



**La cartographie hydrogéologique régionale
Un outil essentiel à l'inventaire des ressources en eaux souterraines**

René Lefebvre¹, Yves Michaud², Richard Martel¹ et Nathalie Fagnan²

1: INRS-Géoressources, 2: Commission géologique du Canada

Mémoire du Centre géoscientifique de Québec
Présenté au
Bureau d'audiences publiques sur l'environnement
Dans le cadre de la consultation publique sur
La gestion de l'eau au Québec

Octobre 1999

Sommaire

Le mémoire du Centre géoscientifique de Québec (CGQ) déposé dans le cadre de la consultation publique sur *La gestion de l'eau au Québec* vise à informer le Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE) de l'approche développée par le CGQ pour la cartographie hydrogéologique régionale et de faire des recommandations touchant à la gestion et à la protection des ressources en eaux souterraines au Québec. Le mémoire du CGQ représente un résumé du guide méthodologique sur la cartographie hydrogéologique régionale que le CGQ prépare pour le Ministère de l'environnement (MENV). La méthode proposée est dérivée de l'expérience acquise au cours du projet de cartographie hydrogéologique du piémont laurentien. Cette approche est adaptée surtout aux aquifères granulaires de surface. Un autre projet de cartographie hydrogéologique du CGQ est en cours dans les Basses-Laurentides et il permettra la rédaction d'un deuxième guide méthodologique adapté à la cartographie des aquifères rocheux fracturés. Deux autres guides reliés à la protection des ressources en eaux souterraines sont également en préparation sur la cartographie de la vulnérabilité des nappes à la contamination et sur la délimitation des périmètres de protection des ouvrages de captage des eaux souterraines.

Des travaux gouvernementaux de cartographie hydrogéologique se sont déroulés au Québec au cours des années 1970 et 1980 au sein des Ministères des richesses naturelles ainsi que de l'environnement de l'époque. Malgré ces efforts louables, la couverture cartographique du territoire québécois demeure très partielle. Aucun programme systématique de cartographie ou d'inventaire de la ressource en eau souterraine n'est présentement actif. La cartographie hydrogéologique régionale a pour but de donner une image complète de la ressource en eau souterraine pour déterminer la provenance, l'écoulement, la qualité, le contexte géologique et les quantités exploitables de l'eau souterraine. Pour arriver à ces réponses, plusieurs paramètres hydrogéologiques doivent être recueillis, mesurés et interprétés. La démarche à suivre pour caractériser ces paramètres et les présenter sur des cartes hydrogéologiques comporte 4 étapes: la compilation des données existantes; les travaux de terrain nécessaires à l'acquisition d'informations complémentaires ou manquantes; l'intégration et l'analyse de ces données; et, finalement, la production de cartes hydrogéologiques. Les systèmes de bases de données permettent de gérer les données et d'en assurer la pérennité tandis que des systèmes d'information géographiques (SIG) permettent leur intégration cartographique. Nous recommandons un mode de cartographie qui puisse fournir une vision suffisamment détaillée des ressources en eau souterraine pour en assurer la gestion et la protection par les organismes ayant compétence dans ce domaine. L'échelle régionale de la cartographie hydrogéologique n'empiète pas sur les travaux requis pour régler les problématiques locales d'approvisionnement ou de contamination des eaux souterraines dont la résolution est du ressort des firmes d'experts privées.

Le CGQ soutient fermement le projet de politique sur les eaux souterraines du Ministère de l'environnement. Il est nécessaire de poursuivre des travaux permettant l'inventaire des ressources en eaux souterraines et fournissant l'information requise pour leur gestion et leur protection. Cette information devra être facilement accessible à tous. Pour assurer la qualité des cartes hydrogéologiques qui devront être produites dans le futur nous favorisons la création d'un organisme indépendant de coordination et de supervision des travaux qui seraient exécutés par des firmes privées. Une forme "d'accréditation" de firmes privées compétentes pour la poursuite de tels travaux offrirait de meilleures garanties de qualité.

Table des matières

Sommaire	i
Table des matières	iii
Liste des tableaux et figures	iv
Présentation de l'organisme	1
Introduction	1
Objectifs du mémoire	1
Rétrospective de la cartographie hydrogéologique au Québec	2
La cartographie hydrogéologique régionale	3
Principes de base d'hydrogéologie	3
Principes de la cartographie hydrogéologique régionale	5
Informations géoscientifiques requises pour la cartographie hydrogéologique.....	9
Travaux de terrain, analyse et traitement des données	11
Les types de cartes hydrogéologiques	11
Mode de cartographie hydrogéologique proposé	13
Les coûts de la cartographie hydrogéologique	15
Recommandations	18
Références	20
Annexes	
A1 Projet de cartographie des aquifères du piémont laurentien	
A2 Projet de cartographie des aquifères fracturés du sud-ouest du Québec	
A3 Projet "Hydrolink" de diffusion des données hydrogéologiques par Internet	
A4 Rapports hydrogéologiques publiés par le Gouvernement du Québec	

Liste des tableaux et figures

Tableaux

1. Principaux paramètres physiques et chimiques utilisés pour la caractérisation de la ressource en eaux souterraines 7
2. Types et sources des données géoscientifiques disponibles au Québec utiles pour la cartographie hydrogéologique 10
3. Classification des cartes hydrogéologiques en fonction du niveau d'information qu'elles contiennent et de l'utilisation qu'on peut en faire 12
4. Estimé des coûts annuels pour un projet de deux ans de cartographie hydrogéologique couvrant un feuillet cartographique standard au 1:100 000 16

Figures

1. Écoulement de l'eau souterraine dans un système aquifère comprenant une nappe libre, une nappe perchée et une nappe captive 4
2. Schéma illustrant la méthode préconisée pour la cartographie hydrogéologique régionale 6
3. Objectifs et contenu des cartes hydrogéologiques proposées..... 14

Présentation de l'organisme

Le Centre géoscientifique de Québec (CGQ) est un exemple unique de partenariat entre une université et une agence gouvernementale. Le CGQ est formé par le regroupement du centre INRS-Géoressources de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS) et de la division CGC-Québec de la Commission géologique du Canada (CGC). Plusieurs chercheurs du CGQ sont impliqués dans la recherche et la formation en hydrogéologie et plus spécifiquement dans des projets de cartographie hydrogéologique régionale. Le regroupement des ressources disponibles dans les institutions formant le CGQ, avec l'appui de leurs partenaires, rend possible la réalisation de projets pilotes de cartographie hydrogéologique. Les annexes du mémoire donnent des informations plus détaillées sur certaines activités du CGQ reliées aux ressources en eaux souterraines.

Par ce mémoire, le CGQ veut fournir au BAPE de l'information technique sur le processus de la cartographie hydrogéologique et formuler des recommandations qui vont dans le sens de la protection et de la gestion des ressources en eaux souterraines. Puisque la connaissance de la ressource est nécessaire à ces actions, nous considérons que l'information contenue dans ce mémoire sera bénéfique au débat sur *La gestion de l'eau au Québec*.

Introduction

Objectifs du mémoire

Les objectifs du mémoire sont: 1) de présenter les principes de la cartographie hydrogéologique régionale; 2) de souligner l'importance de la cartographie pour permettre l'inventaire des ressources en eaux souterraines; et 3) de faire des recommandations au BAPE reliées à la gestion et à la protection des ressources en eaux souterraines.

La description de la méthodologie de cartographie hydrogéologique présentée par la suite est basée sur le guide méthodologique en préparation pour le Ministère de l'environnement. Ce guide est issu du projet de cartographie du piémont laurentien et met l'emphase sur la cartographie des aquifères granulaires de surface. Un deuxième projet de cartographie est présentement en cours au CGQ et il développe une approche adaptée plus spécifiquement aux aquifères rocheux fracturés (voir annexe A2).

Les planches cartographiques produites au cours du projet de cartographie des aquifères du piémont laurentien ont déjà été déposées à la commission. L'annexe A1 fournit une copie d'un article sur l'hydrogéologie du piémont laurentien et illustre le type d'information disponible suite à des travaux hydrogéologiques de nature régionale. Ce document illustre concrètement les résultats d'un programme régional de caractérisation et de cartographie des aquifères. Avant d'aborder spécifiquement la méthodologie de la cartographie hydrogéologique au prochain chapitre, la section qui suit fait une brève rétrospective des efforts faits en ce sens par le gouvernement du Québec. Cette rétrospective est en très grande partie basée sur les informations gracieusement fournies par le personnel du Ministère de l'environnement qui a été impliqué dans ces travaux.

Rétrospective de la cartographie hydrogéologique au Québec

La ressource en eau souterraine au Québec a rarement fait l'objet d'une caractérisation exhaustive comprenant, par exemple, la cartographie et la classification des diverses formations aquifères. Des initiatives en ce sens ont pourtant été amorcées par les Ministères des ressources naturelles ainsi que de l'environnement du Québec durant les années 1970 et 1980 dans le cadre de programmes fédéraux et provinciaux : DHI - décennie hydrologique (1965-1975); ARDA - aménagement rural et développement agricole (1967-1975); programmes du MEER (Ministère de l'expansion économique régionale); PCI - programmes de connaissances intégrées (1975-1982); et le volet cartes de vulnérabilité (1985-1988) (McCormack, communication personnelle). Ces travaux ont principalement mené à des études de reconnaissance (McCormack, 1979 ; Paré, 1980) mais aussi, de façon ponctuelle, à quelques études détaillées (Simard, 1970 et 1977). L'ensemble de ces travaux n'a cependant pas couvert la totalité du territoire et utilisait la technologie de cartographie et l'information disponibles à ces époques. Une liste des rapports et cartes publiés suites à ces travaux est présentée à l'annexe A4.

La majorité de ces études hydrogéologiques est accompagnée d'une série de cartes hydrogéologiques et hydrogéochimiques concernant 1) la géologie des dépôts meubles et du socle rocheux exprimée en terme de perméabilité ou de potentiel aquifère, 2) les utilisateurs d'eaux souterraines ainsi que les types de captage présents sur le territoire, et 3) la distribution de certains paramètres physico-chimiques (fer, dureté, chlorure, pH et conductivité). Les données additionnelles aussi généralement présentées sont la localisation des puits d'essais, des sondages stratigraphiques et des prises d'eau municipales et privées. Des coupes stratigraphiques complètent à l'occasion ces cartes et la localisation des sources peut aussi y être présentée. Une minorité de rapports hydrogéologiques contient aussi des informations paramétriques (i.e., épaisseur des dépôts, topographie du socle, piézométrie, etc.).

La production de cartes de vulnérabilité par le Ministère de l'environnement a débuté au début des années 1980. L'évaluation de la vulnérabilité s'est initialement faite à partir de critères qualitatifs concernant les aspects physiques de la ressource. Par exemple, la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution de la région de Granby a été évaluée en considérant: 1) la perméabilité des formations géologiques (élevée, modérée, faible); 2) la topographie (plane ou accidentée); et 3) le drainage des terrains (externe nul, externe faible, externe excellent) (Grenier et McCormack, 1985). D'autres cartes de vulnérabilité ont été élaborées en fonction des débits probables disponibles. Ainsi, la carte de vulnérabilité des eaux souterraines du bassin versant de la rivière Yamaska comprend trois classes de vulnérabilité en fonction des débits probables suivants : vulnérabilité élevée (5,5 m³/h); vulnérabilité modérée (3 m³/h – 5,5 m³/h); et vulnérabilité faible (< 3 m³/h) (McCormack, 1985). Les méthodes qualitatives d'évaluation ont éventuellement été remplacées par la méthode DRASTIC (Aller *et al.*, 1987) qui utilise un système à cotation numérique pondérée. La première application intégrale de DRASTIC au territoire québécois a été effectuée par Champagne (1990) dans la MRC de Montcalm.

Cette rétrospective des travaux passés de cartographie hydrogéologique au Québec nous amène à constater que malgré ces efforts louables, la couverture cartographique du territoire québécois demeure très partielle aujourd'hui. Aucun programme systématique de cartographie ou d'inventaire de la ressource en eau souterraine n'est actif présentement.

La cartographie hydrogéologique régionale

La présence et la distribution des eaux souterraines n'est pas l'effet du hasard, mais plutôt la conséquence de facteurs climatiques, hydrologiques, géologiques et topographiques. Ces facteurs interagissent pour créer un système d'écoulement dynamique et souvent complexe. La caractérisation de chacun de ces facteurs et la connaissance des relations qui les unissent sont la clef pour la compréhension des systèmes aquifères. La cartographie hydrogéologique est l'outil de base qui mène à cette compréhension. Elle comprend toutes les activités et techniques nécessaires pour recueillir, documenter, interpréter et représenter l'information hydrogéologique sous forme graphique. Les sections qui suivent introduisent brièvement les étapes de la cartographie hydrogéologique régionale. La méthode proposée est dérivée de l'expérience du projet de cartographie hydrogéologique du piémont laurentien. Cette approche est adaptée surtout aux aquifères granulaires de surface. Un guide méthodologique est en préparation pour le Ministère de l'environnement par le Centre géoscientifique de Québec. Ce guide décrit plus en détail l'approche résumée dans ce mémoire. Aussi, un projet de cartographie hydrogéologique est en cours présentement dans les Basses-Laurentides. Ce projet aborde la cartographie des aquifères rocheux fracturés et un guide méthodologique adapté à ce contexte sera développé à partir de l'expérience acquise par ce projet.

