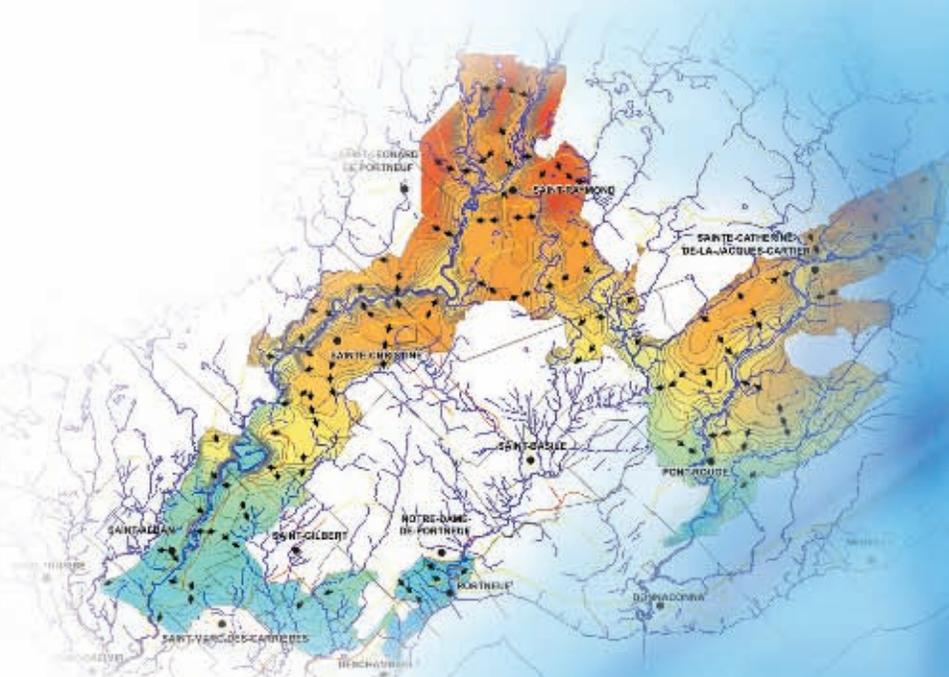


Guide méthodologique pour la caractérisation régionale des aquifères granulaires



Resources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada



Université du Québec
Institut national de la recherche scientifique
Écol., Terr. et Environnement

Canada

Québec

REMERCIEMENTS

Cette contribution (no 2003016) a été financée par le programme d'hydrogéologie de la Commission géologique du Canada et a été réalisée conjointement avec l'INRS-Géoressources, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, la MRC de Portneuf et l'Université Laval. Les auteurs remercient Luce Dubé, Ruth Boivin, Marco Boutin et Harold Vigneault pour l'infographie et la mise en page du document ainsi que les intervenants des municipalités et de la MRC de Portneuf pour leur collaboration et l'intérêt qu'ils ont manifesté pour cette étude. Ce manuscrit a bénéficié des commentaires et des suggestions de Richard Martel, Aïcha Achab, Daniel Lebel et Alfonso Rivera. Ce projet a aussi bénéficié d'une étroite collaboration de messieurs Henri Saint-Martin, Michel Ouellet, Normand Rousseau, Luc Champagne et Raymond Perron du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs et de monsieur Jacques Landry de la MRC de Portneuf.

TABLE DES MATIÈRES

Chapitre 1 Introduction	1
1.1 Connaissance de la ressource à la base de sa gestion et de sa protection	1
1.2 Objectifs du guide	2
1.3 Références	2
Chapitre 2 Planification d'une cartographie hydrogéologique régionale	3
2.1 Introduction	3
2.2 Choix du territoire	3
2.3 Principes de cartographie hydrogéologique régionale	3
2.4 Compilation de l'information existante	6
2.5 Obtention d'informations complémentaires (travaux de terrain)	9
2.6 Analyse et traitement des données	9
2.7 Types de cartes hydrogéologiques	9
2.8 Références	11
Chapitre 3 Cartographie géologique	13
3.1 Compilation des cartes géologiques existantes	13
3.1.1 Cartographie du socle rocheux	13
3.1.2 Cartographie des formations superficielles	15
3.2 Transfert au format numérique	21
3.3 Références	22
Chapitre 4 Caractérisation géologique des formations superficielles enfouies	23
4.1 Codification des unités stratigraphiques	23
4.1.1 Code des matériaux	23
4.1.2 Code des lithofaciès	24
4.1.3 Code abrégé du Centre géoscientifique de Québec	26
4.1.4 Code hydrostratigraphique	27
4.2 Gestion des données de forage	28
4.2.1 Provenance des données	28
4.2.2 Compilation des données	29
4.2.3 Validation des données	29
4.3 Levés de terrain	29
4.3.1 Levés des coupes stratigraphiques	29
4.3.2 Forage et échantillonnage des matériaux	30
4.3.3 Levés géophysiques	33
4.4 Références	40
Chapitre 5 Traitement et analyse des données sur les formations superficielles enfouies	41
5.1 Coupes stratigraphiques transversales	41
5.2 Cartes isopaques	42
5.2.1 Cartes de profondeur au roc (ou cartes d'épaisseur totale de sédiments)	42
5.2.2 Cartes isopaques d'unités hydrostratigraphiques : exemple des sables	44
5.3 Présentation des résultats	45
5.4 Portée et limitation des résultats	45
5.5 Contextes hydrogéologiques	50
5.6 Références	53

Chapitre 6	Caractérisation hydrogéologique	55
6.1	Propriétés des aquifères	55
6.2	Évaluation de la recharge	55
6.3	Piézométrie et écoulement	56
6.3.1	Sources d'information	56
6.3.2	Levés : mesures de niveaux d'eau et nivellement	57
6.3.3	Densité, fiabilité et précision requises	58
6.3.4	Traitement	58
6.3.5	Présentation des résultats	59
6.4	Dynamique de l'écoulement	62
6.4.1	Délimitation des sous-bassins aquifères	62
6.5	Vulnérabilité des eaux souterraines à la contamination (indice DRASTIC)	65
6.5.1	Indice de vulnérabilité des eaux souterraines	65
6.5.2	Description de la méthode DRASTIC	65
6.5.3	Hypothèses de base	65
6.5.4	Facteurs déterminants	65
6.5.5	Collecte des données	69
6.5.6	Interprétation des indices de vulnérabilité DRASTIC	69
6.5.7	Exemple d'application	69
6.6	Références	69
Chapitre 7	Caractérisation géochimique de l'eau souterraine	71
7.1	Introduction	71
7.1.1	Signature géochimique de l'eau souterraine	71
7.1.2	Provenance des données	71
7.1.3	Évaluation de la qualité de l'eau souterraine	72
7.2	Paramètres géochimiques à mesurer et à analyser	72
7.2.1	Paramètres physiques et chimiques	72
7.2.2	Paramètres microbiologiques	74
7.3	Protocole de prélèvement des échantillons/prévention de la contamination	75
7.4	Procédures pour la caractérisation géochimique	75
7.5	Traitement des données	77
7.5.1	Interprétation des résultats d'analyse	80
7.5.2	Représentation graphique et cartographique de la qualité de l'eau	82
7.5.3	Détermination des types d'eau	84
7.6	Références	85
Chapitre 8	Principes de cartographie informatisée	87
8.1	Introduction	87
8.2	Principales fonctions des logiciels SIG et d'un SIG	87
8.3	Qualité	88
8.4	Base de données relationnelle	89
8.4.1	Quelques concepts	89
8.4.2	Modèle conceptuel	90
8.5	Acquisition de nouvelles données numériques	90
8.5.1	Acquisition de données sous un autre média	91
8.5.2	Intégration des données	91
8.6	Stockage des données	95
8.6.1	Petits systèmes	98
8.6.2	Gros systèmes	98
8.7	GIMS	98
8.8	Références	100

Liste des tableaux

Tableau 2.1	Principaux paramètres physiques et chimiques utilisés pour la caractérisation de la ressource en eau souterraine (modifié de Struckmeier et Margat, 1995)	4
Tableau 2.2	Types et sources des données disponibles pour la cartographie hydrogéologique	8
Tableau 2.3	Classification des cartes hydrogéologiques en fonction de leur niveau d'information et de leur utilisation (modifié de Struckmeier et al., 1989)	10
Tableau 3.1	Étapes suggérées pour la cartographie des formations superficielles	19
Tableau 4.1	Différents codes de sédiments meubles	23
Tableau 4.2	Code des matériaux (modifié du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs)	24
Tableau 4.3	Code des lithofaciès (modifié de Miall, 1978 et Eyles et al., 1983)	25
Tableau 4.4	Code abrégé du Centre géoscientifique de Québec	27
Tableau 4.5	Principales formations superficielles et caractéristiques hydrostratigraphiques de base	28
Tableau 4.6	Les techniques de forage pour les sédiments meubles	31
Tableau 4.7	Principales méthodes géophysiques d'investigation (modifié du BRGM, 1997)	34
Tableau 4.8	Caractéristiques des principales méthodes géophysiques utilisées dans le domaine de l'hydrogéologie et de la géologie du quaternaire	34
Tableau 6.1	Paramètres DRASTIC	66
Tableau 6.2	Cotes de la profondeur de la nappe d'eau	66
Tableau 6.3	Cotes de la recharge annuelle	66
Tableau 6.4	Cotes du milieu aquifère	67
Tableau 6.5	Cotes du type de sol	67
Tableau 6.6	Cotes de la pente du terrain	67
Tableau 6.7	Cotes de l'impact de la zone vadose	68
Tableau 6.8	Cotes de la conductivité hydraulique	68
Tableau 7.1	Liste de problèmes déterminés lorsque les normes ne sont pas respectées	73
Tableau 7.2	Paramètres physico-chimiques usuels mesurés ou évalués sur le terrain et matériel de base nécessaire pour effectuer ces mesures	74
Tableau 7.3	Types d'ouvrages de captage pouvant être utilisés pour une étude de caractérisation hydrogéochimique	76
Tableau 7.4	Exemple de détermination d'un type d'eau	84
Tableau 8.1	Composantes de qualité (Aronoff, 1993)	88
Tableau 8.2	Fonctionnalités comparées des SIG et des SGBD	96
Tableau 8.3	Avantages et désavantages de l'approche base de données (Aronoff, 1993)	97

Liste des figures

Figure 2.1	Schéma illustrant la méthode préconisée pour la cartographie hydrogéologique régionale	6
Figure 3.1	Organigramme des besoins en cartographie des formations superficielles	19
Figure 4.1	Colonnes stratigraphiques du delta de la rivière Sainte-Anne, Portneuf (Code des lithofaciès, voir tableau 4.3).	26
Figure 5.1	Coupe stratigraphique transversale au complexe morainique de Saint-Narcisse	41
Figure 6.1	Patrons généraux d'écoulement dans les régions dont la topographie est ondulée (d'après Hubert, 1940)	56
Figure 7.1	Diagramme de Wilcox	81
Figure 8.1	Exemple de schéma de base de données relationnelle	89
Figure 8.2	Problèmes éprouvés lors de l'intégration de trois sources de données différentes	94
Figure 8.3	Codage de la même information en utilisant une structure matricielle et vectorielle (adapté de Aronoff, 1993)	95
Figure 8.4	Relation entre les attributs et les entités spatiales (adapté de ESRI, 1995)	96

Liste des encadrés

Encadré 3.1	Géologie du socle rocheux	14
Encadré 3.2	Géologie des formations superficielles	16
Encadré 4.1	Levés de géoradar	36
Encadré 4.2	Les méthodes électriques	37
Encadré 4.3	Profilages de polarisation provoquée	38
Encadré 5.1	Épaisseur totale des sédiments	46
Encadré 5.2	Isopaques des sables et graviers de surface	48
Encadré 5.3	Blocs diagrammes illustrants les contextes hydrogéologique en 3D	51
Encadré 6.1	Piézométrie des formations aquifères comprises dans les sables et graviers de surface, MRC de Portneuf	60
Encadré 6.2	Conditions hydrodynamiques des aquifères granulaires de surface	63
Encadré 7.1	Représentation graphique des données de qualité d'eau	78
Encadré 7.2	Représentation cartographique de données de qualité d'eau / Carte à points	83
Encadré 8.1	La structure de GIMS	99

Annexe

- A Sources d'information pour la cartographie hydrogéologique régionale au Québec
- B Fiches de terrain

1.1 Connaissance de la ressource à la base de sa gestion et de sa protection

Grâce à sa recharge par l'infiltration des précipitations, l'eau souterraine constitue une ressource naturelle renouvelable et contribue au cycle global de l'eau à l'échelle de la planète. En règle générale, l'eau souterraine est omniprésente sur le territoire québécois. Par contre, en raison de la nature et des propriétés hydrauliques des formations géologiques dans lesquelles elle circule, son accessibilité et son utilisation à des fins de consommation et d'exploitation sont très variables.

L'eau souterraine constitue l'une des sources d'approvisionnement en eau les plus abordables économiquement en raison de son abondance, de sa qualité, de sa proximité avec le lieu de consommation et de son faible coût de traitement. Ainsi, pour près de 21 % de la population du Québec, la ressource en eau souterraine est la source privilégiée d'alimentation en eau potable. Près de la moitié de cette population est alimentée par le biais d'ouvrages de captage individuels, alors que l'autre moitié est desservie par des réseaux de distribution publics ou privés (gouvernement du Québec, 1999).

Au Québec, la ressource en eau souterraine est généralement de bonne qualité. Toutefois, le maintien de cette qualité nécessite la gestion de certaines activités humaines sur le territoire afin d'en préserver tous ses usages. Les risques de contamination des eaux souterraines sont toujours présents, et ils sont non seulement liés à la nature et à l'intensité des activités humaines, mais également à la vulnérabilité des nappes à la pollution. Des mécanismes de prévention tels que l'établissement de périmètres de protection autour d'un ouvrage de captage peuvent être mis en place afin d'assurer une exploitation durable des puits. Cependant, comme cet outil n'offre de protection que dans l'aire d'alimentation d'ouvrages en cours d'exploitation, il s'avère nettement inadéquat pour préserver la qualité de l'eau souterraine contre les sources de pollution diffuses sur l'ensemble d'un territoire. Une approche régionale visant à connaître la ressource en eau souterraine, pour un territoire donné, est donc souhaitable. L'absence de couverture hydrogéologique à l'échelle du Québec a été établie à maintes reprises lors du symposium sur la gestion de l'eau au Québec (INRS-EAU, 1998) et lors de la consultation publique pour l'élaboration d'une politique de l'eau au Québec par le Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (Lefebvre et al., 1999).

La cartographie hydrogéologique régionale est l'outil de base qui procure ces connaissances. Elle comprend toutes les activités nécessaires pour recueillir, documenter, interpréter et représenter l'information hydrogéologique sous forme de documents cartographiques. Elle permet de délimiter et de caractériser les formations aquifères, d'évaluer la recharge et d'établir le degré de vulnérabilité des nappes. Toutes ces étapes de caractérisation fournissent les informations nécessaires pour dresser l'inventaire de la ressource en eau souterraine et réaliser le travail de classification des eaux souterraines qui permettront aux divers intervenants locaux de mettre en œuvre un programme de gestion des eaux souterraines.

Les projets à l'échelle régionale de cartographie hydrogéologique permettent de collecter des renseignements de diverses organisations publiques ou parapubliques. L'intégration de ces renseignements servira à produire des documents cartographiques ainsi qu'un système d'informations hydrogéologiques à références spatiales

1.2 Objectifs du guide

Le présent guide fait suite à un projet pilote de cartographie des aquifères du piémont laurentien réalisé dans la région de Portneuf entre 1995 et 1997 (Michaud et al., 1997). Ce guide met l'accent sur la cartographie des aquifères granulaires qui reposent sur des unités de plus faible perméabilité (socle rocheux, argile, diamictons à matrice silto-argileuse).

Le projet pilote a été réalisé conjointement par la Commission géologique du Canada (CGC-Québec), l'Institut national de la recherche scientifique (INRS-Géoressources), le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), l'Université Laval et la municipalité régionale de comté de Portneuf (MRC de Portneuf). Ce projet visait à caractériser et à cartographier un territoire typique des séquences d'âge Quaternaire présentes sur la rive nord du fleuve Saint-Laurent afin d'élaborer une méthodologie de caractérisation et d'évaluation des ressources en eau souterraine dans les aquifères granulaires apparaissant sur ce territoire. Ce projet cherchait à acquérir, par diverses méthodes et techniques d'investigation, l'information géoscientifique utile à la cartographie hydrogéologique. Cette information a ensuite été intégrée dans un système d'information géographique (SIG) afin de faciliter le processus de production de cartes thématiques et d'assurer la pérennité de l'information compilée. Les documents produits (planches hydrogéologiques, base de données relationnelle) deviennent ainsi des outils d'aide à la décision dans la gestion de la ressource « eau souterraine ».

Les sections qui suivent présentent les étapes d'une cartographie hydrogéologique régionale. Le chapitre 2 intitulé « Planification d'une cartographie hydrogéologique régionale » introduit les principes de la cartographie hydrogéologique régionale. Par la suite, les chapitres 3, 4, 5, 6 et 7 présentent, respectivement, les méthodes, techniques et procédures permettant de caractériser les contextes géologiques des dépôts meubles en surface et en profondeur ainsi que l'hydrogéologie physique et géochimique d'une région. Finalement, le chapitre 8 expose les principes de base de la cartographie hydrogéologique informatisée, l'utilisation des systèmes d'information géographique s'avérant un moyen essentiel à la réalisation de la cartographie hydrogéologique. Pour un lexique des termes, vous pouvez vous référer au Dictionnaire du génie et des sciences de la terre paru aux Presses internationales Polytechnique.

1.3 Références

- Gouvernement du Québec (1999). *La gestion de l'eau au Québec : document de consultation publique*. Ministère de l'Environnement, Evirodoq EN981414, 71 p.
- INRS-Eau (1998). *Symposium sur la gestion de l'eau au Québec dans Recueil de textes des conférenciers*. J.-P. Villeneuve, A. N. Rousseau et S. Duchesne (éditeurs), 10 - 12 décembre 1997, Montréal, vol. 1-3, 699 p.
- Lefebvre, R., Michaud, Y., Martel, R., Fagnan, N. *La cartographie hydrogéologique régionale : un outil essentiel à l'inventaire des ressources en eaux souterraines. Mémoire du CGQ présenté au BAPE lors de la consultation publique sur « La gestion de l'eau au Québec », octobre 1999, 22 p.*
- 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*. Vecteur Environnement, vol. 30, no 4, p. 22-23.
- Bouna-Aly, M. O. (2000). *Dictionnaire du génie et des sciences de la terre*. Presses internationales Polytechnique, p. 990.

2.1 Introduction

La présence et la distribution des eaux souterraines ne sont 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 clé de la compréhension des systèmes aquifères. La cartographie hydrogéologique est l'outil privilégié pour intégrer et diffuser l'ensemble de l'information documentée concernant ces systèmes. Elle comprend toutes les activités et techniques nécessaires pour recueillir, documenter, interpréter et représenter l'information hydrogéologique afin de la rendre disponible aux usagers de cette ressource.

Les sections qui suivent introduisent brièvement les étapes de la cartographie hydrogéologique régionale et dirigent le lecteur vers les chapitres appropriés du guide.

2.2 Choix du territoire

Lors de l'évaluation des besoins, on doit premièrement déterminer le territoire à cartographier. On peut se baser sur des limites administratives, par exemple celles d'une municipalité régionale de comté (MRC). Cependant, cette entité est souvent irrégulière et ne permet pas une compréhension complète des phénomènes qui peuvent avoir leur origine à l'extérieur de ce territoire. Une approche de cartographie par bassin versant s'appuie sur les limites naturelles pour découper le territoire. On est plus à même d'apprécier du point de vue hydrogéologique les influences qui viennent de l'extérieur. De plus, cette approche exige nécessairement que les MRC se concertent pour couvrir le territoire de façon adéquate lorsque les limites d'un bassin versant recoupent plus d'une MRC. La concertation permet d'éviter les doublons et de distribuer les coûts de participation de façon équitable. On peut finalement choisir de cartographier les cartes selon le découpage du Système national de référence cartographique (SNRC, feuillets à l'échelle 1/50 000) couvrant la région d'étude choisie. Il s'agit d'une approche systématique dont le découpage est connu et qui permet d'assurer la couverture d'une région donnée. Cette approche pourrait cependant nécessiter la cartographie d'un grand territoire, ce qui risque d'engendrer encore une fois le morcellement des phénomènes naturels.

2.3 Principes de 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 (1993), la cartographie hydrogéologique régionale devrait répondre aux cinq questions fondamentales suivantes :

- D'où vient l'eau souterraine?
- Où va-t-elle?
- Est-elle potable et, par conséquent, quels usages pouvons-nous en faire?
- 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, analysés et interprétés. Une liste exhaustive de ces paramètres est présentée au tableau 2.1. Ils ont été classés selon le but de leur caractérisation :

- propriétés physiques ou chimiques des eaux souterraines;
- propriétés hydrauliques des matériaux géologiques à l'intérieur desquels elles circulent.

La démarche à suivre pour caractériser ces paramètres et les présenter sur des cartes hydrogéologiques comprend généralement quatre étapes :

- 1) la compilation de l'information existante;
- 2) l'obtention d'informations complémentaires ou manquantes (travaux de terrain);
- 3) l'intégration et l'analyse de ces données;
- 4) la production de cartes hydrogéologiques.

Tableau 2.1 Principaux paramètres physiques et chimiques utilisés pour la caractérisation de la ressource en eau souterraine (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 chaque aquifère.

Paramètres physiques :

- 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; détermination des lignes de partage des eaux souterraines.
- Liens hydrauliques, connus ou déduits, entre les formations aquifères discontinues.
- Fluctuation piézométrique annuelle de la nappe; délimitation des zones affectées par le pompage.
- Volume d'eau dans un aquifère ou par unité de surface.
- Débit disponible.
- Délimitation des zones de recharge et de résurgence.
- Détermination des valeurs de la recharge.
- Localisation des points ou zones de résurgence : sources ponctuelles ou linéaires, faces de suintement, plans d'eau tels que les lacs et rivières.
- Détermination des débits aux résurgences. Celles-ci peuvent être permanentes, intermittentes ou temporaires.
- Relation entre le système de drainage et les aquifères adjacents : lien hydraulique continu, discontinu, permanent ou temporaire.
- Identification des utilisateurs d'eau souterraine et des débits pompés.
- Localisation des infrastructures humaines ayant un impact sur la quantité des eaux souterraines : puits de pompage, puits d'injection, terres irriguées à l'aide de fossés de drainage ou tuyaux souterrains, barrages, canaux d'égouts pluviaux, etc.

Paramètres chimiques :

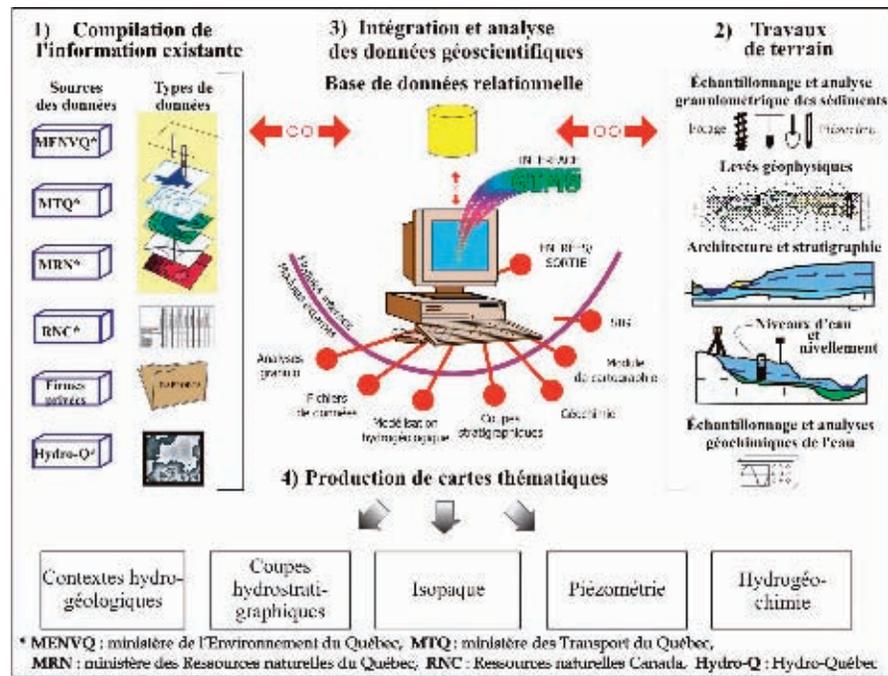
- Caractéristiques chimiques de l'eau souterraine mesurée à des sources ou puits à une date précise de l'année; distribution spatiale de ces caractéristiques à l'aide de diagrammes de Stiff ou de diagrammes radiaux.
- Qualité de l'eau définie sur la base de tous les usages potentiels/paramètres esthétiques ou en fonction de la classification hydrogéochimique de l'eau, ex. : matières dissoutes totales, concentration en nitrates, proportion Ca/Mg, etc.

Paramètres hydrauliques :

- Lithologies des formations géologiques classées en fonction de leur capacité à transmettre et à emmagasiner l'eau. Évaluation sommaire de la porosité et de la conductivité hydraulique des roches et des sédiments.
- Type de porosité et conductivité hydraulique observé 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 :
 - 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;
 - localisation de la base et du sommet des aquifères;
 - épaisseur saturée des formations géologiques;
 - localisation d'hétérogénéités internes qui ont un impact sur le régime d'écoulement de l'eau souterraine, ex. : zones de fractures, couches imperméables, etc.
- Estimation des paramètres hydrauliques tels que la perméabilité, la transmissivité, les coefficients d'emmagasinement et évaluation de leur distribution spatiale.
- Détermination des éléments hydrographiques pouvant constituer des limites hydrauliques aux aquifères.
- Délimitation de 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, captive ou semi-captive.

La figure 2.1 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 relationnelle suivant une approche topologique inspirée de celle utilisée dans les systèmes d'information géographique (SIG) (Boisvert et Michaud, 1998). Un système de gestion de l'information (GIMS) est utilisé 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). Les sections suivantes expliquent brièvement chacune des étapes de la cartographie hydrogéologique.

Figure 2.1 Schéma illustrant la méthode préconisée pour la cartographie hydrogéologique régionale



2.4 Compilation de l'information existante

La cartographie hydrogéologique nécessite la collecte de nombreuses informations multisources. Les paragraphes qui suivent donnent un bref aperçu des données requises et des paramètres qu'elles permettent d'évaluer.

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'évaluer les travaux de terrain nécessaires pour compléter l'information disponible et aussi d'avoir un bon aperçu du contexte hydrogéologique de la région étudiée.

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 leur étendue et leur géométrie et de connaître les secteurs aquifères qui sont captifs ou semi-captifs. Les séquences stratigraphiques décrites à partir de forages apportent les informations complémentaires nécessaires à la compréhension de l'architecture des diverses couches géologiques enfouies. 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 et hydriques ainsi que la connaissance des types de sols présents dans une région donnée permettent : (1) de connaître les zones de recharge et de résurgence, (2) d'estimer la valeur de la recharge moyenne annuelle et (3) de déterminer la période de recharge.

La répartition des puits domestiques et des systèmes de captage municipaux et des autres utilisations de l'eau souterraine permet de déterminer 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.



De plus, afin de bien gérer et de 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 la localisation des captages qui extraient d'importants volumes d'eau, les types d'utilisation du sol (agricole/forestière/urbaine), les pratiques agricoles (utilisation de fertilisants chimiques et naturels, application de pesticides, rotation des cultures, etc.), la localisation des principaux corridors de transport d'énergie et routier ainsi que l'identification des différents types d'industries et les 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, les stations-services, etc.

Le tableau 2.2 résume les sources d'information disponibles au Québec, qui sont généralement requises pour la cartographie hydrogéologique régionale. Un grand nombre de ces informations hydrogéologiques sont disponibles sous forme de base de données, de cartes ou de rapports que l'on peut trouver dans les divers ministères, les organismes publics et parapublics, les municipalités ou les firmes privées de consultants. Ces informations sont requises pour déterminer les paramètres nécessaires à la caractérisation de la ressource qui ont été énumérés au tableau 2.1. L'annexe A présente en détail les types et sources de données hydrogéologiques disponibles au Québec. Il est aussi possible de se référer à la bibliographie du rapport Une appréciation de l'utilité et de la qualité relative de ces données, dans une perspective de cartographie hydrogéologique régionale, accompagnée également leur description.

Tableau 2.2 Types et sources des données disponibles pour la cartographie hydrogéologique

Ministères		Instances municipales (M)		Organismes privés (C)	SOURCES	TYPES DE DONNÉES			
Fédéraux (F)	Provinciaux (P)								
Ressources naturelles Canada	Transports	Environnement et Faune	Ressources naturelles	Agriculture Pêcheries et Alimentation	Municipalités régionales de comté (MRC)	Municipalités	Firmes privées de consultants		
2,7			2,7,8,10					Socle rocheux	Géologie
1,3,7			1,3,26	4				Dépôts quaternaires	
1,2,7	9	13,14,16	1,2,3,26					Stratigraphie	
	9	13,14,15,16	3					Niveau de l'eau souterraine	Propriétés aquifères
	9	14,15,16						Granulométrie	
		14,15,16						Propriétés hydrauliques [△]	
	9							Propriétés mécaniques ^{△△}	Pédologie
3				4,5				Pédologie	
6		18,19	11,6					Hydrologie	Infiltration et écoulement
		17						Météorologie	
5,6,7			11,12					Topographie	Qualité
		20,21						Systèmes d'approvisionnement en eau souterraine	
		20						Qualité de l'eau souterraine	
3		6,22,23,24	27		1			Utilisation du sol et de l'eau	utilité

[△] : transmissivité, conductivité hydraulique et coefficient d'emmagasinement. ^{△△} : teneur en eau, limite plastique liquide, pénétromètre, scissomètre, sismique et cisaillement. 4 : Source pour le type de données

FÉDÉRAL

- F1 - Cartes et rapports sur les formations superficielles
- F2 - Cartes et rapports sur le socle rocheux
- F3 - Cartes des inventaires des Terres du Canada
- F4 - Cartes topographiques format papier et numérique (1:50000, 1:250000)
- F5 - Données numériques d'élévation du Canada (1:250000)
- F6 - HYDAT : Archives nationales des données hydrologiques
- F7 - Catalogue collectif et GEOSCAN (Bd bibliographiques)

PROVINCIAL

- P1 - Cartes et rapports sur les formations superficielles
- P2 - Cartes et rapports sur le socle rocheux
- P3 - Cartes et rapports sur les ressources en granulats
- P4 - Cartes et rapports pédologiques
- P5 - Bd sur les sols québécois (BIRSQ)
- P6 - Photographies aériennes (1:15 000 et 1:40 000)
- P7 - Index des puits d'exploration du gaz et du pétrole
- P8 - Carothèque
- P9 - Données géotechniques du MTQ
- P10 - Levés géophysiques
- P11 - Bd topographiques (BDTQ) (1:20 000)

- P12 - Bd géodésiques du Québec (GEODEQ II)
 - P13 - Système d'information hydrogéologique (SIH)
 - P14 - Bd piézométriques
 - P15 - Cartes et rapports hydrogéologiques produits par les ministères provinciaux
 - P16 - Rapports d'études hydrogéologiques de consultants disponibles au ministère de l'Environnement
 - P17 - Données climatologiques
 - P18 - Cartes et informations sur les bassins versants
 - P19 - Bd hydriques
 - P20 - Bd sur l'eau potable
 - P21 - Bd sur la qualité du milieu aquatique
 - P22 - Production piscicole
 - P23 - Bd sur les terrains contaminés GTC
 - P24 - Lieux d'enfouissement divers
 - P25 - Envirodoq et Collection générale (Bd bibliographiques)
 - P26 - EXAMINE et SIGEOM (Bd bibliographiques)
 - P27 - Système sur les découpages administratifs du Québec (SDA), 1:20 000
 - P28 - Cartes d'utilisation du sol et données sur les pratiques
- MUNICIPAL**
- M1 - Schéma d'aménagement

Les numéros du tableau correspondent à ceux inscrits à l'annexe A, où chaque source de données est décrite.

Bd: Banque de données.

2.5 Obtention d'informations complémentaires (travaux de terrain)

Des travaux de terrain permettant l'acquisition de nouvelles données sont nécessaires lorsque l'information requise pour la cartographie hydrogéologique est absente ou incomplète. Les levés géologiques, essais hydrauliques, échantillonnage des matériaux et des eaux souterraines, levés géophysiques et mesures de niveaux d'eau sont quelques unes des activités couramment utilisées pour la caractérisation des aquifères. Le présent guide traite plus particulièrement des levés géologiques (cf. section 3.1.2.3) et géophysiques (cf. section 4.3.3), de l'importance des coupes stratigraphiques (cf. section 4.3.1), des techniques de forage et d'échantillonnage des matériaux (cf. section 4.3.2), des essais hydrauliques, des mesures de niveaux d'eau (cf. section 6.4) et des procédures d'échantillonnage des eaux souterraines (cf. section 7.3).

2.6 Analyse et traitement des données

L'analyse et le traitement des données commencent dès le début du projet et se poursuivent tout au long de sa réalisation. L'analyse préliminaire des données permet de se familiariser avec le contexte hydrogéologique et de mieux orienter les travaux de terrain. Une seconde étape d'analyse et de traitement des données est bien entendu effectuée lorsque la compilation de l'information existante est complétée et que 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 trouve (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 à 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 de logiciels spécialisés. Le chapitre 8 traite des applications informatiques permettant le traitement et l'interprétation des données. Il met aussi en perspective l'importance des outils informatiques dans tout le processus de cartographie hydrogéologique.

2.7 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 peuvent ne pas être utilisées, surtout si elles s'adressent à un public non initié aux concepts d'hydrogéologie. Plusieurs cartes thématiques sont donc généralement requises afin de bien représenter tous les aspects permettant 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 à des échelles de 1:5 000, 1:10 000 ou 1:20 000, des cartes régionales au 1:50 000 et 1:250 000, ou des cartes nationales au 1:1 000 000 que l'on trouve, par exemple, dans les atlas. L'échelle des cartes est établie en fonction des besoins des utilisateurs, du type, du volume et de la densité de l'information à représenter. La diversité des échelles traduit les multiples rôles que remplissent les cartes hydrogéologiques. En règle générale, les cartes destinées à la planification, la

protection et la gestion de la ressource en eau souterraine devraient être présentées à une échelle plus grande que 1 : 100 000 (Struckmeier et Margat, 1995).

Plusieurs modes de classification des cartes hydrogéologiques ont été élaborés (Struckmeier et al., 1989). La classification présentée au tableau 2.3 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 présenté. 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 ne fournissent que les grandes lignes des divers contextes hydrogéologiques qui s'y trouvent à cause d'un volume plus restreint de données nécessitant une représentation minimale de ces contextes.

