</i>	<i>6</i>
<i>1.3.4 CHOIX DES MÉTHODES.....</i>	<i>7</i>
<i>1.3.5 COMPARAISON ET VALIDATION DES MÉTHODES.....</i>	<i>8</i>
1.4 STRUCTURE DU MÉMOIRE.....	10
CHAPITRE 2. HYPOTHÈSE DU MILIEU POREUX ÉQUIVALENT.....	11
2.1 APPROCHES DISCRÈTES ET CONTINUES.....	11
2.2 ÉTUDES ANTÉRIEURES.....	12
2.3 DESCRIPTION ET VALIDATION DES CRITÈRES	13
<i>2.3.1 RÉPONSES DE L'ESSAI DE POMPAGE.....</i>	<i>13</i>
<i>2.3.2 CONFIGURATION DE LA PIÉZOMÉTRIE</i>	<i>16</i>
<i>2.3.3 RATIO ENTRE L'ÉCHELLE DES FRACTURES ET LA PROBLÉMATIQUE</i>	<i>18</i>
<i>2.3.4 DISTRIBUTION DE LA CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE.....</i>	<i>18</i>
<i>2.3.5 CHIMIE DE L'EAU SOUTERRAINE.....</i>	<i>19</i>
2.4 CONCLUSION.....	20

CHAPITRE 3. COMPARATIVE STUDY OF METHODS FOR WELLHEAD PROTECTION AREA DELINEATION IN CONFINED FRACTURED ROCK AQUIFERS.....	21
3.1 INTRODUCTION	21
3.2 PREVIOUS STUDIES.....	24
3.3 METHODOLOGY	25
3.3.1 INVESTIGATION OF THE HYDRAULIC PROPERTIES.....	25
3.3.2 SELECTION OF WHPA METHODS.....	26
3.3.3 METHOD COMPARISON PROCEDURE.....	27
3.4 SITES CHARACTERISATION.....	28
3.4.1 SAINTE-ANNE-DES-PLAINES	28
3.4.1.1 Geology.....	28
3.4.1.2 Hydrogeology	30
3.4.1.3 Hydraulic Properties	31
3.4.2 SAINT-JANVIER.....	33
3.4.2.1 Geology.....	33
3.4.2.2 Hydrogeology	35
3.4.2.3 Hydraulic Properties	36
3.5 WHPA ANALYSIS	38
3.5.1 WHPA METHODS DESCRIPTION AND APPLICATION	38
3.5.1.1 Calculated Fixed Radius	39
3.5.1.2 Uniform Flow Equation.....	39
3.5.1.3 Time of Travel (TOT).....	40
3.5.1.4 Hybrid Method.....	41
3.5.1.5 Flow System Mapping	41
3.5.1.6 CAPZONE/GWPATH.....	42
3.5.1.7 MODFLOW/MODPATH	44
3.5.2 WHPA COMPARISON	46
3.5.2.1 Sainte-Anne-des-Plaines	46
3.5.2.1 Saint-Janvier	51
3.6 CONCLUSION	56

3.7 RECOMMANDATIONS	58
ACKNOWLEDGMENTS	60
REFERENCES	61
CHAPITRE 4. CONCLUSION GÉNÉRALE.....	65
CHAPITRE 5. RECOMMANDATIONS	67
RÉFÉRENCES.....	71
ANNEXES	77
ANNEXE A : Localisation et description des mesures de niveau d'eau avant et à la fin de l'essai de pompage dans les puits de Sainte-Anne-des-Plaines	77
ANNEXE B : Schémas d'aménagement des puits : Site de Sainte-Anne-des-Plaines.....	81
ANNEXE C : Essais de perméabilité <i>in situ</i> par choc hydraulique : Site de Sainte-Anne-des-Plaines.....	86
ANNEXE D : Données des essais de pompage et de récupération : Site de Sainte-Anne-des-Plaines.....	98
ANNEXE E : Analyse physico-chimique de l'eau souterraine au puits de pompage P8 : Site de Sainte-Anne-des-Plaines.....	127
ANNEXE F : Localisation et description des mesures de niveau d'eau avant et à la fin de l'essai de pompage dans les puits de Saint-Janvier.....	129
ANNEXE G : Schémas d'aménagement des puits : Site de Saint-Janvier.....	133
ANNEXE H : Essais de perméabilité <i>in situ</i> par choc hydraulique : Site de Saint-Janvier.....	139
ANNEXE I : Données des essais de pompage et de récupération : Site de Saint-Janvier.....	157
ANNEXE J : Analyse physico-chimique de l'eau souterraine au puits de pompage STJA1 : Site de Saint-Janvier.....	182