Nous voulons limiter ce mémoire aux questions reliées spécifiquement à la cartographie hydrogéologique régionale. Pour une discussion plus approfondie des notions de base d'hydrogéologie, on peut consulter les principaux ouvrages sur ce sujet dont les références se trouvent à la fin du mémoire.

Principes de base d'hydrogéologie

Le cycle de l'eau décrit le mouvement continu de l'eau au-dessus, sur et en-dessous de la surface du sol. L'eau emmagasinée dans les matériaux géologiques fait ainsi partie intégrante d'un système hydrologique plus vaste dont les composantes sont dépendantes les unes des autres. Ce concept est essentiel à la compréhension de la distribution de l'eau souterraine, à son exploitation ainsi qu'à sa gestion et sa protection.

L'eau souterraine peut être extraite plus ou moins facilement des sédiments ou des roches qui la contiennent. Certains dépôts et roches sont plus aptes à transmettre l'eau souterraine à un ouvrage de captage. Un aquifère est une unité ou un ensemble d'unités géologiques, saturé au moins en partie en eau, et constitué de matériaux suffisamment perméables pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe et le captage de quantités appréciables d'eau souterraine. Le terme aquifère s'applique à l'ensemble du milieu solide et de l'eau qu'il contient (Landry, 1997). Les ensembles géologiques considérés comme aquifères varient selon le contexte et la disponibilité des formations perméables dans une région donnée. Les principales formations géologiques aquifères au Québec se trouvent dans les dépôts de sables et de graviers et dans les roches sédimentaires (grès et calcaires).

La figure 1 illustre schématiquement les principales composantes des systèmes aquifères. Une couche de confinement est une unité géologique qui ne laisse pas facilement circuler l'eau à travers elle. Le terme aquitard est généralement utilisé pour désigner ces couches confinantes. L'aquitard, aussi appelé couche semi-perméable, est une unité de faible perméabilité qui, bien

qu'elle ne peut alimenter adéquatement un ouvrage de captage, peut contribuer de façon significative à l'écoulement régional par la lente mais constante transmission d'eau souterraine qu'elle contient (Freeze et Cherry, 1979). Au Québec, les principales formations géologiques de type aquitard sont les dépôts de till à matrice fine, de silt et d'argile et les roches ignées et métamorphiques qui forment souvent les limites inférieures des systèmes d'écoulement.

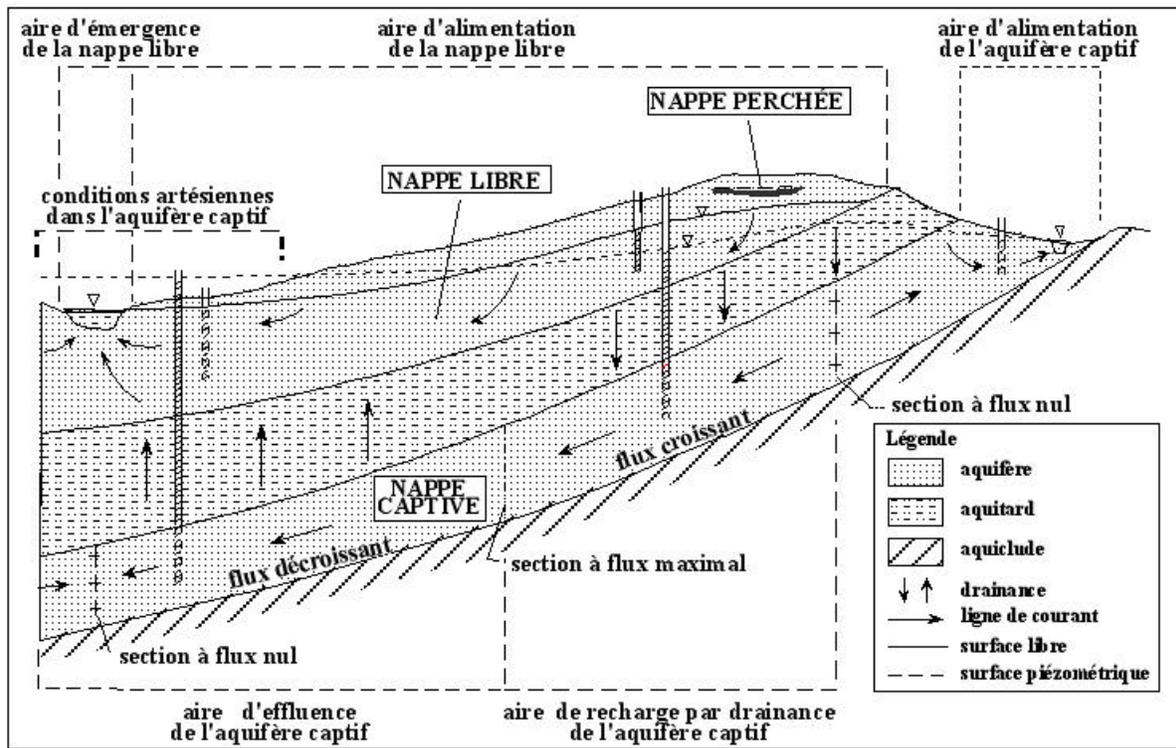


Figure 1. Écoulement de l'eau souterraine dans un système aquifère comprenant une nappe libre, une nappe perchée et une nappe captive (modifiée de Castany et Margat, 1977).

Les deux grands types d'aquifères sont les nappes libres (aquifères libres) et les nappes captives (aquifères captifs). Le terme nappe désigne l'eau souterraine qui est en mouvement à l'intérieur d'un aquifère. Le terme aquifère inclut à la fois l'eau souterraine et le milieu solide qui la contient (Landry, 1997). Une nappe peut recevoir différents qualificatifs relatifs à l'origine de son matériel (Genetier, 1984).

Les nappes libres sont généralement présentes dans les formations aquifères situées près et reliées directement à la surface du sol. Les nappes libres sont caractérisées par la présence d'une surface libre où la pression de l'eau est égale à la pression atmosphérique. Le terme surface libre ne doit pas être confondu avec ceux de "nappe phréatique" ou "nappe". Une "nappe" désigne l'ensemble de l'eau souterraine en mouvement dans l'aquifère et non pas uniquement sa surface. L'altitude de la surface libre varie selon les saisons, suite aux périodes de recharge (suite au dégel sous nos climats). La recharge des nappes libres se fait principalement par infiltration à partir de la surface sur toute l'étendue de la nappe. Les nappes libres sont relativement vulnérables à la contamination à partir de sources situées à la surface du sol.

Les nappes captives se retrouvent dans des unités aquifères complètement saturées en eau et confinées entre des unités peu perméables. L'épaisseur saturée des nappes captives correspond à l'épaisseur de l'aquifère captif. L'eau présente dans les nappes captives s'y trouve à une pression toujours supérieure à la pression atmosphérique. Il en résulte qu'un puits pénétrant une nappe captive provoque la remontée de l'eau au-dessus de la limite supérieure de la formation aquifère. La surface représentant l'élévation potentielle de la remontée du niveau d'eau au-dessus de la nappe captive est la surface piézométrique. La recharge des nappes captives se fait par drainance à travers les unités confinantes sus-jacentes et aux affleurements de la formation aquifère en surface. Les nappes captives sont relativement peu vulnérables à la contamination à partir de la surface. La même formation géologique peut constituer une nappe libre dans un secteur où elle est en contact avec la surface du sol et une nappe captive plus loin de la zone affleurante. Ces nappes sont qualifiées de semi-captives.

Principes de la cartographie hydrogéologique régionale

Indépendamment de la complexité du système aquifère à l'étude, tout programme de cartographie hydrogéologique doit donner une image complète de la ressource en eau souterraine. Selon Piteau et Turner (1993a et b), la cartographie hydrogéologique régionale devrait répondre aux cinq questions fondamentales suivantes :

- D'où vient l'eau ?
- Où va-t-elle ?
- Est-elle potable ?
- Quelle est la nature des formations géologiques qui la contiennent ?
- Quelles sont les quantités exploitables ?

Afin de répondre à ces questions, plusieurs paramètres hydrogéologiques doivent être recueillis, mesurés et interprétés. Une liste exhaustive de ces paramètres est présentée au tableau 1. Ces paramètres ont été classés selon qu'ils caractérisent les propriétés physiques ou chimiques des eaux souterraines ou selon qu'ils décrivent les propriétés hydrauliques des matériaux géologiques à l'intérieur desquels circulent les eaux souterraines.

La démarche à suivre pour caractériser ces paramètres et les présenter sur des cartes hydrogéologiques comporte généralement 4 étapes : 1) la compilation des données existantes; 2) la réalisation de travaux de terrain nécessaires à l'obtention d'informations complémentaires ou manquantes; 3) l'intégration et l'analyse de ces données; et, finalement, 4) la production de cartes hydrogéologiques. La figure 2 illustre ces quatre étapes qui constituent, en outre, la méthodologie préconisée pour la cartographie hydrogéologique régionale. Dans cet exemple, la gestion des données est effectuée à partir d'une base de données relationnelles suivant une approche topologique inspirée de celle utilisée dans les systèmes d'informations géographiques (SIG) (Boisvert et Michaud, 1998). Le CGQ a développé une interface informatisée (*Geoscience Information Management System*, GIMS: Système de gestion des données géoscientifiques) pour faire le lien entre la base de données et les divers logiciels de traitement de données, de cartographie et de modélisation (Boisvert et Michaud, 1999).

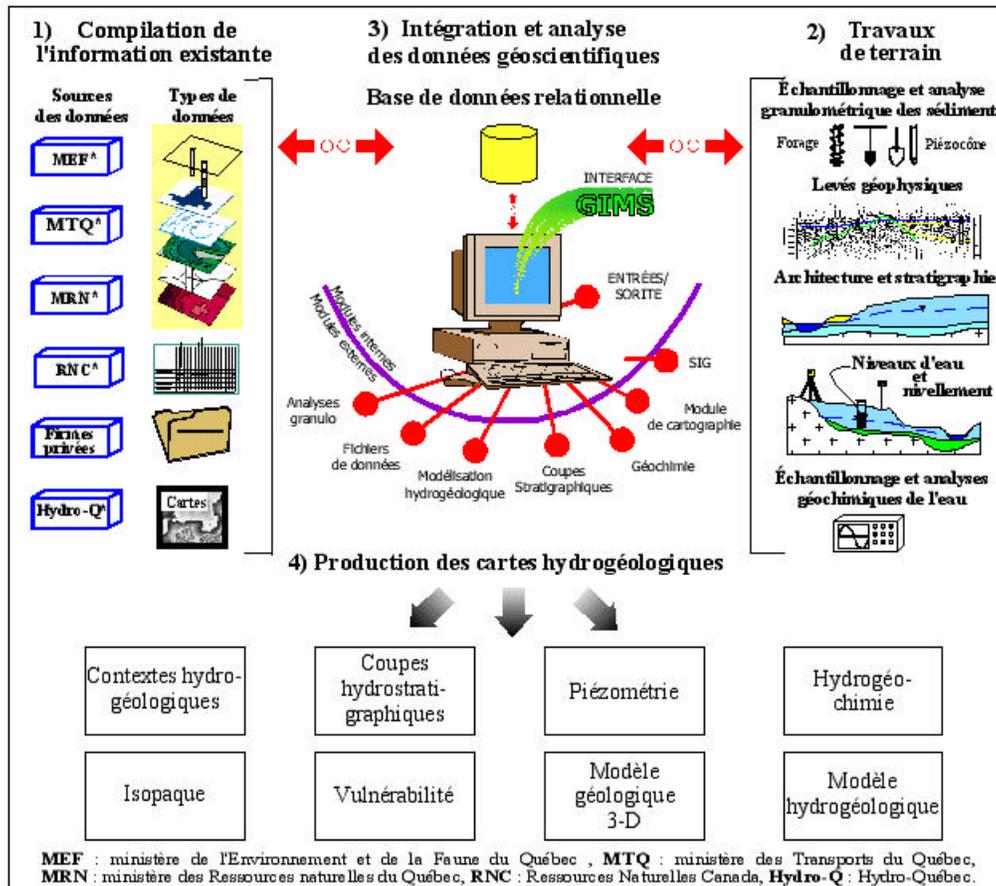


Figure 2. Schéma illustrant la méthode préconisée pour la cartographie hydrogéologique régionale.

Tableau 1. Principaux paramètres physiques et chimiques utilisés pour la caractérisation de la ressource en eaux souterraines (modifié de Struckmeier et Margat, 1995).