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 aux types 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 trouve 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 hydrogéologiques 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 et physiques. 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 l'importante quantité d'informations qu'elles présentent, les cartes paramétriques sont généralement conçues à grande échelle.

Tableau 2.3 Classification des cartes hydrogéologiques en fonction de leur niveau d'information et de leur utilisation (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	<i>Carte hydrogéologique générale</i> (carte des aquifères)	<i>Carte hydrogéologique paramétrique</i> (profondeur à la nappe, épaisseurs des aquifères, profondeur au roc, géochimie, T, K, S, R)	<i>Carte hydrogéologique régionale des systèmes aquifères</i> (représentation de modèles conceptuels)
Planification et développement	<i>Carte du potentiel des ressources en eau souterraine</i>	<i>Carte hydrogéologique spécialisée</i> (carte pour la planification, la gestion et la protection de la ressource)	<i>Représentation graphique dérivée des systèmes d'information géographique</i> (cartes, sections, diagrammes 3-D, illustration de scénarios)
Gestion et protection	<i>Carte de vulnérabilité des eaux souterraines</i>		
Niveau d'information / Utilisation possible	statique ————— influence temporelle —————> dynamique faible ————— fiabilité —————> élevée faibles ————— coûts —————> élevés vaste ————— région représentée —————> petite petite ————— échelle —————> grande		



Les **cartes hydrogéologiques régionales 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. Elles sont très utiles pour l'élaboration de modèles conceptuels qui seront utilisés lors de la modélisation numérique. Elles peuvent aussi servir à l'identification de secteurs où il y a un manque de données ou à déterminer ceux qui sont les plus appropriés pour l'aménagement de systèmes de surveillance de la qualité et des niveaux d'eau.

Les **cartes hydrogéologiques spécialisées** répondent à un besoin particulier et visent généralement un public varié. Elles sont généralement utilisées pour trois principales applications : la planification, l'exploitation et la gestion de la ressource eau souterraine. Les **cartes de planification et de gestion** peuvent montrer la qualité et le potentiel en eau souterraine en fonction de certains critères particuliers; les **cartes de vulnérabilité** établissent 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 ouvrages de captage communautaires et les régions à protéger.

Les différents types de cartes présentées précédemment permettent toutes, à divers degrés, de mieux connaître les ressources en eau souterraine. Le défi réside dans le choix judicieux de l'agencement de ces cartes afin d'atteindre, de façon réaliste, un niveau de connaissance acceptable pour la gestion de l'eau souterraine au Québec. Dans le cadre du projet pilote de cartographie hydrogéologique dans la MRC de Portneuf, tous les types de cartes mentionnées au tableau 2.3 ont été produits. À titre d'exemple, chacune de ces cartes est présentée sous forme d'encadré à divers endroits dans le présent guide. Cet exercice de cartographie hydrogéologique a fait ressortir que, de façon minimale, les trois niveaux d'information (faible, avancé et élevé) au regard de la reconnaissance et de l'exploration sont requis afin de bien caractériser la ressource. Le niveau faible permet d'avoir une vue globale de la distribution des aquifères et de leur potentiel, le niveau avancé permet d'avoir plus de détails sur la nature des aquifères présents dans le secteur d'étude et le niveau élevé répond à des questions particulières concernant l'écoulement des eaux souterraines dans les différents matériaux et les liens possibles entre les différentes unités hydrostratigraphiques. De plus, c'est aussi en grande partie grâce à ces connaissances de base sur les systèmes aquifères que les cartes de gestion et de protection, telles que les cartes de vulnérabilité, sont élaborées.

2.8 Références

- 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, p. 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. 365-366.
- Piteau Associates Engineering Ltd. et Turner *Groundwater Consultants (1993). 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 (1993). Groundwater Mapping and Assessment in British Columbia. Volume II, Criteria and Guidelines*. Prepared for the Resources Inventory Committee Earth Science Task Force, 71 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*, vol. 17, 177 p.

Puisque l'eau souterraine est localisée dans des formations géologiques et que les paramètres hydrogéologiques dépendent directement des propriétés physiques de ces formations, ce chapitre est consacré à la méthodologie préconisée pour caractériser les formations géologiques et les représenter sous forme de cartes qui deviennent d'une très grande utilité pour la gestion des eaux souterraines. La cartographie géologique s'effectue sur deux grandes entités, soit le socle rocheux et les formations superficielles. L'eau souterraine étant contenue dans ces deux entités, elles se doivent d'être étudiées toutes deux. Cependant, étant donné l'objet même de ce guide, ce sont principalement les méthodologies relatives à la caractérisation des formations superficielles (appelées aussi dépôts meubles, dépôts non consolidés, dépôts du Quaternaire) qui sont présentées.

3.1 **Compilation des cartes géologiques existantes**

Les cartes géologiques fournissent des informations essentielles à la cartographie hydrogéologique. Le type de matériau qui affleure, sa composition lithologique et minéralogique ou les structures qui sont favorables à l'écoulement des eaux souterraines peuvent être déterminés ou déduits. Un examen minutieux des cartes géologiques existantes permet souvent une première évaluation hydrogéologique régionale.

3.1.1 **Cartographie du socle rocheux**

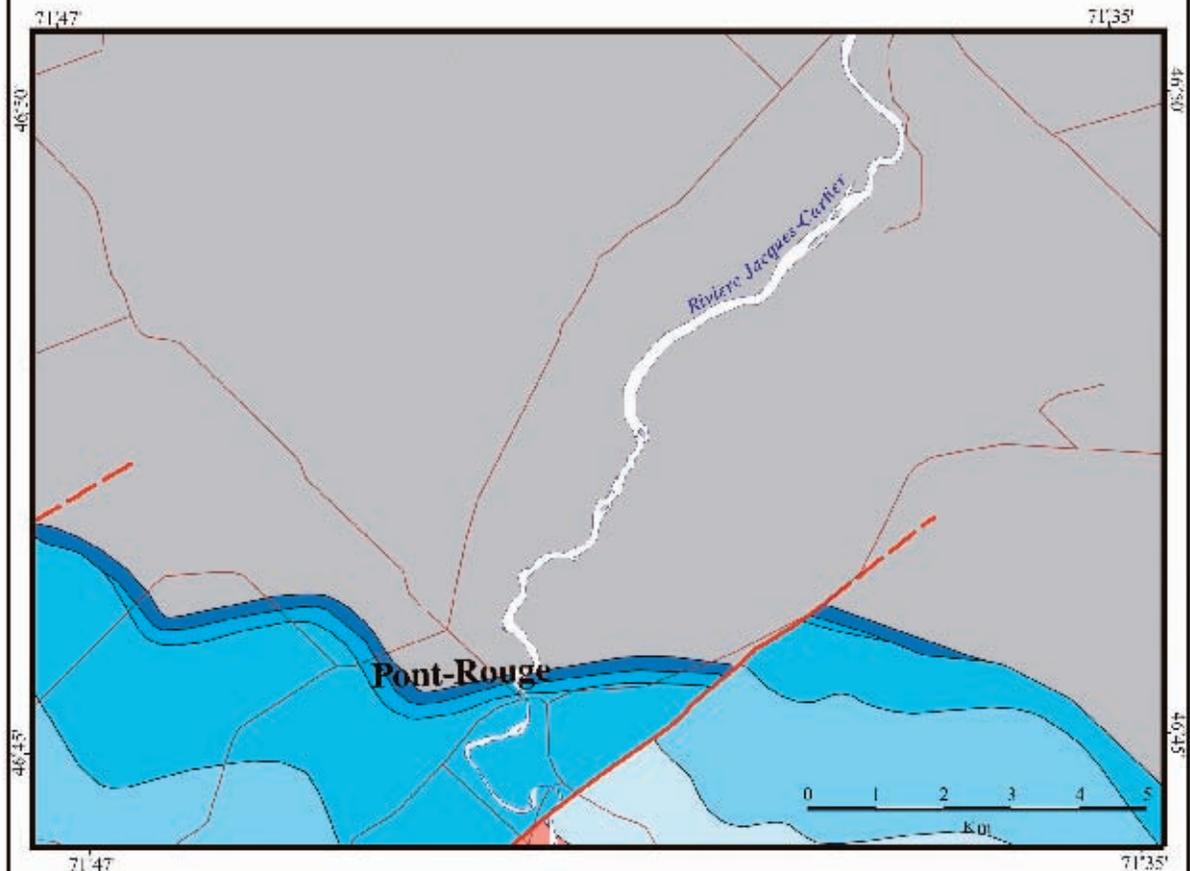
Dans le cas où les principaux aquifères d'une région donnée se trouveraient dans les formations superficielles, une simple compilation des cartes géologiques existantes pourrait suffire à la caractérisation hydrogéologique du socle rocheux du territoire. Les caractéristiques du substratum rocheux qui peuvent exercer un contrôle important sur la quantité et la qualité des eaux souterraines sont la nature et les contacts des unités ainsi que les éléments structuraux, notamment les zones de failles et de fractures ou encore les plans de litage en terrain sédimentaire. La localisation des affleurements rocheux devra également être intégrée à la carte des dépôts meubles (voir section 3.1.2).

Le substratum rocheux de la majorité du territoire québécois habité a été cartographié au moins une fois. Pour obtenir une compréhension régionale de la géologie du socle rocheux, les rapports et les cartes géologiques les plus récents de la région étudiée devront être utilisés; il est recommandé d'obtenir ces documents à une échelle de 1 : 20 000 et 1 : 50 000 (annexe A). Des cartes synthèses à l'échelle du 1 : 250 000, qui permettent de mettre en contexte les cartes détaillées, sont également disponibles.

Si plusieurs documents existent pour la région d'étude, il faudra procéder à une compilation de l'information afin d'obtenir la carte de base de la géologie du socle rocheux (encadré 3.1). Les travaux détaillés à l'échelle locale doivent être généralisés avant d'être incorporés à la carte régionale. Toutefois, si l'on ne détient pas les informations originales, il sera impossible plus tard de retrouver le détail à partir de la généralisation.

Encadré 3.1

Géologie du socle rocheux



LÉGENDE

ORDOVICIEN MOYEN

GRUPE D'UTICA

Shale d'Utica

GRUPE DE TRENTON

- Formation de Neuville (calcaire argileux, shale)
- Membre de Saint-Casimir (calcaire cristallin)
- Formation de Deschambault (calcaire cristallin crinoïdal)
- Formation de Fontaine, de Sainte-Anne et Pont-Rouge (calcaire cristallin)

GRUPE DE BLACK RIVER

- Formation de Leray et de Lowville et de Pamelia (dolomie, calcaire, grès)

PRÉCAMBRIEN

Gneiss granodioritique dominant

SYMBOLES

- Contact géologique observé
- - - Contact géologique approximatif
- Faille normale observée

Géologie par Globensky, 1987
et Nadeau et Brouillette, 1995

Exemple de compilation de la géologie du socle rocheux, région de Pont-Rouge, tel qu'il a été produit pour la région de Portneuf (tiré de Parent *et al.*, 1998).

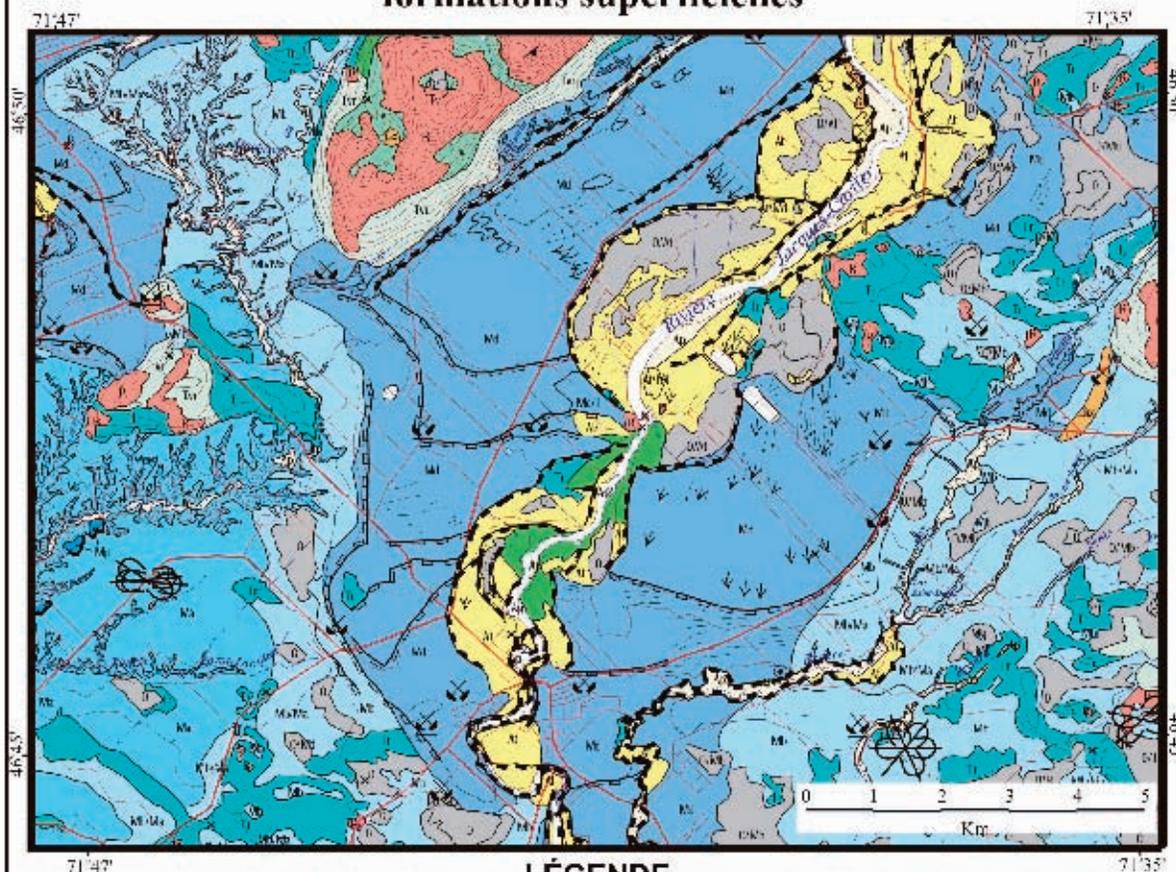
3.1.2 Cartographie des formations superficielles

Les formations superficielles recouvrent le socle rocheux de façon discontinue. Elles sont plus ou moins épaisses localement et présentent des caractéristiques hydrogéologiques variables non seulement d'une unité à l'autre, mais aussi d'un faciès sédimentaire à l'autre à l'intérieur d'une même unité. Afin d'expliquer adéquatement la présence, la quantité, la qualité et la circulation des eaux souterraines à l'intérieur de ces unités, il est essentiel de comprendre l'architecture des dépôts en surface (ce chapitre) et en profondeur (chapitre 4).

Les cartes des formations superficielles sont essentielles à la cartographie hydrogéologique des aquifères granulaires. On y trouve des informations sur le type de matériaux en surface (premier mètre supérieur), leur distribution et leur géomorphologie ainsi que des informations concernant l'histoire quaternaire de la région. La légende, bien que généralement bâtie en fonction de la succession des environnements de sédimentation dans une région, donne souvent des informations sur la genèse, la granulométrie et l'épaisseur des formations superficielles. Ces informations, même si elles sont d'ordre général, sont primordiales pour évaluer les zones à potentiel aquifère. Bien que les besoins de cartographie doivent être évalués en fonction des délais et du budget alloué, il est suggéré de cartographier en détail les dépôts meubles en utilisant une légende unifiée comme celle proposée à l'encadré 3.2 en portant une attention particulière aux séquences d'intérêt hydrogéologique.

Encadré 3.2

Géologie des formations superficielles



QUATERNAIRE

HOLOCÈNE

ENVIRONNEMENTS CONTINENTAUX

- SÉDIMENTS DE VERSANT**
- Mg** Sédiments remaniés par des glissements de terrain
- SÉDIMENTS ORGANIQUES**
- O** Dépôts organiques
- SÉDIMENTS ALLUVIAUX**
- Ap** Alluvions actuelles
 - At** Alluvions des terrasses fluviales

WISCONSINIEN SUPÉRIEUR

ENVIRONNEMENTS MARINS ET ESTUARIENS

- SÉDIMENTS MARINS**
- Md** Sédiments deltaïques
 - Mb** Sédiments littoraux, prôlittoraux et d'oxondation
 - Ma** Sédiments fins d'eau profonde

ENVIRONNEMENTS GLACIAIRE ET PROGLACIAIRE

- SÉDIMENTS FLUVIOGLACIAIRES**
- Gx** Sédiments juxtaglaciaux

LÉGENDE

SÉDIMENTS GLACIAIRES

- Tt** Till remanié (till remanié mince)
- T** Till en couverture généralement continue
- Tv** Till mince en couverture discontinue

PRÉQUATERNAIRE

SUBSTRATUM ROCHEUX

- R+** Roches sédimentaires paléozoïques
- R** Roches ignées et métamorphiques précambriennes

SYMBOLES

- Limite géologique interprétée
- Gravière et sablière (active, abandonnée)
- Zone de remblai
- Cicatrice de glissement de terrain
- Dunes stabilisées
- Paléochenal
- Rebord de ravinement
- Rebord de terrasse fluviale
- Rebord de terrasse marine ou lacustre
- Levées ou barres alluviales
- Cordon littoral
- Stries glaciaires (direction connue, inconnue)
- Escarpeement rocheux
- Affleurement rocheux

Exemple de carte géologique des formations superficielles, région de Pont-Rouge, (Cloutier *et al.*, 1997; Parent *et al.*, 1998). La légende simplifiée doit être détaillée (annexe E) afin de tenir compte des particularités régionales du territoire à l'étude.

La production d'une carte des formations superficielles s'appuie sur des levés de terrain ainsi que sur l'interprétation des photos aériennes. Elle peut être subdivisée en quatre étapes (tableau 3.1) :

1. **Évaluation des besoins** : délimitation de la région à couvrir, évaluation des cartes existantes, détermination de l'échelle de travail, acquisition des cartes topographiques et des photographies aériennes nécessaires à la réalisation du projet (section 3.1.2.1).
2. **Cartographie préliminaire** : élaboration d'une légende pour le secteur et interprétation préliminaire des photographies aériennes (section 3.1.2.2). Cette photo-interprétation préliminaire est effectuée par un photo-interprète qui devrait faire valider son travail auprès d'un spécialiste en géologie du Quaternaire, de préférence familier avec la région à l'étude.
3. **Travaux de terrain et cartographie finale** : levés de terrain (section 3.1.2.3), photo-interprétation finale (section 3.1.2.2) et validation grâce aux discussions avec le spécialiste.
4. **Édition et production de la carte** : numérisation et mise en carte des informations cartographiques (section 3.1.2.4). La carte est vérifiée et les erreurs cartographiques corrigées. La carte est ensuite évaluée par un expert indépendant du projet, corrigée au besoin, et publiée. La carte des formations superficielles est alors prête à être intégrée dans un système d'information géographique.

Tableau 3.1 Étapes suggérées pour la cartographie des formations superficielles

	Étape	Description	Commentaires et recommandations
Évaluation des besoins	1	Déterminer la région à couvrir	Le secteur devrait être plus grand que la zone d'intérêt pour avoir une vision régionale.
	2	Évaluer les cartes existantes	Voir organigramme (fig. 3.1)
	3	Déterminer l'échelle à utiliser	Cartographie au 1/40 000 pour produit final au 1/50 000
	4	Achat des cartes topographiques, numériques et photos aériennes	Environ 50 photos aériennes (1/40 000) par 1000 km ² (1 feuillet au 1/50 000)
Cartographie préliminaire	5	Établir une légende préliminaire pour la région	Légende suggérée aux tableaux 4-2, 4-3, 4-4, 4-5
	6	Photo-interprétation préliminaire	Établir le contexte régional et les difficultés potentielles
	7	Validation des clés d'interprétation et des secteurs à problèmes	Un expert-conseil, de préférence familier avec le secteur, permettra une supervision et une validation efficace des travaux à effectuer.
Travaux de terrain et cartographie finale	8	Levés de terrain	4-6 semaines pour : (a) valider la préphoto; (b) recueillir les informations ponctuelles; (c) lever les coupes; (d) prendre des notes manuscrites et photographiques
	9	Photo-interprétation finale	Les pourtours des unités doivent être fermés et porter une seule appellation. La concordance des joints d'une photo à l'autre et d'une ligne à l'autre doit être assurée.
	10	Validation de la cartographie	Des discussions avec l'expert-conseil sont essentielles.

Tableau 3.1 Étapes suggérées pour la cartographie des formations superficielles (suite)

	Étape	Description	Commentaires et recommandations
Édition et production de la carte	11	Numérisation, vectorisation et mise en carte	Chaque unité et chaque type de forme de terrain doivent être sur une couche indépendante.
	12	Vérification et correction	La carte est examinée, les polygones non identifiés sont corrigés, etc.
	13	Évaluation de la carte, fond et forme	Il serait souhaitable qu'un expert indépendant du projet soit l'évaluateur critique.
	14	Corrections en respectant l'opinion du critique et l'esprit d'interprétation de l'auteur.	Une discussion entre le photo-interprète et l'expert-conseil devrait permettre de régler les différents, s'il y en a.
	15	Soumission pour publication	La carte devrait être publiée, soit par le biais des organismes fédéral ou provinciaux, ou autres.

3.1.2.1 Travaux préparatoires

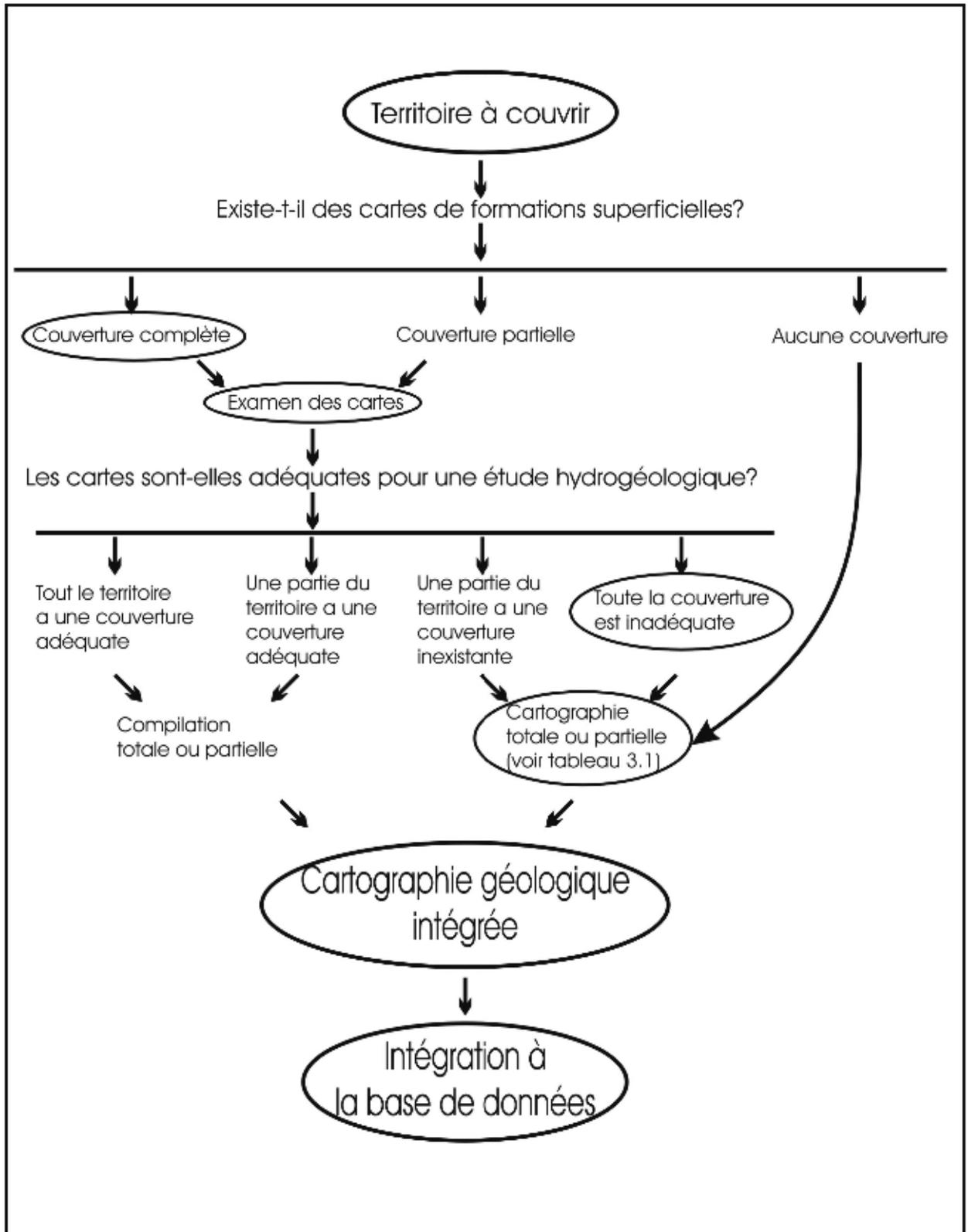
Une fois que le territoire d'étude est bien délimité, on doit procéder à l'acquisition et à l'évaluation des cartes de formations superficielles disponibles. Comme pour le socle rocheux, ces unités ont déjà été cartographiées au moins une fois dans la plupart des régions du Québec (annexe A). À certains endroits, plusieurs cartes sont disponibles; elles ont été réalisées soit dans des buts différents (inventaire des granulats; inventaire forestier; géologie du Quaternaire, etc.), soit à des époques différentes, suivant l'évolution des besoins. Le mandataire doit consulter la compilation sur l'état des travaux en cartographie des dépôts meubles (Maurice, 1988; Fulton et al., 1995) afin d'établir l'état de la couverture cartographique de son territoire.

L'organigramme de la figure 3.1 permet d'évaluer les besoins en cartographie des dépôts meubles. L'évaluation critique des cartes existantes doit être faite par un spécialiste en géologie du Quaternaire qui pourra déterminer si la couverture cartographique est adéquate, tant en ce qui touche le territoire à couvrir que le contenu et la qualité des cartes, selon un jugement empirique. Les cartes les plus récentes dont la légende est détaillée et qui offrent un niveau de détail géomorphologique important peuvent être utilisées directement. Toutefois, si le territoire n'est pas entièrement couvert ou si les cartes existantes ne sont pas récentes, on devrait procéder à une nouvelle cartographie pour les raisons suivantes :

- il est souvent peu productif d'harmoniser des cartographies disparates pour en venir à un résultat moyennement satisfaisant;
- les cartes plus anciennes manquent souvent de détails, et la morphologie n'est pas toujours disponible;
- les connaissances en géologie du Quaternaire, comme pour toute autre discipline, ont beaucoup évolué au cours des 20 dernières années, de sorte que les cartes de formations superficielles pourraient être soit erronées, soit obsolètes, soit incomplètes.

Par contre, même des cartes obsolètes peuvent fournir des données intéressantes et servir de point de départ pour accélérer le processus d'une nouvelle cartographie. La nouvelle cartographie bénéficiera également de l'interaction entre les géologues et les hydrogéologues.

Figure 3.1 Organigramme des besoins en cartographie des formations superficielles





En plus des cartes des formations superficielles, il existe aussi des articles scientifiques et des ouvrages de référence sur le Quaternaire canadien (Fulton, 1989) ou plus spécifiquement sur le Quaternaire de régions spécifiques (annexe A). Ces travaux doivent être consultés car ils permettent d’orienter la cartographie et de mettre en contexte l’interprétation de la mise en place des unités de dépôts meubles. Une liste des ouvrages de référence est présentée à la fin de ce chapitre et permettra de connaître rapidement les travaux dont on peut avoir besoin au cours du projet.

3.1.2.2 Cartographie préliminaire

L’interprétation des photographies aériennes constitue la méthode de base pour la cartographie des formations superficielles. Elle intervient à deux moments spécifiques, soit au moment de la préparation des levés de terrain et pour la cartographie finale des unités géologiques.

La photo-interprétation permet dans un premier temps de connaître les affleurements rocheux et les zones de faible épaisseur de dépôts meubles, d’établir les grands ensembles quaternaires et les régions types qui serviront à élaborer les clés d’interprétation ainsi que les régions qui permettront d’établir l’histoire quaternaire du territoire. Bien que tout le Québec ait été englacé, chaque région a ses particularités : directions multiples d’écoulement glaciaire, invasion marine ou lacustre post-glaciaire, terrain plat ou vallonné ayant favorisé le développement de certaines formes du relief ou d’autres, halte majeure ou mineure dans le retrait glaciaire, etc. Lors de cette étape de photo-interprétation préliminaire, on déterminera les régions qui demanderont une attention particulière sur le terrain, soit à cause de la complexité des dépôts, soit à cause de l’importance présumée au point de vue hydrogéologique. On localisera également les coupes visibles sur les photographies aériennes, qui devront être visitées et décrites. Des cibles d’échantillonnage peuvent être prévues à ce stade en fonction des dépôts présents et de leur étendue. Avant de commencer les levés de terrain, le contexte géologique doit être discuté avec le spécialiste en géologie du Quaternaire. Ceci permettra de valider les interprétations déjà réalisées ou d’en proposer d’autres tout en signalant des problèmes potentiels qui devront être résolus sur le terrain.

3.1.2.3 Levés de terrain et cartographie finale

Les levés de terrain servent essentiellement à connaître la nature des dépôts meubles, à valider la photo-interprétation, à prélever des échantillons représentatifs et à recueillir toutes les données pertinentes (stries glaciaires, paléocourants, photos, etc.) à la compréhension de l’histoire quaternaire d’un territoire donné.

Lors des levés de terrain, tous les chemins carrossables sont empruntés et le matériau de surface est identifié systématiquement soit aux coupes naturelles ou anthropiques, soit à l’aide d’une tarière manuelle ou d’une pelle. Les secteurs problématiques préalablement précisés doivent être visités méthodiquement, même s’ils sont peu accessibles, afin de concevoir une clé d’interprétation cohérente pour toute la région à couvrir.

Les coupes naturelles, souvent en bordure de rivières, sont d’une grande importance car elles permettent de visualiser les agencements verticaux des unités quaternaires tout comme les échantillons de forages lorsque les carottes obtenues sont non remaniées. Ces coupes serviront de soutien à l’interprétation des forages avoisinants; des données géophysiques doivent donc être soigneusement levées et documentées, car elles sont éphémères. Quant aux coupes anthropiques, elles sont de deux types. Il s’agit principalement de fronts de taille dans les sablières et gravières en exploitation ou abandonnées ou de petites coupes dans les fossés le long des routes. Ces coupes montrent souvent une seule unité cartographique, mais elles permettent d’évaluer l’épaisseur et surtout l’homogénéité des formations superficielles. En raison de la nature même d’une sablière ou d’une gravière en exploitation, ces fronts de taille sont éphémères.

Certains échantillons prélevés doivent faire l’objet d’une analyse granulométrique. Ce paramètre est essentiel pour dériver certaines propriétés hydrauliques des formations. Une analyse géochimique de la partie fine des sédiments (till, argile) est souhaitable afin de déterminer les liens entre la



chimie des eaux souterraines et le réservoir qui les contient. D'autres analyses peuvent être effectuées à des fins de recherche en géologie du Quaternaire. Il peut s'agir de datations au ^{14}C , d'études de macro ou de microrestes, d'études palynologiques, etc. Ces analyses permettront de formaliser l'identification des formations superficielles et de soutenir les interprétations de l'histoire quaternaire de la région.

Après les levés de terrain, les photographies aériennes sont interprétées avec toute l'information disponible, soit les données de terrain, de forages, des cartes antérieures et les résultats d'analyse (datations, granulométries, etc.). Le photo-interprète doit porter une attention particulière non seulement aux matériaux présents en surface, mais également aux formes du relief (la géomorphologie). Ces dernières sont essentielles à la compréhension de la mise en place des matériaux et conséquemment de l'agencement spatial des unités. En effet, puisque la circulation de l'eau souterraine dans les aquifères granulaires est directement liée à l'architecture des dépôts meubles, tous les efforts doivent être faits pour comprendre cette architecture. De nouvelles discussions avec le spécialiste permettront de terminer la carte.

3.1.2.4 Production de la carte

La production finale de la carte consiste à transférer numériquement l'interprétation des photographies aériennes à l'aide d'un logiciel de photogrammétrie. Chaque photographie est balayée, géoréférencée et l'information vectorisée sur des couches d'information qui s'ajoutent aux couches initiales de la carte topographique numérique, de la géologie du socle rocheux et, éventuellement, des cartes de formations superficielles existantes.

Une fois l'information transférée, chaque élément vectoriel (point, ligne, polygone) est vérifié pour assurer l'intégrité topologique de l'information. Les éléments qui ne répondent pas aux critères sont vérifiés sur les photographies originales et corrigés. Les données qui ne proviennent pas de l'interprétation des photographies aériennes (stries glaciaires, sites fossilifères, dates, coupes d'intérêt quaternaire, etc.) sont ajoutées sur leurs couches respectives. Un logiciel de géomatique (cartographie numérique) est utilisé pour terminer la carte en y incorporant la légende et toute autre information pertinente (auteurage, coupure SNRC, déclinaison magnétique, etc.). L'encadré 3.2 montre le résultat de la cartographie pour le secteur de Pont-Rouge.

3.2 Transfert au format numérique

Toutes les cartes géologiques disponibles, si elles ne sont pas déjà en format numérique, doivent être numérisées à l'aide d'un logiciel de numérisation (voir section 8.3). Elles deviennent alors des couches d'information intégrées à la base de données du projet de cartographie hydrogéologique. Suivant l'échelle à laquelle on veut représenter l'information, certaines données pourront, ou non, être affichées.

La carte géologique des formations superficielles sur laquelle apparaissent également les affleurements rocheux sert de trame de fond à l'interprétation hydrogéologique. Elle représente une couche de référence parmi d'autres que l'on peut afficher dans un logiciel SIG.

3.3 Références

- Fulton, R. J. (Ed.) (1989). *Le Quaternaire du Canada et du Groenland*. Commission géologique du Canada Géologie du Canada, vol. 1, 907 p.
- Fulton, R. J. (compilateur) (1995). Matériaux superficiels du Canada. Commission géologique du Canada, carte 1880A, échelle 1/5 000 000.
- Fulton R. J., Maurice L. et Bertrand K. F. (1995). *Bibliography for surficial mapping in Canada*. Commission géologique du Canada, dossier public 3046; 81 pages et une disquette.
- Maurice, L. (compilatrice) (1988). *État des travaux cartographiques dans le domaine de la géologie du Quaternaire au Canada et bibliographie*. Commission géologique du Canada, carte 1704A, échelle 1/5 000 000.