ANNEXE K : Paramètres de calcul et dimensions des périmètres de protection rapprochés et éloignés : Sites de Saint-Janvier et de Sainte-Anne-des-Plaines184

ANNEXE L : Tableaux des résultats des rapports d'aires de l'étude comparative des méthodes appliquées aux sites de Saint-Janvier et de Sainte-Anne-des-Plaines234

ANNEXE M : Cartes synthèse des PDP rapprochés et éloignés et de l'utilisation du sol : Puits municipaux de Saint-Janvier et de Sainte-Anne-des-Plaines.....239

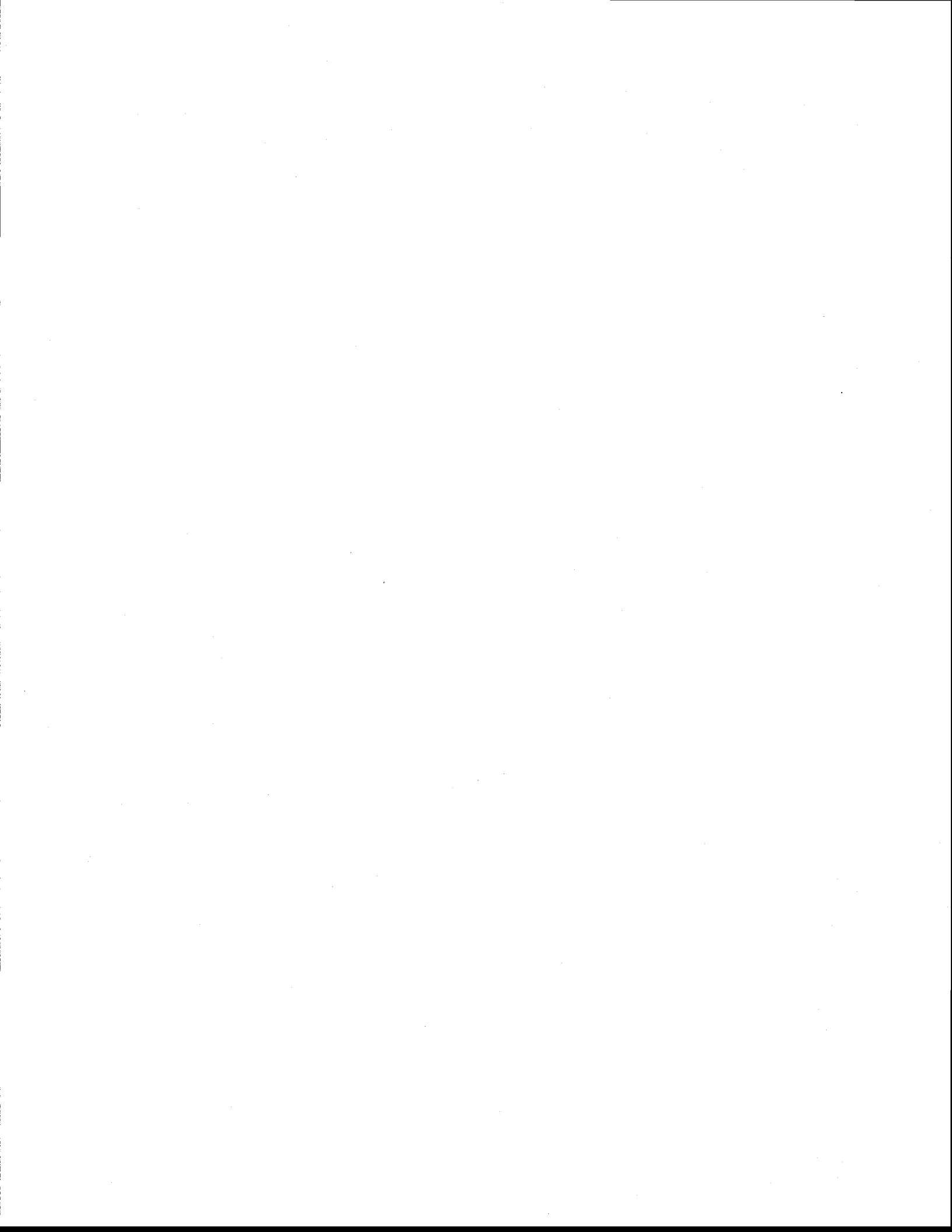
LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Méthodes utilisées pour la détermination des périmètres de protection.	8
Table 3.1 : Selected methods for travel and contribution zones.	27
Table 3.2 : Parameter values used in the calculations of the WHPA for the calculated fixed radius, the uniform flow equation, the time of travel, the hybrid and the flow system mapping methods.	39
Table 3.3 : Hydrogeological parameters values for ZOT and ZOC delineation using the CAPZONE/GWPATH model.	42
Table 3.4 : Hydraulic parameters used in the numerical model of Sainte-Anne-des Plaines.	44
Table 3.5 : Hydraulic parameters used in the numerical model of Saint-Janvier.	45
Table 3.6 : Comparative study results for the zone of travel (ZOT) for P8 and Barrette wells. The basis of comparison is Modflow/Modpath and the best method is in italic.	48
Table 3.7 : Comparative study results for the zone of contribution (ZOC) for P8 and Barrette wells. The basis of comparison is the flow system mapping and the selected best method is in italic.	50
Table 3.8 : Classification of the methods applied for the zone of travel and the zone of contribution at Ste-Anne-des-Plaines.	51
Table 3.9 : Comparative study results for the zone of travel (ZOT) for STJA1 and Charles wells. The basis of comparison is Modflow/Modpath and the best method is in italic.	53
Table 3.10 : Comparative study results for the zone of contribution (ZOC) for STJA1 and Charles wells. The basis of comparison is the flow system mapping and the selected best method is in italic.	55
Table 3.11 : Classification of the methods applied for the zone of travel and the zone of contribution at St-Janvier.	56
Table 3.12 : Classification of methods for Saint-Lawrence Lowlands.	58