Paramètres bruts ou dérivés permettant de caractériser l'eau souterraine de façon physique (direction d'écoulement, étendue des eaux souterraines) ou chimique
La caractérisation de ces paramètres est effectuée pour un aquifère. Dans le cas de deux aquifères superposés, tous les paramètres énumérés devront être déterminés pour les deux aquifères.
<u>Paramètres physiques:</u> <ul style="list-style-type: none">• Présence, étendue et continuité des eaux souterraines.• Profondeur à la nappe.• Altitude de la surface libre ou piézométrique mesurée par rapport au niveau de la mer ; contours de la surface libre ou piézométrique; délimitation des zones où la nappe est libre ou captive.• Directions de l'écoulement et gradients hydrauliques dérivés des cartes de contours de la surface libre ou piézométrique ; identification des lignes de partage des eaux souterraines.• Liens hydrauliques, connus ou déduits, entre les formations aquifères discontinues.• Fluctuation piézométrique de la nappe à diverses périodes de l'année ; délimitation des zones affectées par le pompage.• Volume d'eau dans un aquifère ou par unité de surface.• Volume d'eau pour différents niveaux de saturation.• Distinction entre les zones de recharge et d'émergence.• Détermination de la recharge.• Détermination des débits de la résurgence mesurée aux points d'émergence des eaux souterraines (sources ou rivières).• Caractérisation du régime d'écoulement observé aux sources, celui-ci peut être permanent, intermittent ou temporaire ; mesure ou évaluation du débit moyen à ces points d'émergence; hydrogrammes de sources.• Quantité d'eau souterraine pompée à certains endroits pour une période de temps donnée, i.e. puits municipaux, puits industriels, etc.
<u>Paramètres chimiques:</u> <ul style="list-style-type: none">• Caractéristiques physiques ou chimiques de l'eau souterraine mesurée à des sources ou puits à une date précise de l'année ; distribution spatiale de ces caractéristiques à l'aide de diagrammes de Stiff ou de diagrammes radiaux.• Qualité de l'eau définie sur la base de critères de potabilité ou de paramètres esthétiques, des autres usages potentiels de l'eau souterraine, ou en fonction de la classification hydrogéochimique de l'eau, ex: solides dissous totaux, concentration en nitrates, proportion Ca/Mg, etc.

Tableau 1 (suite). Principaux paramètres physiques et chimiques utilisés pour la caractérisation de la ressource en eaux souterraines (modifié de Struckmeier et Margat, 1995).

Paramètres bruts ou dérivés permettant de caractériser le matériel dans lequel se trouve l'eau souterraine
<ul style="list-style-type: none"> • Lithologies des formations géologiques classées en fonction de leur capacité à transmettre et à emmagasiner l'eau ; type de porosité et conductivité hydraulique observée dans les roches et sédiments avec une évaluation de la valeur de ces deux paramètres (ordre de grandeur). • Étendue, structure et géométrie des diverses formations géologiques en portant une attention particulière aux formations aquifères. <ul style="list-style-type: none"> - tracé de l'étendue des formations géologiques à la surface; et description du type de limites séparant deux ou plusieurs formations géologiques ayant des valeurs de perméabilité différentes. - élévation de la base et du sommet des aquifères - épaisseur saturée des formations géologiques - localisation d'hétérogénéité interne qui ont un impact sur le régime d'écoulement de l'eau souterraine, e.g. zones de fractures, couches imperméables, etc. • Valeurs des paramètres hydrauliques tels que la perméabilité, la transmissivité, les coefficients d'emmagasinement avec une évaluation de leur distribution spatiale. • Identification des éléments hydrographiques permettant de suggérer la présence de limites aquifères. • Relation entre le système de drainage et les aquifères adjacents : lorsque l'eau souterraine de l'aquifère est directement et complètement déversée dans la rivière, on dit que le lien hydraulique est continu, celui-ci peut-être permanent ou temporaire. Lorsque les eaux souterraines font résurgence à un endroit autre que la rivière, tel que le long de faces de suintement, on dit que le lien hydraulique est discontinu, ce lien peut être permanent ou temporaire. Les eaux d'un aquifère de sable et gravier se jetant dans une rivière coulant sur le roc est un exemple de lien hydraulique discontinu. Les nappes perchées en sont un autre exemple. • Localisation des aires d'émergence de l'eau souterraine : sources ponctuelles ou linéaires, faces de suintement, plan d'eau tels que les lacs et rivière. • Classification des zones en fonction de leur complexité et structure : degré d'homogénéité d'une formation aquifère, présence d'un ou plusieurs aquifères superposés, aquifère continu ou discontinu, état de la nappe: libre, confinée ou semi-confinée. • Localisation des infrastructures humaines ayant un impact sur la quantité d'eaux souterraines : puits en pompage, puits d'injection, terres irriguées à l'aide de fossés de drainage ou de drains, barrages, canaux d'égouts pluviaux, etc..

Informations géoscientifiques requises pour la cartographie hydrogéologique

Par son caractère intermédiaire entre les sciences de la terre et de l'eau, la cartographie hydrogéologique nécessite la cueillette de nombreuses informations provenant de sources diverses. La compilation des données existantes constitue la première étape de la cartographie hydrogéologique. Cette étape permet de répertorier les travaux hydrogéologiques qui ont déjà été effectués, d'avoir un bon aperçu du contexte hydrogéologique de la région d'étude et aussi d'évaluer les travaux de terrain nécessaires pour compléter l'information disponible.

Des données géologiques sous forme de bases de données, de cartes ou de rapports sont requises afin de connaître les types de matériaux formant les principaux aquifères, de définir leurs étendus et leur géométrie et d'identifier les secteurs aquifères qui sont confinés ou semi-confinés. Les séquences stratigraphiques décrites à partir de forages apportent les informations complémentaires nécessaires à la compréhension de l'architecture des diverses couches géologiques en profondeur. Ces deux types d'informations combinés (géologie en surface et en profondeur) permettent d'obtenir une image tridimensionnelle des systèmes aquifères.

L'observation du réseau hydrographique et de la topographie, l'examen des données météorologiques ainsi que la connaissance des types de sols présents dans une région donnée permettent (1) d'identifier les zones de recharge et d'émergence, (2) d'estimer la valeur de la recharge annuelle et (3) de déterminer la période de recharge.

La connaissance de la répartition des puits domestiques, des systèmes de captage municipaux et des autres utilisations de l'eau souterraine permet d'identifier les aquifères qui sont exploités et d'en évaluer la productivité. C'est aussi à partir de ces nombreux points d'accès qu'il est possible d'échantillonner les eaux souterraines, d'effectuer des essais hydrauliques et de mesurer des niveaux d'eau pour établir la piézométrie.

Afin de bien gérer et protéger la ressource en eau souterraine, les informations concernant les activités humaines pouvant avoir un impact sur la quantité et la qualité de la ressource doivent aussi être inventoriées. Ces informations comprennent les types d'utilisation du sol (agricole/forestière/urbaine), les pratiques agricoles (utilisation de fertilisants chimiques et naturels, application d'herbicides, rotation des cultures, etc.), la localisation des principaux corridors de transport d'énergie et routier ainsi que l'identification des divers sites d'entreposage et d'enfouissement de déchets. Il faut non seulement répertorier les sites présentement actifs mais également les activités passées potentiellement polluantes telles que les anciens sites d'enfouissement, les usines, et les stations services.

Le tableau 2 résume les données hydrogéologiques disponibles au Québec qui sont généralement requises pour la cartographie hydrogéologique régionale. Un grand nombre de ces informations hydrogéologiques est disponible sous forme de base de données, de cartes ou de rapports disséminés dans les divers ministères, municipalités ou firmes de consultants privées. Ces informations sont requises pour déterminer les paramètres nécessaires à la caractérisation de la ressources qui ont été énumérés au tableau 1.

Tableau 2. Types et sources des données géoscientifiques disponibles au Québec utiles pour la cartographie hydrogéologique.

Fédéral (F)	Provincial (P)				Municipal (M)		Privé (Q)	SOURCES	TYPES DE DONNÉES	
	Ressources naturelles Canada	Transports	Environnement et Faune	Ressources naturelles	Agriculture, pêcheries et alimentation	Municipalités Régionales de Comté (MRQ)				
3,8			2,5,12					Géologie du socle	Géologie	Hydrogéologie
1,2,8		21	1,3,12	25				Géologie Quaternaire		
1,2,3,8	27	13,14	1,2,3 4,6,12					Stratigraphie		
	27	13,14,15	4,25					Niveau de l'eau souterraine	Propriétés Aquifères	
		13,14,15						Débit		
	27	14,15						Granulométrie		
		14,15						Propriétés hydrauliques^Δ		
	27							Propriétés mécaniques^{ΔΔ}	Infiltration et Écoulement	
4				25				Pédologie		
5,6		18,19	7,8					Hydrologie	Qualité d'Utilisation et Vulnérabilité	
		16						Météorologie		
5,6,7			7,8,9,10					Topographie		
		17						Systèmes d'approvisionnement en eau souterraine		
		17,20						Qualité de l'eau souterraine		
4,7		21,22,23	7,8,11	25				Utilisation du sol		

Δ : transmissivité, conductivité hydraulique et coefficient d'emmagasinement. ΔΔ : teneur en eau, limite plastique liquide, pénétromètre, scissomètre, sismique et cisaillement. □ : Source pour le type de données

FÉDÉRAL

- F1 - Cartes des dépôts superficiels
- F2 - Bd sur la géologie quaternaire
- F3 - Cartes du socle rocheux
- F4 - Cartes des inventaires des Terres du Canada
- F5 - Photographies aériennes (1:5000 au 1:50000)
- F6 - Cartes topographiques (BNDT) (1:50000 et 1:250000)
- F7 - Données numériques d'élévation du Canada (1:250000)
- F8 - Catalogue collectif et GEOSCAN (Bd bibliographiques)

PROVINCIAL

- P1 - Cartes des dépôts superficiels
- P2 - Cartes du socle rocheux
- P3 - Cartes des agrégats
- P4 - Bd puits d'exploration pétrolière
- P5 - Bd levés géophysiques (MAGGY)
- P6 - Carothèque
- P7 - Photographies aériennes (1:15000 et 1:40000)
- P8 - Bd topographiques (BDTQ) (1:20000)
- P9 - Orthophotographies numériques (1:40000)
- P10 - Bd géodésiques du Québec (GÉODEQ)

- P11 - Système de délimitation administrative (SDA)
- P12 - EXAMINE et SIGEOM (Bd bibliographiques)
- P13 - Syst. d'inf. hydrogéologiques (SIH)
- P14 - Bd piézométriques
- P15 - Cartes et rapports hydrogéologiques
- P16 - Données climatologiques
- P17 - Bd sur l'eau potable
- P18 - Bd des bassins versants
- P19 - Bd hydriques
- P20 - Bd sur la qualité du milieu aquatique
- P21 - Cadre écologique de référence du Québec
- P22 - Inventaire des industries
- P23 - Bd sur les terrains contaminés
- P24 - Envirodoq et Collection générale (Bd bibliographiques)
- P25 - Cartes et rapports pédologiques
- P26 - Bd sur les sols québécois (BIRS Q)
- P27 - Données géotechniques

MUNICIPAL

- M1 - Schéma d'aménagement

Travaux de terrain, analyse et traitement des données

Des travaux de terrains permettant l'acquisition de nouvelles données sont nécessaires lorsque l'information requise pour la cartographie hydrogéologique est manquante ou incomplète. Les levés géologiques, les essais hydrauliques, l'échantillonnage des matériaux et des eaux souterraines, les levés géophysiques et les mesures de niveaux d'eau sont quelques-unes des techniques couramment utilisées pour la caractérisation des aquifères. Le futur guide méthodologique traitera plus particulièrement des levés géologiques et géophysiques, de l'importance des coupes stratigraphiques, des techniques de forage et d'échantillonnage des matériaux, des essais hydrauliques, des mesures de niveaux d'eau et des procédures d'échantillonnage des eaux souterraines.

L'analyse et le traitement des données débutent lorsque la compilation de l'information existante et les travaux de terrain sont terminés. Quelques données hydrogéologiques ne requièrent aucun traitement et peuvent être interprétées telles quelles. Toutefois, une grande partie des données hydrogéologiques nécessite que l'on procède à leur traitement avant leur interprétation.

La disponibilité d'un nombre croissant de données hydrogéologiques, combinée à la diversité des formats dans lesquels on les retrouve (données ponctuelles, linéaires, polygonales), rend leur traitement de plus en plus difficile avec les méthodes conventionnelles. Ceci a naturellement mené à l'utilisation de logiciels adaptés à l'entreposage et la gestion de grandes quantités de données provenant de sources multiples. L'entreposage de données sur support informatique permet leur traitement ultérieur à l'aide d'applications informatiques. De toutes les applications disponibles, les plus communément utilisées en hydrogéologie sont celles permettant l'interpolation de données ponctuelles pour former des lignes (coupes stratigraphiques), des surfaces (surface de la nappe phréatique) ou des volumes (volume saturé d'un aquifère). Adéquatement appliquées, ces techniques contribuent à la compréhension des systèmes aquifères. En plus de faciliter et d'améliorer le traitement des données, ces outils informatiques augmentent les possibilités de représentation graphique des systèmes aquifères. La complexité des aquifères peut être ainsi mieux représenté à l'aide de ces nouvelles technologies.

Les types de cartes hydrogéologiques

Le très grand nombre d'informations hydrogéologiques de base ou dérivées ainsi que le caractère transitoire de certaines de ces données (niveaux d'eau, géochimie, etc.) font qu'il est impossible de décrire et de représenter toutes ces informations sur une seule carte sans en diminuer l'intelligibilité. La clarté de la présentation des cartes est un paramètre crucial dont on doit tenir compte lors de l'élaboration des cartes hydrogéologiques. En effet, indépendamment de la validité ou de la qualité des données qui y sont présentées, les cartes surchargées courent le risque de ne pas être utilisées, surtout si elles s'adressent à un public non initié aux concepts de l'hydrogéologie. Plusieurs cartes thématiques sont donc généralement requises afin de bien représenter tous les aspects qui permettent de caractériser la ressource en eau souterraine.