CARACTÉRISATION GÉOLOGIQUE DES FORMATIONS SUPERFICIELLES ENFOUIES

M. Parent, F. Girard, N. Fagnan, Y. Michaud, É. Boisvert et R. Fortier

La caractérisation géologique des formations superficielles enfouies est une des étapes clés en hydrogéologie régionale. D'une part, elle prend appui sur la cartographie géologique décrite dans le chapitre précédent et la complète de façon à créer un ensemble cohérent de connaissances géologiques; d'autre part, elle est essentielle aux autres travaux de caractérisation hydrogéologique. La démarche proposée ici permet de passer d'observations géologiques ponctuelles (coupes, excavations, forages) à la réalisation de diverses cartes thématiques et de modèles hydrostratigraphiques bi et tridimensionnels.

4.1 Codification des unités stratigraphiques

La première étape de cette caractérisation est la codification des formations superficielles enfouies, puisque cela facilite leur intégration à une base de données cohérente tout en permettant la prise de notes plus uniformes lors des travaux de terrain. L'intégration de ces données dans une base de données d'envergure régionale est considérablement gênée par la diversité des systèmes de classification et de codification. En fait, il y a presque autant de systèmes que de groupes d'intervenants (géoscientifiques, firmes de génie-conseil, compagnies de forage, etc.), car les besoins des uns diffèrent de ceux des autres. La cartographie hydrogéologique exige la compilation et l'intégration de données multisources en combinaison avec les formations superficielles, ce qui amène à mettre au point un schéma de codification simple permettant (1) de répondre aux besoins de l'hydrogéologie régionale et (2) de faire le pont entre les besoins des géoscientifiques et les impératifs opérationnels des autres intervenants.

Des quelques systèmes de codification et de description des unités stratigraphiques quaternaires présentés dans ce guide (tableau 4.1), deux sont des systèmes déjà largement répandus dans leur groupe respectif d'utilisateurs: (1) **le code des matériaux** préconisé par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs pour l'intégration de données de forage dans son Système d'information hydrogéologique (SIH) et (2) **le code des lithofaciès** conseillé par les géoscientifiques pour la description objective de sédiments détritiques (terrigenes). L'application de l'un ou l'autre de ces codes est dictée autant par la nature et la qualité de l'information disponible que par les buts poursuivis.

Tableau 4.1 Différents codes de sédiments meubles

ACTIVITÉS	CODE UTILISÉ
Forages destructifs	Code des matériaux
Coupes, carottage, forages non destructifs	Code des lithofaciès
<i>Compilation hydrogéologique</i>	<i>Code abrégé CGQ</i>
Cartographie hydrogéologique	Code hydrostratigraphique

4.1.1 Code des matériaux

Le code des matériaux (tableau 4.2) est utilisé principalement dans le cadre de forages destructifs, lesquels remanient complètement les matériaux forés et ne permettent que la récupération des déblais de forage. Les structures sédimentaires étant complètement oblitérées, ce code est essentiellement basé sur une estimation visuelle de la granulométrie des matériaux. Les forages de type destructif sont de loin les plus fréquents, notamment dans le cas des puisatiers. Afin de favoriser la continuité des habitudes déjà prises par ces intervenants et aussi dans le but de continuer à obtenir une information aussi complète que possible, nous privilégions le recours à une version légèrement écourtée des codes descriptifs présentement utilisés par les puisatiers et le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs.

4.1.2 Code des lithofaciès

Le code des lithofaciès (tableau 4.3) proposé est une version adaptée de ceux de Miall (1978) et de Eyles et al. (1983) de façon à couvrir l'ensemble des sédiments meubles d'une région et à permettre d'enregistrer certaines classes granulométriques particulièrement pertinentes en hydrogéologie régionale, par exemple distinguer les sables moyens et grossiers des autres faciès sableux.

**Tableau 4.2 Code des matériaux
(modifié du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs)**

MATÉRIAUX	ABRÉVIATION	CODE MENV	ÉQUIVALENCE CODE CGQ
Sédiment organique, terre noire, tourbe	ORG	3030	O
Remblai	REMB	3040	X
Eau	EAU	3050	
Till/Diamicton	TILL/DIAMICT	3060	D
Argile	ARGL	3100	F1
Argile silteuse	ARGL/SILT	3122	F1
Argile sableuse	ARGL/SABL	3123	F1-S1
Argile graveleuse	ARGL/GRAV	3124	D
Argile à blocs	ARGL/BLOC	3125	D1
Silt	SILT	3200	F1
Silt argileux	SILT/ARGL	3221	F1
Silt sableux	SILT/SABL	3223	F2
Silt graveleux	SILT/GRAV	3224	D
Silt à blocs	SILT/BLOC	3225	D1
Sable	SABL	3300	S
Sable fin	SABL/FIN	3301	S1
Sable moyen	SABL/MOYE	3302	S2
Sable grossier	SABL/GROS	3303	S3
Sable argileux	SABL/ARGL	3321	S1-F1
Sable silteux	SABL/SILT	3322	S1-F1
Sable graveleux	SABL/GRAV	3324	S2(3)-G1(2) / D
Sable à blocs	SABL/BLOC	3325	D3
Gravier	GRAV	3400	G
Gravier fin	GRAV/FIN	3401	G1
Gravier moyen	GRAV/MOYE	3402	G2
Gravier grossier	GRAV/GROS	3403	G3
Gravier argileux	GRAV/ARGL	3421	D
Gravier silteux	GRAV/SILT	3422	D
Gravier sableux	GRAV/SABL	3423	G1(2)-S2(3) / D3
Gravier à blocs	GRAV/BLOC	3425	D3

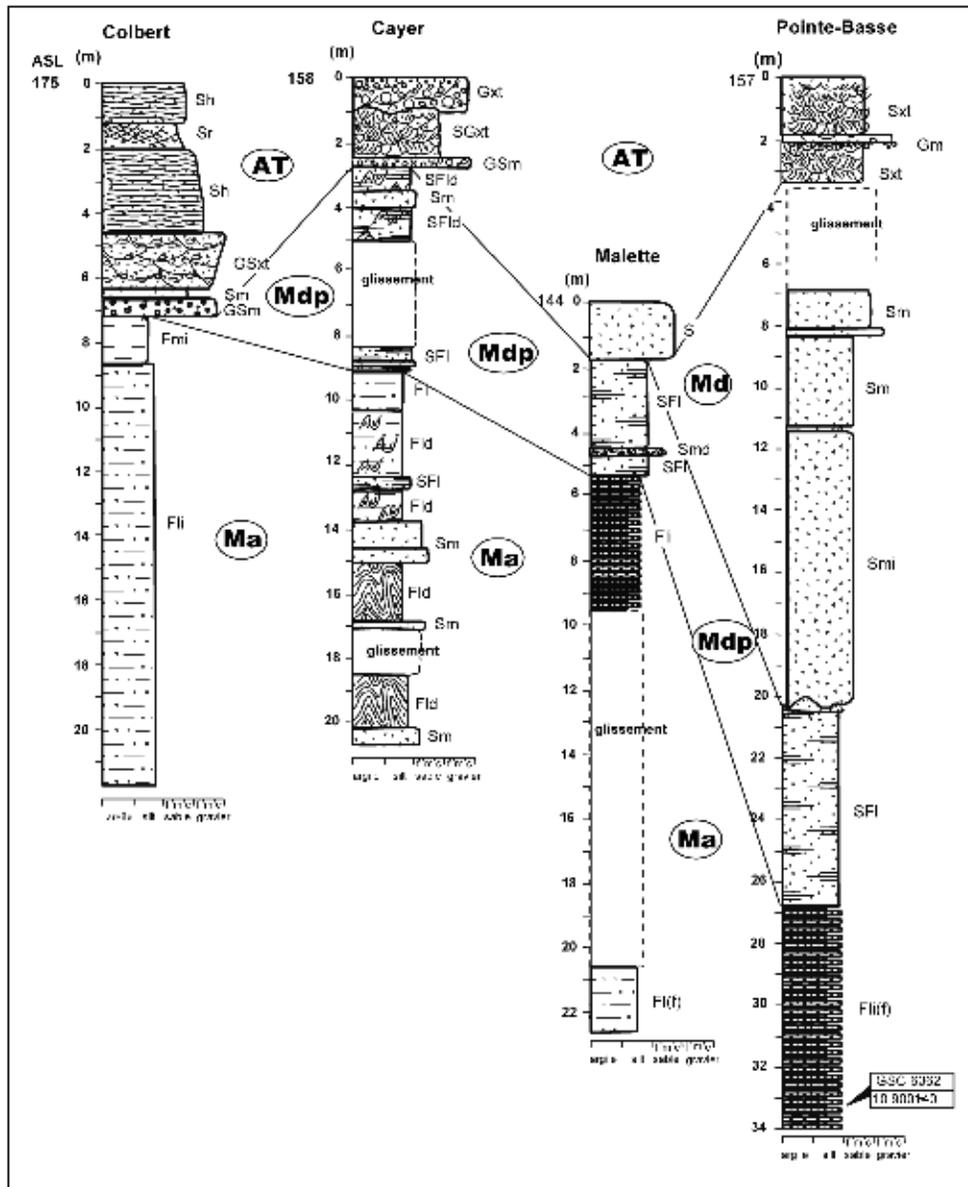
Beaucoup plus élaboré que le code des matériaux, le code des lithofaciès intègre (1) une estimation granulométrique sommaire, (2) la détermination des structures sédimentaires primaires et (3) des informations complémentaires très utiles (c.-à-d. remaniements, présence de fossiles). Ces éléments sont en effet des préalables à l'interprétation des environnements sédimentaires, laquelle est à son tour préalable à la compréhension de l'architecture tridimensionnelle des unités quaternaires de surface et enfouies. Quelques exemples d'application sont fournis à la figure 4.1.

Tableau 4.3 Code des lithofaciès (modifié de Miall, 1978 et Eyles et al., 1983)

	CODE DES FACIÈS	LITHOFACIÈS	REMARQUES / INTERPRÉTATIONS
GRAVIERES (G)	Gc	Gravier à clastes jointifs	Litage frustré ou absent, Écoulement violent (esker)
	Gm	Gravier massif à matrice dominante	Coulée de débris, coulée granulaire
	Gxt	Gravier à stratification oblique en auge	Chenaux mineurs remblayés
	Gxp	Gravier à stratification oblique plane	Barres linguoïdes ou barres deltaïques
	Gh	Gravier à stratification horizontale	
	GS (m,xt,xp,h) G (f), GS (f)	Gravier sableux... Gravier (sableux)... fossilifère	
SABLES (S)	Sxt	Sable moyen à grossier à stratification oblique en auge	Barres linguoïdes et transversales, Dunes (régime d'écoulement inférieur)
	Sxp	Sable moyen à grossier à stratification oblique plane	vagues de sable (régime d'écoulement inférieur)
	Sh	Sable moyen à grossier à stratification horizontale	Lits plans (régime d'écoulement inférieur et supérieur)
	Sr	Sable fin à très fin à rides de courant	Rides (régime d'écoulement inférieur)
	Sl	Sable fin à très fin à lamination horizontale	Chenaux remblayés, épandage, antidunes
	Sm	Sable massif	
	Sg	Sable à lits granoclassés	
	Sj	Sable à chenaux creusés (scour)	Chenaux remblayés
	S_d	Sable... avec déformations synsédimentaires	
	S_k	Sable... avec intraclastes	
	S (f)	Sable... fossilifère	
	S (e)	Sable... éolien	Dépôts éoliens
	SxFl, SrFl	Sable avec litage en flaser	
PARTICULES FINES – silt et argiles (F)	FISr, FISx	Boue avec litage lenticulaire	
	Fl, Fli	Boue laminée (avec interlits de sable très fin)	
	Fg	Boue à lits granoclassés	
	Fm	Boue massive	
	FS_	Boue sableuse...	
	F_n	Boue... à cailloux délestés	
	F (f), FS (f)	Boue (sableuse)... fossilifère	
DIAMICTONS (D)	Dm	Diamicton à matrice dominante	
	Dc	Diamicton à clastes jointifs	
	D_m	Diamicton... massif	Coulée de débris
	D_s	Diamicton... stratifié	Till de fusion supraglaciaire
	D_g	Diamicton... granoclassé	Turbidites
	D_(r)	Diamicton... resédimenté	Till flué, coulée de débris
	D_(w)	Diamicton... remanié par un courant	Till de fusion supraglaciaire
	D_(z) D_(f)	Diamicton... cisailé Diamicton... fossilifère	Till de fond
SÉDIMENTS ORGANIQUEES (O)	O	Sédiments organiques (bien décomposés)	
	Ot	Tourbe	
	Og	Gyttja	
	O (FS)	Sédiments organo-minéraux	Boues intertidales
CONTACTS			
Érosif	Franc	Avec figures de charge	Interdigité

L'utilisation de ce code ne peut se faire évidemment que par du personnel ayant une solide formation de base en sciences de la terre, notamment en sédimentologie et en géologie du Quaternaire. Cette codification des lithofaciès ne peut d'ailleurs s'effectuer que dans les situations propices à ce travail, c'est-à-dire lors de levés de coupes stratigraphiques (cf. section 4.3.1), lors de forages non destructifs ou lors de l'échantillonnage avec carottiers (cf. section 4.3.2).

Figure 4.1 Colonnes stratigraphiques du delta de la rivière Sainte-Anne, Portneuf (Code des lithofaciès, voir tableau 4.3)



4.1.3 Code abrégé du Centre géoscientifique de Québec

Le code abrégé des formations superficielles (tableau 4.4) comporte huit grandes classes (Blocs, Gravier, Diamicton, Sable, Fines, Organique, Remblai, Roc) lesquelles peuvent être subdivisées en sous-classes (1, 2, 3) selon le calibre du matériel. Ainsi, toutes les formations superficielles peuvent être codifiées à l'aide de 13 sous-classes et même d'une quatorzième si l'on ajoute le roc. Il est à noter que la première lettre du code abrégé est la même que celle du code des lithofaciès, ce qui

permet l'intégration presque instantanée des données de ce type; quant aux données acquises à l'aide du code des matériaux, elles peuvent être traduites assez rapidement en code abrégé. Dans les cas de sédiments stratifiés en alternance ou interstratifiés, la meilleure solution est de combiner les codes de façon à placer le matériel prédominant en premier lieu.

4.1.4 Code hydrostratigraphique

Le code hydrostratigraphique est utilisé lors de travaux de cartographie hydrogéologique afin de définir des unités hydrostratigraphiques (Maxey, 1964, Seaber, 1988) ou des faciès hydrogéologiques (Anderson, 1989). Ces unités représentent essentiellement une unité ou un regroupement de plusieurs unités stratigraphiques ayant des propriétés hydrauliques similaires. Ces dernières constituent donc des unités qualifiées d'aquifère ou d'aquitard.

Cette classification peut évidemment être guidée par la codification des matériaux faite préalablement en tenant compte de la granulométrie des sédiments (tableau 4.4). De façon plus générale, la codification hydrostratigraphique peut aussi être mise en parallèle avec une codification génétique (légende) de cartographie des formations superficielles; le tableau 4.5 présente les codes abrégés caractéristiques des principales formations superficielles. En fonction des connexions et discontinuités hydrauliques entre les diverses formations superficielles et de l'arrangement géométrique des ensembles stratigraphiques, le nombre et la complexité des unités hydrostratigraphiques à définir et à caractériser varient selon les divers contextes hydrogéologiques.

Tableau 4.4 Code abrégé du Centre géoscientifique de Québec

MATÉRIAUX	DESCRIPTEUR 1	DESCRIPTEUR 2	CODIFICATION	EXEMPLES DE COMBINAISONS
Blocs	B	—	<i>B</i>	
Gravier grossier	G	3 (Grossier)	<i>G3</i>	<i>G3-S2</i>
Gravier moyen		2 (Moyen)	<i>G2</i>	<i>G2-S3</i>
Gravier fin		1 (Fin)	<i>G1</i>	
Diamicton grossier / lâche	D	3 (Grossier)	<i>D3</i>	
Diamicton fin / compact		1 (Fin)	<i>D1</i>	
Sable grossier	S	3 (Grossier)	<i>S3</i>	<i>S3-S2</i>
Sable moyen		2 (Moyen)	<i>S2</i>	<i>S2-F1</i>
Sable fin		1 (Fin)	<i>S1</i>	
Silt sableux	F	2	<i>F2</i>	
Particules fines (silt et argile)		1	<i>F1</i>	<i>F1-S1</i>
Organique	O	—	<i>O</i>	
Remblai	X	—	<i>X</i>	
Roc	R	—	<i>R</i>	
Inconnu / indéterminé	IN	—	<i>IN</i>	

4.2 Gestion des données de forage

La compilation et la gestion des données de forage constituent une étape cruciale pour la caractérisation géologique des formations enfouies d'une région donnée. Ces informations sont relativement abondantes au Québec méridional bien que leur répartition géographique soit très inégale. On les trouve principalement au droit des agglomérations urbaines et des complexes industriels ainsi que le long des routes et des lignes de transport d'énergie. De nombreux forages sont réalisés chaque année au Québec dans le cadre des activités de plusieurs ministères, du monde municipal, du secteur privé et des particuliers. Ces données qui proviennent d'observations de sources diverses sont très utiles malgré le fait qu'elles offrent un fort degré d'hétérogénéité en ce qui touche la fiabilité et la profondeur d'investigation.

Tableau 4.5 Principales formations superficielles et caractéristiques hydrostratigraphiques de base

TYPES DE SÉDIMENTS (CLASSIFICATION GÉNÉTIQUE)	CODE ABRÉGÉ CGO	UNITÉ HYDROSTRATIGRAPHIQUE
Sédiments organiques Ot	O	Aquifère
Sédiments alluviaux Ap At	G_, S_ // F2 G_, S_	Aquifère // Aquitard Aquifère
Sédiments marins (ou lacustres) Md (Ld) Mb (Lb) Ma (Mg) Mi	S2, S3, SG S2, S3, SG F1, F2 F2	Aquifère Aquifère Aquitard Aquitard
Sédiments fluvioglaciaires Go Gs Gx	G_, SG, S_ S_, SG G_, SG	Aquifère Aquifère Aquifère
Sédiments glaciaires GxT T	G_, D3 // D1 D1 // D3	Aquifère // Aquitard Aquitard // Aquifère

4.2.1 Provenance des données

Plus de 100 000 forages sont présentement emmagasinés dans le Système d'informations hydrogéologiques (SIH) du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. Ces données proviennent essentiellement des rapports de forage transmis au ministère annuellement par les firmes de puisatiers travaillant au Québec; ces données sont compilées sur support informatique. De plus, une quantité tout aussi ou sinon plus importante de forages est dispersée dans les différents ministères provinciaux (Environnement, Ressources naturelles, Transports, etc.), les municipalités, les firmes de consultants, les compagnies de transport d'énergie et les grandes entreprises industrielles. Souvent ces données ont été acquises à grands frais et n'ont servi qu'une seule fois pour la construction d'une infrastructure ou la réalisation d'une étude.

Afin d'en optimiser l'utilisation et de rentabiliser les investissements déjà effectués, il serait souhaitable qu'un plus grand nombre, voire que l'ensemble de ces données de forage soit colligé dans une ou des bases de données plus facilement accessibles aux citoyens et aux organismes publics, notamment les MRC qui sont responsables de la gestion du territoire.

4.2.2 Compilation des données

La compilation de données de forage requiert nécessairement la création d'une base de données relationnelle (cf. section 8.2) qui suit généralement une structure de l'information bien établie. La structure proposée par Boisvert et Michaud (1998) est articulée autour d'une table des discontinuités, chacune d'elles étant indexée par la clé d'identification du forage et une clé d'identification unique (FORAGE et CNTID). Cette structure communément appelée « Structure centrée sur les contacts » permet de gérer efficacement les données de forage dans une base de données relationnelle selon les structures topologiques conventionnelles fréquemment utilisées dans les SIG vectoriels haut de gamme comme ARC/INFO (ESRI) ou CARIS (Universal Systems).

4.2.3 Validation des données

L'étape de la validation des données est très importante lorsqu'on constitue une base de données multisources. Selon le type et la provenance des informations, plusieurs techniques de validation de données relativement simples peuvent être utilisées, dont :

- une vérification de la localisation des puits en fonction des numéros de carte SNRC de la région, du bassin versant, du comté, de la municipalité et du code postal;
- une vérification de la somme des épaisseurs en fonction de la profondeur du puits;
- une transformation des coordonnées UTM en coordonnées longitude – latitude;
- un calcul de la profondeur au roc, de la profondeur de l'argile et de l'épaisseur de l'argile.

Par la suite, la validation du contenu des descriptions de forage constitue un défi beaucoup plus ardu et fastidieux à réaliser. Traditionnellement, les journaux de forage sont constitués d'un ensemble de codes descriptifs représentant la nature des unités stratigraphiques dans les déblais de forage. La nomenclature du code des matériaux comporte cependant plusieurs termes généraux (dépôt, terre, etc.) qui rendent très difficile leur interprétation dans un code de lithofaciès et une interprétation génétique du sédiment.

Une expérience visant à regrouper la nomenclature des termes utilisés dans le code des matériaux et à réinterpréter certaines des descriptions originales a déjà été tentée sans vraiment obtenir les résultats escomptés (Russell et al., 1998). À première vue, la traduction de l'appellation « silt sableux avec un peu d'argile et des cailloux » en « till ou diamicton » peut toujours se faire sans trop de difficulté, mais que faire avec les descriptions du genre « terre végétale », « terre » ou tout simplement « dépôt »?

Ainsi, la seule façon d'aborder le problème et d'espérer tirer le maximum d'information stratigraphique des données de forage est d'effectuer quelques sondages additionnels pour obtenir un excellent contrôle stratigraphique et de réaliser une série de coupes stratigraphiques afin de confronter et de comparer les descriptions de forage les unes avec les autres. Cette technique permet d'obtenir de très bons résultats quant à la puissance et l'architecture des unités stratigraphiques. Elle représente cependant une tâche fastidieuse nécessitant la participation d'un quaternariste d'expérience possédant une très bonne compréhension de l'histoire géologique de la région ainsi que des modèles sédimentologiques.

4.3 Levés de terrain

4.3.1 Levés des coupes stratigraphiques

Le choix d'une des nombreuses méthodes disponibles pour l'obtention de coupes stratigraphiques dans des excavations et des coupes naturelles sera principalement guidé par le contexte, les objectifs poursuivis et la précision souhaitée. Alors que la configuration des formations superficielles enfouies varie généralement de subparallèle à divergente dans les bassins marins et lacustres tardifs et postglaciaires, le relief du socle rocheux et des sédiments glaciaires ou fluvioglaciaires



sous-jacents est souvent très accidenté. Il faut donc en tenir compte lorsque l'on dresse une colonne stratigraphique à partir d'une coupe ou d'une excavation. De plus, puisqu'il s'agit très souvent d'environnements sédimentaires de haute énergie, les variations latérales de faciès sont fréquentes et rapides. À ces complexités de base s'ajoutent les discordances et les emboîtements sédimentaires qu'a engendrés l'encaissement postglaciaire des cours d'eau. Ces observations effectuées en coupe servent à guider autant l'intégration des autres données associées aux unités géologiques enfouies que leur interprétation en vue de réaliser des coupes transversales et des modèles géologiques 3D.

4.3.2 Forage et échantillonnage des matériaux

4.3.2.1 Forage des matériaux

De tous les levés de terrain nécessaires à la caractérisation des matériaux enfouis, les forages représentent probablement les travaux les plus coûteux. Dans le cadre d'un projet hydrogéologique, les forages ont deux buts principaux : 1) définir la séquence stratigraphique des formations meubles et 2) faire l'installation de puits d'observation. Ces derniers serviront à plusieurs reprises au cours d'une même étude hydrogéologique. Ils permettent, entre autres, de mesurer les niveaux d'eau afin d'établir des cartes piézométriques et d'évaluer les fluctuations temporelles et enfin de procéder à des essais de perméabilité in situ ainsi qu'à échantillonner l'eau souterraine dans le cadre d'une caractérisation géochimique. Une connaissance de base des différentes techniques de forage et d'installation de puits est donc nécessaire pour une bonne planification d'une campagne de forage.

La préparation d'une campagne de forage commence par la localisation des cibles de forage. Ces dernières doivent être choisies en tenant compte de la quantité et de la qualité des informations disponibles. Les forages de reconnaissance peuvent aussi être positionnés de façon à répondre à des questions bien précises telles que connaître l'extension de certaines formations aquifères en profondeur ou valider des données géophysiques.

Une fois les cibles de forage déterminées, des facteurs d'ordre plus technique doivent être considérés.

- **La disponibilité des divers types d'équipement de forage** peut varier d'une région à l'autre et d'une entreprise de forage à l'autre. Il suffit donc de s'informer des types d'équipement disponibles auprès des compagnies spécialisées en forage dans la région.
- **L'accessibilité sur le terrain.** Les cibles de forage doivent être accessibles, dans la mesure du possible, par voie carrossable lors de l'utilisation d'appareils de forage montés sur des véhicules lourds.
- **Le type de matériaux géologiques rencontrés.** En consultant une carte de la géologie des formations superficielles, il est possible d'avoir une bonne idée des différents types de sédiments rencontrés lors du forage. La méthode de forage ainsi que l'échantillonneur utilisé doivent être adaptés à ces types de sédiments.
- **La profondeur de forage et de la nappe phréatique.** En consultant les forages disponibles dans le secteur et en évaluant la topographie du roc, une bonne approximation de l'épaisseur totale de sédiments peut généralement être faite. Certains types d'équipement de forage permettent de forer et d'échantillonner les sédiments à de plus grandes profondeurs.
- **L'installation de puits d'observation.** Ces puits d'observation sont généralement installés à la fin des forages. Le type d'équipement de forage doit donc être choisi en conséquence car certains facilitent grandement le travail d'installation.
- **Les coûts et le temps requis pour le forage.** Ils varient selon plusieurs facteurs (profondeur du forage, type d'équipement, type de matériaux rencontrés, etc.).

Les principaux types de forage peuvent être classés en trois catégories, soit les forages à tarières, les forages rotatifs et les forages aux câbles. Le tableau 4.6 décrit de façon sommaire les avantages et les inconvénients de chacune des méthodes.

4.3.2.2 Échantillonnage des matériaux

Lors des travaux de caractérisation géologique et hydrogéologique, l'échantillonnage des matériaux constitue un élément très important et essentiel pour une description et une évaluation adéquates des propriétés physiques des matériaux. Plusieurs types d'échantillonnage peuvent être réalisés, mais le choix doit être guidé par les objectifs de la caractérisation, par la nature des matériaux et par les possibilités de la technique de forage employée (CCME, 1994). L'échantillonnage des matériaux peut se diviser en deux grands groupes : l'échantillonnage fait à partir des déblais de forage et l'échantillonnage au moyen de carottiers. Le tableau 4.6 présente de façon sommaire la représentativité des échantillons en fonction des types de forage utilisés dans les travaux de reconnaissance hydrogéologiques.

Échantillonnage des déblais de forage

Lors de l'enfoncement de la tarière, du trépan ou du tricône, les matériaux géologiques sont broyés et remontés à la surface. L'échantillonnage des déblais de forage consiste donc à prélever ces matériaux qui remontent à la surface. Des informations de base sur la minéralogie, la granulométrie et la stratigraphie des dépôts enfouis peuvent être obtenues à l'aide de ces échantillons (CCME, 1994). Ces matériaux peuvent être ensuite utilisés à des fins d'analyse granulométrique, lithologique, minéralogique ou géochimique.

Échantillonnage par carottage

Dans de nombreux cas, les échantillons de déblais de forage ne permettent pas d'obtenir certains renseignements sur les propriétés physiques des sédiments. Par contre, les carottiers tels que la cuillère fendue et le tube à paroi mince procurent un échantillon continu permettant de mesurer certaines propriétés. Bien que légèrement perturbées par le battage de la masse, les structures sédimentaires primaires restent visibles et permettent le repérage des lithofaciès dans les niveaux carottés.

Tableau 4.6 Les techniques de forage pour les sédiments meubles

TYPE DE FORAGES	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
Tarière	<ul style="list-style-type: none">• Aucun fluide de forage• Forage rapide• Appareil pratique lorsque l'accès du lieu est limité.	<ul style="list-style-type: none">• Difficile de déterminer la profondeur d'origine des déblais remontés à la surface.• Matériaux perturbés par l'action du trépan• Enlèvement complet de la tige pour échantillonnage ou pour l'installation de puits d'observation• Profondeur limitée à environ 40 à 45 mètres• Forage restreint à des matériaux non consolidés
Tarière évidée	<ul style="list-style-type: none">• Aucun fluide de forage• Forage rapide• Appareil pratique lorsque l'accès du lieu est limité.• Installation de puits d'observation et échantillonnage des matériaux sans le relèvement du train de tiges	<ul style="list-style-type: none">• Difficile de déterminer la profondeur d'origine des déblais remontés à la surface.• Matériaux perturbés par l'action de la tarière• Profondeur dépassant rarement 40 à 45 mètres.• Forage restreint à des matériaux non consolidés.

Tableau 4.6 Les techniques de forage pour les sédiments meubles (suite)

TYPE DE FORAGES	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
Rotatif avec boue	<ul style="list-style-type: none"> • Forage rapide • Atteint de grandes profondeurs • Tous les types de matériaux géologiques • Permet l'échantillonnage à l'aide de tubes carottiers. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation d'un fluide de forage (contamination de l'aquifère) • Échantillonnage difficile des déblais de forage • Difficile de déterminer la profondeur d'origine des débris de forage.
Rotatif avec air (sans tubage)	<ul style="list-style-type: none"> • Forage rapide • Échantillonnage des déblais relativement bon • Permet l'identification des changements lithologiques et des différentes zones de venues d'eau. 	<ul style="list-style-type: none"> • Méthode inadéquate pour les matériaux non consolidés • Échantillonnage avec carottier difficile • Installation de puits d'observation difficile (effondrement des parois) • L'air injecté doit être filtré pour éviter toute contamination.
Rotatif avec air (avec tubage)	<ul style="list-style-type: none"> • Forage rapide • Forage adapté aux terrains glaciaires (granulométrie étalée : des silts aux blocs) • Forage à de grandes profondeurs • Installation facile de puits d'observation • Permet l'échantillonnage des déblais de forage ainsi qu'un échantillonnage avec des tubes carottiers. 	<ul style="list-style-type: none"> • L'air injecté doit être filtré pour éviter toute contamination. • Les minces zones de niveaux d'eau sont difficiles à observer.
Forage aux câbles	<ul style="list-style-type: none"> • Forage à de grandes profondeurs • Installation facile de puits d'observation • Échantillonnage avec des tubes carottiers 	<ul style="list-style-type: none"> • Forage très lent • Déblais de forage impropres à l'échantillonnage, car non représentatifs de la séquence stratigraphique • Coûts relativement élevés
Forage Rotosonic	<ul style="list-style-type: none"> • Permet l'échantillonnage de carottes continues. • Forage très rapide • Faibles quantités de déblais de forage 	<ul style="list-style-type: none"> • Forage d'une profondeur de 100 mètres au maximum. • La disponibilité de l'équipement est limitée. • Méthode coûteuse

4.3.3 Levés géophysiques

Les méthodes géophysiques sont fréquemment employées en hydrogéologie comme des outils de reconnaissance des sites pour la détection des aquifères et la caractérisation des formations géologiques souterraines. Contrairement aux échantillons provenant de forages, les levés géophysiques sont des méthodes d'investigation qualifiées de non destructives. Ces méthodes permettent d'obtenir des informations ponctuelles (sondages de résistivité électrique) ou en deux dimensions (géoradar, sismique et polarisation provoquée) sur la profondeur de la nappe phréatique ainsi que sur l'épaisseur, l'extension latérale, la continuité, la géométrie et la structure interne des unités stratigraphiques. Les levés géophysiques produisent, en fait, des images des unités hydrostratigraphiques enfouies qui permettent d'extrapoler plus facilement l'information recueillie à partir d'un nombre limité de trous de forage.

En soi, le résultat direct d'un levé géophysique peut ne pas répondre directement aux questions à l'origine du levé, car les propriétés physiques mesurées doivent être transposées en un paramètre utile et elles doivent être étalonnées avec des valeurs connues ou des descriptions de forage. Avant d'entreprendre une campagne de géophysique et de choisir une méthode en particulier, l'entrepreneur doit répondre aux quatre questions suivantes :

- Quelle est la problématique?
- Quelle est la cible (dimensions, profondeur, type de matériaux, ...)
- Quelle est la nature du milieu géologique?
- Quelles sont les propriétés physiques de la cible qui contrastent avec celles du milieu environnant?

Après avoir obtenu réponse à ces questions, une campagne de levés géophysiques peut être planifiée en faisant appel à une ou plusieurs méthodes géophysiques complémentaires afin d'optimiser le rapport profondeur d'investigation/résolution.

Plusieurs méthodes géophysiques peuvent être utilisées pour la délimitation de contacts lithologiques ou la détection des eaux souterraines. Chacune d'entre elles présente des caractéristiques particulières qui peuvent être regroupées suivant le paramètre physique étudié et l'origine du champ mesuré. Le tableau 4.7 donne un aperçu des principales méthodes géophysiques d'investigation.

Dans le domaine de l'hydrogéologie, et plus particulièrement pour les aquifères granulaires, les principales méthodes utilisées sont les méthodes électromagnétiques (géoradar), les méthodes électriques (résistivité électrique et polarisation provoquée) et, dans une moindre mesure, les méthodes sismiques. Chacune des méthodes offre un potentiel d'utilisation mesurable en fonction de ses capacités et de ses applications.

Tableau 4.7 Principales méthodes géophysiques d'investigation (modifié du BRGM, 1997)

GROUPE DE MÉTHODES	PARAMÈTRE PHYSIQUE ÉTUDIÉ	CHAMP MESURÉ	ORIGINE NATURELLE (N) OU PROVOQUÉE (P)
Gravimétrie	Densité	Champ gravitationnel terrestre	N
Sismique	Vitesse ou impédance acoustique des ondes mécaniques (vitesse*densité)	Temps de trajet et amplitude des signaux transmis	P
Électrique en courant continu	Résistivité	Différence de potentiel	P
Magnétisme	Susceptibilité magnétique	Champ magnétique terrestre	N
Électromagnétisme	Conductivité électrique ou constante diélectrique	Champ magnétique Champ électrique	N ou P

Le tableau 4.8 présente une liste sommaire des caractéristiques des principales méthodes géophysiques utilisées pour les études hydrogéologiques.