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Répartition de l'utilisation de l'eau souterraine au Québec (MENVQ, 1999).	1
Figure 1.2 : Rapports d'aires entre les méthodes à comparer et la base de comparaison (modifié de Paradis, 2000).....	9
Figure 2.1 : Rabattement en fonction du temps des puits de Ste-Anne-des-Plaines.....	14
Figure 2.2 : Rabattement en fonction du temps des puits de St-Janvier.....	14
Figure 2.3 : Cône du rabattement absolu (en mètres) à Ste-Anne-des-Plaines.....	15
Figure 2.4 : Cône du rabattement absolu (en mètres) à St-Janvier.....	15
Figure 2.5 : Carte piézométrique avant pompage de Ste-Anne-des-Plaines.....	17
Figure 2.6 : Carte piézométrique avant pompage de St-Janvier.....	17
Figure 3.1 : Localisation of Sainte-Anne-des-Plaines and Saint-Janvier.....	22
Figure 3.2 : Relation between the zone of influence (ZOI), the zone of travel (ZOT) and the zone of contribution (ZOC) (from EPA, 1994).....	23
Figure 3.3 : Geological map of Ste-Anne-des-Plaines (Rocher <i>et al.</i> , 2001).	29
Figure 3.4 : Surficial deposits map of Ste-Anne-des-Plaines (from Hamel, 2002).	29
Figure 3.5 : Cross section (NW-SE) in the groundwater flow direction at the Ste-Anne-des-Plaines site.....	30
Figure 3.6 : Dynamic potentiometric map of Ste-Anne-des-Plaines.	31
Figure 3.7 : Average hydraulic property values from pumping and slug tests conducted at the Ste-Anne-des-Plaines site.....	32
Figure 3.8 : Transmissivity profile of the P9 well at the Ste-Anne-des-Plaines site (from packer test at 3.7 m intervals represented by the grey rectangles).....	32
Figure 3.9 : Geological map of St-Janvier (Rocher <i>et al.</i> , 2001).....	34
Figure 3.10 : Surficial deposits map of St-Janvier (from Hamel, 2002).....	34