En plus de devoir être représentées sur plusieurs cartes, les données hydrogéologiques peuvent aussi être compilées à diverses échelles. Les données peuvent être présentées sur des cartes locales au 1:5 000, 1:10 000 ou 1:20 000, des cartes régionales au 1:50 000 et 1:200 000,

ou des cartes nationales au 1:1 000 000 que l'on retrouve par exemple dans les atlas. L'échelle des cartes est établie en fonction des besoins des utilisateurs, du type et de la quantité d'information à représenter ainsi que des limites posées par les techniques de reproduction des cartes. Cette diversité dans les échelles des cartes traduit les multiples rôles que remplissent les cartes hydrogéologiques. Plusieurs modes de classification des cartes hydrogéologiques ont été développés (Struckmeier *et al.*, 1989). La classification présentée au tableau 3 fait ressortir les liens étroits entre l'échelle, la fiabilité des données et les coûts, en fonction de leur utilisation projetée et du niveau d'information représenté. La cartographie à grande échelle (petits territoires) nécessite l'utilisation de données fiables et nombreuses, alors que les projets de cartographie couvrant de vastes territoires peuvent être fructueux à l'aide d'une densité plus restreinte de données

Tableau 3. Classification des cartes hydrogéologiques en fonction du niveau d'information qu'elles contiennent et de l'utilisation qu'on peut en faire (modifié de Struckmeier *et al.*, 1989).

Niveau d'information Utilisation possible	Faible (données éparpillées et hétérogènes provenant de diverses sources)	Avancé (données provenant de programmes de caractérisation. La fiabilité des données est augmentée)	Élevé (analyse des systèmes aquifères et élaboration de modèles hydrogéologiques)
Reconnaissance et Exploration	Carte hydrogéologique générale (carte des aquifères)	Carte hydrogéologique illustrant divers paramètres (profondeur à la nappe, épaisseurs des aquifères, profondeur au roc, géochimie, T, K, S, R)	Carte régionale illustrant la dynamique des eaux souterraines dans les systèmes aquifères (représentation de modèles conceptuels)
Planification et Développement	Carte du potentiel des ressources en eaux souterraines		
Gestion et Protection	Carte de vulnérabilité des eaux souterraines	Carte hydrogéologique spécialisée (carte pour la planification)	Représentation graphique dérivé des systèmes d'information géographique (cartes, sections, diagrammes 3-D, illustration de scénarios)
Utilisation possible Niveau d'information	statique ————— influence temporelle —————> dynamique faible ————— fiabilité —————> élevée faibles ————— coûts —————> élevés vaste ————— région représentée —————> petite petite ————— échelle —————> grande		

Les cartes hydrogéologiques générales ainsi que celle du potentiel de la ressource en eau souterraine sont généralement construites durant les phases préliminaires des travaux de cartographie hydrogéologique. Les informations qu'elles contiennent ont trait au type d'aquifère ainsi qu'à leur potentiel d'utilisation. Le niveau d'interprétation des cartes hydrogéologiques générales est moins avancé que celui que l'on retrouve sur les cartes du potentiel de la ressource. Ainsi, ces cartes s'adressent principalement aux spécialistes en hydrogéologie alors que les cartes du potentiel seront plutôt accessibles aux utilisateurs ou aux gestionnaires de la ressource.

Les cartes paramétriques contiennent un ensemble spécifique de données ayant trait à un ou plusieurs aspects touchant la présence, l'étendue et l'importance de la ressource en eau souterraine ainsi que ses caractéristiques géochimiques. Les paramètres présentés sont, par exemple, l'altitude de la surface libre ou piézométrique, la profondeur à la nappe, la base de l'aquifère ou son épaisseur, la salinité de l'eau, sa température ou sa concentration en ions majeurs. Étant donné la grande quantité d'information qu'elles présentent, les cartes paramétriques sont généralement conçues à grande échelle. L'utilisation de ces cartes nécessite généralement l'interprétation d'un hydrogéologue.

Les cartes hydrogéologiques des systèmes aquifères sont préparées dans le but de faire ressortir le contexte hydrodynamique des systèmes aquifères et les conditions limites présentes dans une région. Leurs principaux buts sont d'améliorer la compréhension du système d'écoulement et de définir le plus précisément possible les conditions aux limites du système à l'étude (Struckmeier et Margat, 1995). Ces cartes sont le fruit de l'intégration de plusieurs cartes paramétriques ainsi que d'informations complémentaires telles que la géologie, la géomorphologie, la pédologie et l'hydrologie. Ces cartes sont très utiles pour l'élaboration de modèles conceptuels qui seront utilisés lors de la modélisation numérique. Ces cartes peuvent aussi servir à l'identification de secteurs où il y a un manque de données ou ceux qui sont les plus appropriés pour l'aménagement de systèmes de surveillance.

Les cartes hydrogéologiques spécialisées répondent à un besoin particulier et visent généralement un public varié. Ces cartes sont généralement utilisées pour trois principales applications : la planification, l'exploitation ou la gestion de la ressource en eau souterraine. Les cartes de planification et de gestion peuvent montrer la qualité des eaux souterraines en fonction de certains critères particuliers, les cartes de vulnérabilité identifient la vulnérabilité des eaux souterraines à la contamination et les cartes de protection montrent l'état actuel de l'exploitation des eaux souterraines, les aires d'alimentation des puits, et les régions à protéger.

Mode de cartographie hydrogéologique proposé

Comme nous l'avons souligné précédemment, il existe plusieurs types de cartographie hydrogéologique. L'approche et l'échelle de cartographie que nous recommandons ont pour objectif de rassembler l'information nécessaire pour assurer la gestion et la protection des ressources en eaux souterraines à l'échelle régionale. Ces produits cartographiques doivent trouver leur utilité, entre autres, auprès des aménagistes des MRC qui doivent gérer l'utilisation du territoire. Cependant, les cartes sont conçues avant tout pour être utilisées par des spécialistes, c'est-à-dire des hydrogéologues et des professionnels des sciences de l'eau ou de l'environnement.

Les cartes hydrogéologiques proposées n'ont pas pour but de remplacer des produits ou services professionnels existants mais de leur fournir un outil de travail mieux intégré contenant l'information régionale sur les eaux souterraines. Ainsi, les cartes proposées ne remplacent pas les cartes à petite échelle pouvant couvrir l'ensemble ou une partie importante de la province de Québec. Ces cartes peuvent combler des besoins d'inventaire ou guider les organismes de réglementation devant assurer une gestion globale de l'ensemble de la ressource en eau. De même, les cartes hydrogéologiques proposées n'ont pas pour but de remplacer les études locales requises pour assurer l'approvisionnement d'une municipalité en eau souterraine ou pour apporter une solution à des problèmes locaux de contamination.

Le but de ces cartes est d'abord de fournir un outil d'intégration des données qui permet de définir le cadre général de l'écoulement régional des eaux souterraines (figure 3). De plus, ces cartes doivent permettre de regrouper l'information nécessaire à la gestion de la ressource en eaux souterraines au niveau régional. Afin de bien représenter le cadre général de l'écoulement, ces cartes doivent illustrer le contexte géologique général, identifier les aquifères, caractériser leurs épaisseurs et leurs propriétés hydrauliques, fournir un estimé des débits probables des puits, définir la piézométrie et l'écoulement régional, évaluer la recharge des aquifères, et caractériser la qualité de l'eau souterraine et sa vulnérabilité à la contamination. Pour ce faire, des échelles cartographiques entre 1:50 000 et 1:200 000 sont jugées adéquates. Par exemple, dans le cas du projet de cartographie du piémont laurentien (Michaud *et al.*, 1997), les principaux produits cartographiques sont présentés à l'échelle 1:100 000, tandis que les cartes secondaires apparaissent à l'échelle 1:200 000 (Parent *et al.*, 1998; Fagnan *et al.*, 1998; Bourque *et al.*, 1998). Dans le futur guide méthodologique, des exemples provenant de ce projet sont utilisés pour illustrer des modes possibles de représentation des données hydrogéologiques dans les aquifères granulaires de surface. Un exemplaire des trois planches cartographiques a été remis à la commission lors de son précédent passage dans la région de Québec. Dans le cadre d'un éventuel programme de cartographie systématique des eaux souterraines, il faudrait que le niveau de détail et le format de présentation soient uniformisés pour l'ensemble du territoire québécois habité.

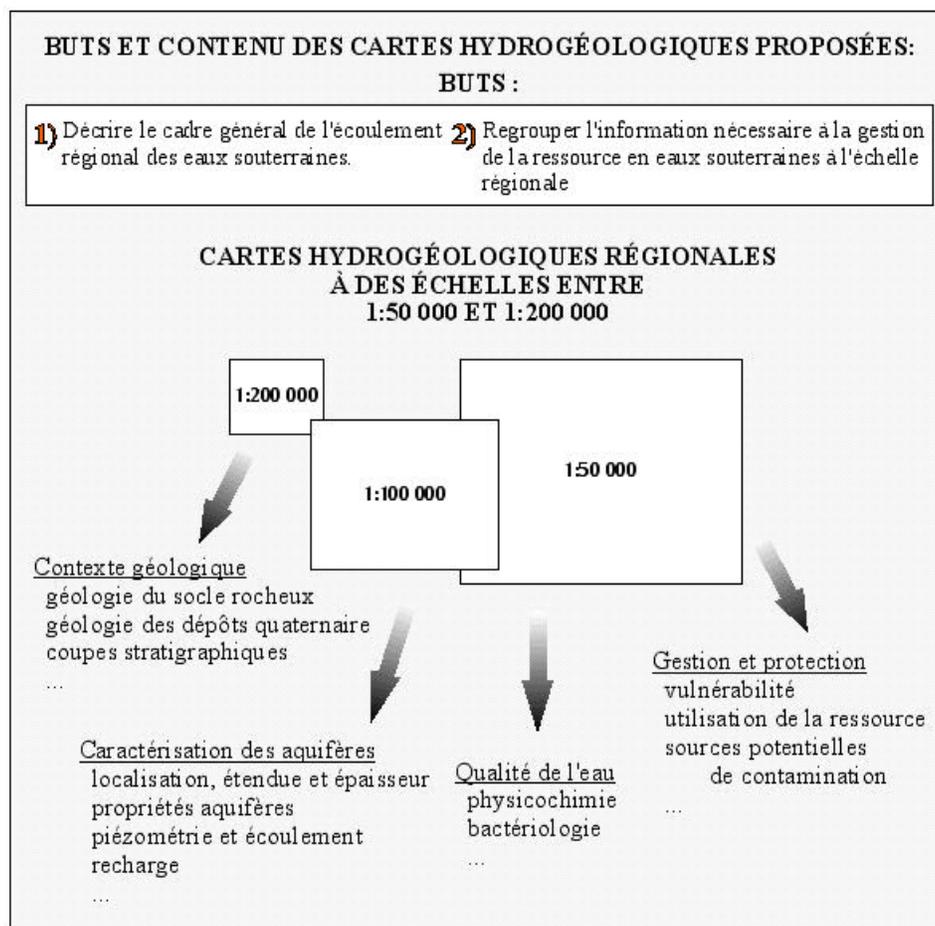


Figure 3. Objectifs et contenu des cartes hydrogéologiques proposées.

L'intégration des données représente une étape incontournable de la cartographie hydrogéologique, et ce, indépendamment du niveau de détails requis. Les systèmes d'information géographique (SIG) et les systèmes de bases de données relationnelles sont les outils de prédilection pour la réalisation de ces produits et leur utilisation est maintenant une nécessité. Le système GIMS développé au CGQ permet l'intégration de tous ces outils informatiques et sert les besoins de la cartographie hydrogéologique (Boisvert et Michaud, 1999). L'utilisation de ces systèmes est aussi essentielle pour assurer la pérennité de l'information compilée au cours des travaux de cartographie hydrogéologique. Le transfert, la diffusion et l'accessibilité de l'information nécessitent également sa disponibilité sur un support informatisé et son organisation rationnelle dans un système de base de données cohérent et adapté à ce type d'information. Le projet Hydrolink a pour but de rendre des informations hydrogéologiques accessibles à tous et il est un exemple de diffusion d'information par Internet (voir annexe A3).

Les coûts de la cartographie hydrogéologique

Dans cette section, nous voulons fournir l'information nécessaire à l'évaluation des coûts reliés à des travaux de cartographie hydrogéologique régionale. Nous supposons que les produits de ces travaux seraient du même type que les cartes produites par le CGQ. Nous donnons d'abord une estimation des coûts des travaux par catégorie d'activité pour un feuillet cartographique standard à l'échelle du 1:100 000. Cette information devrait être utile aux organismes qui désirent mettre en œuvre de telles activités. Par la suite, nous indiquons l'ampleur des travaux requis pour mettre en place un programme systématique de cartographie et d'inventaire des ressources en eau souterraine pour arriver à une couverture complète et uniforme de l'ensemble du Québec habité.

Un feuillet cartographique standard au 1:100 000 couvre une superficie approximative de 75 km d'ouest en est par 55 km du nord au sud. Une telle échelle s'est révélée assez détaillée pour délimiter les aquifères et définir les conditions d'écoulement de l'eau souterraine. L'échelle est aussi assez grande pour présenter le contexte hydrogéologique régional. Certains types d'informations exigent des échelles moins détaillées et peuvent être présentées à l'échelle d'un feuillet cartographique standard au 1:250 000. Ce feuillet couvre approximativement une région de 150 km d'ouest en est par 110 km du nord au sud et contient 4 feuillets au 1:100 000.

Nous estimons qu'une équipe de cartographie minimale devrait être composée d'au moins trois professionnels à temps plein, soient un hydrogéologue, un géologue du socle rocheux ou du Quaternaire selon la région, et un gestionnaire de base de données et de cartographie informatisée. Deux assistants de terrain durant les travaux sont également requis.