Tableau 4.8 Caractéristiques des principales méthodes géophysiques utilisées dans le domaine de l'hydrogéologie et de la géologie du quaternaire

MÉTHODE	MODE DE MESURE	PROFONDEUR D'INVESTIGATION	RÉSOLUTION	APPLICATION
Résistivité électrique	Sondage	<ul style="list-style-type: none"> Dizaines de mètres Contrôlée par l'espacement entre les électrodes 	<ul style="list-style-type: none"> Bonne résolution verticale Pas de détection des lits fins 	<ul style="list-style-type: none"> Tous les types de sédiments Profondeur au roc
Polarisation provoquée	Profilage	<ul style="list-style-type: none"> Dizaines de mètres Contrôlée par la longueur de la ligne 	<ul style="list-style-type: none"> Bonne résolution pour les contacts stratigraphiques Pas de détection des lits fins 	<ul style="list-style-type: none"> Tous les types de sédiments Profondeur au roc
Géoradar	Profilage	<ul style="list-style-type: none"> à 30 m Limité par les fluides, les sols à haute conductivité électrique et les argiles 	<ul style="list-style-type: none"> Excellente résolution De l'ordre de la dizaine de cm 	<ul style="list-style-type: none"> Très efficace dans les matériaux sableux Contacts stratigraphiques Structure interne Nappe phréatique

Tableau 4.8 Caractéristiques des principales méthodes géophysiques utilisées dans le domaine de l'hydrogéologie et de la géologie du quaternaire (suite)

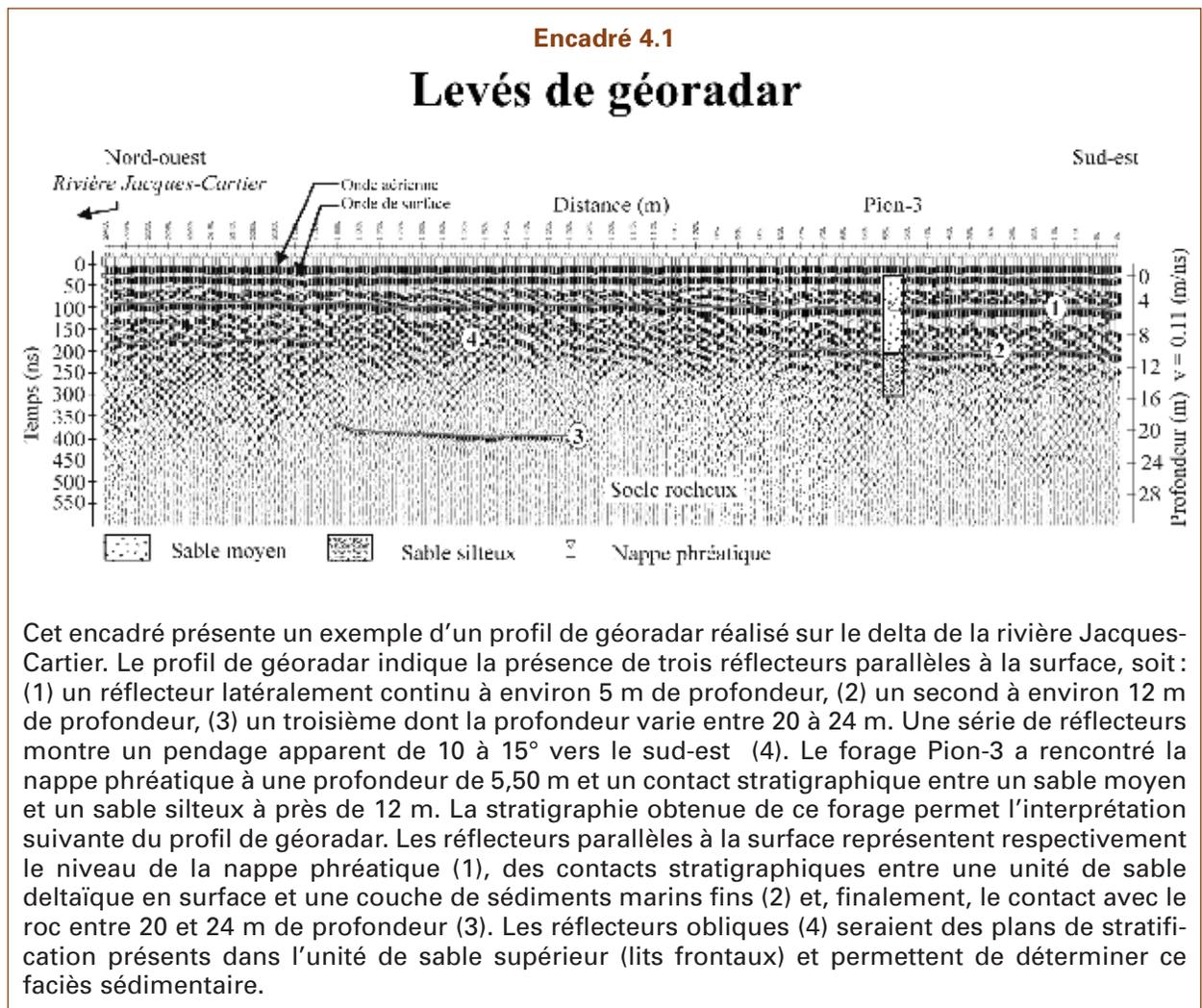
MÉTHODE	MODE DE MESURE	PROFONDEUR D'INVESTIGATION	RÉSOLUTION	APPLICATION
Levés électro-magnétiques (EM-31, 34)	Sondage	<ul style="list-style-type: none"> • 1 à 60 m • Dépend de la conductivité électrique du sol et de la séparation des antennes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bonne résolution horizontale et verticale (~ 1 m) • Dépend de l'espacement des points de mesure 	<ul style="list-style-type: none"> • Tous les types de sédiments • Profondeur au roc • Nappe phréatique • Panache de contaminants
Sismique réflexion à faible profondeur	Profilage	<ul style="list-style-type: none"> • 50 - 60 m • Varie en fonction de la source d'énergie 	<ul style="list-style-type: none"> • De l'ordre du mètre 	<ul style="list-style-type: none"> • Utile dans les sédiments à grains fins • Profondeur au roc • Structure interne
Sismique réfraction	Sondage	<ul style="list-style-type: none"> • Varie en fonction de la source d'énergie et de la longueur de déploiement. • Toujours inférieure à la sismique réflexion pour une source d'énergie donnée 	<ul style="list-style-type: none"> • Bonne résolution • Vitesse de propagation doit augmenter en profondeur. • Ne peut pas détecter les lits minces. 	<ul style="list-style-type: none"> • Profondeur au roc • Contacts lithologiques • Nappe phréatique
Diagraphies de puits	Sondage	<ul style="list-style-type: none"> • Varie en fonction de la profondeur du puits. • De l'ordre du mètre autour du puits 	<ul style="list-style-type: none"> • De l'ordre du centimètre 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesure <i>in situ</i> de la perméabilité et de la porosité • Contacts lithologiques • Nappe phréatique • Panache de contaminants

Le choix d'une méthode géophysique et de la campagne à réaliser sur le terrain doit s'effectuer en fonction de la nature des cibles (éléments à détecter) et des conditions géologiques et environnementales du site d'étude. Compte tenu que, dans le domaine de l'hydrogéologie, on est généralement à la recherche d'éléments planaires subhorizontaux (contacts lithologiques et profondeur de la nappe phréatique), l'utilisation des méthodes de profilage vertical est favorisée, car elles permettent d'évaluer la profondeur des contacts et de documenter la géométrie des unités. Dans les secteurs où l'épaisseur totale de sédiments ne dépasse pas les 30 à 40 mètres, des méthodes géophysiques comme le géoradar (électromagnétisme), la polarisation provoquée (électrique) et la sismique réfraction et réflexion présentent un potentiel intéressant pour l'exploration hydrogéologique et la caractérisation de l'architecture sédimentaire. L'ajout de quelques sondages d'exécution rapides et peu coûteux est à considérer pour les secteurs où la densité des points de contrôle de la profondeur au roc est insuffisante et où la puissance des sédiments est importante. Des exemples de résultats obtenus par ces méthodes dans la région de Portneuf sont présentés dans l'encadré 4.1 pour le géoradar, dans l'encadré 4.2 pour les méthodes électriques et dans l'encadré 4.3 pour la polarisation provoquée.

Dans les secteurs susceptibles de trouver de fortes épaisseurs de sédiments ainsi que des sédiments fins, la sismique réflexion est un outil efficace pour la délimitation des unités stratigraphiques (Pugin et al., 1996).

En règle générale, une campagne de géophysique devrait passer du général au particulier. Cette remarque s'applique en effectuant une large couverture de la zone d'intérêt en utilisant des techniques comme des sondages de résistivité électrique et un profil de géoradar ou en procédant à la réalisation de quelques essais avant de passer à une couverture détaillée de la vraie zone d'intérêt.

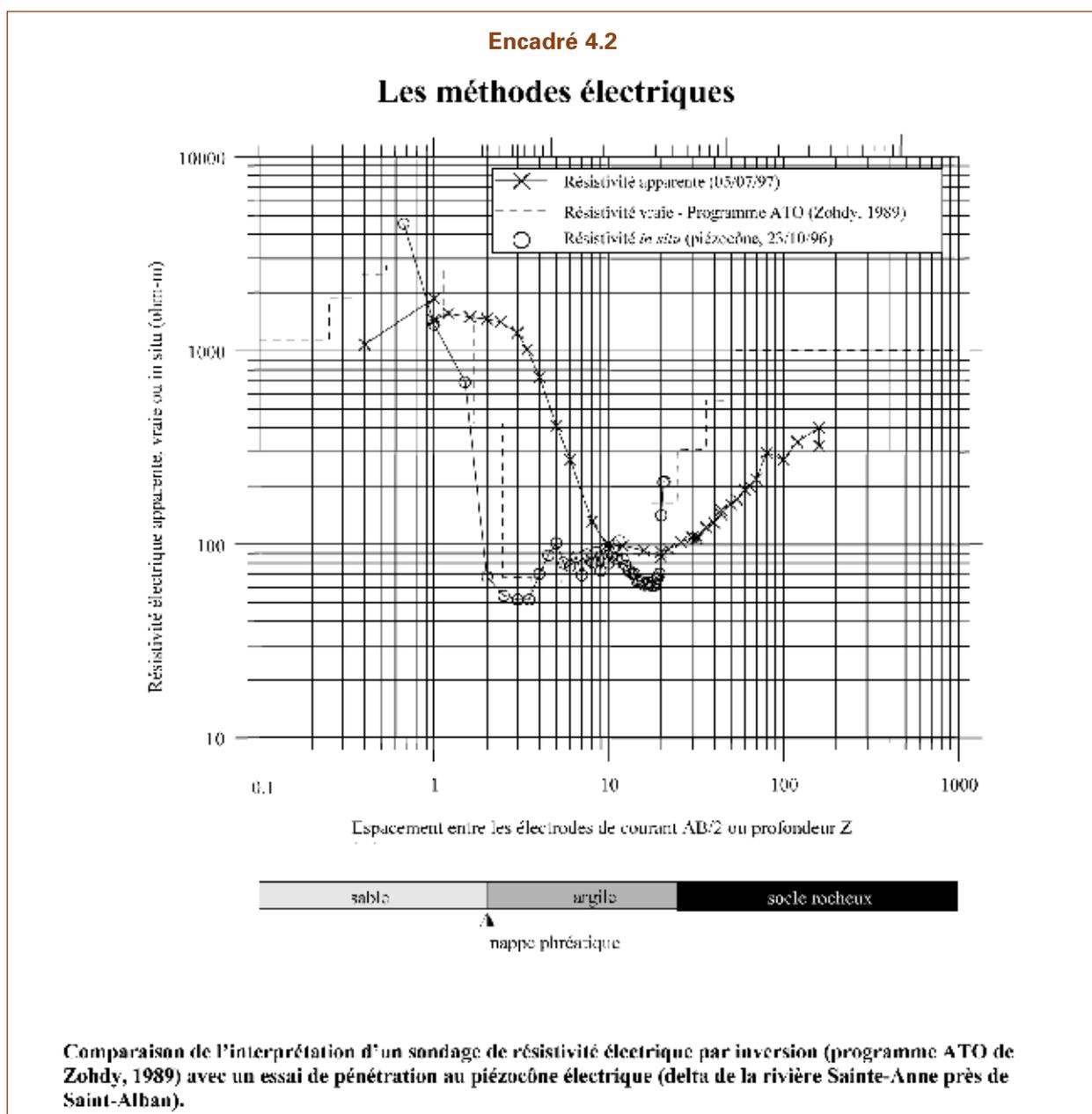
Les méthodes géophysiques qui font appel à la propagation d'ondes électromagnétiques ou à la circulation d'un courant électrique dans le sol permettent d'étudier la variation spatiale des propriétés électriques des matériaux (constante diélectrique et conductivité électrique). La nature et la structure interne des unités stratigraphiques du sol peuvent être inférées indirectement à partir de ces variations spatiales. Un calage des levés géophysiques sur des forages réalisés au droit des sites d'étude est nécessaire pour étalonner les levés et en raffiner l'interprétation. Sur chacun des sites choisis, au moins un forage doit être réalisé pour déterminer les unités stratigraphiques et mesurer le niveau de la nappe phréatique. Les forages peuvent être effectués à l'aide d'une des techniques décrites dans la section 4.3.2.



Sondages de résistivité électrique

Un exemple des résultats d'un sondage de résistivité électrique portés sur un graphique bi-logarithmique apparaît dans cet encadré. Ce sondage a été réalisé sur le delta de la rivière Sainte-Anne près de Saint-Alban. L'inversion de ce sondage pour obtenir un modèle en couches horizontales de différentes résistivités vraies a été effectuée à l'aide du programme ATO (Zohdy, 1989).

Cette figure montre qu'une couche superficielle de sable sec d'une résistivité électrique de 3000 ohm-m et d'une épaisseur de 2 m recouvre une épaisse couche d'argile d'une résistivité de 50 à 100 ohm-m. Le contact au roc d'une résistivité de 1000 ohm-m est à une profondeur de 25 m. Pour ce site, la nappe phréatique est située à la même profondeur que le contact entre le sable et l'argile. Le contraste élevé de résistivité électrique entre ces deux matériaux (3000 ohm-m vs 100 ohm-m) dissimule en quelque sorte le contraste de résistivité électrique attendu au passage de la nappe phréatique dans un même matériau.





De façon générale, il a été observé, dans le cadre du projet de cartographie hydrogéologique du piémont Laurentien, qu'il est possible de discerner avec les sondages de résistivité électrique la stratigraphie générale du site étudié. Par contre, le niveau de la nappe phréatique est souvent indiscernable sur un sondage. Plusieurs raisons peuvent expliquer cette défaillance de la résistivité électrique : un contraste de résistivité électrique trop faible en raison d'une frange capillaire épaisse où le niveau de la nappe phréatique correspond à un changement de matériau comme dans l'exemple donné précédemment. Et, finalement, pour que l'inversion d'un sondage de résistivité électrique donne un résultat valable, il est nécessaire que les hypothèses relatives à un milieu homogène, isotrope, et stratifié horizontalement soient respectées. Des contacts stratigraphiques subhorizontaux tels que les lits frontaux d'un delta, des changements stratigraphiques ou de conditions de surface et une topographie de surface variable le long du sondage peuvent affecter la qualité d'un sondage.

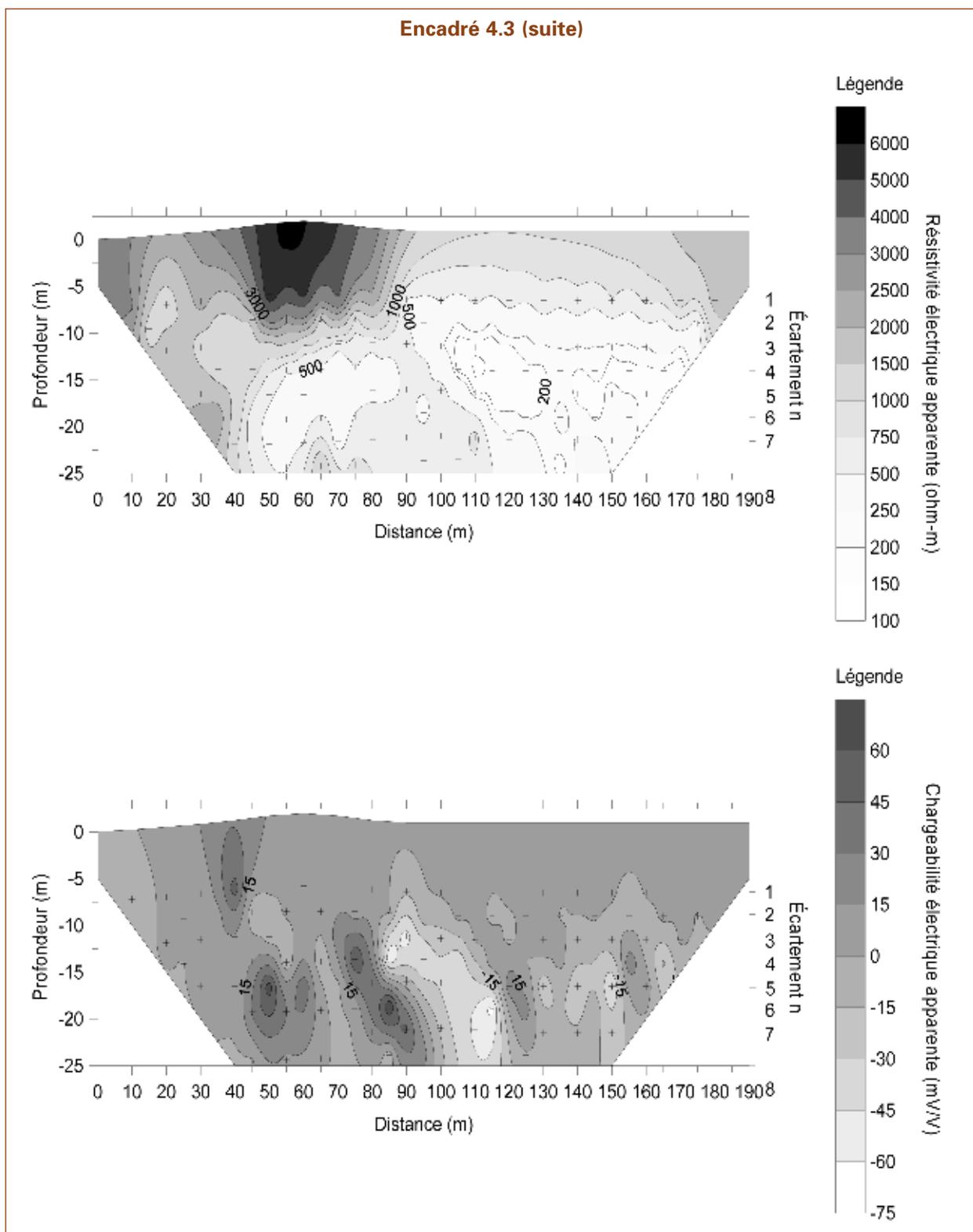
Encadré 4.3

Profilages de polarisation provoquée

Pour les profilages de polarisation provoquée, la configuration dite du dipôle-dipôle est normalement employée. L'instrument utilisé pour mesurer simultanément la résistivité et la chargeabilité est un appareil de polarisation provoquée dans le domaine des temps, modèle SYSCAL R2E. Un cycle complet de mesure dure 8 s. L'écartement choisi entre les électrodes de chacun des dipôles est de 10 m et le facteur n varie entre 1 et 8.

Les résultats d'un profilage de polarisation provoquée apparaissent ci-après sous la forme de pseudo-sections de résistivité électrique et de chargeabilité. Ce profilage est perpendiculaire à la moraine de Saint-Narcisse. Le dépôt morainique présente des valeurs de résistivité apparente supérieure à 3 000 ohm-m au droit de la moraine (entre les positions 35 et 85 m jusqu'à une profondeur de 7,5 m) et supérieure à 1 000 ohm-m pour le versant amont de la moraine. Le versant aval de la moraine est caractérisé par des couches sableuses subhorizontales. La courbe de résistivité apparente de 500 ohm-m de ce versant correspond approximativement au contact entre une couche de sable superficielle et une couche de silt en profondeur. Toujours pour ce versant, les valeurs de résistivité inférieures à 250 ohm-m entre des profondeurs de 10 et 20 m situent la couche de silt et argile déterminée lors d'un forage. La moraine repose vraisemblablement sur un sable puisque les valeurs de résistivité sont supérieures à 500 ohm-m, valeurs près de celles mesurées pour les couches sableuses de la surface. Le contact entre ces sables sous la moraine et le dépôt de silt et argile du versant aval est clairement précisé par un fort contraste de chargeabilité totale près de la position 95 m (de +30 mV/V dans les sables sous la moraine à -30 mV/V dans le dépôt de silt et argile). Ce contact entre deux dépôts différents forme un milieu fortement polarisable qui ressort sur la pseudo-section de chargeabilité. Pour les écartements utilisés, la profondeur d'investigation minimum de ces profilages est de 5 m. Les contours à des profondeurs inférieures à 5 m sont donc des extrapolations et, par conséquent, la nappe phréatique ne peut pas être déterminée à partir de ces pseudo-sections.

Encadré 4.3 (suite)



4.4 Références

- Anderson, M. P. (1989). *Hydrogeologic facies models to delineate large-scale spatial trends in glacial and glaciofluvial sediments*. Geological Society of America Bulletin, vol. 101, p. 501-511.
- CCME, (1994). *Manuel d'évaluation de la subsurface des lieux contaminés*. Rapport CCME EPC-NCSR-48F, mars 1994, Winnipeg, Manitoba, 328 p.
- Eyles, N., Eyles, C. and Miall, A. D. (1983). *Lithofacies types and vertical profile models; an alternative approach to the description and environmental interpretation of glacial diamict and diamictite sequences*. Sedimentology, vol. 30, p. 393-410.
- Maxey, G. B. (1964). Hydrostratigraphic units. Journal of hydrology, vol. 2, p. 124-129.
- Miall, A. D. (1978). *Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: A summary*. In: Miall, A. D. (ed.), *Fluvial Sedimentology*. Canadian Society of Petroleum Geologist, Memoir 5, p. 597-604. Calgary, Alberta, Canada.
- Pugin, A., Pullan, S. E. and Sharpe, D. R. (1996). *Observations of tunnel channels in glacial sediments with shallow land-based seismic reflection*. Annals of Glaciology, 22 : 176-180.
- Russell, H. A. J., Brennand, T. A., Logan, A. and Sharpe, D. R. (1998). *Standardization and assessment of geological descriptions from water well records, Greater Toronto and Oak Ridges Moraine areas, southern Ontario*. In Current research 1998-E; Geological Survey of Canada, p. 89-102.
- Seaber, P. R. (1988). *Hydrostratigraphic units*, In: *Hydrogeology*. (W. Back, J. S. Rosenshein and P. R. Seaber, eds), the geology of North America, v. 0-2, Geol. Soc. Amer., p. 9-14.
- Zohdy, A. A. R. (1989). *A new method for the automatic interpretation of Schlumberger and Wenner sounding curves*. Geophysics, vol. 54, no 2, p. 245-253.

TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNÉES SUR LES FORMATIONS SUPERFICIELLES ENFOUIES

M. Parent, F. Girard, N. Fagnan, Y. Michaud, É. Boisvert et R. Fortier

Ce chapitre traite particulièrement du traitement des informations à caractère géologique et hydrogéologique obtenues lors des étapes précédentes. Il permet de préciser la géométrie des diverses unités hydrogéologiques apparaissant sur le territoire étudié.

5.1 Coupes stratigraphiques transversales

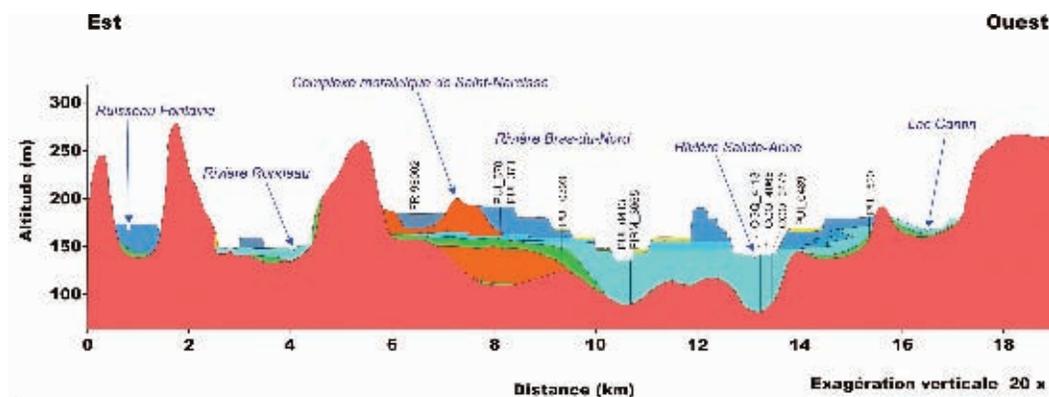
La réalisation de coupes stratigraphiques permet d'intégrer et de mettre en valeur l'ensemble de l'information recueillie lors de la compilation des données de forage (cf. section 4.2) et lors des levés de terrain. Ces informations regroupent les levés de coupes stratigraphiques (cf. section 4.3.1), les données de forage de diverses provenances (cf. section 4.3.2) et les levés géophysiques (cf. section 4.3.3). Le but principal des coupes stratigraphiques est d'établir, dans des régions ciblées, la stratigraphie des unités enfouies de même que les structures qui y sont associées afin de connaître l'architecture des aquifères et de voir les relations avec les unités adjacentes et la topographie du roc.

L'élaboration des coupes stratigraphiques permet donc de confronter et d'évaluer les différents types d'information recueillis et, par le fait même, de les valider. Pour ce faire, des informations de source fiable, telles que les levés de coupes stratigraphiques, doivent servir de référence. Plusieurs techniques peuvent être utilisées lors de l'élaboration de coupes stratigraphiques; nous ne définirons donc pas ici un « protocole » d'élaboration de coupes stratigraphiques, mais nous formulerons plutôt quelques remarques facilitant le travail.

Tout d'abord, la topographie de surface peut être tracée à l'aide d'une carte topographique ou elle peut être automatisée à l'aide d'une routine informatique qui permet d'extraire les points de contrôle. Il est à noter que l'utilisation d'un modèle numérique de terrain est délicate pour établir avec précision la topographie de la surface. Par exemple, les modèles numériques de terrain réalisés à partir des feuillets 1/50 000 possèdent une précision théorique de ± 10 mètres, ce qui est insuffisant dans la réalisation de coupes stratigraphiques ayant des unités stratigraphiques de l'ordre du mètre (Fagnan, 1998). La topographie du roc peut ensuite être tracée avec l'aide des données de forage atteignant le roc et des observations de surface où le roc est affleurant ou sub-affleurant. Les différentes unités stratigraphiques de dépôts meubles sont donc comprises entre ces deux niveaux représentés par la topographie de la surface et celle du roc. La visualisation de l'ensemble des données de forage peut être facilitée par l'utilisation de modules liés à un système d'information géographique (ex. : MapInfo, ArcView) exposant la description du forage. Les logiciels Borehole Mapper de Northwood Geosciences inc. et Cross Section Mapper conçus par Waterloo Hydrogeologic inc. en sont des exemples.

La figure 5.1 présente un exemple type des coupes stratigraphiques produites dans la région de Portneuf.

Figure 5.1 Coupe stratigraphique transversale au complexe morainique de Saint-Narcisse





La coupe stratigraphique ci-dessous montre, en son centre, la dépression du socle précambrien formant le bassin de Saint-Raymond. À la marge ouest de ce bassin, adossé au roc, se trouve le complexe morainique de Saint-Narcisse exposant une stratigraphie tout à fait particulière. On trouve, à la base de ce complexe, des cônes d'épandage sous-aquatiques (Gs) interdigités avec des dépôts marins de la Mer de Champlain. Ces derniers atteignent une épaisseur de plus de 50 mètres au centre du bassin de Saint-Raymond, représentant ainsi une unité aquitard relativement continue. Le complexe morainique est composé de deux unités de sédiments morainiques séparées par une unité de sédiment marin témoignant de la récurrence glaciaire associée à l'épisode Saint-Narcisse. Les sédiments deltaïques ont progradé sur les sédiments marins et forment, pour la région de Saint-Raymond, les aquifères les plus productifs avec une épaisseur pouvant atteindre 30 mètres. Sur la marge ouest du bassin, des sédiments intertidaux ont été déposés de façon synchrone aux sédiments prodeltaïques, formant ainsi la base de l'aquifère. Enfin, l'encaissement des rivières Sainte-Anne et Bras-du-Nord dans les sédiments deltaïques et marins a provoqué une série de terrasses emboîtées où plusieurs résurgences peuvent être observées au contact des sédiments prodeltaïques (Mdp) et deltaïques (Md). Étant donné l'encaissement des rivières dans les dépôts marins, les aquifères de surface ne sont plus en contact hydraulique avec les rivières. Enfin, notons que les différentes unités de till de fond situées sous les dépôts marins peuvent représenter une source d'alimentation en eau potable pour des besoins domestiques.

5.2 Cartes isopaques

Les cartes isopaques permettent de représenter les variations spatiales d'épaisseur d'une unité hydrostratigraphique ou d'un groupe d'unités hydrostratigraphiques; elles sont très utiles à plusieurs égards. Ainsi, une carte de l'épaisseur de sable et gravier de surface fournit un bon aperçu du potentiel aquifère de cette unité hydrostratigraphique majeure dans la région pilote de Portneuf. De même, les variations d'épaisseur d'un aquitard régional comme les argiles marines, par exemple, permettent d'évaluer, de façon préliminaire, le degré de confinement des aquifères captifs. Les cartes isopaques sont généralement produites lors des phases initiales de la cartographie; elles peuvent cependant être bonifiées en cours de projet avec l'ajout d'informations nouvelles obtenues pendant la durée des travaux.

5.2.1 Cartes de profondeur au roc (ou cartes d'épaisseur totale de sédiments)

La pertinence des cartes de profondeur au roc dans le cadre d'études hydrogéologiques tient au fait qu'elles permettent de déterminer la localisation probable de vallées enfouies. Ces vallées peuvent contenir d'importants aquifères granulaires. Aussi, dans le cas où ces vallées seraient recouvertes d'argile en surface, on pourrait alors conclure à des conditions de nappes captives ou semi-captives dans ces aquifères. Les cartes de profondeur au roc permettent aussi de préciser les secteurs où il n'y a pas d'accumulation significative de sédiments granulaires, secteurs constituant fréquemment les zones de recharge des aquifères captifs en milieu fracturé ou granulaire. Dans les régions où plusieurs zones de forte dénivellation coïncident avec des zones de grande épaisseur de sédiments quaternaires, il est souvent préférable de produire une autre carte, montrant la topographie de la surface du roc.

Les données nécessaires pour réaliser une carte de la profondeur au roc sont multiples et les données de forage de sources diverses représentent habituellement la majeure partie des informations. De plus, les données liées aux levés de coupes stratigraphiques (cf. section 4.3.1), aux levés géophysiques (cf. section 4.3.3), aux levés de terrain (cf. section 4.3), aux affleurements répertoriés à partir des cartes géologiques (cf. section 3.1.1) et aux unités géologiques précisant les zones d'affleurements rocheux ou de till mince sur roc répertoriées sur les cartes des formations superficielles (cf. section 3.1.2) sont toutefois aussi importantes que les données conventionnelles de forages et devraient toujours être considérées. Ces données complémentaires permettent d'améliorer grandement la qualité des cartes produites.

Le très grand nombre de données généralement disponibles dans les régions habitées du sud du Québec rend leur traitement manuel très difficile. Il est donc recommandé de compiler toutes les données sous format numérique et d'utiliser des logiciels géostatistiques pour leur traitement. La démarche pour réaliser les cartes de profondeur au roc comprend trois étapes, soit 1) la sélection des données d'épaisseur, 2) l'intégration et l'uniformisation de ces données en vue de les utiliser dans un modèle d'interpolation, et finalement 3) le choix de la méthode d'interpolation à utiliser.

L'utilisation de méthodes conventionnelles d'interpolation mène à des résultats satisfaisants pourvu que les données soient nombreuses et bien distribuées, ce qui est rarement le cas. En effet, la distribution des données ne correspond généralement pas aux besoins de la géologie. Le plus souvent, elle reflète plutôt 1) la concentration d'utilisateurs d'eau souterraine de même que les forages du ministère des Transports le long du réseau routier ou 2) la localisation de certains secteurs d'intérêt local, tels que les sites d'enfouissement ou les sites d'extraction de matériel granulaire. Avec de telles données plus ou moins bien distribuées, les méthodes standards d'interpolation ont tendance à produire des cartes d'épaisseur totale présentant certaines aberrations. Ceci est principalement attribuable au fait que les méthodes d'interpolation ne peuvent tenir compte de certaines réalités géologiques, l'approfondissement des vallées vers leur centre par exemple, que dans la mesure où les données disponibles permettent leur caractérisation. Bien que cette observation puisse être débattue en s'appuyant sur le fait qu'il existe plusieurs exemples de vallées qui ne présentent pas cette forme typique, l'absence de meilleures sources d'information fait que cet énoncé devrait constituer l'hypothèse de base guidant l'évaluation de la distribution de la profondeur au roc.

Dans le but de dresser de meilleures cartes de profondeur au roc, une nouvelle méthode d'interpolation a été élaborée au CGQ. Cette méthode d'interpolation (P_ROC) utilise la proximité des zones de roc affleurant pour modéliser son approfondissement. L'interpolation est effectuée en deux étapes : la première consiste à extraire les zones d'affleurements rocheux et de faible épaisseur de dépôts meubles (< 1 m) à partir des cartes géologiques des formations superficielles et à calculer une profondeur au roc en n'utilisant que les forages qui ont atteint le roc; la deuxième étape consiste à refaire les calculs de la profondeur au roc en utilisant l'ensemble des données de forage disponibles (Boisvert et Fagnan, 1999).

Dans la première étape, on calcule en tout point la distance linéaire de l'affleurement rocheux le plus rapproché. Le rapport profondeur/distance (la pente) est calculé au droit de chaque forage. En utilisant le logarithme en base 10 de la distance à l'affleurement, on obtient donc un modèle plus réaliste de la profondeur au roc en minimisant l'influence des très grandes distances. Le résultat est une carte dont la profondeur calculée augmente graduellement vers le centre des vallées. Les valeurs d'indice d'épaisseur (ou de profondeur au roc) sont donc calculées à l'aide de l'équation suivante :

$$li = Ei / \text{LOG}_{10}(Di) \quad [5.1]$$

où li est l'indice d'épaisseur pour le forage i , Ei représente l'épaisseur de sédiments rencontrée dans le forage i et Di la distance du forage i de l'affleurement le plus rapproché.

