

# **Qualité des sources publiques d'eau potable en milieu rural : Impact de l'agriculture intensive et stratégies de protection**

## **RÉSUMÉ**

Les objectifs de ce projet étaient d'évaluer les impacts des pressions agricoles sur les sources souterraines d'approvisionnement municipal en eau potable et d'identifier des stratégies pour protéger lesdites sources. Le 1er volet de l'étude a démontré que la qualité de l'eau desservie par des puits municipaux est inférieure lorsque la vulnérabilité de l'eau souterraine et les pressions agricoles sont élevées à l'intérieur de l'aire d'alimentation des captages. Le 2ème volet a permis d'identifier les facteurs expliquant la propension des municipalités à adopter des mesures de protection des sources d'eau souterraine. Le troisième volet a permis de documenter et de comprendre, à l'échelle de terrain, l'impact des pressions agricoles sur la qualité de l'eau des puits municipaux. La première étape de ce volet a démontré la façon dont les puits induisent une infiltration des plans d'eau de surface. Dans la deuxième étape, le suivi environnemental dans l'aire d'alimentation du puits a indiqué un lien spatio-temporel entre les indicateurs microbiologiques de la qualité de l'eau. Des variations spatio-temporelles significatives des concentrations en nitrates ont été observées. Des scénarii de modification des pratiques agricoles ont permis d'évaluer leurs impacts potentiels sur la qualité de l'eau au captage. Dans le 4ème volet, le risque cancérigène associé aux nitrates a été estimé. Les résultats indiquent que dans le pire cas, l'excès de risque additionnel associé à la consommation de ces eaux, est relativement faible. De plus, une analyse exploratoire n'a pas démontré un risque important associé aux pesticides dans les sources d'eau potable à l'étude. Dans l'autre composante de ce volet, une analyse des outils juridiques concernant les captages d'eaux souterraines suggère que l'efficacité des mesures de protection devrait être augmentée, l'intégration des outils réglementaires poursuivie, et l'encadrement juridique de l'action des différents usagers devrait être précisé. Ce projet a permis d'identifier plusieurs pistes pour favoriser une meilleure protection de la qualité de l'eau des ouvrages de captage. Les résultats seront d'une grande utilité pour les décideurs gouvernementaux, des MRC et des municipalités, ainsi que pour les chercheurs s'intéressant à ce domaine. Grâce à la participation d'une douzaine de chercheurs et collaborateurs de plusieurs universités, sous la direction de Manuel Rodriguez, ainsi que des partenaires, l'exécution du projet a permis la réalisation de 5 maîtrises, d'une thèse de doctorat, d'un postdoctorat et de 4 stages. Une vingtaine d'articles, de communications scientifiques et d'activités de transfert ont permis la diffusion des résultats de recherche. Ces documents seront bientôt disponibles sur un site Web dédié exclusivement au projet.

## **OBJECTIFS**

Les objectifs généraux de ce projet étaient d'évaluer les conséquences des pressions agricoles sur les sources souterraines d'approvisionnement public en eau potable et d'identifier des stratégies adaptées pour protéger lesdites sources. Pour atteindre ces objectifs généraux, quatre objectifs spécifiques ont été identifiés : objectif 1) évaluer à l'échelle de plusieurs bassins versants agricoles du Québec l'impact des pressions agricoles sur la qualité de l'eau des réseaux municipaux desservis par des puits en milieu rural; objectif 2), documenter et évaluer les mesures utilisées ou envisagées par les municipalités rurales pour protéger les prises d'eau souterraine vis-à-vis de la pollution d'origine agricole; objectif 3) développer une base de connaissances pour comprendre les variations spatiales et temporelles de la qualité de l'eau entre les lieux d'origine de la pollution, la prise d'eau potable et le robinet des consommateurs approvisionnés par des puits municipaux en milieu rural; objectif 4) analyser le risque à la santé publique associé à la consommation d'eau potable produite à partir des sources souterraines publiques situées dans des zones d'agriculture intensive et, finalement, proposer des ajustements aux outils réglementaires, de gouvernance et d'aménagement du territoire pour protéger les sources souterraines d'eau potable.

Chacun de ces objectifs a représenté un volet spécifique du projet de recherche. Chaque volet de la recherche a représenté lui-même un projet de maîtrise ou de doctorat dirigé par un ou plusieurs membres de l'équipe. De plus, des stages de recherche ponctuels sont venus appuyer les projets de maîtrise et de doctorat. La description, la méthodologie et les résultats associés à chacun de ces volets sont présentés ci-dessous.