Nous recommandons d'étaler les travaux sur deux ans. Notre expérience indique qu'il est très difficile d'arriver à une compréhension satisfaisante de l'hydrogéologie d'une région lors d'une seule phase de caractérisation. La vérification de points spécifiques lors d'une deuxième saison de terrain moins intense est très importante. La première année des travaux de cartographie est dédiée en très grande partie à la compilation de l'information, à la préparation de la logistique de terrain et à des levés de terrain exhaustifs. Au cours de la deuxième année, les activités se tournent surtout vers l'analyse des données, les levés complémentaires de terrain, la mise en carte, la production de rapport et de cartes, et leur révision finale.

Même si la première année des travaux devrait être plus coûteuse à cause de travaux de terrain plus importants, les coûts d'opération ont été calculés sur une base moyenne annuelle. Les coûts sont indiqués avec majoration de 40% sur les salaires et de 15% sur les frais pour couvrir les frais généraux et d'administration.

Tableau 4. Estimé des coûts annuels pour un projet de deux ans de cartographie hydrogéologique couvrant un feuillet cartographique standard au 1:100 000.

<i>Salaires</i>	
Hydrogéologue à temps plein	
Gestion de base de donnée et SIG à temps plein	
Géologue du socle ou Quaternaire à temps plein	
Géochimiste à temps partiel	
Deux assistants de terrain à temps partiel	
<u>Salaires totaux:</u>	210 k\$
 <i>Coûts d'opération</i>	
Géologie	25 k\$
Contexte hydrostratigraphique	35 k\$
Caractérisation de l'hydrogéologie physique	25 k\$
Caractérisation de la qualité d'eau	25 k\$
Évaluation de la vulnérabilité	10 k\$
Forages et installations de surveillance	50 k\$
<u>Coûts d'opération totaux:</u>	<u>170 k\$</u>
 Coût annuel total	 380 k\$

Les coûts reliés à la géologie peuvent ne pas avoir à être défrayés au complet. En effet, pour certaines régions la qualité des cartes géologiques du socle et des dépôts meubles pourrait être satisfaisante pour les besoins de la cartographie hydrogéologique. Cependant, dans presque tous les cas il faudra au moins effectuer la numérisation des cartes existantes. La définition du contexte hydrostratigraphique comprend surtout la compilation des données de forage et hydrogéologiques ainsi que des levés de terrains complémentaires (ex.: géophysique). Ces travaux prolongent l'information géologique en profondeur pour délimiter la distribution des unités aquifères et aquitards. La caractérisation de l'hydrogéologie physique comprend surtout des levés piézométriques, et des essais de perméabilité et de pompage. La caractérisation de la qualité de l'eau nécessite une campagne d'échantillonnage de l'eau souterraine et des analyses chimiques. L'évaluation de la vulnérabilité comprend surtout des travaux supplémentaires de compilation d'informations relatives aux sols en plus des calculs requis pour évaluer un indice de vulnérabilité. Il est difficile d'évaluer les coûts des forages et l'installation de puits d'observation. Notre expérience indique qu'il devrait exister des opportunités pour faire coïncider le forage de nouveaux puits avec des besoins locaux. Les coûts des forages peuvent en bonne partie être assumés par des tiers qui profitent de ces nouvelles installations. Si de telles opportunités n'existent pas, un budget de forage et d'installations de 50 k\$ par année pour des travaux bien ciblés devrait couvrir les besoins de la cartographie hydrogéologique régionale.

Une très grande partie des coûts indiqués au tableau 4 est reliée à la compilation et à l'intégration des données de forages existants et à la géologie du socle et des dépôts meubles. L'ampleur des travaux de cartographie hydrogéologique et leurs coûts seraient réduits si une base de données était créée sur les données d'intérêt hydrogéologique et sur la géologie du socle rocheux et des dépôts meubles. Aussi, l'évaluation des coûts précédente s'applique à des activités de cartographie hydrogéologique régionale qui seraient conduits dans le contexte actuel. Bien que de telles initiatives devraient être encouragées, nous favorisons plutôt la mise sur pied d'un programme systématique de cartographie pour couvrir l'ensemble du Québec habité. Cependant, les besoins des communautés situées en régions très éloignées pourraient être mieux comblés par des études locales que par de tels travaux régionaux.

Un programme systématique de cartographie offrirait moins de risques de dédoublement d'efforts, permettrait des gains de productivité, et assurerait une qualité uniforme des produits cartographiques. De plus, un tel programme offrirait de meilleures garanties au niveau de la qualité des bases de données, assurerait la pérennité de l'information et faciliterait leur transfert. L'ampleur de la tâche pour couvrir le Québec habité par des cartes hydrogéologiques peut s'évaluer comme suit. Le Québec habité couvre l'équivalent de 64 feuillets cartographiques standard au 1:100 000 ou de 16 feuillets cartographiques au 1:250 000. Un programme systématique de cartographie pourrait donc couvrir le Québec habité au complet sur une période d'environ 15 ans en produisant 4 feuillets cartographiques standard au 1:100 000 par année. Pour arriver à cette production, il faudrait 8 équipes travaillant simultanément sur des régions distinctes et produisant 1 feuillet aux deux ans. Bien entendu, toutes sortes d'autres combinaisons sont possibles selon le mode d'organisation qui pourrait être choisi pour un tel programme.

Nous proposons d'organiser un programme systématique de cartographie autour d'une agence indépendante qui aurait un rôle de supervision, de coordination et d'édition des cartes. D'autres organismes, telles que les firmes privées spécialisées, pourraient procéder à la majeure partie des travaux de compilation et de terrain spécifiques à chaque région. Nous évaluons qu'avec un tel mode d'organisation, les coûts annuels seraient de l'ordre de 1,5 à 2 M\$ divisé à peu près également entre l'organismes de coordination et les organismes réalisant les travaux. Ces estimés sont toutefois très préliminaires. Si plusieurs organismes gouvernementaux décidaient de consacrer des ressources existantes à la réalisation d'un programme de cartographie, les coûts de mise en œuvre pourraient être considérablement réduits. De plus, un certain niveau d'autofinancement pourrait être atteint lors de la réalisation d'un tel programme. Plusieurs mécanismes peuvent être envisagés pour permettre cet autofinancement mais il est prématuré d'élaborer sur les moyens à privilégier.

En parallèle avec la mise en place d'un programme de cartographie systématique du territoire québécois habité, nous recommandons une phase initiale de compilation de l'ensemble des données hydrogéologiques disponibles dans les organismes gouvernementaux. Ceci permettrait de former le noyau d'une base de données hydrogéologiques complète et validée pour tout le Québec habité. Durant cette phase, il serait également nécessaire de produire des fonds numériques de cartes géologiques du socle rocheux et des formations superficielles par la compilation des cartes existantes et quelques travaux complémentaires de façon à avoir une couverture cartographique uniforme et adaptée aux besoins de la cartographie hydrogéologique. Cette phase de compilation initiale devrait nécessiter environ 5 ans d'efforts.

Recommandations

L'eau souterraine est une ressource essentielle qui nécessite une saine gestion et une protection adéquate. Pour ce faire, il est nécessaire de connaître sa distribution, sa quantité, sa qualité et sa vulnérabilité. Nous recommandons qu'un inventaire cartographique systématique et que des bases de données soient établis sur les ressources en eaux souterraines dans le Québec habité. Ces travaux devraient être complétés par l'évaluation de la vulnérabilité des nappes à la contamination et la détermination des périmètres de protection des ouvrages de captage des eaux souterraines.

Nous recommandons de suivre la méthodologie développée par le CGQ pour la cartographie hydrogéologique et la gestion des données hydrogéologiques suite à l'expérience des projets sur les aquifères granulaires du piémont laurentien ainsi que sur les aquifères rocheux fracturés des Basses-Laurentides.

Nous recommandons que l'information sur les ressources en eaux souterraines soit rendue disponible autant aux citoyens qu'aux organismes publics, notamment aux MRC qui sont responsables de la gestion du territoire. L'exemple du projet Hydrolink décrit à l'annexe A3 peut être cité comme moyen de rendre de telles données disponibles à travers le réseau Internet. La compilation de l'information déjà en la possession des différents organismes publics et sa diffusion publique rendraient utiles des données qui ont une valeur de plusieurs millions de dollars. En fait, la valeur de ces données déjà existantes dépasse probablement l'ensemble du budget qui serait nécessaire à la mise en œuvre d'un programme systématique de cartographie des ressources en eaux souterraines au Québec.

Nous recommandons qu'un organisme assume la coordination des futurs efforts de cartographie hydrogéologique pour s'assurer de la qualité des travaux et de leur uniformité ainsi que pour gérer l'information recueillie et en assurer la pérennité. Cet organisme n'aurait pas forcément le rôle de procéder aux travaux nécessaires à la réalisation des cartes qui pourraient être exécutés par des firmes privées qualifiées. Mentionnons qu'en France, l'Université de Bordeaux a joué ce rôle lorsque ce pays a fait l'effort de cartographier ses ressources en eaux souterraines. Aux États-Unis, le rôle de cartographie hydrogéologique est partagé entre l'*United State Geological Survey* ainsi que les commissions géologiques des états. Cette situation résulte du fait que la cartographie hydrogéologique nécessite du personnel formé en sciences de la terre et en hydrogéologie ainsi que des infrastructures nécessaires à la cartographie.

Nous recommandons la mise en place de mécanismes pour s'assurer des qualifications des firmes privées ou organismes qui pourraient être impliqués dans des activités de cartographie hydrogéologique. L'accréditation d'organisations plutôt que d'individus pourrait être plus simple puisque ce processus éviterait la création extrêmement longue, difficile et inutile d'un autre ordre professionnel pour les hydrogéologues. De plus, des professionnels compétents en hydrogéologie sont issus de plusieurs formations de base (génie géologique, géologie, génie civil, ...), de sorte qu'il serait très difficile de reconnaître des compétences exclusives à une nouvelle catégorie de professionnels en hydrogéologie.

Nous recommandons que des mécanismes soient prévus pour s'assurer de la disponibilité de fonds adéquats pour soutenir les travaux d'inventaire des ressources en eaux souterraines. Nous recommandons également qu'un support technique et des guides méthodologiques soient disponibles pour les professionnels qui auront à réaliser la cartographie hydrogéologique. Aussi, des informations plus vulgarisées devraient être préparées à l'intention des autorités locales impliquées dans le processus de décision concernant les inventaires des ressources en eaux souterraines. Ces travaux de cartographie hydrogéologique devraient aussi bénéficier de l'apport de travaux de recherche et développement et de la collaboration de chercheurs dans ce domaine.

Nous recommandons que le projet de politique sur les eaux souterraines, bonifié suite aux présentes consultations du BAPE, soit transformé en véritable politique dans les plus brefs délais. Ce projet est le fruit d'un long cheminement au sein du Ministère de l'environnement et il établit les bases requises à la gestion et à la protection des eaux souterraines. Il est absolument primordial d'avoir un cadre politique et légal qui supporte la gestion et la protection des eaux souterraines. Il ne faut pas que ce projet soit retardé par la formulation d'une politique "globale" sur la gestion de l'eau dont de grands pans restent encore à formuler et dont l'adoption risque de se buter à des problèmes de juridiction. Nous supportons notamment l'intention du projet de politique du MENV d'intégrer la protection des eaux souterraines aux schémas d'aménagement. Les schémas d'aménagement constituent d'excellents véhicules pour assurer la protection des eaux souterraines, en autant que ces schémas sont basés sur des informations adéquates.

Nous recommandons l'adoption du projet de règlement sur le captage des eaux souterraines qui assure une protection adéquate des sources d'alimentation en eau souterraine et assure une réglementation minimale qui est grandement désirable.

Nous recommandons que des efforts soient consentis à la vulgarisation scientifique sur les eaux souterraines. Le public est en partie sensibilisé aux problématiques d'approvisionnement et de contamination des eaux souterraines mais plus d'efforts d'éducation devraient être faits, tant aux niveaux scolaires qu'auprès du grand public. Il faudrait particulièrement cibler les utilisateurs d'eau souterraine pour s'assurer du maintien adéquat des installations de captage privées de manière à protéger la santé publique. De plus, la diffusion d'information générale permettrait une participation informée de la population aux décisions concernant la gestion des eaux souterraines. Un niveau de connaissance plus important de la population éviterait le type de réactions parfois excessives lors de situations de crise reliées aux eaux souterraines.