Ces valeurs sont ensuite interpolées sur l'ensemble de la zone d'étude à l'aide de la méthode des moindres carrés pour produire une carte d'indice $|I|$ (matrice de I). Cette matrice est ensuite multipliée par la matrice $|\text{LOG}(D)|$ (carte des distances logarithmiques) pour produire une carte d'épaisseur $|E|$, où :

$$|E| = |I| * |\text{LOG}(D)| \quad [5.2]$$

Cette carte d'épaisseur se base uniquement sur les forages ayant atteint le roc. Toutefois, certains forages qui n'ont pas atteint le roc sont assez profonds pour contribuer utilement à établir une profondeur minimale au roc.



Dans la deuxième étape, une nouvelle carte d'épaisseur est réalisée en utilisant toutes les données de forage (forages au roc et profondeur maximale des forages n'ayant pas atteint le roc). Cette nouvelle carte donne en général des profondeurs plus grandes dans les régions comportant des forages profonds qui n'ont pas atteint le roc. Par ailleurs, les forages n'atteignant pas le roc dans les régions où existent des données de profondeur au roc ont tendance à diminuer localement l'épaisseur du matériel. On utilise donc la valeur maximale rencontrée dans les deux cartes d'épaisseur comme étant l'épaisseur probable. Les faibles valeurs de profondeur causées par les forages courts n'atteignant pas le roc sont donc masquées par les épaisseurs établies par les forages au roc. Quant aux forages profonds n'atteignant pas le roc, ils sont intégrés dans l'estimation de l'épaisseur comme étant des valeurs minimales de profondeur au roc. Les zones où l'épaisseur estimée par tous les forages est plus grande que celle estimée par les forages au roc seuls peuvent être représentées sur la carte par des zones hachurées.

Cette méthode ne peut cependant être utilisée que dans les secteurs où apparaissent des affleurements rocheux. Par ailleurs, certaines réserves s'appliquent quant à son application puisqu'elle n'a pas été vérifiée dans d'autres régions par des pairs scientifiques et qu'elle n'a fait l'objet à ce jour d'aucune publication scientifique.

5.2.2 Cartes isopaques d'unités hydrostratigraphiques : exemple des sables

De nombreux aquifères productifs de la vallée du Saint-Laurent se trouvent dans les sables et graviers reposant sur des unités imperméables. L'épaisseur de cette unité hystérosalpingographie, composée de sédiments d'origine deltaïque ou littorale, est cependant fort variable, allant de moins de un mètre à plusieurs dizaines de mètres. La connaissance des variations d'épaisseur de cette unité aquifère constitue l'une des premières étapes de l'évaluation du potentiel hydrogéologique des formations granulaires d'une région. En effet, l'un des facteurs importants commandant les débits d'extraction disponibles pour une formation donnée est son épaisseur saturée, celle-ci étant généralement proportionnelle à l'épaisseur totale de sable et gravier.

Les données nécessaires pour réaliser une carte d'épaisseur de sable et gravier sont les mêmes que celles utilisées pour la carte d'épaisseur totale.

La première étape pour la production d'une telle carte consiste à établir le périmètre de l'unité hydrostratigraphique choisie. Il s'agit d'une opération relativement simple puisque le périmètre des sables et graviers supérieurs peut être extrait presque directement de la cartographie géologique (chapitre 3). La deuxième étape consiste à sélectionner toutes les données d'épaisseur des sables et graviers supérieurs disponibles dans la base de données, à les colliger sous format numérique pour ensuite interpoler les variations d'épaisseur à l'aide d'un logiciel de géostatistique.

Les forages dont les descriptions comprennent une unité de sable ou de gravier en surface reposant sur une unité d'argile d'épaisseur significative, ou du socle rocheux (la base de l'unité sableuse correspond à l'argile ou au socle rocheux) doivent être sélectionnés. Les valeurs d'épaisseur minimale doivent aussi être considérées, particulièrement aux endroits où ce sont les seules informations disponibles. Les unités cartographiques composées de formations argileuses, de till et de roc affleurant étant dépourvues de sables et graviers supérieurs, une cote d'épaisseur de 0 m leur est attribuée. Le nombre et la densité de ces points de contrôle ajoutés dépendent de l'étendue des secteurs et de la précision et résolution désirées.

Étant donné que la morphologie du contact à la base des unités de sable et gravier est souvent rectiligne, on ne peut pas appliquer systématiquement la règle de l'épaississement des dépôts vers le centre des vallées, concept utilisé par le programme P_ROC. En effet, dans plusieurs cas, par exemple celui des sédiments deltaïques où les sables ont été déposés sur des séquences marines silto-argileuses dont le sommet est généralement plat, la forme du contact à la base de ces dépôts de sable épouse le sommet de ces séquences marines et est donc généralement plat et continu. L'estimation des épaisseurs de sable de surface doit donc être effectuée à partir de modèles con-



ventionnels d'interpolation géostatistique (Isaaks et Srivastava, 1989). Le choix de la méthode d'interpolation, par exemple le krigeage ou la triangulation, est arrêté en fonction de la distribution des points de contrôle, de leur fiabilité et de l'amplitude des variations d'épaisseur.

5.3 Présentation des résultats

Le résultat de l'interpolation est habituellement présenté sous la forme d'une carte d'isolignes sur laquelle sont superposées les données des unités enfouies utilisées. La présentation de ces données est essentielle puisqu'elle permet à l'utilisateur d'en apprécier la distribution et la provenance et qu'il peut ainsi mieux juger du niveau de confiance à accorder à la carte en fonction de la problématique envisagée et des secteurs d'intérêt visés. Le choix de l'intervalle des contours doit refléter la densité et la distribution des données sur le territoire ainsi que le contexte régional dans lequel elles sont utilisées. Des intervalles trop faibles donneront une fausse impression de précision, alors que des intervalles plus grands cacheront certains détails importants.

5.4 Portée et limitation des résultats

La carte isopaque d'une unité hydrostratigraphique d'envergure régionale, les sables et graviers supérieurs dans le cas présent, donne un aperçu régional et préliminaire de son potentiel aquifère. Pour utiliser adéquatement ces cartes, il faut examiner la distribution et la provenance des valeurs ponctuelles utilisées.

Ces cartes ne remplacent pas les études locales requises pour la localisation et la conception de systèmes de captage. Elles n'indiquent pas non plus l'épaisseur saturée en eau souterraine de ces dépôts sablo-graveleux. Les encadrés 5.1 et 5.2 présentent des exemples de cartes isopaques; ils sont tirés des cartes hydrogéologiques de la MRC de Portneuf produites dans le cadre du projet pilote de cartographie hydrogéologique réalisé dans cette région (Parent et al., 1998; Fagnan et al., 1998).

Encadré 5.1

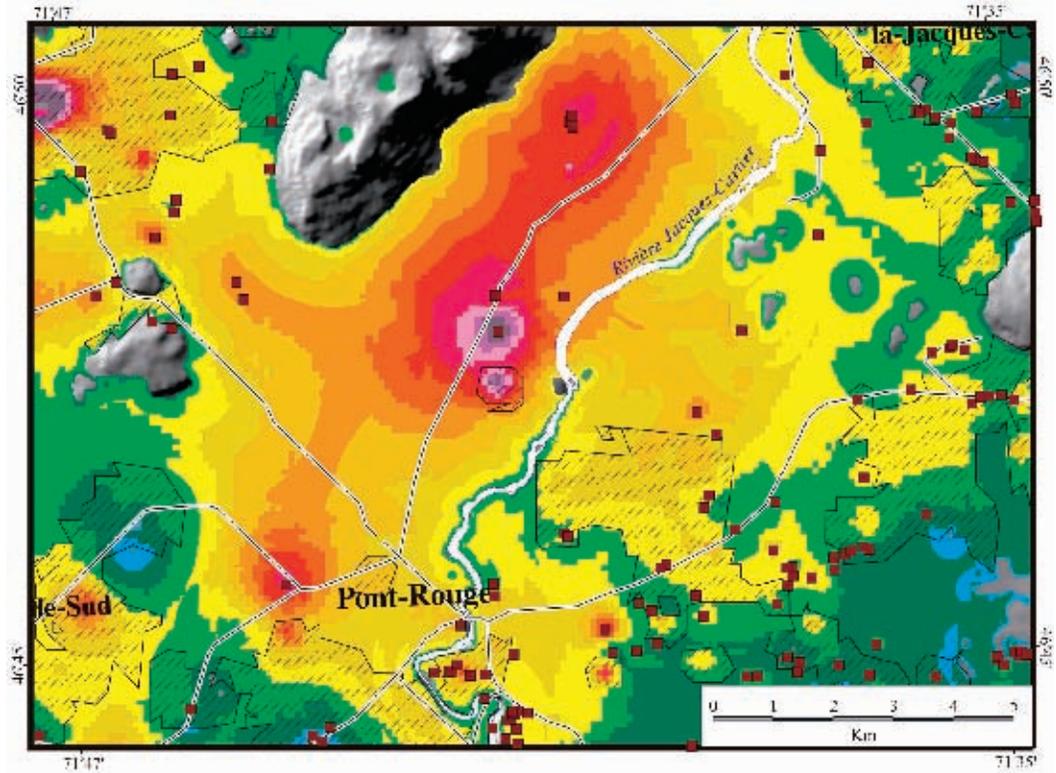
Cette carte présente la distribution des valeurs d'épaisseur totale de sédiments d'un secteur de la rivière Jacques-Cartier. Le contour des isopaques ont été générés par la méthode P_ROC. Les aires couvertes de till mince (< 1 m) ont été considérées comme des zones de roc affleurant. Afin de connaître la distribution en profondeur des formations superficielles, des données lithologiques et stratigraphiques de sources variées ont été colligées dans une base de données relationnelle. Ces données proviennent généralement de levés stratigraphiques, de descriptions de forages et de l'interprétation de données géophysiques. Le système d'information hydrogéologique (SIH) du MDDEP (c.-à-d. annuaire des puits et forages) a constitué la principale source d'information et a fourni plus de 80 % de l'ensemble des forages compilés dans le cadre du projet. La banque de données géotechniques du ministère des Transports (5 %), les rapports publics ou privés d'études hydrogéologiques soumis au MENV et aux municipalités (8 %), les rapports de forages effectués par Hydro-Québec (4 %) ainsi que certaines études locales effectuées par le MDDEP et le MRNF (3%) complètent l'ensemble des forages compilés. Ces trois types d'information réunis ont permis de caractériser en trois dimensions la géométrie des formations superficielles et de comprendre la distribution des sédiments quaternaires dans la région de Portneuf.

Étant donné que l'estimation des épaisseurs est contrôlée par la proximité du roc, l'épaisseur de matériel progresse régulièrement depuis une épaisseur nulle près des zones d'affleurement vers une épaisseur maximale vers le centre des vallées, sauf si des points de contrôle près du centre des vallées influencent l'interpolation. Dans les cas où il n'y a que peu ou pas de données, l'estimation de l'épaisseur de matériel est basée sur les indices estimés à partir des points plus distaux. Cette estimation est la meilleure qui puisse être produite en l'absence de données. Le graphique montre la corrélation entre les épaisseurs estimées et les épaisseurs observées (par forage). L'épaisseur totale de sédiments est principalement comprise entre 0 et 60 m (une proportion très faible se trouve entre 60 et 134 m) et la moyenne se situe entre 15 et 20 m. Les résultats de cette interpolation concordent assez bien avec les observations de terrain.

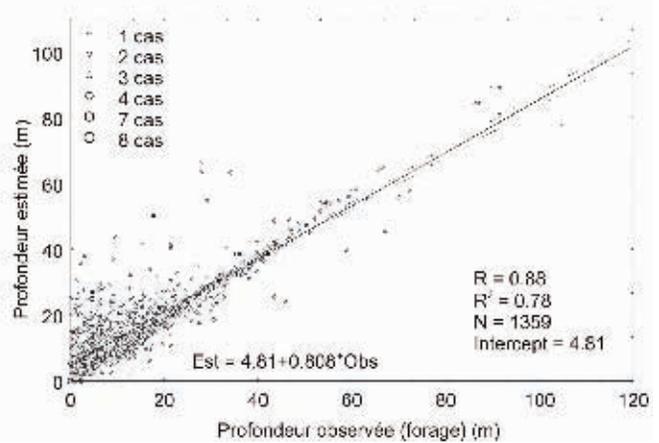
Les valeurs maximales d'épaisseur totale de sédiments pour cette région sont de 65 mètres et l'intervalle des isolignes utilisé est de 5 m. Ce choix d'intervalle représente bien la fiabilité que l'on peut accorder aux données. Il reflète la densité et la distribution des données sur le territoire et le contexte régional dans lequel elles sont utilisées. Les données ponctuelles utilisées pour produire la carte sont présentes sur la carte.

Encadré 5.1 (suite)

Épaisseur totale des sédiments



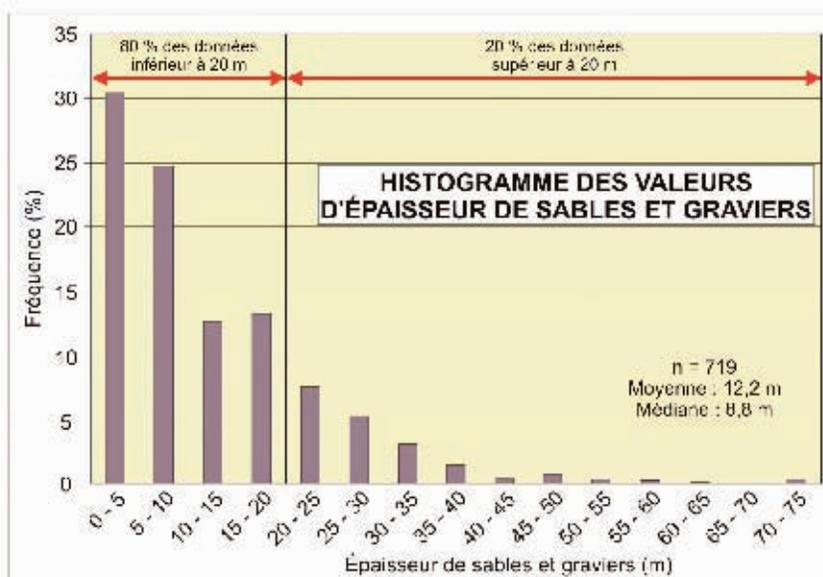
Épaisseur estimée



Encadré 5.2

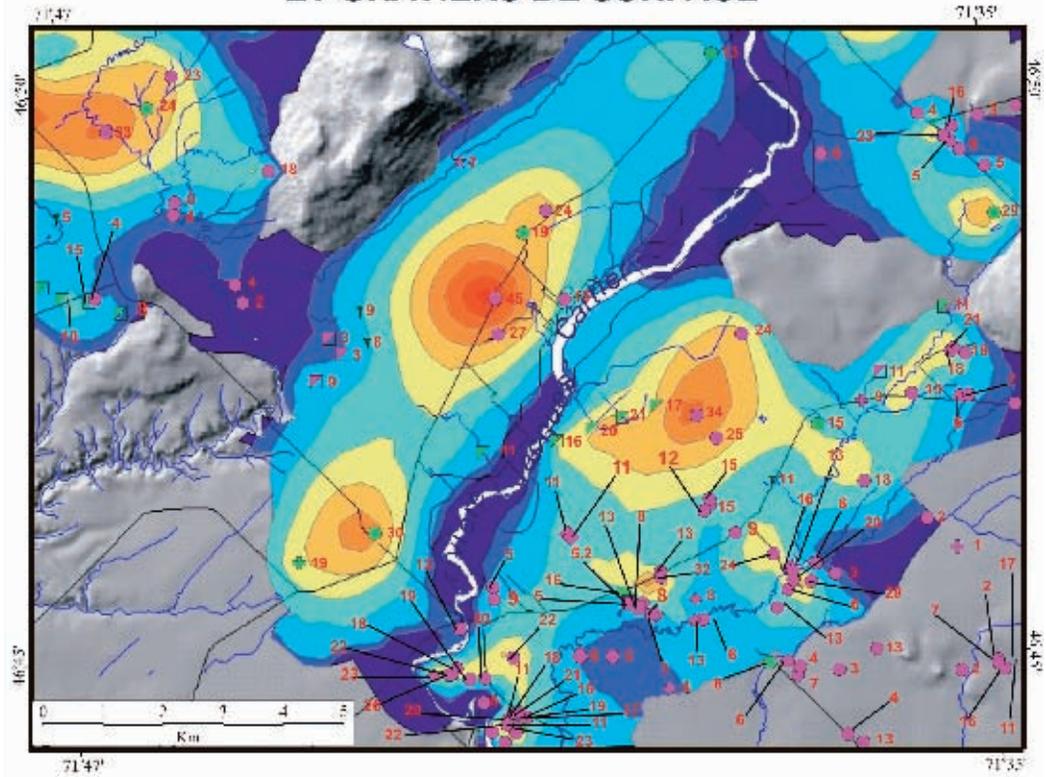
Isopaque des sables et graviers de surface

La carte ci-contre présente la distribution des valeurs d'épaisseur de sable et gravier surmontant des unités imperméables d'un secteur de la rivière Jacques-Cartier. Les isolignes ont été produites par la méthode du krigage. L'étendue occupée par les isolignes d'épaisseur de sable et gravier correspond généralement à la superficie qu'occupent les unités sablo-graveleuses de surface. Les intervalles d'épaisseur sont de 5 mètres à l'exception des deux premiers intervalles qui sont de 2,5 mètres. Le choix des intervalles des isoplèthes est basé sur le caractère régional des données. Les zones grises représentent le relief dérivé du modèle numérique de terrain (MNT). Les régions où apparaît le MNT correspondent aux zones où l'on retrouve des formations silto-argileuses, de till ou de roc. Il est à noter qu'il existe des unités sableuses dans ces secteurs. Cependant, leur faible étendue, leur irrégularité, leur épaisseur souvent limitée ainsi que la rareté des données dans ces secteurs font en sorte que ces unités ne peuvent être représentées adéquatement à l'échelle régionale.



Encadré 5.2 (suite)

ISOPAQUE DES SABLES ET GRAVIERS DE SURFACE



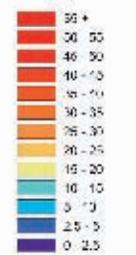
LÉGENDE

Source des données de forage

	Épaisseur de sable minimale	Épaisseur de sable maximale
Puitsiers	●	▲
M. Pr. Recentes par nappes et de la cône	▲	▲
Min. des Transports	●	◆
Info cartes quaternaires	▲	▲
Hydro-Québec	▼	▼
Rapports hydrogéologiques	■	■
MEF	■	■
Observations sur le terrain	●	◆

— Route principale — Limite de la MRC

Intervalle des isopaques (m)





5.5 Contextes hydrogéologiques

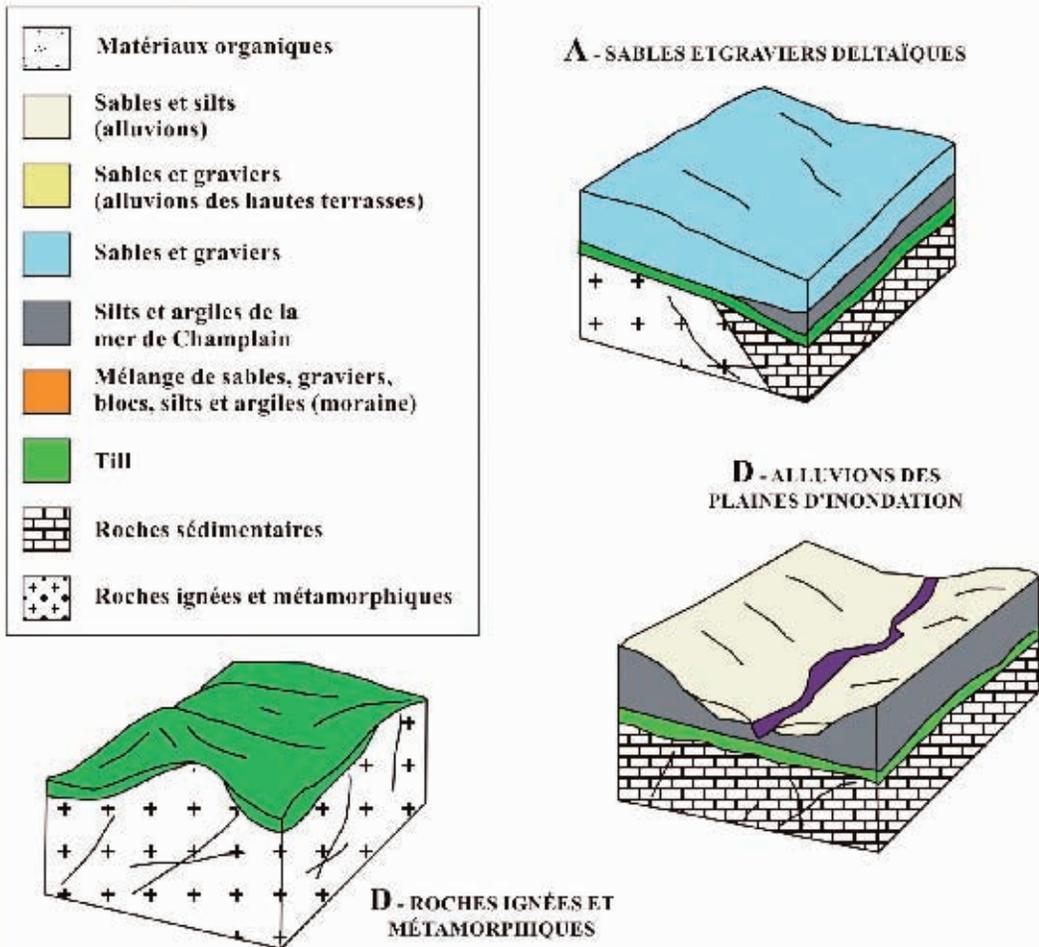
Les contextes hydrogéologiques représentent des régions qui possèdent des caractéristiques physiographiques, géologiques et géomorphologiques similaires. En raison de ces similarités, ces régions ont également des conditions d'écoulement de l'eau souterraine fort semblables (Aller et al., 1987). Les contextes hydrogéologiques mettent donc en évidence, de manière synthétisée, les principaux facteurs qui influent sur l'écoulement de l'eau souterraine d'une région. De plus, ces cartes mettent en perspective les unités aquifères et aquitards. Toutes ces informations sont pertinentes autant du point de vue de la connaissance de la ressource que de sa gestion. L'aspect simplifié des cartes des contextes hydrogéologiques permet au gestionnaire de la ressource d'obtenir une vue d'ensemble de la distribution des aquifères et une bonne compréhension du système d'écoulement des eaux souterraines. La carte des contextes hydrogéologiques donne également un premier aperçu de la vulnérabilité des nappes à la contamination et de la capacité du milieu à atténuer ou retarder la contamination.

Les principales informations qui servent à délimiter les unités hydrogéologiques d'une région sont les cartes géologiques (socle et formations superficielles), topographiques et hydrographiques. Les données de forages complètent l'ensemble des informations en fournissant une vue de la troisième dimension (Vrba et Zaporozec, 1994). La délimitation des contextes hydrogéologiques se fait en superposant toutes ces données sur une carte unique à partir de laquelle seront tracées les limites des zones hydrogéologiques homogènes.

Cette délimitation peut se faire manuellement sur support papier, ou par informatique en traçant avec la souris. La méthode informatique est plus rapide; l'inconvénient est que l'agrandissement de la carte peut engendrer un découpage exagéré des zones. En effet, la carte des contextes hydrogéologiques n'a pas pour but de faire ressortir les différentes particularités locales d'une région, mais plutôt de présenter les grandes tendances hydrogéologiques. Un exemple de la carte des contextes hydrogéologiques de la MRC de Portneuf est présenté à l'encadré 5.3.

Encadré 5.3

Blocs diagrammes illustrant les contextes hydrogéologiques en 3D

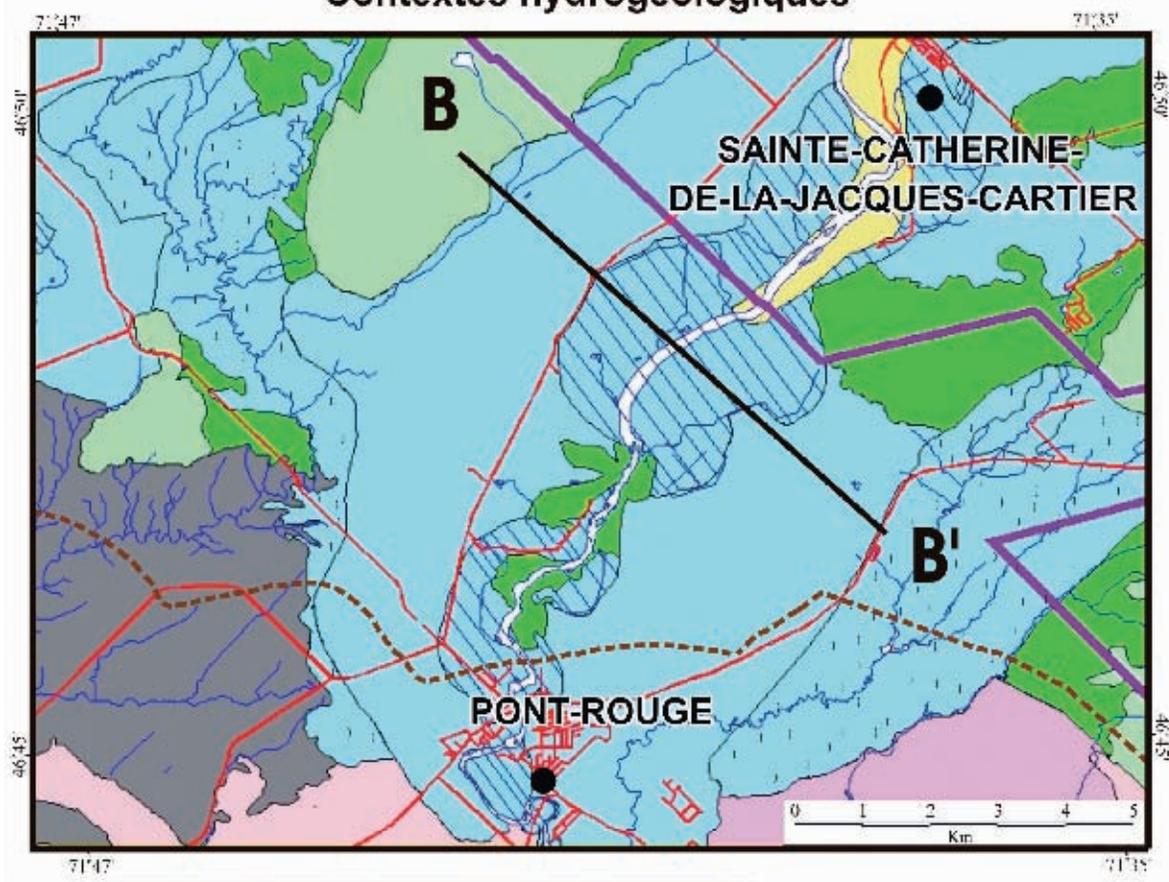


La carte des contextes hydrogéologiques de la MRC de Portneuf a été construite à l'aide des cartes quaternaires, topographiques et hydrographiques ainsi qu'à partir des données de forage. Les différentes unités quaternaires ont été regroupées selon leur texture et la nature de la roche sous-jacente. Au total, six grandes unités hydrogéologiques ont été identifiées. Certaines de ces unités ont par la suite été subdivisées en fonction de leur potentiel aquifère et du rôle qu'elles jouent dans l'écoulement régional. Le potentiel aquifère de ces unités a été évalué en tenant compte de la perméabilité moyenne des dépôts, de leur épaisseur ainsi que de leur étendue.

Des blocs diagrammes ont subséquentment été développés pour chacun des contextes hydrogéologiques (Fagnan, 1998; Champagne, 1990; Aller *et al.*, 1987). Trois de ces blocs sont illustrés ci-dessus. Ces blocs en trois dimensions montrent la succession typique des matériaux qui se trouvent dans chacun des contextes. Ils ont pour but de faciliter la compréhension des divers contextes hydrogéologiques.

Encadré 5.3 (suite)

Contextes hydrogéologiques



CONTEXTES HYDROGÉOLOGIQUES	
Élevé ↑ Augmentation du potentiel aquifère ↓ Faible	Aquifères granulaires à potentiel élevé
	1A - Sables et graviers deltaïques
	1B - Sables des hautes terrasses sur sables et graviers deltaïques
	1C - Sables et graviers fluvio-glaciaires
	1D - Sables littoraux
	2 - Moraine de Saint-Narcisse
	Aquifères rocheux à potentiel élevé
	6A - Roches sédimentaires (affleurantes)
	6B - Roches sédimentaires recouvertes par du till
	Aquifères rocheux à potentiel moindre
6C - Roches ignées/métamorphiques recouvertes par une couverture continue de till	
6D - Roches ignées/métamorphiques (affleurantes)	
Aquitards (potentiel aquifère en surface est minime ou nul)	
5 - Roches sédimentaires et ignées recouvertes par argiles marines	
3 - Sables des hautes terrasses	
4 - Alluvions des plaines d'inondation	

- Limite entre les formations sédimentaires du paléozoïque et les roches ignées et métamorphiques du précambrien
- Limite entre les formations de calcaires et les schistes argileux
- Limite de la MRC
- Route principale

B ————— **B'**
Coupe transversale

5.6 Références

- 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., Fagnan, N. (1999). *Estimating the sediment volume in valleys*. GACMAC'99, Sudbury, Proceedings 26-28 mai, Conférence avec résumé.
- Champagne, L. (1990). *Vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution, MRC de Montcalm*. Mémoire de maîtrise (M. sc. A), Université de Montréal, département de génie minéral, École Polytechnique, 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.
- Isaaks, E.H. et Srivastava, R.M. (1989). *An introduction to applied geostatistics*. New York.
- 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 3664a.
- Vrba, J., Zaporozec, A. (1994). *Guidebook on mapping groundwater vulnerability*. International Association of Hydrogeologists, vol. 16, 131 p.

Les travaux de caractérisation hydrogéologique commencent une fois que le contexte géologique a été bien établi (cf. chapitres 3, 4 et 5), que la compilation des données de forage et les levés de terrain sont terminés (cf. sections 4.2 et 4.3) et que le contexte hydrogéologique est bien compris (cf. section 5.5). Ces différents travaux de terrain et de compilation auront permis d'acquérir une bonne compréhension du système aquifère, laquelle est essentielle pour la caractérisation de ses propriétés hydrauliques. Les aspects qui sont normalement étudiés lors de la caractérisation hydrogéologique régionale sont (1) le potentiel d'exploitation de chacune des unités aquifères identifiées lors de la caractérisation géologique, (2) la quantité d'eau qui s'infiltré chaque année pour contribuer à la recharge des aquifères et (3) le régime d'écoulement des eaux souterraines à travers le système aquifère. Ce portrait hydrogéologique conduira à la réalisation de la carte de vulnérabilité des eaux souterraines sur le territoire étudié. Les sections qui suivent présentent diverses méthodes et approches qui permettent de caractériser ces différents aspects de la ressource de même que l'évaluation de sa vulnérabilité à la contamination.

6.1 Propriétés des aquifères

Les principaux paramètres qui permettent de caractériser le potentiel aquifère des formations géologiques, sont : la porosité, la conductivité hydraulique, l'épaisseur saturée, la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement. Ensemble, ces propriétés aident à mesurer la capacité des milieux géologiques à contenir de l'eau souterraine et leur aptitude à la transmettre. Pour une discussion plus approfondie de ces paramètres, le lecteur peut consulter les ouvrages de référence sur les concepts fondamentaux d'hydrogéologie qui sont proposés à la fin du chapitre 2.

Différentes méthodes permettent d'évaluer ou de mesurer les principales propriétés des aquifères. Selon les objectifs de la cartographie hydrogéologique et le budget alloué, on pourra déterminer les paramètres aquifères : (1) de façon préliminaire à partir du type de matériaux et des propriétés typiques, ou (2) par des équations empiriques reliant les propriétés à la distribution granulométrique de matériaux aquifères, ou (3) en laboratoire par des essais en colonnes, ou (4) de façon plus rigoureuse à partir d'essais de terrain tels que les essais de pompage et de perméabilité.

6.2 Évaluation de la recharge

L'évaluation de la recharge est une partie intégrante des études hydrogéologiques visant à évaluer les ressources en eau souterraine. Pour quantifier les volumes d'eau souterraine exploitables à long terme, il faut considérer non seulement les volumes d'eau contenus dans les aquifères mais également leur recharge annuelle.

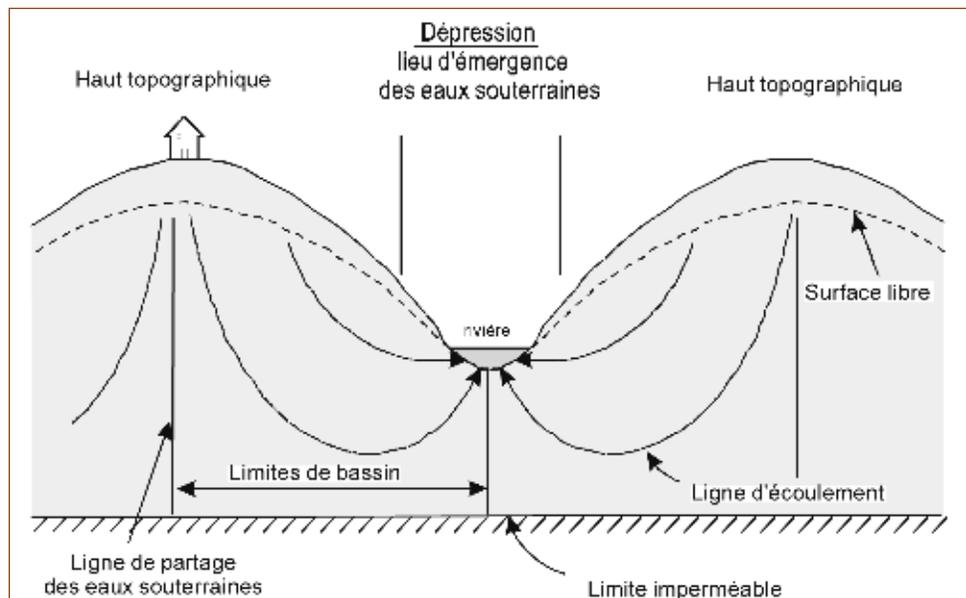
La quantité d'eau qui s'infiltré chaque année pour recharger les formations aquifères est probablement un des paramètres hydrogéologiques les plus difficiles à évaluer. Ceci est principalement attribuable au fait que la recharge dans une région dépend de plusieurs facteurs difficilement quantifiables : ruissellement, potentiel d'évapotranspiration ou transfert entre unités géologiques aquifères contiguës. Idéalement, le suivi des niveaux d'eau mesurés dans les puits sur de longues périodes (dizaines d'années) permet d'évaluer la recharge annuelle en plus d'indiquer si les réserves en place diminuent ou augmentent. Présentement, un tel suivi n'est généralement pas fait au Québec. La recharge doit donc être évaluée par des méthodes indirectes. Il existe principalement deux grands types de méthodes d'évaluation de la recharge : les méthodes hydrologiques et hydrogéologiques. Les méthodes hydrologiques visent principalement à quantifier les composantes du cycle de l'eau pour établir un bilan global. Ces méthodes sont basées sur le fait qu'à long terme il existe un équilibre entre la quantité d'eau qui entre dans le système, celle qui en sort et celle qui est emmagasinée. En théorie, si l'on arrive à isoler et quantifier chacune des composantes, on peut déduire la recharge. Les méthodes hydrogéologiques sont fondées sur les principes d'écoulement dans les milieux géologiques. Elles tiennent donc compte des paramètres inhérents au matériau géologique qui influent sur la dynamique d'écoulement de l'eau souterraine.