Figure 3.11 : Cross section (W-E) in the groundwater flow direction at the St-Janvier site.	35
Figure 3.12 : Dynamic potentiometric map of St-Janvier.....	36
Figure 3.13 : Average hydraulic property values from pumping and slug tests conducted at the St-Janvier site.	37
Figure 3.14 : Transmissivity profile of the STJA1 well at the St-Janvier site (from packer test at 3.7 m intervals represented by the grey rectangles).....	37
Figure 3.15 : Delineation of zones of travel (ZOT) for P8 and Barrette wells at the Ste Anne-des-Plaines site. The zones delineated with the comparison standard (Modflow) are outlined with grey shading.	47
Figure 3.16 : Delineation of zones of contribution (ZOC) for P8 well at Ste-Anne-des Plaines site. The standard method is outlined with grey shading. The dark grey shading shows where the standard method overlaps the recharge zone (vulnerable zone).....	49
Figure 3.17 : Delineation of zones of contribution (ZOC) for Barrette well at Ste-Anne des-Plaines site. The flow standard method is outlined with grey shading. The dark grey shading shows where the standard method overlaps the recharge zone (vulnerable zone).	49
Figure 3.18 : Delineation of zones of travel (ZOT) for STJA1 and Charles wells at St-Janvier site. The zones delineated with the comparison standard (Modflow) are outlined with grey shading.	52
Figure 3.19 : Delineation of zones of contribution (ZOC) for STJA1 well at St-Janvier site. The flow mapping standard method is outlined with grey shading. The dark grey shading shows where the standard method overlaps the recharge zone (vulnerable zone).	54
Figure 3.20 : Delineation of zones of contribution (ZOC) for Charles well at St-Janvier site. The flow mapping standard method is outlined with grey shading. The dark grey shading shows where the standard method overlaps the recharge zone (vulnerable zone).	54



CHAPITRE 1. INTRODUCTION GÉNÉRALE

Au Québec, les eaux souterraines représentent pour près de 1,5 millions de personnes, soit 20 % de la population, la source privilégiée d'alimentation en eau. À l'intérieur des formations géologiques, l'eau circule à travers les pores, les fractures et autres interstices. L'eau souterraine est alimentée par les précipitations dans les zones de recharge et fait donc partie intégrante du cycle de l'eau. Les réserves renouvelables disponibles sont évaluées à 200 km³ pour les régions habitées (MENVQ, 1999). L'eau souterraine extraite représente 0,2 % de cette réserve et elle est utilisée selon les proportions exposées à la figure 1.1 :

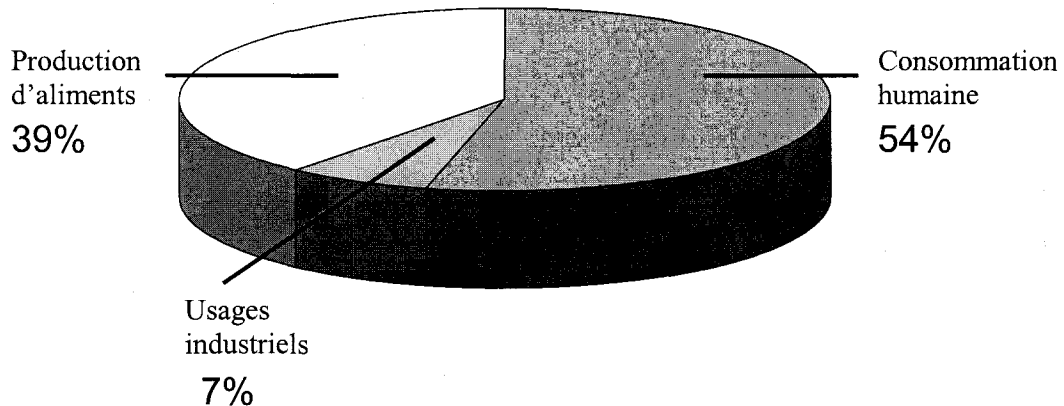


Figure 1.1 : Répartition de l'utilisation de l'eau souterraine au Québec (MENVQ, 1999).