Références

Références citées

- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J.H., Petty, R.J., Hackett, G. (1987). DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological settings. EPA/600/2-87-035, 455 p.
- Boisvert É. et Michaud, Y. (1998). Gestion des données de forage à l'aide d'une approche topologique : application au projet de cartographie hydrogéologique du piémont laurentien, Québec. *Dans* recherches en cours 1998-E ; Commission géologique du Canada, pp. 117-124.
- Boisvert, É. et Michaud, Y. (1999). GIMS Geoenvironmental information management system. Sommaire exécutif de la 3^e conférence biennale, Americana 1999, 24-26 mars 1999, Montréal, p. 367-368.
- Bourque, É., Michaud, Y., Lefebvre, R. et Boisvert, É. (1998). Cartographie hydrogéologique régionale du piémont laurentien dans la MRC de Portneuf : hydrogéochimie des eaux souterraines. Commission géologique du Canada, dossier public 3664-c.
- Castany, G. et Margat, J. (1977). Dictionnaire français d'hydrogéologie. BRGM, Orléans, 249 p.
- Champagne, L. (1990). Vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution, MRC de Montcalm. Mémoire de maîtrise (M.Sc.A.), Université de Montréal, École Polytechnique, Département de génie minéral, 280 p.
- Fagnan, N., Michaud, Y., Lefebvre, R., Boisvert, É., Parent, M., Paradis, D. et Larose-Charrette, D. (1998). Cartographie hydrogéologique régionale du piémont laurentien dans la MRC de Portneuf : hydrostratigraphie et piézométrie des aquifères granulaires de surface. Commission géologique du Canada, dossier public 3664-b.
- Freeze R.A. et Cherry J.A. (1979). Groundwater. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 605 p.
- Genetier, B. (1984). La pratique des pompages d'essais en hydrogéologie, manuels et méthodes 9. Éd. du BRGM, 132 p.
- Grenier, C. et McCormack, R. (1985). Carte de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution, région de Granby. Gouvernement du Québec, Ministère de l'environnement, Direction des eaux souterraines et de consommation.
- Landry, B. (1997). Génie et environnement. Les éditions Griffon d'argile, 540 p.
- McCormack, R. (1979). Étude Hydrogéologique, bassin versant de la Saint-François. Programme de Connaissances Intégrées. Gouvernement du Québec, Ministère des ressources naturelles, Direction générale des Eaux. Rapport E.A.-16, 55 p.

- McCormack, R. (1985). Carte de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution, bassin de la rivière Yamaska. Gouvernement du Québec, Ministère de l'environnement, Direction des eaux souterraines et de consommation.
- Michaud, Y., Lefebvre, R., Martel, R., Parent, M., Bolduc, A. M., Boisvert, É., Bourque, É., Fagnan, N., et Paradis, D. (1997). Le projet piémont laurentien - Application de la cartographie hydrogéologique régionale à la gestion de la ressource en eaux souterraines. Article technique *dans* Vecteur Environnement, vol. 30, no. 4, p. 22-23.
- Paré, D. (1980). Étude Hydrogéologique, bassin versant de l'Assomption. Programme de Connaissances Intégrées. Gouvernement du Québec, Ministère des ressources naturelles, Direction générale des Eaux. Rapport E.C.3, 79 p.
- Parent, M., Michaud, Y., Boisvert, É., Bolduc, A.M., Fagnan, N., Fortier, R., Cloutier, M. et Doiron, A. (1998). Cartographie hydrogéologique régionale du piémont laurentien dans la MRC de Portneuf : géologie et stratigraphie des formations superficielles. Commission géologique du Canada, dossier public 3664-a.
- Piteau Associates Engineering Ltd. et Turner Groundwater Consultants (1993a). Groundwater Mapping and Assessment in British Columbia. Volume I, Review and Recommendations. Prepared for the Resources Inventory Committee Earth Science Task Force, 52 p.
- Piteau Associates Engineering Ltd. et Turner Groundwater Consultants (1993b). Groundwater Mapping and Assessment in British Columbia. Volume II, Criteria and Guidelines. Prepared for the Resources Inventory Committee Earth Science Task Force, 71 p.
- Simard, G. (1970). Étude hydrogéologique du bassin de la rivière Eaton. Gouvernement du Québec, Ministère des richesses naturelles - Direction Générale des Mines. 28 p.
- Simard, G. (1977). Isotopes naturels et systèmes d'écoulement de la rivière Eaton. Gouv. du Québec, Ministère des richesses naturelles - Direction générale des eaux. 87 p.
- Skinner B.J., et Porter, S.C. (1989). The Dynamic Earth, an introduction to physical geology. John Willey & Sons, 514 p.
- Struckmeier W., Krampe, K.D. and Grimmelmann, W.F. (Ed.) (1989). Mem. Int. Symposium on Hydrogeological Maps as Tools for economic and Social Development. Int. Assoc. Hydrogeol., Hannover, FRG, 598 p., Hannover (Heise).
- Struckmeier W.F. et Margat J. (1995). Hydrogeological Maps, A guide and a Standard Legend. International Association of Hydrogeologists, v. 17, 177 p.

Références choisies : la cartographie hydrogéologique

- ANON (1962). Principes et légendes des cartes hydrogéologiques au 1:50 000. Soc. Cent. Equip. Territ. Publ. No. I.R.H. 069; Tunis.
Principes et légendes des cartes hydrogéologiques au 1:50 000.

Margat, J. (1996). Les ressources en eau. BRGM et FAO (Organisation des Nations-Unis pour l'Alimentation et l'Agriculture), 148 p.
Guide sur la caractérisation des ressources en eau.

Piteau Associates Engineering Ltd. et Turner Groundwater Consultants (1993a). Groundwater Mapping and Assessment in British Columbia. Volume I, Review and Recommendations. Prepared for the Resources Inventory Committee Earth Science Task Force, 52p.
Recommandations sur une méthodologie pour la cartographie hydrogéologique.

Piteau Associates Engineering Ltd. et Turner Groundwater Consultants (1993b). Groundwater Mapping and Assessment in British Columbia. Volume II, Criteria and Guidelines. Prepared for the Resources Inventory Committee Earth Science Task Force, 71p.
Guide méthodologique sur la cartographie hydrogéologique.

Struckmeier W.F. et Margat J. (1995). Hydrogeological Maps, A guide and a Standard Legend. International Association of Hydrogeologists, v17, 177p.
Guide sur la cartographie hydrogéologique régionale. Contient la plus récente légende standard d'hydrogéologie.

Vrba, J. et Zaporozec, A. (1994). Guidebook on mapping groundwater vulnerability. International Association of Hydrogeologists, v. 16, 131 p.
Guide sur la cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines.

Références choisies : concepts de base d'hydrogéologie

Bear, J. (1972). Dynamics of Fluids in Porous Media. Am. Elsevier, New York, 764 p.
Couvre toute la physique reliée à l'écoulement. Intégration des connaissances du domaine des sols, du pétrole et de l'écoulement.

Fetter, C.W. (1994). Applied Hydrogeology. Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ. 691 p.
Livre d'introduction générale à l'hydrogéologie.

Freeze R.A. et Cherry J.A. (1979). Groundwater. Prentice Hall, Englewood Cliffs New Jersey, 605 p.
Principes fondamentaux en hydrogéologie.

Heath, R.C. (1988). Hydrogeologic settings of regions. In *Hydrogeology*, ed. W. Back, J.S. Rosenshein and P. R. Seber, *The Geology of North America*, O-2 :15-23. Boulder, Colo. : Geological Society of America.
Contextes hydrogéologiques des États-Unis.

De Marsily, G. (1986). Quantitative Hydrogeology, Groundwater Hydrology for Engineers. Academic Press, New York, 440 p.
Traitement très rigoureux sur l'écoulement.

La cartographie hydrogéologique régionale
Un outil essentiel à l'inventaire des ressources en eaux souterraines

Annexes

A1 Projet de cartographie des aquifères du piémont laurentien

Participants

Responsables

Michaud Yves *Géomorphologue, CGC-Québec*
Lefebvre René *Hydrogéologue, INRS-Géoressources*

Chercheurs

Martel Richard *Hydrogéologue, INRS-Géoressources*
Parent Michel *Quaternariste, CGC-Québec*
Bolduc Andrée M. *Quaternariste, CGC-Québec*
Fortier Richard *Géophysicien, Université Laval*
Therrien René *Hydrogéologue, Université Laval*
Savard Martine *Géochimiste isotopique, CGC-Québec*
Paradis Serge J. *Quaternariste, CGC-Québec*

Collaborateurs

Caron Jean *Physicien du sol, Université Laval*
Fortin Josée *Physicien du sol, Université Laval*
Allard Michel *Géomorphologue, Université Laval*
Doiron André *Quaternariste, CGC-Québec*
Cloutier Marc *Quaternariste, consultant indépendant*
Ouellet Michel *Hydrogéologue, Ministère de l'environnement*
Saint-Martin Henri *Hydrogéologue, Ministère de l'environnement*
Perron Raymond *Technicien, Ministère de l'environnement*
Perron Michel *Technicien, Ministère de l'environnement*
Moras Alain *Technicien, Ministère de l'environnement*

Professionnels de recherche

Boisvert Éric *Géoinformatique, CGC-Québec*
Bourque Édith *Hydrogéologue, CGC-Québec*
Roy Nathalie *Hydrogéologue, CGC-Québec*
Trépannier Luc *Hydrogéologue, Université Laval*

Étudiants à la maîtrise

Fagnan Nathalie *Paradis Daniel*
Murat Valérie *Papineau Isabelle*
Bégin Louis *Girard Frédéric*
Larose-Charette Daniel *Mailloux Michel*

Étudiants au Bacc.

Beland-Pelletier Caroline *Cusson Jean-Christophe*
Hamel Philippe-Antoine *Côté Pierre*
Boudreau Jocelyn *Shaw Allison*
LeSieur Marc-Étienne

Stagiaires

Boies Michel *Lenormand Frédéric* *Racine Rachel*
Muller Nicolas *Petitpas Pierre*

Pour plus d'information sur le projet de cartographie hydrogéologique régionale dans le piémont laurentien, on peut consulter le site Internet de ce projet à l'adresse suivante:

<http://www.inrs.quebec.ca/CGQ/hydro/index.html>

L'article suivant est annexé à la version papier du mémoire soumis au BAPE mais est absent de la version électronique:

Fagnan, N., Bourque, É., Michaud, Y., Lefebvre, R., Boisvert, É., Parent, M., et Martel, R., accepté: Hydrogéologie des complexes deltaïques sur la marge nord de la mer de Champlain. Article accepté pour publication par la revue *Hydrogéologie* du BRGM, numéro spécial sur l'hydrogéologie du Québec.

A2 Projet de cartographie des aquifères fracturés du sud-ouest du Québec

Buts du projet

Le projet de "cartographie hydrogéologique des aquifères fracturés du sud-ouest du Québec (AFSOQ) - Basses-Terres du St-Laurent" vise à développer un concept permettant de caractériser, à l'échelle régionale, les aquifères dans les roches sédimentaires fracturées et à développer une méthodologie pour la cartographie hydrogéologique régionale dans ce type de réservoir d'eau souterraine. L'application comprend la délimitation des aquifères régionaux, la définition de leurs propriétés hydrogéologiques, la caractérisation chimique et isotopique des eaux souterraines et l'évaluation de la recharge des aquifères. Le projet implique aussi l'étude détaillée de secteurs restreints soumis à une exploitation plus intense de l'eau souterraine. Ces secteurs seront identifiés en collaboration avec les aménagistes des MRC.

Description

Le projet de "cartographie hydrogéologique du sud-ouest du Québec -Basses-Terres du St-Laurent" s'appuiera sur des levés stratigraphiques et structuraux régionaux (du substrat rocheux et du Quaternaire sous la responsabilité de Denis Lavoie, Alain Tremblay, Michel Parent, Daniel Lebel, Andrée Bolduc et Serge Paradis) qui fourniront une vue en 3 dimensions du territoire des MRC d'Argenteuil, Deux-Montagnes, Mirabel et Thérèse-de-Blainville. Cette infrastructure de connaissances géoscientifiques aidera à délimiter les aquifères et leurs zones de recharge.

La section suivante décrit les quatre grands axes d'études hydrogéologiques du projet de cartographie hydrogéologique qui permettront de rencontrer les objectifs scientifiques et de livrer les produits nécessaires aux partenaires.

1- Cartographie hydrogéologique régionale. Cet axe développe la méthodologie de délimitation des aquifères dans les roches fracturées à l'échelle régionale et intègre les levés stratigraphiques et structuraux régionaux du substrat rocheux et des dépôts quaternaires.

Méthode: Compilation de données existantes et acquisition de nouvelles données, montage d'une base de données. Levés thématiques régionaux (Lavoie, Tremblay, Lebel, Paradis, Bolduc et Parent) et mesures des niveaux d'eau souterraine (piézométrie ou hauteur du niveau d'eau de la nappe par rapport au niveau de la mer) à partir de puits. Intégration et présentation des informations sur des cartes hydrogéologiques.

2- Recherche sur les aquifères fracturés. Cet axe évalue le comportement des aquifères fracturés aux échelles ponctuelle, locale et régionale, et évalue la réalimentation (recharge) des aquifères.

Méthode: Avec l'aide des intervenants locaux, sélection de secteurs prioritaires (sous haute exploitation) qui feront l'objet d'une étude détaillée. Établissement d'un réseau de surveillance des niveaux d'eau (piézomètres). Suivi des niveaux d'eau, essais hydrauliques et caractérisation du milieu fracturé. À noter qu'après la fin du projet de cartographie hydrogéologique, le réseau de surveillance demeure la propriété des MRC concernées.

3- Recherche en Hydrogéochimie. Cette étude caractérise la provenance et l'âge des eaux souterraines et leur temps de circulation à l'échelle régionale, de plus, elle évalue l'évolution naturelle de leur composition due à leur interaction avec les minéraux des roches et des sédiments.

Méthode: Mesurer les concentrations des éléments naturels dissous dans l'eau souterraine et les rapports isotopiques de certains éléments de l'eau souterraine tel que l'hydrogène, le carbone, l'azote et l'oxygène.

4- Recherche sur la Prédiction du comportement des aquifères. Cette étude présente une intégration quantitative des données recueillies et générées, et prédit les effets des pompages accrus dans les secteurs prioritaires sélectionnés.

Méthode: Développement d'un modèle conceptuel et modélisation numérique des données géologiques, piézométriques et géochimiques compilées.