Parmi les méthodes hydrologiques, on trouve le bilan hydrologique, la séparation d'hydrogrammes de cours d'eau, les méthodes de corrélations empiriques et la modélisation hydrologique. Pour les méthodes hydrogéologiques, on présente les hydrogrammes de puits et la modélisation hydrogéologique. Les ouvrages de Llamas (1993), d'Anderson et Woessner (1992) et *Hydrogeology Journal* (2002) peuvent être consultés pour plus de détails sur les méthodes hydrologiques et hydrogéologiques, respectivement.

6.3 Piézométrie et écoulement

Les cartes piézométriques sont une représentation graphique en plan de la distribution des charges hydrauliques. Ces cartes sont préparées en rapportant les points de mesure des niveaux d'eau pris dans les puits sur une carte et en les contournant à l'aide de courbes appelées isohypses. Sur les cartes piézométriques, chacune des isohypses représente une valeur de la charge hydraulique exprimée en mètres par rapport à un niveau de référence qui est normalement le niveau moyen de la mer. Pour plus de détails, se référer au *Guide méthodologique pour la caractérisation régionale des aquifères en roches sédimentaires fracturées* (2003 à paraître).

Figure 6.1 Patrons généraux d'écoulement dans les régions dont la topographie est ondulée (d'après Hubert, 1940)



Les implications d'une bonne connaissance de l'écoulement régional des eaux souterraines sont nombreuses. Qu'il s'agisse de planification de campagnes d'échantillonnage, de conception d'ouvrages de captage, de résolution de problèmes de contamination ou d'études portant sur les calculs de débits et de bilan hydrologique, une bonne caractérisation de l'écoulement à l'échelle régionale constitue un des préalables au succès de ces activités. Dans les pages suivantes, nous décrivons de façon détaillée la démarche à suivre pour produire une carte piézométrique.

6.3.1 Sources d'information

Les sources de données les plus fiables concernant les niveaux d'eau sont les mesures réalisées sur le terrain. Les levés de terrain sont privilégiés parce qu'ils permettent de mesurer les niveaux d'eau avec précision et qu'ils aident à d'obtenir une image quasi instantanée de la configuration de la surface libre.



Contrairement aux mesures de terrain et parce que les mesures compilées dans les diverses bases de données proviennent de forages réalisés à tout moment dans l'année, il faudra être prudent dans la lecture de l'image piézométrique qu'elles peuvent générer. Il serait important d'isoler les niveaux d'eau à une période de l'année pour que le patron d'écoulement reflète bien la réalité à une époque de l'année. De plus, la densité de ces mesures est souvent insuffisante pour représenter adéquatement les détails de la surface libre.

Les niveaux d'eau provenant des bases de données où la plupart des forages qui y apparaissent sont aménagés dans le socle rocheux ne devraient donc pas être utilisés dans le but de produire une carte piézométrique régionale des aquifères granulaires libres. Ces bases de données peuvent toutefois être consultées afin d'obtenir une vue préliminaire et approximative de la piézométrie et des profondeurs de la nappe dans le secteur d'étude. Les données sélectionnées doivent nécessairement provenir de puits qui sont aménagés dans la formation aquifère granulaire cartographiée. Il faut donc s'assurer qu'aucune couche imperméable (silt et argile) surmontant cette formation granulaire de surface n'a été rencontrée en cours de forage. De plus, il est important de noter la date de la prise de mesure du niveau d'eau. Autant que possible, les niveaux d'eau considérés doivent avoir été pris dans un intervalle de temps restreint. Les périodes les plus propices à la réalisation de ces mesures demeurent les périodes d'étiage d'été ou d'hiver. C'est en effet durant ces périodes que les niveaux d'eau varient le moins dans le temps.

6.3.2 Levés : mesures de niveaux d'eau et nivellement

Les endroits où l'on peut mesurer le niveau de la surface libre des aquifères granulaires de surface au Québec sont nombreux. Les niveaux d'eau peuvent être pris dans des puits de surface de résidents, dans des puits d'observation aménagés dans le cadre d'études diverses ou à partir de sondages faits à la tarière en bordure des fossés et dans les champs. Les puits de surface de résidents doivent être inventoriés sur le terrain étant donné qu'aucune base de données sur ces puits n'est disponible à ce jour. L'altitude de la surface libre mesurée dans tous ces ouvrages est valide si l'on considère que ces puits sont souvent complétés au niveau ou juste au-dessous de la surface libre des aquifères granulaires. Les puits tubulaires au roc, bien qu'abondants au Québec, sont inappropriés pour mesurer les niveaux de la surface libre. Ces ouvrages de captage sont majoritairement terminés dans le roc et sont à des profondeurs souvent très importantes. Les niveaux d'eau dans ces puits ne reflètent pas le niveau de la surface libre des aquifères granulaires de surface. En plus de ces points d'accès, les niveaux de ruisseaux, de rivières, d'étangs et de l'eau affleurante au fond des sablières constituent autant de points de mesure de la surface libre. Avant de mesurer ces points d'eau, il faut cependant bien s'assurer qu'ils sont en lien hydraulique direct avec les aquifères. Par exemple, il n'est pas rare qu'une rivière importante ait complètement entaillé l'aquifère et les formations meubles sous-jacentes pour s'écouler sur le socle rocheux. Dans ces cas, le niveau de la rivière ne correspond pas au niveau de la surface libre de l'aquifère granulaire de surface. La vérification du lien hydraulique se fait sur le terrain en allant aux abords des rivières et ruisseaux. Dans la majorité des cas, les berges des cours d'eau possèdent des zones où les dépôts quaternaires sont exposés. La reconnaissance visuelle du matériel aquifère est alors assez aisée. Il faut toutefois être vigilant dans les cas où la rivière s'écoule sur une vaste plaine alluviale. Dans ces cas, les dépôts d'alluvions récentes qui s'y trouvent peuvent être confondus avec le matériel aquifère. De même que pour les mesures de niveau d'eau dans les puits, les niveaux dans les rivières doivent être mesurés, autant que possible, dans un court intervalle de temps.

La profondeur de l'eau dans les puits domestiques, les puits d'observation ainsi que les trous à la tarière est mesurée à l'aide d'instruments comme les sondes électriques conventionnelles munies d'un avertisseur visuel ou sonore et l'altitude de la surface du sol est déterminée par nivellement à partir de bornes géodésiques et à l'aide d'une station totale. L'emplacement des bornes géodésiques et les informations qui s'y rattachent sont disponibles auprès du ministère des Ressources Naturelles (cf. annexe A). Les municipalités peuvent aussi tenir un registre des bornes géodésiques sur leur territoire, et les inspecteurs municipaux sont généralement les personnes à contacter pour obtenir ce genre d'information.



Par ailleurs, le développement de nouvelles technologies de positionnement par satellite (Digital Global Positioning System) permet d'obtenir une précision suffisante de l'altitude de la surface du terrain (de l'ordre du centimètre), ce qui est amplement suffisant pour établir la piézométrie régionale.

Les lieux sur les cartes topographiques (1 : 20 000 ou 1 : 50 000) où se touchent les courbes de niveau topographiques et cours d'eau représentent autant de points d'altitude de la surface libre des formations aquifères qui sont en lien hydraulique direct avec les rivières. Ces données d'altitude peuvent donc être utilisées pour compléter l'ensemble des données piézométriques. De plus, l'ajout de ces points de contrôle d'altitude facilitera grandement le traçage des isohypses, qu'il se fasse de façon manuelle ou informatisée. Aux endroits où il n'y a pas de lien hydraulique entre les formations granulaires de surface et le réseau hydrographique, une estimation de l'altitude de la nappe phréatique peut être effectuée en ces endroits.

6.3.3 Densité, fiabilité et précision requises

La densité, la fiabilité et la précision des données de niveaux d'eau nécessaires à la réalisation d'une carte piézométrique régionale varient selon la topographie du terrain et l'échelle de la cartographie. La piézométrie à grande échelle (ex. : 1 : 20 000) d'une nappe libre dont le relief du terrain sus-jacent est peu accentué nécessite une densité importante de mesures précises de niveaux d'eau. Au contraire, une campagne piézométrique à petite échelle (ex. : 1 : 250 000) d'une nappe libre qui est influencée par un important relief exige une densité et une précision des données relativement moindres.

À titre d'exemple de densité et de précision requises, 368 données de niveau d'eau couvrant une superficie de 520 km² ont été utilisées pour produire la carte piézométrique des aquifères granulaires de surface de la MRC de Portneuf. La majorité de ces niveaux d'eau a été nivelée avec une précision centimétrique. Ces mesures correspondent à une densité d'approximativement 7 niveaux d'eau par 10 km². La cartographie de la surface libre a été effectuée à l'échelle du 1 : 100 000, sur un terrain faiblement escarpé (pente du terrain variant entre 0 et 3 %).

6.3.4 Traitement

Le traitement des données peut s'effectuer de façon manuelle ou informatisée. Pour construire une carte piézométrique de façon manuelle, il faut dans un premier temps placer tous les points de contrôle avec leurs valeurs d'altitude sur une carte. Les isohypses sont ensuite tracées à intervalles réguliers à partir des points de contrôle. Le tracé de la surface libre peut être interprété dans les secteurs où l'on n'a pas de données mais où l'on sait, par exemple, que la nappe affleure. Dans ces cas, le tracé de la surface libre suivra les courbes topographiques. Les isohypses peuvent aussi être générées automatiquement par des logiciels géostatistiques. Plusieurs méthodes d'interpolation sont disponibles, et le choix de l'une d'entre elles dépend de plusieurs facteurs, dont la densité et la précision des données ou la variance qu'il importe de bien évaluer (Isaaks et Srivastava, 1989). En effet, il est essentiel de choisir une méthode qui décrira le mieux possible les données et le phénomène modélisé étant donné que deux méthodes d'interpolation différentes utilisées pour analyser un même ensemble de données peuvent donner des résultats bien différents.

Le choix des intervalles des isohypses dépend principalement de l'échelle de la cartographie et de la précision et de la fiabilité des données. En général, pour une cartographie régionale au 1 : 100 000, on choisira des intervalles de 5 mètres et plus.

L'avantage principal de la méthode manuelle est qu'elle autorise une plus grande latitude au concepteur de la carte dans le tracé des isohypses. Par exemple, lorsqu'il est connu que la nappe affleure dans un secteur particulier, les isohypses pourront être tracées en suivant les courbes topographiques. À moins que tous les points de contrôle topographiques soient entrés dans le fichier de données, les méthodes d'interpolation informatisées ne pourront jamais reproduire les courbes topographiques. Le principal désavantage des techniques manuelles est lié aux problèmes



de mise à jour et de production des cartes. Une fois la carte complétée, elle ne peut pas être modifiée sans avoir à refaire complètement le processus de mise en carte. Pour leur part, les méthodes informatisées, lorsqu'elles sont utilisées de façon pertinente, peuvent offrir une plus grande rigueur dans la génération des isolignes, plus particulièrement lorsque l'ensemble des données est important. De plus, les maillages générés peuvent par la suite être utilisés pour la modélisation numérique ou pour toute autre application. Précisons toutefois que le résultat informatique devrait toujours faire l'objet d'un examen minutieux par l'hydrogéologue afin de déceler les incohérences possibles avec les conditions de terrain.

6.3.5 Présentation des résultats

Le but des cartes piézométriques est de représenter la dynamique de l'écoulement des eaux souterraines. Pour bien illustrer ce phénomène, un certain nombre d'informations de base doivent être présentées sur ces cartes. Les isohypses de la surface libre, exprimées en mètres au-dessus du niveau de la mer, constituent la principale information à représenter. Des flèches montrant la direction de l'écoulement à différents endroits sont aussi essentielles pour indiquer le sens d'écoulement de l'eau souterraine qui s'effectue des valeurs d'altitude les plus élevées vers les plus basses. Les lignes de partage des bassins hydrogéologiques devraient aussi être présentes sur les cartes piézométriques. Le type de lien hydraulique entre les formations aquifères et les principales rivières qui les drainent constitue une information cruciale pour la compréhension des systèmes aquifères et devrait également être indiqué sur la carte. D'autres informations utiles qui pourraient aussi apparaître sur une carte piézométrique sont : la localisation des levés de terrain, la localisation des sources, les types de captage d'eau souterraine (puits, sources captées, prises d'eau municipales, privées ou industrielles, etc.), le pourcentage de la population qui est desservie par l'entremise de ces ouvrages, l'étendue des réseaux d'aqueduc hors des périmètres urbains, le réseau routier ainsi que les limites administratives.

Pour présenter ces différents éléments sur les cartes hydrogéologiques, il est préférable d'utiliser les symboles cartographiques des légendes normalisées d'hydrogéologie. Plusieurs légendes normalisées ont été créées afin de guider les hydrogéologues dans la conception et la standardisation de leurs cartes. Plus récemment, l'AIH a produit une version révisée de sa légende standard (Struckmeier et Margat, 1995). Cette mise à jour tient compte des légendes spécialisées (UNESCO, 1975, Vrba et Zaporozec, 1994) et des légendes standards antérieurement élaborées (ANON, 1970; 1983). La légende standard constitue un alphabet graphique commun à partir duquel les concepteurs de cartes hydrogéologiques peuvent s'inspirer. L'usage de cette légende favorise la standardisation des cartes hydrogéologiques et des paramètres hydrogéologiques qui y sont présentés. Cependant, selon les contextes particuliers, les concepteurs de cartes peuvent ajouter d'autres représentations plus appropriées au contexte local. L'encadré 6.1 illustre une partie de la carte piézométrique des aquifères granulaires de surface de la MRC de Portneuf avec les éléments de légende définis par l'Association internationale des hydrogéologues.

Encadré 6.1

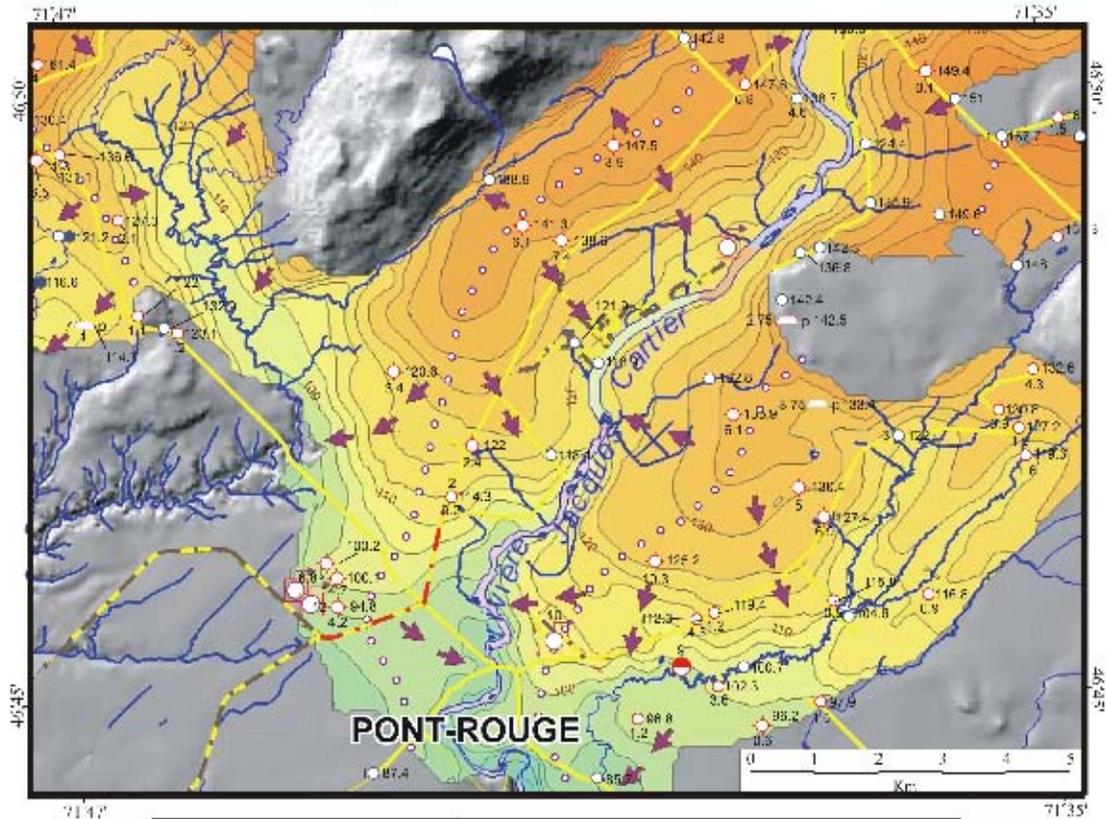
Piézométrie des formations aquifères comprises dans les sables et graviers de surface, MRC de Portneuf

La carte piézométrique présentée ci-dessous montre le tracé de l'altitude de la surface libre dans les aquifères granulaires de surface de la MRC de Portneuf à l'aide d'isohypses exprimées en mètres au-dessus du niveau de la mer. Une échelle de couleur passant du bleu au rouge a été choisie pour illustrer la gradation de l'altitude de la surface libre. Des flèches opaques mauves montrent la direction de l'écoulement et des cercles mauves et blancs ont été utilisés pour représenter les lignes de partage des bassins hydrogéologiques. Le type de lien hydraulique entre les formations aquifères de sables et graviers de surface et les principales rivières qui les drainent est indiqué sur la carte à l'aide de segments colorés le long de ces mêmes rivières. Ces segments ont été repris de la carte des limites hydrogéologiques. La localisation des levés de terrain est également indiquée sur la carte à l'aide de divers symboles. L'endroit des mesures (c.-à-d., puits domestiques, puits d'observation, sondages à la tarière, etc.) est indiqué à l'aide d'un chiffre positionné au-dessus du symbole, l'altitude de la surface de la nappe phréatique est indiquée à droite du symbole, la profondeur de la nappe se retrouve en bas, et la profondeur de l'excavation (sablière, gravière), lorsque pertinente, est indiquée à gauche. Les prises d'eau municipales et privées (sources captées, puits au roc ou dans les dépôts meubles, eau de surface) sont identifiées à l'aide de symboles de différentes couleurs. Finalement, les réseaux d'aqueduc hors des périmètres urbains, le réseau routier ainsi que les limites municipales et de la MRC ont été ajoutés.

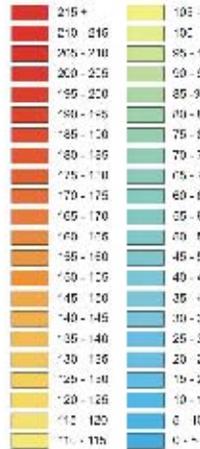
<p>Points de mesures des niveaux d'eau (Mesures nivelées (station totale) entre juin et août 1996)</p> <ul style="list-style-type: none">  puits creusés : puits de surface (1 m de diamètre)  puits forés : piézomètres d'observations, trous à la tarière ou au pirolier  rivières, ruisseaux et fossés  sablières et gravières  résurgences <p>Exemple :</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;">  </div> <div> <p>1 - Profondeur de l'excavation (m)</p> <p>2 - Profondeur à la nappe (m)</p> <p>3 - Altitude de la surface libre (m)</p> </div> </div> <p>Ligne de partage des eaux souterraines </p> <p>Direction de l'écoulement de l'eau souterraine </p>	<p>Type de liaison hydraulique entre les principaux cours d'eau et les formations aquifères</p> <p>drainant :</p> <p> Lien direct : Le lit de la rivière repose sur la formation aquifère qui est composée de sables et graviers. —</p> <p>drainant indirect :</p> <p> Lien indirect : suintement de l'eau souterraine le long des berges composées de silt et d'argiles. Le lit de la rivière repose sur la formation silto-argileuse ou sur le roc. —</p> <p> Lien indirect : suintement de l'eau souterraine le long des berges composées de silt et d'argiles. Le lit de la rivière repose sur le roc qui est composé des roches ignées et métamorphiques. —</p> <p> Lien indirect : suintement de l'eau souterraine le long des berges composées des séquences silto-argileuses et du roc. Le lit de la rivière repose sur les formations rocheuses paléozoïques. —</p>
---	---

Encadré 6.1 suite

Piézométrie des formations aquifères comprises dans les sables et graviers de surface, MRC de Portneuf



Altitude de la surface libre (surface de la nappe phréatique)
mètres au-dessus du niveau de la mer



contours de piézométrie
contours topographiques
typométriques

Prises d'eau municipales :

- Sources captées
- Sources non captées
- Puits terminés dans les dépôts meubles (nappes libres)
- Puits terminés dans les dépôts meubles (nappes captives)
- Puits terminés dans le roc
- Station de pompage d'eau de surface

Exemple :

2 : numéro d'identification de la prise d'eau. Le numéro est relié au nom de la prise d'eau municipale ou de la municipalité qui l'exploite (voir tableau des prises d'eau municipales ci-dessus).

Limites administratives

- Limite de la MRC
- Limite municipale
- Ville et village

Réseau routier

- Route principale

Étendue des réseaux d'aqueduc en zones rurales

- Réseau d'aqueduc privé
- Réseau d'aqueduc municipal

6.4 Dynamique de l'écoulement

6.4.1 Délimitation des sous-bassins aquifères

Comme il est indiqué au chapitre 5 (cf. section 5.2.2), les limites des aquifères granulaires de surface sont déterminées à partir de la carte des formations superficielles. Les limites aquifères coïncident avec les milieux géologiques imperméables ou ceux dont la conductivité hydraulique est d'au moins deux ordres de grandeurs inférieure à celle de l'aquifère (Anderson et Woessner, 1992). Ces limites physiques imperméables sont caractérisées par l'absence de flux d'eau souterraine vers l'aquifère. Une délimitation plus détaillée des aquifères peut cependant être effectuée si l'on tient compte des limites hydrauliques présentes dans les aquifères. Les limites hydrauliques sont formées par les lignes de partage des bassins hydrogéologiques situées sur les crêtes topographiques et les rivières (voir figure 6.1). Ces limites constituent de réelles barrières à l'écoulement. C'est à partir de ces limites que sont identifiés les sous-bassins aquifères. Pour une discussion plus détaillée portant sur les différents types de limites aquifères, le lecteur peut consulter les ouvrages de Castany et Margat (1977) et d'Anderson et Woessner (1992).

La détermination des limites de partage hydrogéologique situées sur les crêtes topographiques se fait à partir de la carte piézométrique, alors que les limites hydrauliques correspondant aux rivières sont déterminées à partir d'une bonne connaissance des conditions hydrogéologiques aux abords et à la base des rivières (cf. section 5.5). En général, les rivières importantes qui s'écoulent sur les formations aquifères, et qui par le fait même les drainent, constituent des limites hydrauliques. Les petits ruisseaux ou fossés de drainage qui entaillent de façon mineure la formation aquifère exercent peu d'effet sur l'écoulement et ne constituent donc généralement pas des limites hydrauliques. Il a été démontré que la permanence des limites hydrogéologiques au-dessous de ruisseaux est inversement proportionnelle à la pente régionale de la nappe et directement proportionnelle au gradient hydraulique dans les sédiments du ruisseau (Zheng et al., 1988a,b). Pour leur part, les rivières qui ont complètement entaillé la formation aquifère granulaire de surface et qui s'écoulent sur le substratum rocheux constituent des limites physiques imperméables et non des limites hydrauliques (cf. section 5.5).

Contrairement aux limites physiques qui représentent des limites stables du système d'écoulement, les limites hydrauliques sont, par nature, transitoires et donc sujettes à se déplacer ou même à disparaître à la suite d'un changement dans les conditions hydrologiques (Anderson et Woessner, 1992). C'est pour cette raison que les aquifères sont délimités à partir des limites physiques imperméables et non à partir des limites hydrauliques.

Il est toutefois utile d'indiquer sur une carte la localisation et le type de limites hydrauliques qui caractérisent un aquifère. Ces informations sont des éléments essentiels dans l'interprétation des systèmes hydrogéologiques étant donné que le système d'écoulement d'un sous-bassin est indépendant de celui qui se fait dans un autre. Du point de vue de la gestion de la ressource, cette connaissance permet d'affirmer qu'une contamination ayant lieu dans un sous-bassin n'aura pas d'impact dans un autre sous-bassin tant et aussi longtemps que les conditions hydrauliques ne seront pas perturbées. De plus, la détermination des limites hydrauliques constitue une des principales étapes de l'élaboration de modèles conceptuels requis pour la modélisation numérique. Un exemple de carte présentant les sous-bassins d'aquifères granulaires de surface est présenté à l'encadré 6.2.

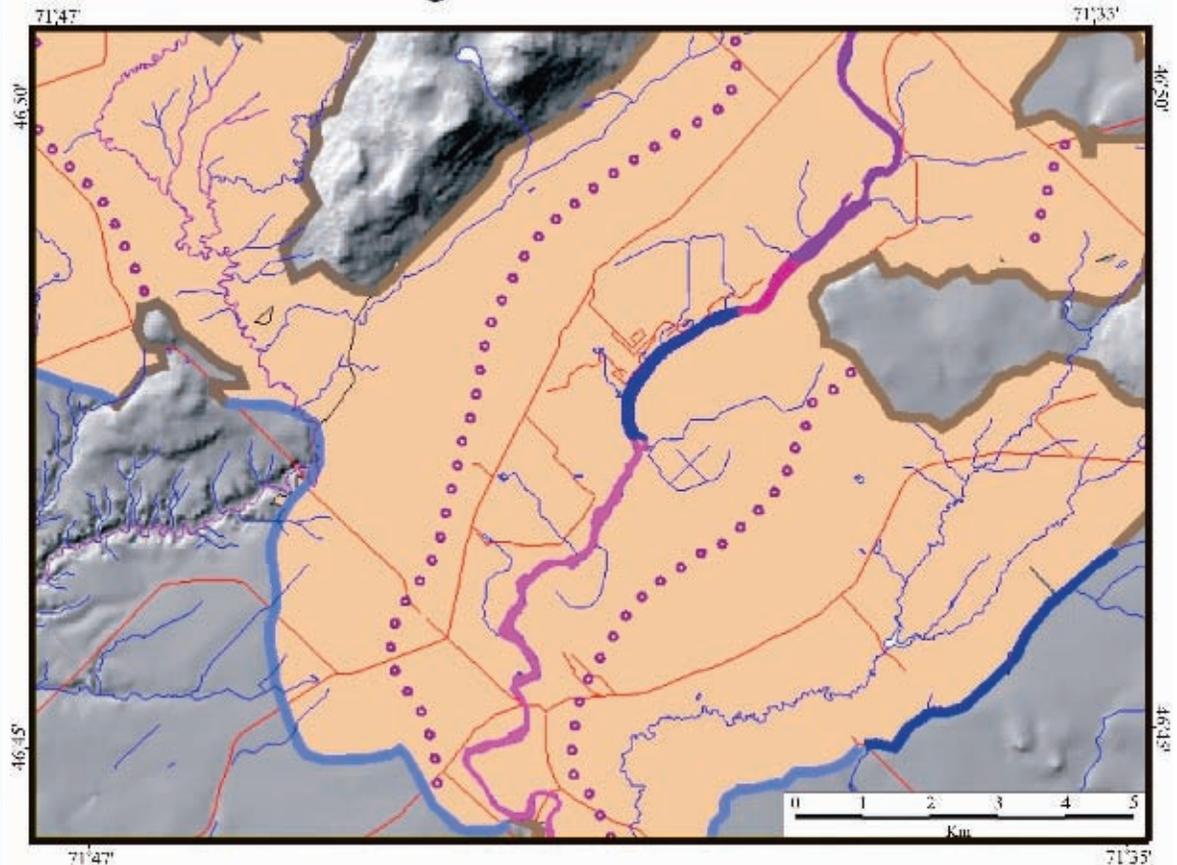
Encadré 6.2

Conditions hydrodynamiques des aquifères granulaires de surface

La carte des limites hydrogéologiques présente les principales limites qui contrôlent l'écoulement des eaux souterraines dans les formations de sables et graviers de surface aux abords de la rivière Jacques-Cartier. Les type de limites, c'est-à-dire physiques et hydrauliques, sont identifiés sur la carte à l'aide de traits de différentes couleurs. Les traits bleus représentent les limites physiques imperméables de l'aquifère, alors que les traits verts constituent des limites hydrauliques. Les segments bleus indiquent un lien direct entre la rivière et la formation aquifère, c'est-à-dire que la rivière coule sur le matériel aquifère qui est composé de sables et graviers. Les segments mauves et bourgogne indiquent que l'eau souterraine suinte le long des berges composées de silts et d'argiles. Dans ces cas, le lit de la rivière repose soit sur les unités silto-argileuses soit sur le socle rocheux. Les segments roses correspondent à des zones où l'eau souterraine suinte le long des berges composées de silts et d'argiles ou de roc. Dans ce cas, le lit de la rivière repose principalement sur les formations rocheuses. La carte de fond utilisée pour représenter les aquifères est la carte d'épaisseur de sables et graviers de surface

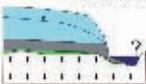
Encadré 6.2 suite

Conditions hydrodynamiques des aquifères granulaires de surface

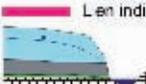


Relation entre eau de surface et eau souterraine

cours d'eau indépendant :

- 

Lien indirect : suintement de l'eau souterraine le long des berges composées de silt et d'argiles. Le lit de la rivière repose sur la formation silto-argileuse ou sur le roc.
- 

Lien indirect : suintement de l'eau souterraine le long des berges composées de silt et d'argiles. Le lit de la rivière repose sur le roc qui est composé des roches ignées et métamorphiques.
- 

Lien indirect : suintement de l'eau souterraine le long des berges composées des séquences silto-argileuses et du roc. Le lit de la rivière repose sur les formations rocheuses paléozoïques.

cours d'eau drainant :

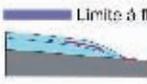
- 

Lien direct : le lit de la rivière repose sur la formation aquifère qui est composée de sables et graviers.

Caractéristiques hydrauliques des contours et des limites des aquifères granulaires de surface

- 

Limite étanche : l'aquifère est bordé par les roches ignées et métamorphiques qui peuvent, à l'occasion, être recouvertes par du till. Les flux d'eau souterraine des formations rocheuses vers l'aquifère sont négligeables.
- 

Limite étanche : l'aquifère se termine en une mince couche de sable qui repose sur des silt et argiles fins. Les flux d'eau souterraine des formations silto-argileuses vers l'aquifère sont négligeables.
- 

Limite à flux sortant : l'aquifère se termine de façon plus ou moins graduelle sur les formations silto-argileuses. L'eau souterraine est évacuée de l'aquifère par gravité sous forme de sources.

Limites de partage des eaux souterraines

- 

Limite à flux nuls : limites de partage des eaux souterraines. Les limites de partage des eaux souterraines forment des limites hydrauliques à travers lesquelles aucun flux d'eau souterraine n'est observé.

6.5 Vulnérabilité des eaux souterraines à la contamination (indice DRASTIC)

6.5.1 Indice de vulnérabilité des eaux souterraines

L'indice de vulnérabilité des eaux souterraines reflète le niveau de risque de contamination de l'eau causé par l'activité humaine, et le *Règlement sur la qualité de l'eau potable* se réfère à la méthode DRASTIC comme moyen d'évaluation de cette vulnérabilité. En effet, en cas de présence de *Escherichia coli* dans l'eau provenant d'un ouvrage de captage d'eau souterraine, l'évaluation de cet indice doit être déterminée dans l'aire d'alimentation de ce captage.

6.5.2 Description de la méthode DRASTIC

La méthode DRASTIC demeure la méthode de détermination de l'indice de vulnérabilité des eaux souterraines la plus communément utilisée. Cette méthode qui consiste en un système de cotation numérique est présentée en détail dans le document EPA-600/2-87-035 (Aller et al., 1987). DRASTIC : A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings, report no EPA-600/2-87-035. National Water Well Association, Ohio). Les sections suivantes présentent les notions hydrogéologiques sous-jacentes à la méthode.

6.5.3 Hypothèses de base

La méthode proposée repose sur les trois hypothèses de base suivantes avec lesquelles les utilisateurs doivent être familiers afin de bien cerner ses limites d'application.

- Les sources de contamination potentielles se trouvent à la surface du sol;
- De la surface du sol, les contaminants potentiels atteignent l'aquifère par le mécanisme d'infiltration efficace;
- La nature des contaminants potentiels n'est pas considérée dans le calcul de l'indice.

Dans l'éventualité où l'une des trois hypothèses précédentes ne s'y retrouve pas, l'interprétation de l'indice DRASTIC doit donc se faire avec prudence.

6.5.4 Facteurs déterminants

Les sept lettres de l'acronyme DRASTIC représentent les facteurs déterminant la valeur de l'indice de vulnérabilité. Ces derniers sont, dans l'ordre :

D (**D**epth to water table ou profondeur de la nappe d'eau), R (**R**echarge ou infiltration efficace), A (**A**aquifer media ou milieu aquifère), S (**S**oil media ou type de sol), T (**T**opography ou pente du terrain), I (**I**mpact of vadose zone ou impact de la zone vadose) et C (**C**onductivity ou conductivité hydraulique).

Ces sept paramètres découpent, de façon schématique, une unité hydrogéologique locale en ses principales composantes, lesquelles influent, à des degrés différents, sur les processus de transport et d'atténuation des contaminants dans le sol. Une valeur numérique (poids paramétrique), comprise entre 1 et 5, reflète le degré d'influence de chacun d'eux. Le tableau 6.1 associe à chacun des sept facteurs un poids paramétrique général.