1.1 PROBLÉMATIQUE

Les municipalités de Sainte-Anne-des-Plaines et de Saint-Janvier s'approvisionnent à 100 % en eau souterraine. Les agriculteurs, les industries, les résidents ainsi que les municipalités constituent les principaux utilisateurs. La zone agricole représente plus de 85 % du territoire dans les deux sites à l'étude. La fertilisation des terres et l'épandage de pesticides présentent un risque potentiel de dégradation de la qualité de la ressource en eau souterraine. Les risques de contamination sont donc en grande partie tributaires des activités humaines à la surface du sol. Afin de préserver la qualité de l'eau souterraine au

fil des ans, la connaissance du système d'écoulement de l'eau souterraine et la délimitation autour des ouvrages de captage d'un périmètre de protection s'avèrent essentielles. Le périmètre de protection (PDP) définit un territoire, comprenant la surface et le sous-sol autour d'un ouvrage de captage (puits, sources), à travers lequel des contaminants peuvent migrer et atteindre l'eau souterraine pompée par le captage (EPA, 1991). La détermination d'un périmètre a pour but d'élaborer un plan permettant aux gestionnaires d'identifier les activités anthropiques susceptibles d'altérer la qualité de l'eau des puits d'approvisionnement. La gestion des activités humaines à l'intérieur du périmètre de protection est alors mise en place afin de prévenir toute contamination de l'eau souterraine. Le Ministère de l'Environnement (MENVQ) recommande depuis 1984 la détermination de périmètres de protection autour des ouvrages de captage. Jusqu'à maintenant, seulement quelques municipalités ont réalisé cet exercice (MENVQ, 1999). En 1995, le MENVQ a publié un guide sur la détermination des périmètres de protection. Il définit trois différents périmètres :

- le **périmètre immédiat** définit une zone clôturée ayant un rayon minimal de 30 mètres autour de l'ouvrage de captage et permet de protéger ce dernier ainsi que les installations;
- le **périmètre rapproché** correspond à une distance équivalente à un transport de 60 jours de l'eau souterraine, temps présumé nécessaire pour l'élimination de toute contamination bactérienne et virale par atténuation naturelle, et qui ne doit pas être inférieure à 100 mètres à partir du captage;
- le **périmètre éloigné** correspond à toute l'aire d'alimentation d'un ouvrage de captage et permet de le protéger contre les contaminants mobiles et persistants susceptibles d'être relâchés.

Le nouveau *Règlement sur le captage des eaux souterraines* du MENVQ (2002) est en vigueur depuis le 15 juin 2002. Les principales modifications concernent le périmètre rapproché dont un temps de transport est défini selon le type de contamination. Les aires

de protection bactériologique et virologique correspondent désormais à un temps de migration de l'eau souterraine de 200 jours et 550 jours respectivement. Puisque le temps de transport en vigueur au moment de l'étude était de 60 jours, c'est cette valeur qui a été employée pour les calculs des aires de protection dans ce mémoire. Une analyse de sensibilité du paramètre de porosité présentée à l'annexe K permet de prévoir l'effet du changement du temps de transport sur la forme du périmètre rapproché aux sites étudiés.

Plusieurs méthodes de détermination des PDP existent et diffèrent tant par leur degré de complexité d'application que par leurs coûts. Une méthode est d'autant plus exacte si elle permet l'intégration des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques de la région étudiée. Pour l'instant, le MENVQ ne privilégie pas de méthode particulière pour la détermination de périmètres de protection.

Une gestion globale des eaux souterraines devient relativement complexe lorsque les caractéristiques des formations hydrogéologiques sont mal connues. En effet, il existe peu de documents d'interprétation de données hydrogéologiques à l'échelle locale ou régionale au Québec. Plus précisément, au niveau des périmètres de protection, aucune étude comparative n'a jusqu'à maintenant été faite dans les aquifères captifs fracturés. La grande difficulté de l'étude hydrogéologique réside dans la nature même du roc. Celui-ci peut se révéler hétérogène et anisotrope. Il se compose bien souvent de multiples réseaux de fractures, de pores et de divers interstices qui deviennent un obstacle à l'écoulement uniforme de l'eau souterraine. L'hypothèse du milieu poreux équivalent peut toutefois s'appliquer à des aquifères fracturés comme expliqué au chapitre deux.