5- Quantification de la ressource. Ce volet du projet vise à déterminer les propriétés hydrauliques des formations aquifères, les intervalles exploitables et la recharge de manière à prédire les débits d'exploitation des eaux souterraines soutenables à long terme.

Méthode: Le projet de quantification caractérisera les propriétés hydrauliques des formations aquifères, quantifiera la recharge (réalimentation), définira les intervalles et débits exploitables de façon à éviter la contamination par les eaux connées, et identifiera les secteurs où il y a des problèmes de qualité d'origine naturelle ou anthropique.

Partenaires

- 4 MRC des Basses-Laurentides: Argenteuil, Deux-Montagnes, Mirabel et Thérèse-de-Blainville, représentées par Marc Carrière
- Développement économique du Canada, Carole Hart
- Corporation régionale de développement des Laurentides, Guy Raynault
- Ministère de l'environnement du Québec, Henri Saint-Martin
- Ministère des transports du Québec, Bernard Morin

Administration des fonds du projet

Association des professionnels de développement économique des Laurentides (APDEL)

Jean-Luc Riopel

Calendrier des travaux

1999-2000

- 1- Compiler les données existantes; débiter la cartographie des unités géologiques des basses du Saint-Laurent et de leur couvert quaternaire sur le territoire des MRC concernées.
- 2- Échantillonner les eaux pour géochimie et mesurer les niveaux d'eau.
- 3- Étudier le milieu fracturé, faire des essais hydrauliques dans les secteurs prioritaires.
- 4- Établir le réseau de surveillance des niveaux d'eau.
- 5- Structurer la base de données.

2000-01

Poursuivre les activités 2 et 3.

- 6- Faire l'interprétation initiale des essais et des données de surveillance.
- 7- Élaborer un modèle conceptuel de circulation de l'eau souterraine.

2001-02

- 8- Finaliser la surveillance des niveaux d'eau.
- 9- Faire la modélisation numérique.
- 10- Faire le transfert de la banque de données et des cartes hydrogéologiques aux partenaires locaux, présenter les résultats sous formes de communications verbales et écrites.

2002-03

- 11- Publier les résultats scientifiques.

Équipe de projet

Gestion et coordination, relations avec partenaires

Martine Savard, chercheur à la CGC

Co-responsables du projet

René Lefebvre, professeur à l'INRS

René Therrien, professeur à l'Université Laval

Richard Martel, professeur à l'INRS

Professionnels CGC-Québec

Miroslav Nastev, chercheur à la CGC, responsable des levés hydrogéologiques, modélisation

Nathalie Fagnan, hydrostratigraphie

Edith Bourque, hydrogéochimie

Anna Smirnov, géochimie isotopique

Eric Boisvert, développement interface informatisée GIMS (candidat Ph.D. INRS-Géoressources)

Kathleen Lauzière, structure et gestion de la banque de données

Marc Luzincourt, géochimie isotopique

Professeurs de l'Université Laval

Donna Kirkwood, structure et fracturation

Richard Fortier, géophysique

Pierre Gélinas, hydrogéologie

Brock University

Kent Novakovski, professeur, hydraulique des milieux fracturés

Environnement Canada (NWRI)

Patricia Lapcevic, chercheur à NWRI, hydraulique des milieux fracturés

John Varalek, technicien

Étudiants gradués

Vincent Cloutier, candidat Ph.D., INRS-Géoressources, hydrogéochimie régionale

Martin Ross, candidat Ph.D., INRS-Géoressources, géologie du Quaternaire

Gilbert Karanta, candidat M.Sc., INRS-Géoressources, exploitation de l'eau souterraine

Anrèanne Hamel candidate M.Sc., Université Laval, recharge des nappes

Jean-Michel Lemieux, candidat M.Sc., Université Laval, modélisation en milieu fracturé

Marc Étienne, candidat M.Sc., Université Laval, diagraphies géophysiques

CGC-Québec

Levés thématiques régionaux – projet CARTNAT des Ponts Géologiques

Stratigraphie et structure régionale du socle rocheux: Denis Lavoie, Alain Tremblay, Osman Salad-Hersi, Michel Malo.

Stratigraphie et sédimentologie du Quaternaire: Michel Parent, André Bolduc, Serge Paradis.

A3 Projet "Hydrolink" de diffusion des données hydrogéologiques par Internet

Titre et sommaire

HYDROLINK

Accessibilité des bases de données hydrogéologiques de la CGC par Internet

Le projet HYDROLINK est une initiative des divisions CGC-Québec et CGC-Division Science des Terrains de la Commission géologique du Canada (CGC). Le projet HYDROLINK consiste à développer un site Internet regroupant des banques de données hydrogéologiques de plusieurs régions au Canada. Ce projet vise à diffuser à différentes échelles les données géoscientifiques des grands systèmes aquifères canadiens étudiés, jusqu'à ce jour, dans le cadre des projets de cartographie hydrogéologique de la CGC dans les régions de Québec, Toronto, Winnipeg et Montréal. En plus de fournir une pléiade de cartes thématiques, le site Internet donnera accès, entre autres, aux données géologiques, géophysiques, géochimiques, climatiques et hydrogéologiques. La structure du site Internet HYDROLINK devra s'inspirer du site existant CORDLINK qui donne accès à de l'information géospatiale sur la cordillère selon le concept d'une bibliothèque virtuelle.

Responsable et participants

Responsable

Yves Michaud (CGC-Q) et Dave R. Sharpe (CGC-DST)

Participants

Québec: Boisvert, Éric; Dion, Michel; Parent, Michel; Savard, Martine; (CGC)
Lefebvre, Rene and Martel Richard (INRS-Géoresources)

Ottawa: Logan, Charles; Russell, Hazen; Hinton, Marc; Harvey Thorleifson;
Moore, Andy; Lemieux, David; (CGC)
Ted Huffman, David Kroetsch (Agriculture Canada),
Doug Trant, François Soulard (Statistiques Canada)

A4 Rapports hydrogéologiques publiés par le Gouvernement du Québec

Note: cette liste n'est pas nécessairement exhaustive et comprend des rapports ou carte publiées par d'autres organismes que ceux reliés au Gouvernement du Québec.

Bilodeau, C., Novembre 84, *Levé hydrogéologique à Sainte-Catherine, comté de Laprairie*, Direction des eaux souterraines et de consommation, Ministère de l'Environnement, Québec, 7 p., (non-publié)

Bilodeau, C., Septembre 80, *Levé hydrogéologique à Clarenceville, comté de Missisquoi*, Direction des eaux souterraines et de consommation, Ministère de l'Environnement, 7 p., Rapport No 1037, Québec, (non-publié)

Bilodeau, C., Septembre 1980, *Levé hydrogéologique à Saint-Ange-Gardien, comté de Rouville*, Ministère des Richesses Naturelles, Service des eaux souterraines, Québec, 3 p., Rapport No 1030, (non-publié)

Bilodeau, C., Décembre 1983, *Levé hydrogéologique pour le secteur de la conserverie Légubec à Saint-Michel-de-Rougemont, comté de Rouville*, Ministère des Richesses Naturelles, Service des eaux souterraines, Québec, 5 p., Rapport No 1158, (non-publié)

Bilodeau, C., Novembre 84, *Levé hydrogéologique à Delson, comté de Laprairie*, Direction des eaux souterraines et de consommation, Ministère de l'Environnement, Québec, 7 p., (non-publié)

Bilodeau, C., Décembre 1973, *Levé hydrogéologique préliminaire Lac Echo et Lesage, Shawbridge, comté de Terrebonne*, Service des eaux souterraines, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 5 p. & annexes, Rapport No 745-B, (non-publié)

Bilodeau, C., Novembre 1982, *Levé hydrogéologique à Stukely-Sud, comté de Shefford*, Service des eaux souterraines, Ministère de l'environnement, Québec, 4 p., Rapport No 1105, (non-publié)

Bilodeau, C., Mars 1974, *Levé hydrogéologique préliminaire à Sainte-Brigite-des-Saults, comté de Nicolet*, Service des eaux souterraines, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, Rapport No 849, (non-publié)

Bilodeau, C., Juillet 1980, *Levé hydrogéologique à Saint-Cyrille-de-Wendover, comté de Drummond*, Service des eaux souterraines, Ministère de l'Environnement, Québec, 4 p., Rapport No 1027, 4 p., (non-publié)

Bilodeau, C., Janvier 1975, *Levé hydrogéologique préliminaire à La Plaine*, Service des eaux souterraines, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 5 p. & annexes, Rapport No 874-A, (non-publié)

Bilodeau, C., Décembre 1973, *Levé hydrogéologique préliminaire Lac Echo et Lesage (Shawbridge), cté Terrebonne*, Service des eaux souterraines, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 5 p., Rapport No 745-B, (non-publié)

- Champagne, L., Février 1992, *Potentiel aquifère de la région de Saint-Cyprien, comté de Napierville*, Projet " Industrie Hancam Inc.", Ministère de l'Environnement, Division des eaux souterraines, 6 p., Rapport No 1432, (non-publié)
- Champagne, L., Mai 1995, *Recherche en eau souterraine, Municipalité de Saint-Jean-Baptiste, comté de Rouville*, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Division des eaux souterraines, Québec, 5 p., Rapport No 1470, (non-publié)
- Croteau, D., Juin 71, *Levé hydrogéologique d'un emplacement pour enfouissement sanitaire à St-Bruno, comté municipale de Chambly*, Ministère des Richesses Naturelles, Service de l'hydrogéologie, Québec, 6 p., Rapport No 755, (non-publié)
- Croteau, D., Janvier 1972, Complément sur le levé hydrogéologique à Sainte-Julienne, comté municipale de Montcalm, Service de l'hydrogéologie, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 5 p., Rapport No 709-B, (non-publié)
- Croteau, D., Mars 1971, Complément sur le levé hydrogéologique à Sainte-Julienne, comté municipale de Montcalm, Service de l'hydrogéologie, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 5 p. & annexes, Rapport No 709-A, (non-publié)
- Dessureault, R., Décembre 1965, *Levé hydrogéologique à Ayer's Cliff, comté municipal de Stanstead*, Service des Eaux, Gaz et Pétrole, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 6 p., Rapport No 662, (non-publié)
- Dessureault, R., Octobre 1965, *Levé hydrogéologique à Napierville, Comté de Napierville*, Service des Eaux, Gaz et Pétrole, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 4 p. & annexes, Rapport No 659, (non-publié)
- Dugré, J., Juillet 1973, *Levé hydrogéologique à Saint-Gérard de Magella, comté municipal de L'Assomption*, Service des eaux souterraines, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 4 p. & annexes, Rapport No 829, (non-publié)
- Grenier, C., Août 1988, *Expertise à Saint-Bruno-de-Montarville relative à l'approvisionnement en eau de la station de recherche du MAPAQ*, Ministère de l'Environnement, Direction des eaux souterraines et de consommation, Québec, 5 p. & annexes, Rapport No 1372, (non-publié)
- Grenier, C., Décembre 1971, *Étude des conditions géologiques et hydrogéologiques de la région sise à l'ouest du Mont Orford, comtés de Brome et Shefford*, Service de l'hydrogéologie, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 3p. & annexes, Rapport No 777, (non-publié)
- Grenier, C., Mai 1986, *Notes supplémentaires relatives au problème d'approvisionnement en eau de Saint-Brigitte-des-Saults, M.R.C. de Drummond*, Direction des eaux souterraines et de consommation, Ministère de l'Environnement, Québec, 7 p. & annexes, Rapport No 1274, (non-publié)

- Grenier, C., Juin 1965, *Levé hydrogéologique à Terrebonne Heights, comté de l'Assomption*, Service des Eaux, Gaz et Pétrole, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 5p., Rapport No 642, (non-publié)
- Grenier, C., Avril 1962, *Rapport préliminaire sur un levé hydrogéologique à Dorion, comté de Vaudreuil*, Service des Eaux, Gaz et Pétrole, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 5 p., Rapport No 504, (non-publié)
- Grenier, C., Juin 1965, *Levé hydrogéologique à Dorion, comté de Vaudreuil*, Service des Eaux, Gaz et Pétrole, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 4 p., Rapport No 514-A, (non-publié)
- Grenier, C., Septembre 1962, *Levé hydrogéologique à Dorion, comté de Vaudreuil*, Complément du rapport du 26 avril 1962, Service des Eaux, Gaz et Pétrole, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 6 p., Rapport No 514, (non-publié)
- Laverdure, G., Juin 1992, *Production de cartes et étude hydrogéologique en rapport avec "l'analyse pour la gestion des ressources hydriques à des fins agricoles" dans le bassin versant de la rivière l'acadie*, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'environnement (Université McGill), 29 p., (non-publié)
- Mailhot, M., Juillet 1973, *Étude hydrogéologique à Sainte-Anne-de-la-Rochelle, comté de Shefford*, Service des eau souterraines, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 6 p. & annexes, Rapport No 764-A, (non-publié)
- Marot, A., Novembre 1968, *Levé hydrogéologique à Sainte-Catherine d'Alexandrie, comté municipal de Laprairie*, Service de l'hydrogéologie, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 6 p., Rapport No 701, (non-publié)
- Marot, A., Décembre 1968, *Levé hydrogéologique à Sainte-Julienne, comté municipale de Montcalm*, Service de l'hydrogéologie, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 5 p., Rapport No 709, (non-publié)
- Martel, R., Mai 1988, *Étude hydrogéologique préliminaire pour la recherche en eau souterraine à la municipalité de Brownburg, comté D'Argenteuil*, Direction des eaux souterraines et deconsommation, Ministère de l'Environnement, Québec, 10p. & annexes, Rapport No 1364, (non-publié)
- McCormack, R., Novembre 1978, *Levé hydrogéologique à Ormstown, comté de Châteauguay*, Service des eaux souterraines, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 11 p., Rapport No 976, (non-publié)
- McCormack, R., Décembre 1978, *Levé hydrogéologique à Saint-Angèle-de-Monnoir, comté de Rouville*, Ministère des Richesses Naturelles, Service des eaux souterraines, Québec, 9 p., Rapport No 982, (non-publié)