Tableau 6.1 Paramètres DRASTIC

PARAMÈTRE	POIDS (GÉNÉRAL)
Profondeur de la nappe d'eau	5
Recharge efficace	4
Milieu aquifère	3
Type de sol	2
Pente du terrain	1
Impact de la zone vadose	5
Conductivité hydraulique	3

À chacun des paramètres est aussi associée une cote variant de 1 à 10, définie en fonction d'intervalles de valeurs. La plus petite cote représente les conditions de plus faible vulnérabilité à la contamination. Les cotes pour tous les paramètres sont compilées dans les tableaux ci-après.

Tableau 6.2
Cotes de la profondeur de la nappe d'eau

PROFONDEUR DE LA NAPPE D'EAU (M)	
INTERVALLE	COTE
0 à 1,5	10
1,5 à 4,5	9
4,5 à 9,0	7
9,0 à 15,0	5
15,0 à 23,0	3
23,0 à 31,0	2
31,0 et plus	1

L'estimation de ce paramètre doit tenir compte des conditions de crues saisonnières. La méthode DRASTIC prévoit que, dans les cas de nappes captives, la profondeur de la nappe d'eau correspond à celle du toit de l'aquifère.

Tableau 6.3 Cotes de la recharge annuelle

RECHARGE ANNUELLE (CM)	
INTERVALLE	COTE
0 à 5	1
5 à 10	3
10 à 18	6
18 à 25	8
25 et plus	9

Tableau 6.4 Cotes du milieu aquifère

MILIEU AQUIFÈRE		
TYPE D'AQUIFÈRE	COTE	COTE-TYPE
Shale massif	1-3	2
Roches ignées/méthanomorphiques	2-5	3
Roches ignées/méthanomorphiques altérées	3-5	4
Till	4-6	5
Lits de grès, calcaire et shale	5-9	6
Grès massif	4-9	6
Calcaire massif	4-9	6
Sable et gravier	4-9	8
Basalte	2-10	9
Calcaire karstique	9-10	10

Tableau 6.5 Cotes du type de sol

TYPE DE SOL	
NATURE DU SOL	COTE
Sol mince ou roc	10
Gravier	10
Sable	9
Tourbe	8
Argile fissurée	7
Loam sableux	6
Loam	5
Loam silteux	4
Loam argileux	3
Terre noire	2
Argile	1

Ce paramètre correspond approximativement au premier mètre de dépôts à partir de la surface du sol.

Tableau 6.6 Cotes de la pente du terrain

PENDE DU TERRAIN (%)	
INTERVALLE	COTE
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
18+	1

Tableau 6.7 Cotes de l'impact de la zone vadose

IMPACT DE LA ZONE VADOSE		
NATURE DE LA ZONE VADOSE	COTE	COTE-TYPE
Couche imperméable	1	1
Silt/argile	2-6	3
Shale	2-5	3
Calcaire	2-7	6
Grès	4-8	6
Lits de calcaire, grès et shale	4-8	6
Sable et gravier avec silt et argile	4-8	6
Roches métamorphiques/ignées	2-8	4
Sable et gravier	6-9	8
Basalte	2-10	9
Calcaire karstique	8-10	10

Pour l'application de la méthode DRASTIC, la zone vadose correspond à la portion souterraine du terrain comprise entre le sol (premier mètre à partir de la surface) et le niveau de la nappe d'eau souterraine, prenant ainsi en considération toutes les unités influant sur le transport de contaminants.

**Tableau 6.8
Cotes de la conductivité hydraulique**

CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE (M/J)	
INTERVALLE	COTE
0,04-4	1
4-12	2
12-29	4
29-41	6
41-82	8
82+	10

L'indice de vulnérabilité DRASTIC (ID) est déterminé, pour chacune des unités hydrogéologiques, à l'intérieur des périmètres de protection rapprochée correspondant à des temps de parcours de l'eau souterraine de 200 (protection bactériologique) et 550 jours (protection virologique), par la somme des produits des poids pondérés par la cote correspondante. Ainsi :

$$ID = D_p D_c + R_p R_c + A_p A_c + S_p S_c + T_p T_c + I_p I_c + C_p C_c \quad [6.1]$$

À titre d'exemple, pour le paramètre D (profondeur de la nappe d'eau), D_p et D_c correspondent respectivement au poids et à la cote paramétrique.

Lorsque plusieurs unités hydrogéologiques coexistent à l'intérieur des périmètres de protection ciblés, la création de cartes de vulnérabilité délimitant ces unités et montrant les indices DRASTIC correspondants devient nécessaire. Il est aussi fréquent qu'à l'intérieur d'une unité hydrogéologique les cotes rattachées aux paramètres varient considérablement, de sorte qu'il

devient alors indispensable de différencier ces zones en sous-unités. Les étapes de construction de cartes de vulnérabilité sont décrites dans Champagne et Chapuis (Champagne et Chapuis, 1993).

6.5.5 Collecte des données

La détermination des unités et des sous-unités hydrogéologiques ainsi que l'évaluation des sept paramètres requièrent la connaissance de la géologie (roc et dépôts-meubles), de l'hydrogéologie, de la pédologie, de la topographie ainsi que de la météorologie. Ces informations sont, le plus souvent, contenues dans des rapports ou des banques de données existants. Ainsi, avant de déployer des efforts coûteux dans la réalisation de travaux de terrain, le consultant fera l'inventaire de ces données, jugera de leur fiabilité et les analysera afin d'estimer les sept paramètres de base. Seules les informations manquantes dans les sources de données existantes ou celles pour lesquelles un doute existe quant à leur fiabilité ou leur précision devront être obtenues à partir de travaux de terrain.

Le rapport sur la détermination de l'indice DRASTIC doit indiquer clairement la source des informations utilisées et le cheminement et les hypothèses qui ont mené à l'estimation de chacune des cotes. Le lecteur pourra ainsi juger de la valeur des cotes attribuées, car la fiabilité de l'indice DRASTIC dépend de la quantité et de la qualité des données qui ont permis l'évaluation de celles-ci.

L'annexe A regroupe les principales sources d'information auxquelles le consultant peut se référer pour l'estimation des sept paramètres. Voir aussi les références du mémoire du CGQ présenté au BAPE lors de la consultation publique sur « La gestion de l'eau au Québec », à la page 20.

6.5.6 Interprétation des indices de vulnérabilité DRASTIC

L'indice de vulnérabilité DRASTIC correspond à un nombre dont la valeur croît avec le niveau de risque de contamination de l'aquifère. La gamme des poids et des cotes paramétriques décrites plus haut résulte en des valeurs minimale et maximale respectives de 23 et 226.

Dans le *Règlement sur la qualité de l'eau potable*, il est stipulé qu'un indice de vulnérabilité DRASTIC supérieur à 100 dans les périmètres de protection de l'aire d'alimentation du lieu de captage requiert un suivi particulier de la qualité microbiologique de l'eau.

6.5.7 Exemple d'application

Un exemple d'application de la méthode DRASTIC en territoire québécois a été réalisé dans la MRC de Montcalm (Champagne, 1993) ainsi que la région de Portneuf (Murat et al., 2000). Ces travaux démontrent que les cas inventoriés de contamination des eaux souterraines se trouvent dans les zones où des indices élevés de vulnérabilité ont été déterminés. Cette constatation suggère que la méthode préconisée doit fournir un bon indicateur de la vulnérabilité des eaux souterraines.

6.6 Références

- Aller, L. et al. 1987. DRASTIC: A Standardized Method for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. EPA-600/2-87-035, 455 p.
- Anderson, P. et Woessner, W. W. (1992). *Applied groundwater modelling. Simulation of flow and advecting transport*. Academic Press inc. 381 p.
- ANON (1970). *International legend for hydrogeological maps*. UNESCO/IASH/IAH / Institute of Geol. Sciences, 101 p., London.
- 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, Département de génie minéral, École Polytechnique, 280 p.

- 
- Champagne, L. et Chapuis, R. (1993) *Évaluation et cartographie de la vulnérabilité à la pollution des formations aquifères de la MRC de Montcalm selon la méthode DRASTIC*. Sciences et techniques de l'eau, vol. 26, no 3, août 1993, p. 169-176.
- Hubert, M. K. (1940). *The theory of groundwater motion*. Journal of Geology 48, no 8:785-944.
- Isaaks, E. H. et Srivastava, R. M. (1989). *An introduction to applied geostatistics*. New York, Oxford University Press, 561 p.
- Lefebvre, R., Michaud, Y., Martel, R., Fagnan, N. *La cartographie hydrogéologique régionale: un outil essentiel à l'inventaire des ressources en eaux souterraines. Mémoire du CGQ présenté au BAPE lors de la consultation publique sur « La gestion de l'eau au Québec », octobre 1999, 22 p.*
- Llamas, J. (1993). *Hydrologie: Principes et applications*. Gaëtan Morin éditeur, Québec, 2^e édition, 527 p.
- Murat, V., Martel, R., Michaud, Y., Fagnan, N., Beaudoin, F., Therrien, R. (2000). *Cartographie hydrogéologique régionale du Piémont laurentien dans la MRC de Portneuf: Comparaison des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité*. Commission géologique du Canada, dossier public numéro 3664-d.
- Savard, M. M., Lefebvre, R., Martel, R., Ouellet, M., Lamontagne, C. (2003). *Guide méthodologique pour la caractérisation régionale des aquifères en roches sédimentaires fracturées*. Commission géologique du Canada, (à paraître).
- Struckmeier W. F. et Margat, J. (1995). *Hydrogeological Maps, A guide and a Standard Legend*. International Association of Hydrogeologists, v. 17, 177 p.
- UNESCO (1975). *Legends for geohydrochemical maps*. Technical papers in Hydrology, no 14, ISBN 92-3-001207-6, 62 p., Paris.
- Vrba, J. et Zaporozec, A. (1994). *Guidebook on mapping groundwater vulnerability*. International Association of Hydrogeologists, v. 16, 131 p.
- Zheng, C., Bradbury, K. R. et Anderson, M. P. (1988a). *Role of interceptor ditches in limiting the spread of contaminants in groundwater*. Ground Water 26(6), p. 767-742.
- Zheng, C., Wang, H.F., Anderson, M. P., Bradbury, K. R. (1988b). *Analysis of interceptor ditches for control of groundwater pollution*. Journal of Hydrology 98, p. 67-81.

7.1 Introduction

La caractérisation hydrogéochimique de l'eau souterraine est une partie intégrante d'un projet de cartographie hydrogéologique régionale. Elle consiste à caractériser les constituants présents dans l'eau souterraine afin d'en évaluer la qualité. On peut ainsi mesurer les concentrations naturelles des constituants de l'eau souterraine, évaluer la variabilité de la qualité de l'eau, en préciser le niveau de détérioration, déterminer des problématiques de contamination et évaluer les impacts des activités anthropiques. On pourra ainsi assurer le suivi ultérieur de la qualité de l'eau souterraine puisque la teneur de fond des paramètres physico-chimiques aura été établie. Il est également possible de représenter de façon graphique et cartographique les caractéristiques géochimiques de l'eau et les principaux types d'eau à l'échelle régionale. Finalement, la caractérisation permet de préciser les aquifères pour lesquels des mesures de conservation de la ressource peuvent être nécessaires afin d'en assurer une qualité constante. Ces mesures peuvent comprendre l'adoption d'approches préventives à la contamination (aménagement et échantillonnage périodique de puits d'observation) ou l'instauration de mesures de protection locales (limitation au niveau de l'utilisation du sol). Ce chapitre traite de la caractérisation de l'eau souterraine, de l'évaluation de sa qualité et de sa représentation graphique et cartographique.

7.1.1 Signature géochimique de l'eau souterraine

Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau souterraine sont non seulement fonction de la composition initiale de l'eau s'infiltrant dans l'aquifère, mais également des réactions de l'eau avec les minéraux et les gaz présents dans les zones non saturées et saturées. En effet, l'eau souterraine est une composante fondamentale du cycle de l'eau. Elle provient de l'infiltration des précipitations et circule à travers un milieu perméable fait de matériaux géologiques granulaires ou fracturés. Lors de sa circulation, l'eau participe à de nombreux processus géochimiques (altération, dissolution, précipitation et sorption). Sa composition est donc modifiée progressivement tout au long de son parcours. Les modifications de composition chimique sont également fonction du temps de résidence de l'eau dans l'aquifère, qui peut varier de quelques mois à plusieurs décennies, selon le contexte. Le cheminement de l'eau souterraine à travers les formations géologiques peut en principe être déduit indirectement par l'étude de la signature géochimique des eaux résultant des interactions avec le milieu géologique (ex. : gains d'ions causés par la dissolution ou les pertes occasionnées par la précipitation de phases minérales) et les propriétés physico-chimiques de l'eau (Appelo et Postma, 1993; Hem, 1989).

C'est ainsi que certains éléments comme le fer, le soufre, le manganèse, le calcium et le magnésium (dureté), les fluorures, l'arsenic et le baryum sont parfois présents dans les eaux souterraines à des concentrations particulièrement élevées sans que des sources de contamination anthropique ne soient en cause. La composition minéralogique des diverses formations géologiques peut donc jouer un rôle dans l'enrichissement naturel de l'eau en certains éléments.

La qualité de l'eau souterraine peut être compromise par des activités polluantes d'origine : 1) domestique (aménagement de champs d'épuration); 2) agricole (épandage d'engrais chimique et organique, de pesticides); 3) industrielle (fuites d'hydrocarbures, de solvants, etc.) et 4) communautaires (aménagement de lieux d'enfouissement sanitaire, etc.).

La caractérisation hydrogéochimique s'avère être un outil des plus intéressants pour étudier l'interaction eau-aquifère, évaluer la potabilité de l'eau et pour mesurer l'impact des activités anthropiques. C'est un outil nécessaire à l'évaluation et à la protection de la ressource eau souterraine.

7.1.2 Provenance des données

Pour connaître l'origine des différents éléments ou composés chimiques trouvés dans l'eau souterraine, on peut se référer à Hounslow (1995) ou à Hem (1989). Pour connaître les concentrations de ces éléments dans les eaux souterraines du Québec, on peut consulter Simard et Des Rosiers



(1980), la banque de données géochimiques du Québec (BADGEO) du ministère des Ressources naturelles et de la Faune, le Système eau potable du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (annexe A) de même que les études hydrogéologiques réalisées par des entreprises privées. Finalement, pour en savoir plus long sur la qualité de l'eau en milieu rural, on devra consulter les ouvrages du ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec de Giroux (1992, 1994 et 1995) et de la Régie régionale de la santé et des services sociaux de l'Estrie (dépliant).

Toutes ces données permettent de préciser les problématiques de l'eau qui ont cours dans une région donnée. Elles fournissent aussi des indications utiles pour orienter la campagne d'échantillonnage. Les intervenants municipaux et les puisatiers travaillant sur le territoire peuvent également fournir des informations très précieuses parce que ce sont les personnes les plus familières avec la région d'étude.

7.1.3 Évaluation de la qualité de l'eau souterraine

Le choix des différents paramètres (physico-chimiques, inorganiques, organiques, microbiologiques et parfois radiologiques) à mesurer et à analyser est fonction des caractéristiques hydrogéochimiques et de la zone d'étude. Les résultats d'analyses et les mesures des différents paramètres doivent être comparés à des normes ou critères afin d'en évaluer la qualité. Ces critères sont fonction de l'usage que l'on désire faire de l'eau : approvisionnement en eau potable, agriculture (irrigation, abreuvement d'animaux d'élevage), vie aquatique d'eau douce (pisciculture) et approvisionnement en eau industrielle (géothermie, refroidissement, eau de procédés). Les critères de qualité établis afin d'évaluer la qualité de l'eau potable sont présentés dans le Règlement sur la qualité de l'eau potable du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs qui est accessible dans le site Internet du ministère à l'adresse (<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/potable/brochure/index.htm>).

7.2 Paramètres géochimiques à mesurer et à analyser

Les paramètres de qualité de l'eau généralement mesurés lors d'études de caractérisation hydrogéochimique régionale sont présentés dans les sections qui suivent.

7.2.1 Paramètres physiques et chimiques

Les principaux constituants physiques et chimiques qui devraient faire l'objet d'analyses lors d'études hydrogéochimiques régionales sont les suivants :

- **Paramètres physiques** : température, pH, conductivité électrique, matières dissoutes totales (MDT), couleur, turbidité, odeur.
- **Éléments majeurs et mineurs** : alcalinité totale, calcium, potassium, magnésium, sodium, chlorures, bicarbonates, sulfates, silice, fluorures, fer, manganèse, nitrates, strontium, carbonates.
- **Éléments traces** : argent, arsenic, bore, baryum, brome, cadmium, cyanures totaux, chrome, cuivre, mercure, nitrites, phosphore total, plomb, sélénium, uranium, zinc.
- **Paramètre organique** : carbone organique dissous.
- **Gaz dissous** : sulfures.

Cependant, lorsque des contraintes budgétaires limitent le nombre d'analyses à effectuer, l'analyse des paramètres physiques et des éléments majeurs et mineurs permet tout de même de connaître les problèmes de qualité de l'eau généralement trouvés à l'échelle régionale et de déterminer les différents types d'eau qui y apparaissent (*cf section 7.4.*).

Tableau 7.1 Liste de problèmes déterminés lorsque les normes ne sont pas respectées

PARAMÈTRE ESTHÉTIQUE	OE (MG/L)	PROBLÈMES DE QUALITÉ	PRINCIPALES SOURCES DE CONTAMINATION
pH trop bas	≥6,5 ≤8,5	Eau corrosive, favorise la dissolution des métaux de la tuyauterie ou des soudures	Naturelle
pH trop élevé	≥6,5 ≤8,5	Entartrage	Naturelle
Sulfures	≤0,05	Odeur/goût œufs pourris, caractéristiques de conditions réductrices	Naturelle
Manganèse	≤0,05	Colore l'eau, tache le linge lessivé, favorise la croissance de bactéries dans les canalisations, entraînant des problèmes d'odeur et de goût	Naturelle
Fer	≤0,3	Idem	Naturelle
Dureté	≤200*	Dépôts dans les chauffe-eau et la tuyauterie et utilisation plus importante de savon pour la lessive	Naturelle
Sodium	≤200	Préjudiciable aux personnes souffrant d'hypertension ou d'insuffisance cardiaque	Naturelle, (roc, eau de mer, etc.)
Chlorures	≤250	Goût désagréable	Sels déglaçants
MDT	≤500	Dépend des constituants	Sels de Ca, Mg, NaCl, etc.
Paramètre lié à la santé	CMA		
NO ₃ +NO ₂	10	Méthémoglobinémie**; possiblement cancérogène bien que les éléments de preuve soient faibles	Fertilisants chimiques ou organiques
Fluorure	1,5	Fluorose dentaire	Naturelle
Plomb	0,01	Plomberie des maisons, tuyaux et soudures	

Certains paramètres doivent préférablement être mesurés sur le terrain parce qu'ils évoluent rapidement dans le temps. Ces paramètres sont présentés au tableau 7.2 de même que les appareils qui permettent d'effectuer ces mesures. Quelques-uns de ces paramètres peuvent aussi être calculés à partir de résultats d'analyses chimiques: conductivité ionique équivalente, matières dissoutes totales (somme des éléments dissous), dureté et alcalinité.

Tableau 7.2 Paramètres physico-chimiques usuels mesurés ou évalués sur le terrain et matériel de base nécessaire pour effectuer ces mesures

PARAMÈTRE PHYSICO-CHIMIQUE MESURÉ	MATÉRIEL NÉCESSAIRE
Température	Thermomètre
pH	pHmètre et solutions tampon pour la calibration
Conductivité électrique	Sondes à conductivité électrique et solutions normalisées pour la calibration
Oxygène dissous	Sonde à oxygène dissous
Alcalinité	pHmètre et réactifs
Potentiel d'oxydo-réduction	Sonde
PARAMÈTRE PHYSICO-CHIMIQUE ÉVALUÉ	
Couleur	Évaluation subjective
Odeur	Évaluation subjective
Turbidité	Évaluation subjective

Note : il existe des sondes multiparamètres qui permettent de mesurer à la fois plusieurs paramètres.

Les principaux gaz dissous pouvant se trouver dans les eaux souterraines sont l'oxygène (O₂), l'azote (N₂), le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et les sulfures (H₂S). Ils indiquent les conditions aérobies ou anaérobies du milieu et les processus géochimiques qui peuvent exister (ex. : biodégradation). Lors d'études de caractérisation régionale, les paramètres intéressants à mesurer sont l'oxygène, le dioxyde de carbone et les sulfures (source d'odeurs désagréables). La concentration en dioxyde de carbone (CO₂) peut être calculée à partir de l'alcalinité ou du carbone inorganique dissous (CID) et du pH. L'oxygène peut être mesuré à l'aide d'une sonde spécifique et les sulfures peuvent être mesurés en laboratoire.

Il peut être nécessaire d'effectuer des analyses de paramètres organiques (pesticides, composés organiques volatils et autres) afin de prévoir des problématiques particulières de contamination. Les concentrations en carbone organique dissous constituent un indicateur intéressant relativement à la présence de produits organiques.

Les paramètres isotopiques tels que le deutérium, le tritium, l'oxygène-18, le carbone-13, le carbone-14, l'azote-15 et le sulfure-34 permettent, entre autres, d'étudier des processus de recharge des formations aquifères, l'âge de l'eau souterraine et les patrons d'écoulement (Alley, 1993; Clark, 1997).

7.2.2 Paramètres microbiologiques

Les analyses microbiologiques généralement réalisées pour évaluer la qualité de l'eau brute consistent en le dénombrement d'organismes indicateurs tels que les coliformes totaux et fécaux, afin de contrôler les microorganismes pathogènes qui causent principalement des problèmes gastro-intestinaux ou des diarrhées. La présence de coliformes totaux indique que l'ouvrage de captage n'est pas étanche à la contamination par les microorganismes. Par contre, les coliformes fécaux constituent un meilleur indicateur de risque pour la santé humaine que les coliformes totaux. La présence de *Escherichia coli*, par exemple, indique clairement la présence d'excréments humains, alors que d'autres espèces de microorganismes sont naturellement trouvées sur les plantes et dans le sol. Les critères de qualité microbiologique sont présentés dans le Règlement sur la qualité de l'eau potable du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs qui est accessible dans le site Internet du ministère à l'adresse (<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/potable/brochure/index.htm>).



Les résultats d'analyses réalisées de façon périodique pour les sources d'approvisionnement en eau potable existantes et inventoriées par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs ne concernent habituellement que les paramètres inorganiques régis par le Règlement sur la qualité de l'eau potable. Elles correspondent principalement à l'analyse des métaux effectuée sur des échantillons d'eau traitée. Ces résultats sont souvent insuffisants pour atteindre les objectifs de caractérisation hydrogéochimique recherchée, dont l'identification des types d'eau. Ils doivent donc être complétés par l'analyse de paramètres additionnels plus pertinents.

7.3 Protocole de prélèvement des échantillons/prévention de la contamination

Lorsqu'on désire évaluer la qualité des ressources en eau souterraine, des précautions doivent être prises afin d'assurer l'intégrité des échantillons prélevés et de réduire la contamination lors de l'échantillonnage, ce qui permet ainsi d'obtenir les résultats d'analyse les plus représentatifs possible. Le guide d'échantillonnage aux fins d'analyses environnementales rédigé par le MDDEP (1994) (cahiers no 1 : Généralités et no 3 : Échantillonnage des eaux souterraines) constitue un excellent document de référence lorsqu'on désire effectuer des campagnes d'échantillonnage. Il fournit des informations pertinentes quant aux procédures d'échantillonnage à suivre (élaboration du programme d'échantillonnage, matériel à utiliser, filtration, etc.), à la conservation (type de bouteilles et agents de conservation), à l'entreposage et au transport des échantillons, aux délais d'analyse à respecter et au contrôle de qualité.

Plusieurs informations doivent être notées lors de l'échantillonnage de façon à faciliter l'interprétation des résultats d'analyse. La plupart de ces informations devraient être transcrites ultérieurement dans un chiffrier électronique sous forme de base de données; elles seront utiles pour le traitement et l'analyse des résultats. Un exemple de fiches de terrain est présenté à l'annexe B.

Un programme d'assurance qualité est essentiel afin de s'assurer que les procédures d'échantillonnage, d'analyse et de mesure sont adéquates. Ce programme doit être documenté et vérifiable. La qualité des échantillons, des dosages et du matériel d'échantillonnage est habituellement évaluée par l'analyse de duplicatas (analysés dans le même laboratoire) et de blancs de terrain, de lavage et parfois même de transport.

7.4 Procédures pour la caractérisation géochimique

Lorsqu'on désire caractériser les ressources en eau souterraine de façon régionale, la représentativité des puits à échantillonner est importante. Le choix des sites doit permettre l'échantillonnage des différentes formations aquifères granulaires et rocheuses exploitées ou exploitables comme sources d'approvisionnement (municipales et privées), et ce, autant en condition de nappe libre qu'en condition de nappe captive. Même si le présent guide porte essentiellement sur la cartographie hydrogéologique des dépôts meubles, l'échantillonnage de l'eau souterraine provenant des unités rocheuses doit aussi être considéré afin de pouvoir mesurer la présence ou l'absence d'une interconnexion entre ces deux milieux hydrostratigraphiques. Idéalement, on désire caractériser la qualité de l'eau de façon tridimensionnelle sur tout le territoire. On doit évidemment faire des concessions afin de limiter les coûts et aussi parce que les informations géologiques et les puits nécessaires à l'échantillonnage sont souvent répartis inégalement. Il peut aussi être avantageux de réaliser une caractérisation préliminaire de la qualité de l'eau de puits existants avant de s'engager dans la construction de puits spécialement aménagés pour l'échantillonnage. Cette caractérisation préliminaire peut orienter la construction de puits d'observation qui peuvent faire partie d'un réseau de surveillance. Les avantages et inconvénients des différentes unités de captage qui peuvent être utilisées pour l'échantillonnage, sont présentés au tableau 7.3.

Tableau 7.3 Types d'ouvrages de captage pouvant être utilisés pour une étude de caractérisation hydrogéochimique

TYPE D'OUVRAGE	AVANTAGE	DÉSAVANTAGE
Ouvrages de captage reliés à des réseaux municipaux ou privés	Déjà existants (diminution des coûts).	Peuvent parfois être alimentés par différentes formations géologiques ou unités hydrostratigraphiques (mélange d'eaux) en raison du pompage important d'eau ou de l'aménagement du puits; L'information sur l'aménagement du puits peut être incomplète.
Puits d'observation ou de surveillance existants ou aménagés dans le cadre de l'étude	Habituellement construits afin de capter l'eau d'une formation particulière; Détails de construction et d'aménagement des puits connus → analyse et interprétation des résultats faciles; Évaluation de la qualité de l'eau de l'aquifère.	Coûteux, s'il est nécessaire de les construire; Doivent être aménagés et purgés adéquatement avant l'échantillonnage.
Puits de surface, pointe filtrante	Approprié pour l'étude d'un aquifère de surface ou pour étudier la recharge d'un aquifère rocheux.	
Puits tubulaire		Souvent ouvert sur une grande profondeur, ce qui rend difficile la détermination de la provenance de l'eau échantillonnée.
Source	Facile à échantillonner, pas nécessaire de purger ou de pomper; Permet de caractériser l'eau de zones de résurgence.	Ouverte à l'atmosphère, pas étanche.
Bassin de captage	Facile à échantillonner.	L'eau peut y être stagnante; ouvert à l'atmosphère.
Réservoir	Facile à échantillonner.	La qualité de l'eau peut être modifiée pour certains paramètres si elle séjourne plus ou moins longtemps dans le réservoir; Ouvert à l'atmosphère.

Le système d'informations hydrogéologiques (SIH) (communément appelé base de données des puisatiers) du MDDEP constitue la principale source d'informations disponible pour déterminer les sites potentiels d'échantillonnage en ce qui concerne les puits tubulaires (puits creusés dans des aquifères rocheux ou granulaires). On y trouve plusieurs informations relativement aux attributs d'un forage. Cette base de données ne contient toutefois pas d'information relative aux autres ouvrages de captage aménagés dans les dépôts meubles de type pointe filtrante, puits de surface ou ouvrage de captage de sources. Ce sont les inspecteurs municipaux qui peuvent fournir une aide précieuse dans la localisation de ce type d'ouvrage de captage. Il devient nécessaire alors de con-



sulter les propriétaires de ces captages pour avoir les informations pertinentes quant à leur aménagement. De plus, les responsables municipaux constituent une référence incontournable pour l'obtention des renseignements sur les ouvrages de captage alimentant des réseaux de distribution municipaux et privés. Les études hydrogéologiques réalisées par des firmes de consultants sont également d'excellentes sources d'information et sont souvent disponibles directement dans les municipalités ou, avec leur permission, auprès de ces firmes. Des études effectuées par différents ministères sont également très utiles. Finalement, il est parfois nécessaire d'effectuer du porte à porte pour obtenir directement de la part du propriétaire les informations requises quant à la construction d'un puits.

Selon Alley (1993), une étude régionale de caractérisation peut s'effectuer sur un territoire variant entre une dizaine à des dizaines de milliers de km². De plus, des études à l'échelle locale sont parfois nécessaires afin d'expliquer certaines caractéristiques régionales de la qualité de l'eau. De même, des études à dimension temporelle sont nécessaires lorsqu'on désire, par exemple, analyser une problématique de contamination où les paramètres étudiés varient avec les saisons ou avec les années.

Plusieurs facteurs sont à considérer lorsqu'on désire évaluer le nombre minimal de puits à échantillonner pour un territoire donné lors d'une étude de caractérisation hydrogéochimique. On doit en effet tenir compte :

- du contexte géologique (diversité et étendue des formations géologiques à caractériser : formations granulaires de surface, formations granulaires enfouies, formations rocheuses);
- des objectifs de l'étude de caractérisation comme des études de problématiques particulières (ex. : contamination liée à des lieux d'enfouissement sanitaire, activités agricoles, etc.);
- de la diversité des sources d'approvisionnement;
- de la répartition des puits;
- du budget disponible; on doit souvent limiter le nombre d'échantillons à prélever en raison des coûts d'analyse et du temps/personne disponible pour les campagnes d'échantillonnage.

À titre d'exemple et à la suite de l'expérience concernant le projet de cartographie hydrogéologique effectué sur le territoire de la MRC de Portneuf, pour un feuillet 1 : 100 000, c'est-à-dire un territoire de 2 500 km², une centaine d'échantillons ont été prélevés dont les deux tiers proviennent d'unités granulaires. Ce nombre d'échantillons a permis une caractérisation de l'eau souterraine jugée adéquate pour le secteur (Bourque et al., 1998).

7.5 Traitement des données

Des vérifications de l'équilibre chimique (balance ionique de la solution) sont également nécessaires pour chaque échantillon afin de détecter des erreurs d'analyse. On peut également comparer les conductivités électriques mesurées et calculées à partir des résultats d'analyse. Lorsque l'équilibre cations/anions représente une erreur de plus de 5 à 10 %, on considère généralement que les résultats sont douteux et on doit les utiliser sous réserve et parfois même les rejeter. Pour certains échantillons, on peut tolérer une erreur plus élevée lorsque l'équilibre chimique est instable, par exemple lorsque l'alcalinité est très faible ou très élevée; on peut consulter à ce sujet les spécialistes qui effectuent les analyses.

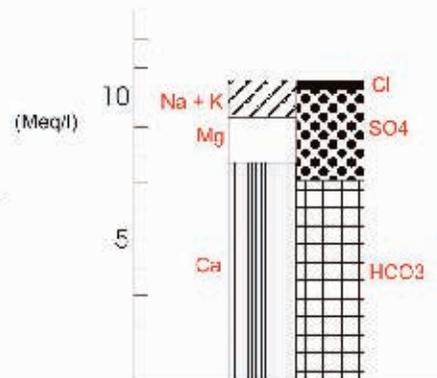
Plusieurs logiciels dont AquaChem (Waterloo hydrogeologic, 1999), WATEVAL (Hounslow), MINTEQ (Felmy, 1984), WATEQ (Truesdell, 1973) et PHREEQE (Parkhurst, 1980) sont utilisés pour traiter et présenter des données géochimiques. Ils peuvent être très utiles à la validation des données (vérification de l'équilibre chimique), à la détermination de la minéralogie d'un aquifère, aux calculs de spéciation (détermination des différentes formes d'un élément présent dans l'eau), à la présentation graphique des résultats d'analyse (encadré 7.1) et à la modélisation géochimique (simulation de processus géochimiques tels que l'échange ionique et la précipitation de minéraux).

Encadré 7.1

Représentation graphique des données de qualité d'eau

Graphiques à colonnes

Chaque analyse est représentée par un graphique constitué de deux colonnes dont la hauteur est proportionnelle à la concentration des anions et des cations en meq/l (figure 1). Chaque colonne est ensuite divisée par des droites horizontales pour présenter les concentrations des différents ions. Une troisième colonne peut être ajoutée afin de présenter un paramètre additionnel tel la dureté; une échelle supplémentaire (mg/l) est alors nécessaire.



Graphique à colonnes

Diagrammes de Stiff

Les diagrammes de Stiff présentent les données géochimiques sous forme de polygones dont les apex correspondent aux concentrations des ions en meq/l , placées sur 3 à 4 axes horizontaux (échelle linéaire ou logarithmique) s'étendant de chaque côté d'un axe central vertical séparant les concentrations des cations d'un côté et des anions de l'autre. Les couples de cations-anions sont Na-K-Cl, Ca- HCO_3 , Mg- SO_4 et parfois Fe- NO_3 ou Fe- CO_3 qui sont souvent retrouvés en concentrations très faibles. Ces polygones de formes distinctes illustrent bien les variabilités et similarités chimiques de l'eau de façon géographique mais ne sont pas appropriés lorsque la quantité d'analyses à comparer est importante. Il convient d'ajouter des informations à ces diagrammes quant à la provenance de l'échantillon (type de formation aquifère et profondeur) afin de faciliter l'analyse des diagrammes.

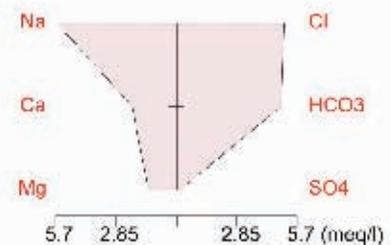


Diagramme de Stiff

Diagrammes sectoriels (pointes de tarte)

Ces diagrammes sont circulaires et subdivisés en surfaces proportionnelles aux concentrations des différents ions. Les anions et cations sont regroupés de façon à former deux demi-cercles. Le diamètre du diagramme est proportionnel à la concentration en matière dissoute totale. Les unités sont généralement les meq/l .