## MÉTHODOLOGIE ET RÉSULTATS

### ***Volet 1 : Étude spatiale des pressions agricoles sur la qualité de l'eau des puits municipaux***

Le premier volet de l'étude visait à mettre en relation la qualité de l'eau potable desservie par des puits municipaux en milieu agricole avec les caractéristiques biophysiques, les pressions agricoles dans le territoire et les stratégies de traitement de l'eau, principalement. Ce volet pose comme hypothèse générale que l'eau de consommation provenant de puits municipaux est soumise à l'influence de l'agriculture particulièrement lorsque cette dernière se manifeste de manière intensive. Le territoire d'étude représentait sept (7) régions administratives de la province de Québec et l'ensemble des puits municipaux s'y retrouvant (environ 550). Ces puits correspondent à 265 réseaux municipaux dont la qualité de l'eau a été documentée de façon rétrospective. Des aires d'alimentation approximatives des puits ont été générées selon une adaptation de l'approche par bassin versant à partir des modèles numériques d'élévation. Cette analyse régionale diffère des autres études du genre conduites auparavant puisqu'elle propose l'application d'une unité spatiale spécifique pour chaque puits au lieu de rayons fixes. L'information ayant trait à la vulnérabilité de l'eau souterraine ainsi qu'aux pressions agricoles a été manipulée par le biais d'un système d'information géographique (SIG). Les variables employées pour la caractérisation de la vulnérabilité des aquifères à la contamination sont: l'infiltration superficielle, les caractéristiques des sols, la porosité des dépôts meubles et la profondeur des dépôts. Plusieurs variables ont été générées afin d'établir un portrait représentatif des pressions agricoles affectant les aires d'alimentation approximatives des puits. Plusieurs sources d'informations ont été mises à profit pour générer ces indicateurs de pressions agricoles : carte satellitaire d'utilisation du sol (MAPAQ), Banque nationale de données topographiques (BNDT), Fiche d'enregistrement des producteurs agricoles (MAPAQ). Cette Fiche contient des informations sur l'utilisation du sol, la localisation des fermes, la localisation des unités de production, les superficies en culture, les types de cultures, la capacité de charge des sols et la taille des troupeaux animaux. Ces variables ont servi à établir des indicateurs de charges de phosphore ( $P_2O_5$ ) et d'azote (N). L'état de la qualité de l'eau des puits a été décrit selon deux paramètres: les concentrations en nitrates et l'occurrence de contamination bactériologique par les coliformes. La variable sur la qualité microbiologique de l'eau a été fondée sur le concept d'épisodes de coliformes, développée par Coulibaly et Rodriguez (2003). Une analyse factorielle a été exécutée sur les variables de vulnérabilité et de pressions agricoles. Une analyse en composantes principales (ACP) a été appliquée à plusieurs ensembles de données afin de réduire au maximum l'auto-corrélation des variables dans un contexte d'analyse de régression. Les données sur l'état de la qualité de l'eau ont été obtenues de la Banque informatisée en Eau Potable (BIEP) administrée par le MDDEP. Les données correspondant à une période de trois (3) ans (2001-2004) ont été retenues pour la présente étude. Une analyse statistique a été effectuée afin de mesurer l'association entre les variables décrivant la vulnérabilité des aquifères et les pressions agricoles avec les indicateurs de qualité de l'eau. Les résultats de cette analyse ont démontré que la qualité des puits municipaux est inférieure lorsque la vulnérabilité et les indicateurs de pression sont élevés à l'intérieur de l'aire d'alimentation. Plusieurs modèles de régression logistique ont été développés afin de prédire la probabilité que les puits municipaux, selon leurs caractéristiques, dépassent des seuils établis de contamination. La régression logistique a été utilisée pour prédire la probabilité qu'un événement survienne à partir d'un jeu de variables indépendantes (tels que des facteurs obtenus lors d'une ACP) qui peuvent être continues, catégorielles ou dichotomiques. La variable a été codée sous forme binaire (la valeur 1 indique l'atteinte d'un seuil fixé, par ex. 1 = >0,5mg/l N). Environ trente (30) modèles de régression logistique ont été créés avec différents seuils. Selon les modèles développées, les facteurs qui influencent de façon significative les niveaux de nitrates dans les puits municipaux de la région de l'étude sont : la proportion des terres occupées par l'agriculture, le potentiel agricole des sols, la combinaison de la proportion des terres agricoles, les conditions de drainage et la présence de dépôts superficiels.