Des méthodes de détermination des PDP ont été appliquées dans des aquifères de roc fracturé, principalement aux États-Unis (Bair et Roadcap, 1992; Marquis et Stewart, 1992; Bradbury et Muldoon, 1994). Plusieurs méthodes, allant des plus simples aux plus sophistiquées, ont été appliquées dans des contextes hydrogéologiques propres à leur région d'étude. Certaines de ces méthodes sont reprises dans la présente étude en vue de leur validation dans les aquifères de roc fracturé des Basses-Terres du St-Laurent.

1.2 OBJECTIFS

Le présent mémoire vise principalement à identifier le seuil d'information nécessaire qui assure une détermination réaliste des périmètres de protection pour des conditions représentant les aquifères fracturés en conditions captives des Basses-Terres du St-Laurent. Plus spécifiquement, les objectifs sont :

- Réaliser une étude hydrogéologique approfondie des aquifères de la région de Sainte-Anne-des-Plaines et de Saint-Janvier (interprétation du système d'écoulement, détermination des propriétés hydrauliques des aquifères fracturés et élaboration de cartes piézométriques);
- Appliquer, comparer et valider différentes méthodes de détermination des périmètres de protection applicables aux milieux confinés fracturés.

1.3 MÉTHODOLOGIE

La méthodologie adoptée en vue de l'atteinte des objectifs mentionnés précédemment comprend cinq étapes : 1) la compilation des données existantes; 2) l'acquisition de données complémentaires par des travaux de terrain; 3) l'analyse des données recueillies sur le terrain; 4) la sélection des méthodes de détermination des périmètres de protection; 5) la comparaison et la validation des méthodes appliquées aux deux sites à l'étude.

1.3.1 COMPILATION DES DONNÉES EXISTANTES

La première étape a trait au rassemblement de toute l'information concernant les deux régions. Elle inclut les cartes géologiques, topographiques et géomorphologiques publiées par la Commission Géologique du Canada, les données de stratigraphie et de profondeur au roc à partir de la banque des puisatiers du MENVQ, les propriétés hydrauliques des aquifères provenant des rapports hydrogéologiques (Massicotte *et al.*,

1991; Hydrogéologie Canada inc., 1977), des rapports de forage ainsi que des données pertinentes qui proviennent des municipalités concernant l'utilisation de l'eau sur le territoire.

1.3.2 TRAVAUX DE TERRAIN

La grande partie de l'information sur l'hydrogéologie des régions étudiées a été obtenue lors des travaux de terrain qui se sont déroulés au cours des étés 1999 et 2000. Les travaux ont débuté avec une campagne de mesure des niveaux d'eau dans plus de 100 puits privés et municipaux dans les deux sites à l'étude. Ce relevé a été effectué en vue de la caractérisation du système d'écoulement et de l'élaboration des cartes piézométriques (Annexes A et F). Pour déterminer les propriétés hydrauliques des aquifères, trois types d'essais ont été effectués : 1) des essais de pompage; 2) des essais de perméabilité *in situ* à choc hydraulique; 3) des essais Lugeon.

Le premier essai de pompage a été réalisé à Sainte-Anne-des-Plaines au puits municipal P8. D'une durée de sept jours sans interruption, le pompage s'est déroulé à un débit constant de 2.3×10^{-2} m³/s. Les fluctuations du niveau d'eau ont été enregistrées par huit capteurs de pression installés dans des puits d'observation situés à des distances du puits de pompage variant entre 3 m et 1970 m. La remontée de la nappe, suite à la sollicitation par le puits de pompage, a été suivie pendant les sept jours suivant l'arrêt du pompage (Annexe D). À Saint-Janvier, trois puits d'observation et un piézomètre ont été forés et aménagés en vue de l'essai de pompage qui s'est déroulé sur une période de sept jours à un débit moyen de 5.8×10^{-3} m³/s au puits STJA1. Les variations temporelles et spatiales du niveau d'eau ont été relevées par huit capteurs de pression installés dans sept puits d'observation et un piézomètre situés à des distances comprises entre 27 m et 800 m. La remontée de l'eau a été enregistrée durant les sept jours suivant l'arrêt du pompage (Annexe I).