- McCormack, R., Octobre 1978, *Levé hydrogéologique à Saint-Mathieu de Beloeil ,comté de Verchères*, Ministère des Richesses Naturelles, Service des eaux souterraines, Québec, p., Rapport No 975, (non-publié)
- McCormack, R., 1981, *Étude hydrogéologique: bassin versant de la châteauguay*, Direction générale des inventaires et de la recherche, Ministère de l'Environnement, Québec, 175 p., Rapport E.F. - 2
- McCormack, R., 1981, *Étude hydrogéologique: bassin versant du richelieu*, Direction générale des inventaires et de la recherche, Ministère de l'Environnement, Québec, 210 p., Rapport E.E.- 4
- McCormack, R., 1984, *Étude hydrogéologique d'une partie de la rive sud du Saint-Laurent*, Service des eaux souterraines, Ministère de l'Environnement, Québec , 153 p., Rapport H.G.-16
- McCormack, R., 1983, *Étude hydrogéologique rive nord du Saint-Laurent*, Service des eaux souterraines, Ministère de l'Environnement, Québec , 393 p., Rapport H.G. -15
- McCormack, R., 1985, *Carte de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution : Région Ouest de Montréal*, Direction des eaux souterraines et de consommation, Ministère de l'Environnement, Québec, échelle 1:100 000
- McCormack, R., 1986, *Carte de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution : Archipel de Montréal*, Direction des eaux souterraines et de consommation, Ministère de l'Environnement, Québec, échelle 1:50 000
- McCormack, R., 1985, *Carte de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution : Rive Nord du Saint-Laurent*, Direction des eaux souterraines et de consommation, Ministère de l'Environnement, Québec, échelle 1:250 000
- McCormack, R., 1985, *Carte de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution : Région Sud de Montréal*, Direction des eaux souterraines et de consommation, Ministère de l'Environnement, Québec, échelle 1:250 000
- McCormack, R., 1985, *Carte de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution : Bassin de la Rivière Yamaska*, Direction des eaux souterraines et de consommation, Ministère de l'Environnement, Québec, échelle 1:250 000
- McCormack, R., 1985, *Carte de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution : Région Nord de Montréal*, Direction des eaux souterraines et de consommation, Ministère de l'Environnement, Québec, échelle 1:250 000
- McCormack, R., 1986, *Carte de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution : M.R.C. del'Assomption*, Direction des eaux souterraines et de consommation, Ministère de l'Environnement, Québec, échelle 1:50 000

- McCormack, R., 1985, *Carte de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution : Bassin versant de la Rivière Saint-François*, Direction des eaux souterraines et de consommation, Ministère de l'Environnement, Québec, échelle 1:250 000
- McCormack, R., 1986, *Carte de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution : M.R.C. de Joliette*, Direction des eaux souterraines et de consommation, Ministère de l'Environnement, Québec, échelle 1:50 000
- McCormack, R., Octobre 1982, *Levé hydrogéologique à Cowansville, comté de Missisquoi*, Ministère de l'environnement, Service des eaux souterraines, Québec, 3 p., Rapport No 1102, (non-publié)
- McCormack, R., Mai 1978, *Levé hydrogéologique à Sainte-Julie, comté de Verchères*, Service des eaux souterraines, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 7 p., Rapport No 965, (non-publié)
- McCormack, R., Grenier, C., 1985, *Carte de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution : Région de Granby*, Direction des eaux souterraines et de consommation, Ministère de l'Environnement, Québec, échelle 1:20 000
- Ouellet, M., Août 1992, *Suivi de la qualité des eaux souterraines, municipalité du canton de Granby*, Division des eaux souterraines, Ministère de l'Environnement, Québec, 34 p., Rapport No 1438, (non-publié)
- Paré, D., 1980, *Étude hydrogéologique: bassin versant de la rivière du nord*, Direction générale des eaux, Ministère des Richesse Naturelles, Québec, 46 p., Rapport E.D.-4
- Paré, D., 1978, *Étude hydrogéologique : bassin versant de la yamaska*, Service des eaux, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 50 p., Rapport E.B.-3
- Paré, D., Septembre 1976, *Reconnaissance hydrogéologique à Cowansville, comté de Missisquoi*, Ministère des Richesses Naturelles, Service des eaux souterraines, Québec, 10 p. & annexes, Rapport No 925, (non-publié)
- Paré, D., Septembre 1973, *Levé hydrogéologique à Wickham, comté de Drummond*, Service des eaux souterraines, Ministère de l'environnement, Québec, 4 p. & annexes, Rapport No 818, (non-publié)
- Paré, D., Novembre 1974, *Levé hydrogéologique à Dunham, comté de Missisquoi*, Ministère des Richesses Naturelles, Service des eaux souterraines, Québec, 7 p. & annexes, Rapport No 864, (non-publié)
- Paré, D., 19??., *Évaluation des disponibilités en eau souterraine à l'intérieur d'un rayon de cinq milles ayant comme centre la municipalité de Granby*, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 3 p. (Non-publié)

- Paré, D., 1980, *Étude hydrogéologique: bassin versant de l'assomption*, Service des eaux souterraines, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 81 p., Rapport E.C.-3
- Prévôt, J.M., 1970, *Reconnaissance hydrogéologique à Rougement, Comté municipal de Rouville*, Direction générale des mines, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 14 p., Rapport H.G.P.-2
- Prévôt, J.M., Août 1968, *Étude hydrogéologique à St-Paul d'Abbotsford, comté municipal de Rouville*, Ministère des Richesses Naturelles, Service de l'hydrogéologie, Québec, 7 p. & annexes, Rapport No 875-A, (non-publié)
- Prévôt, J.M., Mars 1969, *Reconnaissance hydrogéologique à Rougemont, comté municipal de Rouville*, Ministère des Richesses Naturelles, Service de l'hydrogéologie, Québec, 3 p., Rapport No 710, (non-publié)
- Prévôt, J.M., 1974, *Reconnaissance hydrogéologique des eaux embouteillées du Québec*, Service des eaux souterraines, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 72 p., Rapport H.G. -6
- Prévôt, J.M., 1974, *Reconnaissance hydrogéologique des eaux embouteillées du Québec*, Service des eaux souterraines, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 72 p., Rapport H.G.-6
- Prévôt, J.M., 1973, *Inventaire des eaux souterraines, comté de Saint-Hyacinthe et de Rouville* Direction générale des eaux, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 56 p., Rapport H.G.-4
- Prévôt, J.M., 197?, *Études Géoscientifiques: Région Nord de Montréal (Section hydrogéologique)*, Service de l'hydrogéologie, Québec, Rapport No 781, (non-publié)
- Prévôt, J.M., Janvier 1971, *Reconnaissance hydrogéologique à Carillon, comté d'Argenteuil*, Services de l'Hydrogéologie, Ministère des Richesses Naturelles, 2 p., Rapport No 783, (non-publié)
- Prévôt, J.M., Février 72, *Reconnaissance hydrogéologique à Sainte-Sophie, comté municipal de Terrebonne*, Service de l'hydrogéologie, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 4 p. & annexes, Rapport No 784, (non-publié)
- Prévôt, J.M., Octobre 1972, *Étude des sources à St-Pie, comté de Bagot*, Ministère des Richesses Naturelles, Service de l'hydrogéologie, Québec, 3 p. & annexes, (non-publié)
- Prévôt, J.M., Septembre 1969, *Reconnaissance hydrogéologique à Saint-Pie, Chez Monsieur Langevin, comté de Bagot*, Ministère des Richesses Naturelles, Service des eaux souterraines, Québec, 2 p., Rapport No 716, (non-publié)
- Prévôt, J.M., Février 1972, *Reconnaissance hydrogéologique à Saint-Pie, comté de Bagot*, Ministère des Richesses Naturelles, Service des eaux souterraines, Québec, 3 p., Rapport No 785, (non-publié)

- René, C., Juin 1965, *Levé hydrogéologique à St-Amable, comté de Verchères*, Service des Eaux, Gaz et Pétrole, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 5 p., Rapport No 646, (non-publié)
- René, C., *Levé hydrogéologique à St-Césaire, comté de Rouville*, Ministère des Richesses Naturelles, Service des eaux, gaz et pétrole, Québec, 13 p., Rapport No 655, (non-publié)
- Rochette, F., Septembre 1971, *Levé hydrogéologique à Ste-anne de la Rochelle, comté de Shefford*, Service de l'hydrogéologie, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 2 p., Rapport No 764, (non-publié)
- Rochette, F., Mai 1973, *Levé hydrogéologique à Saint-Jude, comté de Saint-Hyacinthe*, Ministère des Richesses Naturelles, Service des eaux souterraines, Québec, 2 p. & annexes, Rapport No 824, (non-publié)
- Rochette, F., Octobre 1971, *Levé hydrogéologique à Carignan, comté de Chambly*, Ministère des Richesses Naturelles, Service de l'hydrogéologie, Québec, 2 p., Rapport No 765, (non-publié)
- Rochette, F., Novembre 1972, *Levé hydrogéologique à Adamsville, comté de Brome*, Ministère des Richesses Naturelles, Service de l'hydrogéologie, Québec, 3 p., Rapport No 807, (non-publié)
- Rochette, F., Septembre 1971, *Levé hydrogéologique à Ste Cécile de Milton et canton Granby, comté de Shefford*, Service de l'hydrogéologie, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 4 p., Rapport No 763, (non-publié)
- Roy, R., 1974, *Levés hydrogéologiques ponctuels effectués entre 1954 et 1974*, Service des eaux souterraines, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 10 p., Rapport H.G.P. - 9
- Roy, R., Janvier 1962, *Levé hydrogéologique à St-Elzéar, district électoral de Laval*, Service des Eaux, Gaz et Pétrole, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 9 p. & annexes, Rapport No 484, (non-publié)
- Simard, G., 1978, *Hydrogéologie de la région de Mirabel*, Services des eaux souterraines, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 69 p., Rapport H.G.-11
- Simard, G., 1970, *Étude Hydrogéologique du bassin de la rivière Eaton*, Direction générale des mines, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 26 p., Rapport H.G.-2
- Simard, G., 1977, *Isotopes naturels et systèmes d'écoulement souterrain: bassin de la rivière Eaton*, Direction générale des eaux, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 64 p., Rapport H.G. - 8
- Simard, G., Bériault, A., 1978, *Carte hydrogéologique de l'île de Montréal et des îles Perrot et Bizard*, Service des eaux souterraines, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, Carte (0-43).
- Simard, G., Des Rosiers, R., 1979, *Qualité des eaux souterraines du Québec*, Service des eaux souterraines, Ministère de l'Environnement, Québec, 129 p., Rapport H.G.-13

- Simard, G., Mai 1977, *Étude hydrogéologique sur la protection des eaux souterraines à Saint-Roch de L'Achigan, comté de l'Assomption*, Service des eaux souterraines, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 4 p. & annexes, Rapport No 946, (non-publié)
- Simard, G., 1977, *Carbon 14 and tritium measurements of groundwaters in the Eaton River Basin and in the Mirabel area*, Quebec, Canadian Journal of Earth Sciences, Vol.14 No 10, Pages 2325-2338
- Simard, G., Juillet 1968, *Levé hydrogéologique à Valcourt, comté de Shefford*, Service de l'hydrogéologie, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 4p. & annexes, Rapport No 693, (non-publié)
- Sylvestre, M., 1981, *Perméabilité dans les milieux fracturés*, Service des eaux souterraines, Ministère de l'Environnement, Québec, 47 p., Rapport H.G -14
- Sylvestre, M., 1978, *Guide pour les forages d'eau*, Direction générale des eaux, Ministère Richesses Naturelles, Québec, 47 p., Rapport H.G.P.-11
- Sylvestre, M., Décembre 1976, *Étude d'alimentation en eau souterraine à Carignan, comté de Chambly*, Ministère des Richesses Naturelles, Service des eaux souterraines, Québec, 5 p., Rapport No 938, (non-publié)
- Sylvestre, M., Juillet 1984, *Minéralisation élevée de l'eau de puits Fabreville, comté de l'Ile-Jésus*, Service des eaux souterraines, Ministère de l'Environnement, Québec, 6 p. & annexes, Rapport No 1191, (non-publié)
- Tremblay, J.J., 1966, *Hydrogéologie et géochimie des eaux souterraines de la région de Béloeil*, Service des eaux, gaz et pétrole, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 64 p., Rapport: P.G.H. No 1,
- Tremblay, J.J., 1962, *An aquifer test, St. Lazare, Vaudreuil Map-Area, Quebec*, Geological Survey of Canada, Department of Mines and technical Surveys, Topical report No. 49. Ottawa, 12 p. & annexes
- Tremblay, J.J., Décembre 1963, *Levé hydrogéologique à St-Polycarpe, comté de Soulanges*, Service des Eaux, Gaz et Pétrole, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, 10 p. & annexes, Rapport No 560, (non-publié)