Ce volet a commencé en mai 2004 et s'est terminé en janvier 2006. Il a été exécuté dans le cadre du mémoire de maîtrise de M. Christian Gravel, étudiant en aménagement du territoire à l'Université Laval, sous la direction de M. Rodriguez et M. Thériault (Laval) et avec la collaboration de A. Rouleau (UQAC) et C. Bouchard (Laval). La stagiaire Valérie Pelletier a contribué aux aspects de modélisation des aires d'influences des puits dans le territoire.

## ***Volet 2 : Stratégies de protection des captages municipaux d'eau potable***

L'objectif du deuxième volet du projet était de documenter et d'évaluer les mesures présentement en vigueur, de même que celles qui sont envisagées par les municipalités rurales, pour protéger les prises d'eau souterraine. Le but était aussi de connaître la façon dont les responsables municipaux perçoivent le nouveau cadre réglementaire visant la protection des sources d'eau, les bénéfices réels ou attendus ainsi que les contraintes qu'ils éprouvent pour y être conformes.

Une enquête par le biais d'un questionnaire postal a été menée auprès de 665 municipalités (dont celles faisant partie du volet 1). L'accent a été mis sur les stratégies de protection des ouvrages de captage municipaux avant et après l'adoption de la nouvelle réglementation, et ce dans un contexte où les ressources financières et techniques des municipalités rurales pour implanter des mesures de protection environnementales sont limitées. Une proportion importante des municipalités participant à l'enquête est située dans des régions où l'agriculture est l'activité économique principale. La méthodologie a considéré aussi le développement d'un indicateur de performance en termes de protection des ouvrages de captage municipaux. Cet indicateur a été associé, en utilisant des outils d'analyse statistique, à de l'information concernant les avis de bouillir, la présence de contaminants dans les réseaux de distribution (ex.: coliformes et nitrates), les pressions agricoles autour des captages, etc. Les variables de pressions agricoles ont été générées à partir d'une analyse effectuée par le biais d'un SIG.

Un taux de réponse de 58% (386/665) a été obtenu lors de l'enquête aux municipalités. Les résultats permettent de constater que, parmi les municipalités ayant répondu à l'enquête, 136 comptent un réseau de distribution alimenté en totalité par des eaux souterraines, 60 municipalités comptent un réseau alimenté en totalité par des eaux de surface, 13 municipalités comptent un réseau alimenté par une source mixte (eau souterraine et eau de surface), 122 ne comptent pas de réseau (les résidents y ont tous des puits privés) et 55 municipalités sont desservies soit par une autre municipalité ou une régie d'aqueduc. Les résultats montrent que 64% des municipalités avaient posé au moins un geste dans le but de protéger leurs ouvrages de captage municipaux avant l'entrée en vigueur du Règlement sur le captage d'eaux souterraines (RCES) en 2002. Les gestes prescrits par le RCES ont été effectués dans les proportions suivantes: délimitation de l'aire d'alimentation: 54 % des municipalités; délimitation des aires de protection: 42% des municipalités; détermination de la vulnérabilité des eaux souterraines: 40% des municipalités; inventaire des usages ou ouvrages susceptibles de modifier la qualité de l'eau souterraine du captage: 47% des municipalités. Lorsque les municipalités jugeaient ne pas être en mesure d'effectuer ce qui est prescrit par le RCES, la raison la plus fréquemment évoquée est le manque de ressources financières, suivi par le manque d'expertise et le manque de temps des gestionnaires. En termes de conflits d'usage, 49% des municipalités ont mentionné que l'identification des aires de protection exigée par le RCES a favorisé ou favorisera des conflits d'utilisation du sol sur leur territoire. De ces municipalités, 85% ont mentionné que ces conflits d'usages le seront avec l'agriculture en particulier. Finalement, 47% des municipalités possédant un approvisionnement en eau de surface ont mentionné avoir un système conforme aux exigences du Règlement sur la qualité de l'eau potable (RQEP), par contre 72% de ces mêmes municipalités croient qu'elles continueront à utiliser l'eau du surface dans les 5 prochaines années.

Des modèles multi variés ont été développés afin d'évaluer l'impact de facteurs biophysiques, historiques, socio-économiques et politiques sur la disposition des municipalités à gérer adéquatement les sources souterraines d'eau potable. Pour ce faire, l'information sur une trentaine de variables potentiellement explicatives a été documentée (à partir des réponses du questionnaire et de bases de données complémentaires provenant principalement des partenaires du projet). Le développement de modèles

basés principalement sur la régression logistique ont permis l'identification des principaux facteurs expliquant la propension des municipalités à adopter des mesures de protection des sources d'eau souterraine. Ces facteurs sont: le revenu des municipalités, l'historique de contamination des systèmes de distribution (par le biais d'une partie de l'information recueillie dans le cadre du volet 1), l'utilisation du sol à proximité des captages, la localisation des municipalités à l'intérieur de bassins versants prioritaires et l'importance de l'utilisation de l'eau souterraine dans la région. Les résultats descriptifs de ce volet et l'identification des facteurs critiques mentionnés précédemment représentent de nouvelles connaissances et des outils pour les décideurs publics afin de mieux cibler les stratégies de protection des sources souterraines d'eau potable.

Ce volet s'est développé entre septembre 2004 et juin 2006 et a été entrepris dans le cadre du mémoire de maîtrise de M. Bruno Sylvestre, étudiant en aménagement du territoire à l'Université Laval, sous la direction de M. Rodriguez et avec la collaboration de A. Rouleau, C. Bouchard et Clotilde Dupuis.

### ***Volet 3 : Suivi spatio-temporel la qualité de l'eau sur le terrain***

Le troisième volet du projet vise à documenter et à comprendre, à une plus petite échelle et de façon beaucoup plus précise, l'impact des pressions agricoles sur la qualité de l'eau des puits municipaux. Il s'agissait d'étudier à même le terrain, et à l'intérieur des aires de protection (tels que définis par le nouveau RCES), les variations spatiales et temporelles de la qualité de l'eau entre le lieu où se trouvent les pressions agricoles et la prise d'eau municipale.

Une première étape de ce volet consistait à mieux comprendre l'influence d'un plan d'eau de surface sur la vulnérabilité de l'eau pompée d'un puits d'eau potable en territoire agricole. En fait, une partie des polluants d'origine agricole peut s'infiltrer directement avec les eaux météoriques à la verticale des terrains agricoles, avant d'atteindre la nappe phréatique. Une autre partie peut être drainée plus directement vers les cours d'eau de surface. Ce dernier phénomène est accentué par les systèmes de drainage agricole. Un puits de pompage situé à proximité d'un plan d'eau de surface peut fournir de l'eau affectée par ces deux cheminements de la pollution. Cette étape du volet 3 s'est intéressée particulièrement au second cheminement de la source de pollution. Elle avait pour objectif d'évaluer les risques de contamination de l'eau pompée d'un puits due à l'infiltration à partir d'un plan d'eau de surface. La méthodologie avait deux composantes, soit une approche mathématique, ainsi que des travaux d'investigation sur le terrain comprenant des mesures de flux de filtration, du gradient hydraulique et de paramètres physico-chimiques de l'eau. L'étude a d'abord été réalisée sur trois sites de captages municipaux dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean (La Baie, L'Ascension, Labrecque).

L'approche mathématique s'est basée sur le modèle de Wilson (1993) qui permet d'estimer l'infiltration induite d'un plan d'eau de surface vers un puits de pompage situé au voisinage. Elle a consisté au calcul du débit critique, soit le débit au-delà duquel il se produit une infiltration à partir du plan d'eau. Les données obtenues indiquent que les débits de pompage sont toujours en deçà des débits critiques théoriques calculés pour les trois sites considérés. Concernant les mesures de filtration (flux de filtration, gradient hydraulique), elles ont été effectuées à l'aide d'un mesureur de flux constitué d'un fond de baril muni d'une valve permettant la libre circulation de l'eau, et d'un mini-piézomètre composé d'une tige de métal creuse, avec une pointe d'enfoncement à son extrémité et une crépine. Les mesures de filtration permettent de définir le type d'échange entre les eaux souterraines et les eaux de surface, et possiblement d'évaluer l'effet d'un pompage sur le plan d'eau de surface. Les résultats obtenus sur les trois sites ont permis de démontrer qu'il y a infiltration à partir des plans d'eaux de surface vers les eaux souterraines, surtout sur les parties des plans d'eau de surface qui sont les plus proches des puits. Ceci suggère que les puits induisent une infiltration d'eau des plans d'eau de surface, même si le débit de pompage est en deçà du débit critique théorique. Quant aux mesures des paramètres physico-chimiques (pH, température, oxygène dissous et conductivité électrique), les valeurs obtenues dans le puits sont comprises entre celles obtenues dans le piézomètre et celles du plan d'eau, ce qui suggère que l'eau des puits est un mélange de l'eau souterraine et de l'eau de surface infiltrée. L'écart entre les résultats du modèle mathématique et les résultats de terrain

est en bonne partie dû aux hypothèses simplificatrices du modèle. L'approche mathématique et les mesures sur le terrain procurent des informations pertinentes et complémentaires pour l'estimation des risques d'infiltration d'un plan d'eau de surface vers un puits d'eau potable. L'approche développée dans le cadre de cette partie du volet 3 constitue une démarche utile pour obtenir une première estimation des risques d'infiltration d'un plan d'eau de surface en direction de puits d'eau potable.

La deuxième étape de ce volet consiste à évaluer la qualité spatio-temporelle de l'eau souterraine en milieu agricole sur l'aire d'alimentation d'un captage municipal. L'étude de cas a été un puits d'une municipalité de la région de Portneuf. Le but consiste à évaluer l'influence des activités de surface sur la qualité microbienne et sur la teneur en nitrates de l'eau souterraine de l'aire d'alimentation considérée. Plus spécifiquement, il s'agit de réaliser un portrait de la contamination en nitrates dans l'aire d'alimentation, d'établir un lien entre le captage et l'utilisation du sol par modélisation du transport des nitrates à l'échelle de l'aire d'alimentation, et finalement, de réaliser un suivi spécifique de la contamination par des microorganismes indicateurs de contamination fécale (coliformes totaux, *E.Coli* et entérocoques).

Pour atteindre les objectifs de cette étape du volet 3, une série de 40 piézomètres ont été installés sur l'aire d'alimentation à l'étude et un échantillonnage mensuel de l'eau souterraine a été réalisé sur l'ensemble de ces installations ainsi qu'au captage municipal. Concernant la partie étude microbiologique, le suivi de microorganismes indicateurs semble indiquer une faible occurrence de bactéries *EColi*, ainsi qu'un lien spatiotemporel entre les occurrences de contamination de coliformes totaux et d'entérocoques/*E.Coli*. De plus, le nombre de volumes d'eau renouvelés d'un piézomètre ainsi que l'intensité dans l'espace et dans le temps de l'échantillonnage réalisé, semblent être des paramètres importants afin d'établir un portrait de la contamination de l'eau souterraine par des microorganismes. Concernant le volet sur les nitrates, les résultats obtenus permettent d'observer des variations spatiales et temporelles significatives des concentrations en nitrates. Parallèlement à cette analyse, un modèle de transformation de l'azote en zone racinaire (Agriflux2.0), d'écoulement de l'eau et de transport des nitrates en zone saturée (Hydro géosphère) a été appliqué à l'ensemble de l'aire d'alimentation, tout en considérant les apports de fertilisants azotés (données issues des PAEF) de chacun des 70 champs agricoles situés sur l'aire du captage. Les résultats de la modélisation démontrent que les valeurs moyennes de concentrations en nitrate au captage et dans les piézomètres simulées sont en accord avec les mesures de terrain, les extrema étant cependant non atteints par le modèle. Divers scénarii de modification des pratiques agricoles ont ensuite permis d'apprécier leurs impacts sur la qualité de l'eau au captage municipal. D'autres aspects complémentaires reliés aux nitrates ont été considérés dans le cadre de ce projet afin d'améliorer la gestion de l'aire d'alimentation du puits en milieu agricole: 1) une analyse isotopique de l'azote et de l'oxygène des nitrates afin de mieux évaluer l'origine organique ou minérale des nitrates dans l'eau souterraine, 2) une analyse statistique des caractéristiques physico-chimiques de l'eau souterraine.

La première étape de ce volet a commencé en mai 2004 et s'est terminée en juillet 2006, tandis que la deuxième a débuté en septembre 2004 et s'est terminée en été 2008. Ce volet a été développé dans le cadre du mémoire de maîtrise de Mme Sylvette Awoh (sciences de la Terre, UQAC) et de la thèse de doctorat de M. Alexandre Bonton (génie civil, Laval). La maîtrise de Mme Awoh a été dirigée par A. Rouleau et C. Bouchard; la thèse de A. Bonton a été dirigée par C. Bouchard et A. Rouleau, avec la collaboration de M. Rodriguez et J. Sérodes. Un stagiaire, Nicolas Henriques, a participé à ce volet en appui des activités d'échantillonnage et d'analyse sur le terrain.

#### **Volet 4 : Analyse de risque et instruments de gouvernance**

Ce volet comporte deux composantes. La première composante consiste en une analyse du risque sanitaire associé aux nitrates pour la population desservie par les puits municipaux situés en milieu agricole intensif. La deuxième composante consiste en la réalisation d'une analyse de la pertinence et de la portée des outils réglementaires en place pour protéger les eaux souterraines captées par les municipalités.

Dans la première composante du volet, nous avons estimé, pour la population des sept régions considérées dans les volets 1 et 2, le risque cancérigène associé aux niveaux de nitrates et nitrites retrouvés dans les réseaux qui s'approvisionnent en eau souterraine. Pour ce faire nous avons pris conjointement en compte les concentrations de  $\text{NO}_3^-$  mesurées dans chacun des divers réseaux et la consommation journalière d'eau (estimée à 1.5L/Jr) auxquelles nous avons appliqué un facteur de transformation de 5% de  $\text{NO}_3^-$  en  $\text{NO}_2^-$ . Puis, considérant un séjour dans l'estomac estimé à 1h, l'application d'une constante de nitrosation a permis d'estimer la quantité maximale de NOC potentiellement formée dans ce milieu. C'est alors que nous avons pu estimer l'excès de risque spécifique à divers NOC qui est fonction de leur potentiel cancérigène [coefficient unitaire de risque ( $q_1^*$ )]. Les résultats préliminaires indiquent que dans le pire scénario, l'excès de risque additionnel associé à la consommation de cette eau, basé sur l'hypothèse de transformation des  $\text{NO}_2^-$  en NDMA pour la population consommant l'eau de ce réseau serait approximativement de  $2.1 \times 10^{-6}$  pour ce qui est de la concentration moyenne et de  $3.4 \times 10^{-6}$  pour la concentration maximale (18mg-N/L). De travaux supplémentaires sont en cours afin de mieux préciser l'importance des divers facteurs, notamment le rôle des précurseurs aminés dans la formation de NOC. A cette analyse de risque sur les nitrates, s'est ajoutée une analyse exploratoire sur les pesticides. Cette analyse a permis de conclure que la population québécoise alimentée par les sources souterraines d'eau potable est moins exposée aux pesticides (e.g atrazine, métolachlore et 2,4 D.) que celle alimentée par des eaux de surface. L'évaluation de l'exposition n'a pas démontré un risque important associé aux pesticides dans les sources d'eau potable municipales du Québec.

Dans la deuxième composante du volet, une analyse des outils juridiques en place pour encadrer le captage des eaux souterraine au Québec a été effectuée afin d'en déterminer la pertinence et la portée. Cette analyse a suivi la méthode exégétique qui implique l'étude exhaustive des sources juridiques ayant un impact sur la gestion des eaux souterraines. L'étude exégétique permet d'identifier le cadre de gouvernance de la ressource au niveau quantitatif puis au niveau qualitatif. Une comparaison du cadre juridique avec un modèle de gestion intégrée indique les aspects du régime québécois qui peuvent faire l'objet de modifications. Le cas échéant, des références au droit étranger permettent de suggérer des possibilités spécifiques de développement du cadre québécois.

Les résultats de l'analyse démontrent que le régime juridique de gestion de la ressource est centralisé. Il est de nature préventive, favorise un développement *ad hoc* de la ressource, et repose sur une appréciation scientifique des impacts des activités de captage et des impacts des sources potentielles de contaminants. Au niveau quantitatif, la portée du régime pourrait être étendue, un débit environnemental minimal pourrait être assuré, la hiérarchisation de certains usages pourrait être modifiée, et des mécanismes participatifs pourraient être implantés. Au niveau qualitatif, l'efficacité des mesures de protection pourrait être augmentée, l'intégration des outils réglementaires pourrait être poursuivie, et l'encadrement juridique de l'action des différents usagers pourrait être précisé.

La première composante de ce volet s'est réalisée dans le cadre du projet de maîtrise de Mme Sandrine Chébékoué (Santé communautaire, Université de Montréal) dirigée par R. Tardif et P. Levallois avec la collaboration de M. Rodriguez. Cette composante a débuté en juin 2006 et se terminera en novembre 2007 (lors du dépôt du projet de maîtrise associé à cette composante). La deuxième composante de ce volet a été développée dans le cadre du projet de maîtrise de M. Hugo Tremblay (Droit, U. Laval) sous la direction de Sophie Lavallée (Droit, U. Laval) et Frédéric Laserre, avec la collaboration de M. Rodriguez. Cette composante du volet 4 a débuté en avril 2006 et s'est terminé en septembre 2007.

La participation des organismes partenaires dans l'exécution de ce projet a été considérable, en particulier en ce qui concerne l'expertise de terrain, l'accès à des bases de données spatialisées, ou encore l'acquisition et le traitement de ces données, ainsi que la validation des protocoles d'enquêtes.

## Publications et communications

- Bonton A., Rouleau A., Bouchard C., Rodriguez M.J., Therrien R. (2007). XXXV IAH Congress: Groundwater and Ecosystem congress, Lisbon, Portugal.
- Sylvestre B. & Rodriguez M.J (2008). Journal of Environmental Management, 88(1):28-42.
- Sylvestre B., Rodriguez M.J., Gravel C., Thériault M. (2006). Proceedings of the National Conference on Drinking Water, Canadian Water and Wastewater Association, Saint-John
- Sylvestre B., Rodriguez M.J. (2005). Proceedings of the AWWA Water Quality Technology Conference, Québec.
- Gravel C., Rodriguez M.J., Thériault M. (2005). Proceedings of the AWWA Water Quality Technology Conference, Québec.
- Bonton A., Rouleau A., Bouchard C., Rodriguez M.J. (2007). 8th Joint CGS/IAH-CNC Groundwater Speciality Conference, Ottawa, Canada.
- Chébékoué S., Phaneuf D., Levallois P., Rodriguez M.J., Tardif R. (2007). Colloque du Réseau de Recherche en Santé Environnementale (RRSE), Université de Montréal, Montréal.
- Awoh S., Rouleau A., Bouchard C. (2006). 59<sup>th</sup> Canadian Water Resource Association Annual Conference, Toronto, Canada.
- Sylvestre B., Rodriguez M.J. (2006). 74<sup>ème</sup> Congrès de l'Association Canadienne-Française pour l'Avancement des Sciences-ACFAS, Montréal, Canada.
- Sylvestre B. (2006). 11e Colloque étudiant pluridisciplinaire du CRAD, Québec, Canada.
- Bonton A., Bouchard C., Rouleau A., Rodriguez M.J., Henriques N. (2005). 73e Congrès de l'Association Canadienne Française pour l'Avancement des Sciences-ACFAS, Chicoutimi, Canada.
- Gravel C., Rodriguez M.J., Thériault M. (2005). 73<sup>e</sup> Congrès de l'Association Canadienne-Française pour l'Avancement des Sciences-ACFAS, Chicoutimi, Canada.
- Awoh, S., Rouleau A., Bouchard C. (2005). 73<sup>e</sup> Congrès de l'Association Canadienne-Française pour l'Avancement des Sciences-ACFAS, Chicoutimi, Canada.
- Sylvestre B. (2005). Colloque étudiant HYMAP-Eaux de consommation, Université Laval, Québec.
- Bonton A. (2005). Colloque étudiant HYMAP-Eaux de consommation, Université Laval, Québec.
- Gravel C. (2005). Colloque étudiant HYMAP-Eaux de consommation, Université Laval, Québec.
- Awoh S., Rouleau A., Bouchard C. (2005) Colloque étudiant HYMAP-Eaux de consommation, Université Laval, Québec.
- Gravel C. (2005). 10e Colloque étudiant pluridisciplinaire du CRAD, Université Laval, Québec.
- Rodriguez M.J. & Sérodes J.-B. (2004). Proceedings of the Second International Environmental Congress of the Caribbean Concaribe, Cartagena, May.
- Tremblay H. (2007). 23<sup>ième</sup> Symposium canadien pour la recherche sur la qualité de l'eau de l'Association Canadienne pour la Qualité de l'Eau
- Tremblay H. (2008) Revue de Droit de l'Université de Sherbrooke (sous presse)
- Tremblay H. (2008) Journal of Law, Environment and Development (sous-presse)