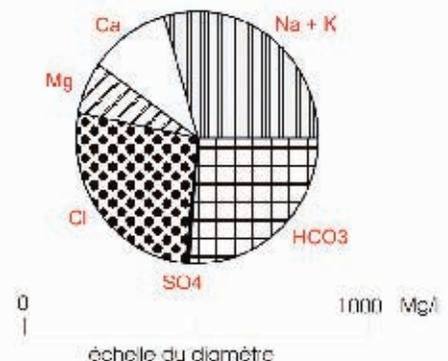


Diagramme en pointes de tarte

Encadré 7.1 (suite)

Diagrammes radiaux

Les diagrammes radiaux sont en fait semblables aux diagrammes de Stiff qui sont plus couramment utilisés mais les apex sont équidistants (45 ou de 60 degrés). Ils présentent d'un côté les concentrations ioniques en mg/l de cations et de l'autre les anions. Les cations choisis sont les cations majeurs: Ca, Mg, Na et K. Les anions sont : HCO_3 et CO_3 , SO_4 , Cl qui sont des anions majeurs et le NO_3 qui est un paramètre problématique dans les secteurs où l'utilisation de fertilisants est intensive. Chaque moitié du cercle compte pour 100 % du total de ces anions ou cations et est divisée en 4 secteurs qui comptent donc pour 25 % chacun. Une concentration inférieure à 25 % sera donc représentée par un polygone concave, alors qu'une concentration supérieure à 25 % sera représentée par un polygone convexe. Un exemple d'utilisation de diagrammes radiaux est présenté à l'encadré 7.1.

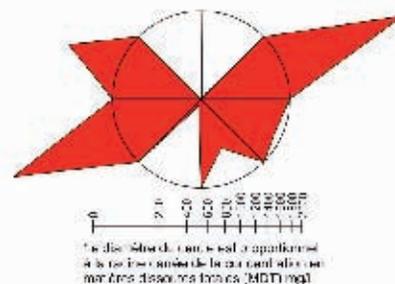


Diagramme radial

Diagrammes de Piper

Ces diagrammes trilinéaires permettent de présenter plusieurs analyses sur un seul diagramme contrairement aux diagrammes présentés précédemment. Les concentrations des ions majeurs sont placées sur deux triangles différents équilatéraux et reproduits sur un losange placé entre ces triangles. Les points du losange sont entourés de cercles dont le diamètre est proportionnel aux matières dissoutes totales. Il est possible de déterminer la provenance des échantillons à partir de la position du point à l'intérieur du losange, mais il faut toutefois tenir compte du rapport bicarbonates-silice. Il est donc possible de classer les eaux (type d'eau) et d'identifier des faciès (voir la section 7.4.3). Il est également possible d'identifier des processus physico-chimiques agissant le long d'une ligne d'écoulement tels que la précipitation, la dissolution, le mélange et l'échange ionique (Hounslow, 1995) lorsque des échantillons ont été prélevés le long d'une trajectoire d'écoulement.

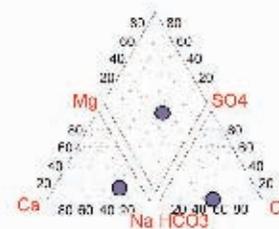


Diagramme de Piper

Diagrammes de Schoeller

Les diagrammes de Schoeller sont en fait des nomogrammes et ont l'avantage de présenter à la fois les concentrations en mg/l et en mg/L des différents ions. Les eaux qui ont des compositions semblables sont représentées par des droites parallèles. L'échelle utilisée est logarithmique, ce qui peut être désavantageux lorsque les concentrations ioniques des différentes analyses sont très différentes.

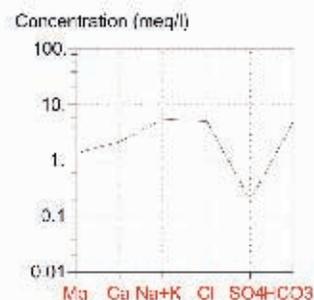


Diagramme de Schoeller

Diagrammes de Durov (Alley, 1993)

Ils sont semblables aux diagrammes de Piper mais les triangles sont plutôt séparés par des angles de 90°. Deux rectangles sont aussi utilisés pour présenter des paramètres tels que les matières dissoutes totales, la conductivité spécifique, le pH, la dureté, le carbone inorganique dissous, et un troisième rectangle placé centralement est utilisé pour reporter les points des triangles et rectangles. Ils permettent donc de présenter huit ions majeurs ainsi que deux propriétés de l'eau.

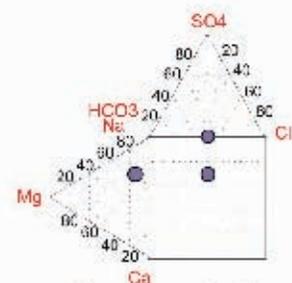


Diagramme de Durov



Il est utile d'effectuer des calculs statistiques afin de faire ressortir les caractéristiques physico-chimiques des différentes formations aquifères (Simard et Des Rosiers, 1980). La variabilité spatiale de la qualité de l'eau relative aux différents paramètres peut ainsi être évaluée. Il est recommandé d'effectuer des statistiques respectives pour les échantillons d'eau provenant de différents types d'unités hydrogéologiques afin de distinguer les particularités hydrogéochimiques de chacune de ces unités. Dans ce but, un minimum d'échantillons est nécessaire et le type de distribution des données doit être vérifié avant de faire des calculs statistiques. Lorsque les valeurs des paramètres sont inférieures aux limites de détection pour certains paramètres (ex. : pour le fer, le manganèse, etc.), il est nécessaire de supposer les concentrations égales aux limites de détection ou à la moitié des limites de détection ou à zéro afin de pouvoir faire des calculs statistiques. La détermination de coefficients de corrélation entre différents paramètres fournit aussi des informations quant aux caractéristiques des formations aquifères étudiées.

7.5.1 Interprétation des résultats d'analyse

7.5.1.1 Résultats liés à la santé

Pour évaluer la potabilité de l'eau souterraine, les résultats d'analyses doivent être comparés aux critères de qualité d'eau décrits dans le Règlement sur la qualité de l'eau potable du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs qui est accessible dans le site Internet du ministère à l'adresse (<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/potable/brochure/index.htm>).

Sur le plan fédéral, les recommandations se définissent comme étant les concentrations maximales acceptables (CMA) et les concentrations maximales acceptables provisoires (CMAP). Elles sont fixées afin de protéger la santé de la population, alors que les objectifs esthétiques (OE) sont plutôt liés à l'acceptabilité de cette eau pour des paramètres tels que le goût et l'odeur ou à des nuisances particulières (ex. : dureté de l'eau). Cependant, si une concentration donnée dans l'eau potable dépasse de beaucoup un OE, alors un danger pour la santé peut exister (Santé Canada, 1996). Il est important de doser des substances organiques (composés organiques volatils, pesticides, etc.) et radioactives lorsqu'une contamination potentielle est soupçonnée pour ces paramètres.

Au Québec, le gouvernement provincial a adopté en juin 2001, le Règlement sur la qualité de l'eau potable dont les critères sont parmi les plus exigeants en Amérique du Nord en ce qui concerne le nombre de paramètres à analyser et la fréquence d'échantillonnage.

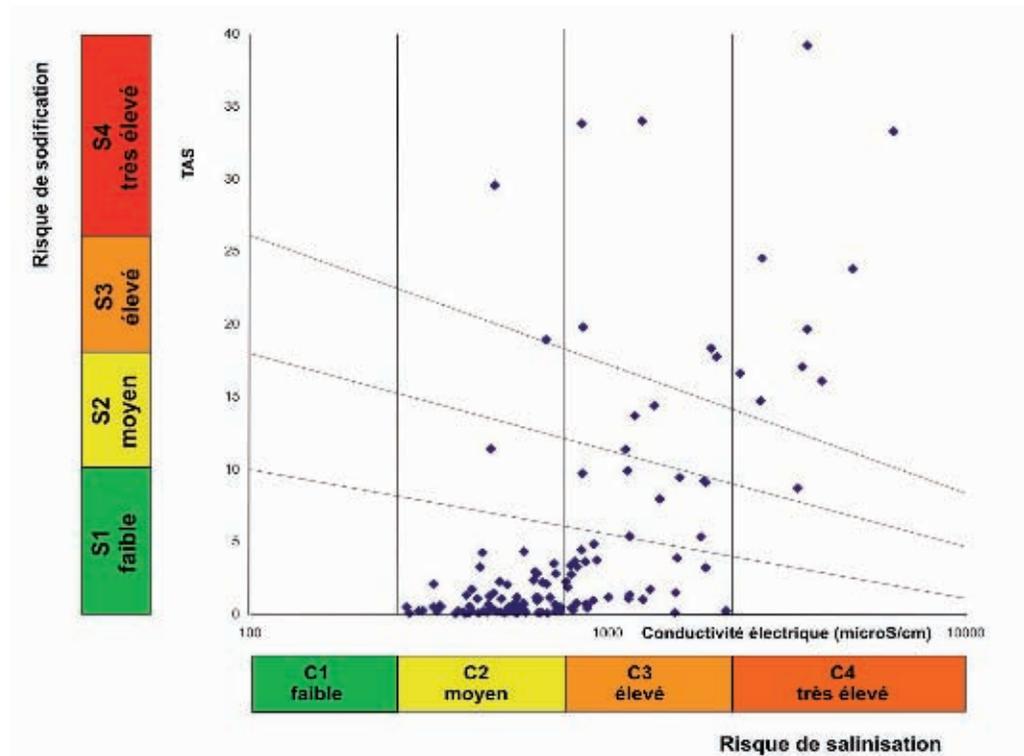
De plus, l'Organisation mondiale de la Santé publie également régulièrement des directives de qualité pour l'eau potable (OMS, 1993 et 1996).

Il est important de préciser le nombre de dépassements des critères lors d'une étude hydrogéologique régionale afin d'évaluer le niveau de contamination des eaux souterraines de ce territoire et ainsi prendre les moyens pour empêcher sa propagation.

7.5.1.2 Eau d'irrigation

Le taux d'adsorption du sodium (TAS) exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange avec les ions calcium et magnésium adsorbés des sols argileux, causant des dommages à la structure du sol. Le TAS sert donc à déterminer si l'eau est appropriée aux fins d'irrigation agricole. Le diagramme de Wilcox (figure 7.1) permet de classer les eaux d'irrigation quant au risque de salinisation (conductivité électrique ou MDT) et au risque de sodification (taux d'adsorption du sodium, TAS) (Hounslow, 1995) et de classer les eaux d'irrigation selon le risque de salinisation (conductivité électrique ou MDT) et le risque de sodification (taux d'adsorption du sodium, TAS) (Hounslow, 1995).

Figure 7.1 Diagramme de Wilcox



$$TAS = \frac{Na^+}{\sqrt{((Ca^{2+} + Mg^{2+})/2)}} \quad \text{où les concentrations sont exprimées en méq/L}$$

Le risque de salinisation est divisé par les valeurs de conductivité électrique de 250, 750 et 2250 microS/cm.

Classe		Conductivité électrique (microS/cm)
C1	eau faiblement saline	<250
C2	eau moyennement saline	250-750
C3	eau hautement saline	750-2250
C4	eau très hautement saline	>2250

Le risque de sodification est fonction du TAS et de la salinité. Les trois équations des droites qui divisent les classes de risque de sodification des sols sont:

$$S = 43.85 - 8.87 \log C \quad \text{où S est le TAS et C la conductivité électrique}$$

$$S = 31.31 - 8.87 \log C$$

$$S = 18.87 - 4.44 \log C$$

Les classes résultantes sont:

S1	eau faiblement sodique
S2	eau moyennement sodique
S3	eau hautement sodique
S4	eau très hautement sodique

7.5.2 Représentation graphique et cartographique de la qualité de l'eau

La représentation graphique et cartographique des résultats d'analyses physico-chimiques aide à la compréhension des caractéristiques hydrogéochimiques et traduisent une variabilité lithologique (relativement au type de formation géologique) et hydrogéologique (aquifères granulaires libres ou captifs et rocheux) en fonction des formations géologiques apparaissant sur le territoire. Les variations en fonction de la profondeur de l'eau doivent aussi parfois être étudiées avec soin.

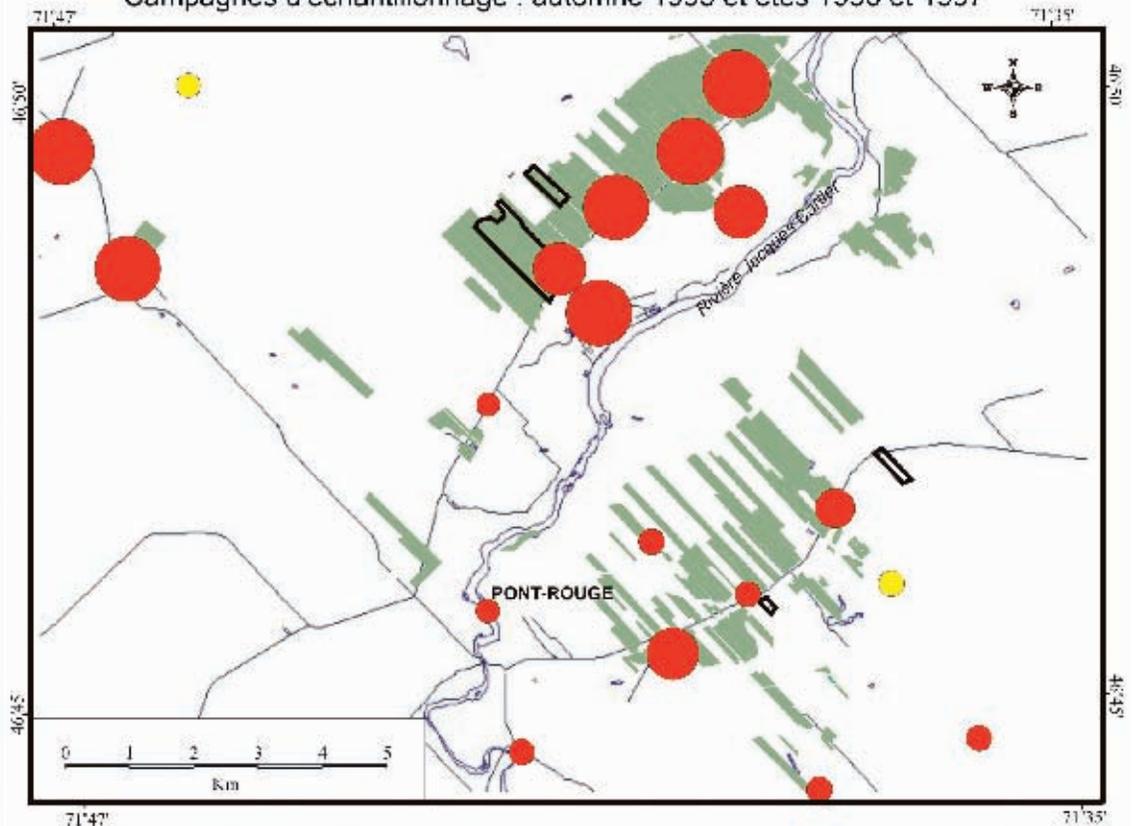
Les méthodes graphiques utiles à la représentation de résultats d'analyses physico-chimiques sont présentées en détail par Hem (1989), Alley (1993) et Hounslow (1995). Elles sont aussi présentées sommairement à l'encadré 7.1. Les diagrammes radiaux ont été retenus pour cette carte de qualité d'eau, parce qu'ils représentent de façon visuelle différents types d'eau, grâce à l'orientation des apex du polygone, selon le principe d'une rose des vents. Les cartes isolignes sont surtout utilisées lorsqu'une grande quantité de résultats d'analyses de ou mesures physico-chimiques sont disponibles pour un secteur donné. Une campagne de caractérisation régionale permet rarement d'obtenir assez de mesures physico-chimiques pour produire des cartes isolignes qui soient valables. On recommande donc de réaliser des cartes à points. Dans le cas où des cartes isolignes sont faites, il est très important de présenter les points de contrôle qui ont servi à réaliser la carte afin de faciliter l'interprétation des courbes.

L'utilisation de chiffres et de symboles de formes, de couleurs ou de grosseurs variables, placés à l'emplacement des sites d'échantillonnage, permet de représenter les concentrations de constituants de l'eau lorsqu'on désire étudier la variabilité régionale d'un paramètre particulier. La proportionnalité des symboles peut être liée à la concentration, au logarithme, à la racine carrée, ou au carré de la concentration.

Encadré 7.2

Représentation cartographique de données de qualité d'eau / Carte à points

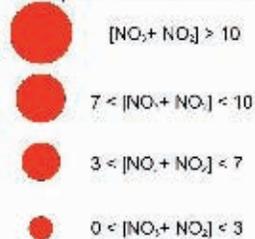
Concentrations en $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ des eaux souterraines de la MRC de Portneuf
Campagnes d'échantillonnage : automne 1995 et étés 1996 et 1997



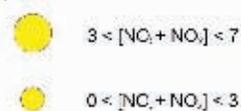
Concentrations en $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ (mg-N/l)

puits creusé dans :

1) des dépôts meubles ou sources



2) le roc



□ épandage de fumier ou de lisier

■ culture de pommes de terre (1995-1997),
épandage d'engrais chimiques*

* Recensement exhaustif en 1995 et non exhaustif en 1996-1997

7.5.3 Détermination des types d'eau

Les types d'eau représentent une des façons de classer les eaux souterraines. Les types d'eau sont déterminés à partir des faciès chimiques qui sont calculés en convertissant les concentrations des cations et anions majeurs en milliéquivalents par litre (még/l). Les éléments majeurs sont ceux dont la concentration est supérieure à 10 % de la concentration molaire. On parle par exemple d'eau « chlorurée sodique » ou « bicarbonatée calcique » pour des eaux dont les chlorures et le sodium de même que les bicarbonates et le calcium sont les ions majeurs, respectivement. Si les concentrations des cations et anions sont inférieures à 50 % du total des cations et anions respectivement, il faut alors parler de type mixte. Un type d'eau mixte sera alors précisé à partir de tous les cations et anions présents en concentration importante (Hem, 1989). Les diagrammes de Piper (encadré 7.1) permettent de distinguer les différents types d'eau. En effet, des eaux dont le type est différent apparaîtront à des endroits distincts à l'intérieur du losange qui constitue une partie d'un diagramme de Piper (Appelo, 1993). Un exemple de détermination de type d'eau est présenté au tableau 7.4.

Tableau 7.4 Exemple de détermination d'un type d'eau

IONS MAJEURS	CONCENTRATION (MG/L)	FACTEUR DE CONVERSION DE MG/L À MÉQ/L	CONCENTRATION (MÉQ/L)	CONCENTRATION (MÉQ, %)	TYPE D'EAU CRITÈRE : CONCENTRATION MÉQ (%) > 20
Anions					Ca-Mg-HCO ₃ bicarbonaté calcique-magnésien
Cl ⁻	1,9	0,02820	0,054	0,55	
HCO ₃ ⁻	280,4	0,01639	4,596	46,43	
SO ₄ ²⁻	9,5	0,02082	0,198	2,0	
Cations					
Ca ²⁺	57,0	0,0499	2,844	28,73	
Mg ²⁺	25,0	0,08224	2,056	20,78	
Na ⁺	1,7	0,04350	0,074	0,75	
K ⁺	0,6	0,02558	0,015	0,15	

Les types d'eau fournissent des informations générales et ne doivent pas être considérés comme étant précis. Ils donnent en fait des indices quant à la compréhension du contexte hydrogéologique et du système d'écoulement de l'eau souterraine (ex.: précision des zones de recharge et des enclaves d'eaux salines).

Lorsqu'on désire classer plus rigoureusement les eaux, on peut avoir recours à l'utilisation d'expressions présentées sous forme de rapports ioniques ou d'un constituant relativement à la concentration totale. On peut alors distinguer des eaux qui ont des concentrations totales relativement semblables et pour lesquels les types d'eau déterminés sont identiques (Hem, 1989).

7.6 Références

- Alley, W. M. (1993). *Regional ground-water quality*. U. S. Geological Survey, éditions Alley, 634 p.
- Appelo, C. A. J., Postma, D. (1993). *Geochemistry, groundwater and pollution*. Editions Balkema, 536 p.
- 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 no 3664-c.
- Felmy, A. R., Girvin, D. M. et Jenne, E. A. (1984). *MINTEQ, a computer program for calculating aqueous geochemical equilibria*. National Technical Information Service, U. S. Department Commerce, Springfield, VA.
- Giroux, I. (1995). Contamination de l'eau souterraine par les pesticides et les nitrates dans les régions de culture de pommes de terre, campagnes d'échantillonnage 1991-1992- 1993. Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Direction des écosystèmes aquatiques, Envirodoq EN95012561 p.
- Giroux, I. (1994). Contamination de l'eau souterraine par l'aldicarbe dans les régions de culture intensive de pommes de terre : Revue des différentes activités d'échantillonnage réalisées de 1980 à 1991. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du milieu agricole et du contrôle des pesticides, 98 p.
- Giroux, I. et Morin, C. (1992). Contamination du milieu aquatique et des eaux souterraines par les pesticides au Québec : Revue des différentes activités d'échantillonnage réalisées de 1980 à 1991. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du milieu agricole et du contrôle des pesticides, 74 p.
- Hem, J.D. (1989). *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water*. U. S. Geological Survey, paper 2254, United States government printing office, 263 p.
- Hounslow, A..W. (1995). *Water quality data-Analysis and interpretation*. Editions Lewis, 397 p.
- Hounslow, A..W., Goff, D. WATEVAL, a water quality evaluation program.
- McNeely, R. N., and V. P. Neimanis (1978). *Water quality interpretive report*. Prince Edward Island, 1961-1973. Water Quality Interpretive Report no 1. Inland Waters Directorate, Water Quality branch, Ottawa, Canada.
- Ministère de l'Énergie et des Ressources. Banque de données géochimiques du Québec, BADGEO.
- Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des laboratoires (1994). Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, cahier 1 : Généralités. Envirodoq EN940112, 63 p., cahier 3: Échantillonnage des eaux souterraines, Envirodoq EN940114, Envirodoq EN940114, 100 p., Éditions le Griffon d'argile.
- Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec et ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Environnement Canada et Agriculture et Agroalimentaire Canada (1996). *Pour une eau de qualité en milieu rural – comprendre et agir collectivement*. Envirodoq EN960135, 35 p.
- Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec et ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec (1995). *Aux propriétaires de puits – Attention aux nitrates dans l'eau potable*. Dépliant.
- Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec (2001). *Règlement sur la qualité de l'eau potable*, site Internet : (<http://www.menv.gouv.qc.ca/eau/potable/brochure/index.htm>).
- Parkhurst, D. L., Thorstenson D. C. et Plummer, L. N. (1980). *PHREEQE, A computer program for geochemical calculations*. U. S. Geological Survey, Water Resour. Inv. 80-96, 210 p.

- 
- Santé Canada (1996). *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada*. 6^e édition, 102 p.
- Santé Canada (2001). Sous-comité fédéral-provincial sur l'eau potable du comité fédéral-provincial sur l'eau potable territorial de l'hygiène du milieu et du travail, mars 2001. *Résumé des recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada*. 8 p.
- Régie régionale de la santé et des services sociaux de l'Estrie, Direction de la santé publique. *Les puits domestiques et votre santé*. Dépliant.
- Simard, R. et Des Rosiers, R. (1980). *Qualité des eaux souterraines du Québec*. Ministère de l'Environnement, Service des eaux souterraines du Québec, gouvernement du Québec, 106 p.
- Truesdell, A. H. and Jones, B. F. (1973). *WATEQ, a computer program for calculating chemical equilibria of natural waters*. S. Geol. Surv., National Technical Information Service, PB-220 464, 73 p.

8.1 Introduction

L'utilisation de l'informatique pour la gestion des données à référence spatiale est maintenant courante et même essentielle en sciences de la terre. L'utilisation de l'ordinateur rend la manipulation des informations beaucoup moins fastidieuse puisque la majorité des opérations de transfert, de mise en page et de changement d'échelle sont des tâches répétitives qui peuvent être exécutées par des outils informatiques. Ces outils permettent à un seul individu ou à une équipe d'effectuer la plupart des tâches relatives à la gestion de l'information et à la production cartographique.

Il existe présentement plusieurs types de logiciels (système d'information géographique (SIG), système de bases de données et système expert) qui favorisent la réalisation des tâches de gestion de l'information à référence spatiale, de cartographie et d'aide à la prise de décisions. Ces logiciels sont souvent appelés SIG (Système Information Géographique) ou SIRS (Système d'information à référence spatiale) ou parfois sous leur nom en anglais GIS (*Geographical Information Systems*). Dans le cadre de ce guide, nous employons le terme SIG dans le sens d'un système d'information qui comprend le ou les logiciels de cartographie et de base de données, les données qui y sont manipulées et les personnes et les organisations qui gravitent autour (ESRI, 1995). Ainsi, le terme logiciel SIG est utilisé dans le sens de logiciel qui gère, acquiert, diffuse, traite les données à références spatiales et qui permet l'élaboration d'extensions.

En sciences de la terre, la majorité, sinon la totalité des informations est associée à une référence spatiale. La localisation de l'information et son organisation sont donc essentielles à sa compréhension. Par exemple, la description d'une coupe stratigraphique ou d'un puits d'observation est inutile sans leur localisation spatiale. Les logiciels SIG facilitent la gestion et la manipulation de données à référence spatiale et automatisent les tâches de cartographie classique (changement d'échelle, changement de projection et création de cartes thématiques). L'utilisation des logiciels SIG est essentielle au projet de cartographie hydrogéologique régionale. Enfin, l'utilisation d'un SIG demande certes un effort organisationnel significatif, mais une organisation qui a bien intégré cette technologie devient plus efficace pour réaliser des produits de qualité avec moins d'efforts et plus de constance. Le domaine des SIG est en pleine croissance, et de plus en plus d'outils informatiques sont disponibles pour faciliter les tâches d'intégration, d'analyse et de mise en carte.

Ce chapitre aborde de façon succincte les principes d'utilisation d'un SIG à partir des informations géoscientifiques de base jusqu'à la production de documents cartographiques. Les principales étapes à suivre pour concevoir une base de données relationnelle y sont également décrites. De plus, ce chapitre traite successivement de l'acquisition de données et de la gestion des données dans son sens large. Le traitement, la diffusion et l'analyse des données ne sont pas des étapes propres au processus de cartographie informatique car elles nécessitent des intervenants (dans le cadre de ce projet, les hydrogéologues). Dans ce contexte, le guide aborde déjà dans d'autres chapitres les notions d'analyse, de traitement et de diffusion. Enfin, ce texte ne traite pas de l'implantation d'un SIG à l'intérieur d'une organisation, mais il présente les principales fonctions d'un SIG pour réaliser des cartes hydrogéologiques. Pour obtenir plus d'information à ce sujet, le lecteur se référera à des ouvrages classiques comme Cassettari (1993), Aronoff (1993), Montgomery et Schuch (1993) ou OberMeyer et Pinto (1994), entre autres.

8.2 Principales fonctions des logiciels SIG et d'un SIG

Les principales fonctionnalités des logiciels SIG sont les suivantes :

- acquisition de données spatiales: importation de données numériques multisources, numérisation et acquisition de nouvelles données originales sur le terrain;
- gestion de données spatiales: structuration des données (topologie, mise à jour, gestion de données sur un grand territoire), structuration des données descriptives (base de données) et stockage de données multimédias (images, vidéo, etc.);

- traitement de données spatiales : analyse spatiale (numérique, topologique, réseau, etc.), analyse temporelle, analyse logique et mathématique;
- diffusion de données spatiales : interrogation de la base de données, visualisation des données spatiales, production de rapports (graphiques, textes, tableaux) et exportation;
- extensibilité : programmation, ajout de fonctionnalités.

Les SIG sont des processus de communication où plusieurs collecteurs de données observent une partie de la réalité afin de créer des modèles qui sont codés et transmis aux nombreux utilisateurs sous forme de données, par le biais d'un intermédiaire. Ces derniers les interprètent, bâtissent leurs propres modèles qui les informent et améliorent leur connaissance de cette réalité sans qu'ils l'aient observée directement.

8.3 Qualité

La mesure de qualité d'une donnée comporte plusieurs facettes. Il est important de bien connaître la qualité de l'information de base pour juger de la qualité du produit final. Aronoff (1993) divise les caractéristiques d'une donnée en neuf composantes, regroupées en trois catégories (tableau 8.1).

Tableau 8.1 Composantes de qualité (Aronoff, 1993)

CATÉGORIE	COMPOSANTES
MicroNiveau (Micro Level) Qualité de l'information concernant les données prises individuellement.	<u>Précision positionnelle</u> Précision de la localisation de l'information
	<u>Précision des attributs</u> Précision des valeurs qui composent les attributs d'une donnée.
	<u>Constance logique</u> Niveau de constance de l'information (ex. : données provenant de la même année)
	<u>Résolution de l'information</u> Niveau adéquat de détail de l'information
MacroNiveau (Macro Level) Qualité d'un ensemble de données	<u>Complétion (completeness)</u> Proportion des données disponibles pour couvrir un aspect ou une région. Aussi état de vérification et de conformité de la donnée
	<u>Temps</u> État de la mise à jour des données et de leur pertinence. Âge de l'information
	<u>Filiation</u> Histoire de la donnée (source, traitement, etc.)
Utilisation	<u>Complétion (completeness)</u> Proportion des données disponibles pour couvrir un aspect ou une région. Aussi état de vérification et de conformité de la donnée
	<u>Accessibilité</u> État d'accessibilité, pour ce qui est du coût et des restrictions légales ou morales.

Il est important de déterminer le niveau de qualité acceptable pour un ensemble de données. Les données de faible qualité sont en général peu coûteuses, mais peuvent produire des résultats totalement erronés. D'un autre côté, des données de très haute qualité ne sont peut-être pas nécessaires pour produire un résultat acceptable; de plus, le coût de la donnée augmente de façon exponentielle avec sa qualité (figure de Aronoff, 1993.3). On peut trouver plusieurs sources intéressantes de données, et parfois même des données gratuites, dans Internet. Il faut toutefois être attentif à la qualité de ces données. Selon Aronoff (1993) : « *The optimal data quality is the minimum level of quality that will do the job* » (Aronoff, 1993, p. 35).

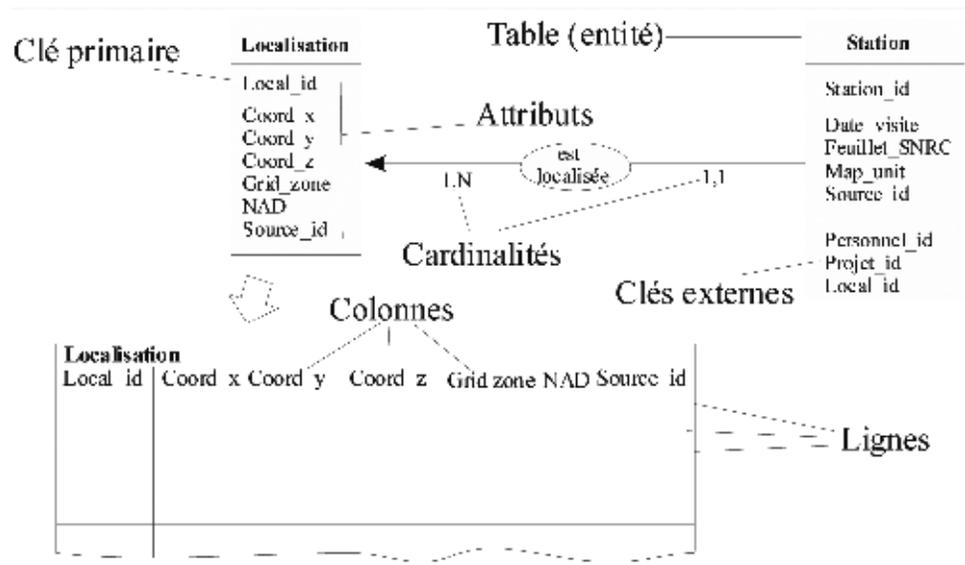
8.4 Base de données relationnelle

Cette section explique de façon succincte les principales étapes de la conception d'une base de données relationnelle : de l'analyse des besoins aux tests sur le produit final.

8.4.1 Quelques concepts

Une base de données relationnelle est composée de tables qui représentent une entité (ex. : les stations, les descriptions, etc.). Ces tables sont composées de champs (les attributs) qui décrivent l'entité et de lignes qui sont les entités existantes. Les différentes tables de la base de données sont reliées entre elles par des clés qui sont formées à partir d'un ou plusieurs champs. Une clé est dite primaire lorsqu'elle représente un identifiant unique pour chaque entité de la table. Il y a aussi les clés externes qui sont un rappel d'une clé primaire d'une autre table. Enfin, il y a les cardinalités qui définissent le type de relation entre les tables et qui sont au nombre de trois, soit un à un (1-à-1), un à plusieurs (1-à-N) et plusieurs à plusieurs (N-à-M). La figure qui suit représente les différents concepts définis.

Figure 8.1 Exemple de schéma de base de données relationnelle



8.4.2 Modèle conceptuel

La première étape de conception d'une base de données est de définir les objectifs, ce que l'on veut représenter. Dans ce but, les analystes doivent interroger les futurs utilisateurs à propos de leurs besoins.

Par la suite, il faut définir les tables (les entités). Ce travail, qui se fait de façon itérative, met à jour les données qui sont importantes pour le projet. Ensuite, il faut définir les clés primaires de chaque table et les relations qui les unissent par l'ajout des clés externes. Lors de ce processus, il arrive que les données que l'on croyait reliées à une table doivent être séparées pour en former deux ou regroupées pour en former une seule.

Il faut mentionner que des formulaires d'insertion et de visualisation de données ont été élaborés pour ce projet. Ces derniers n'interviennent pas directement dans le modèle conceptuel de la base de données, mais ils ont nécessité la création de tables additionnelles pour faciliter la navigation dans ces formulaires. Il faut donc prendre en considération les tables supplémentaires au moment de créer physiquement la base de données.

La dernière étape consiste à créer physiquement (programmer) les tables, à y incorporer les données et à tester le bon fonctionnement de la base. Les tests effectués à la fin sont importants, car ils permettent de modifier la base lorsqu'elle ne répond pas aux besoins élaborés au début de la conception. Le travail sur la création d'une base de données n'est pas linéaire. En premier lieu, il y a des rencontres entre les analystes et les utilisateurs pour valider les premières esquisses. Par la suite, la programmation de la base peut commencer même si le modèle conceptuel n'est pas achevé. Comme il est mentionné, c'est un travail itératif qui se déplace entre les analystes, les utilisateurs et les programmeurs.

8.5 Acquisition de nouvelles données numériques

Les nouvelles données numériques sont de deux types : données à numériser de cartes existantes (section 8.4.2) et des nouvelles données de terrain à transposer en format numérique. L'acquisition des données du second type s'effectue en plusieurs étapes :

- acquisition sur le terrain de données analogiques (en format papier, difficilement manipulables);
- transfert des données analogiques en données numériques (manipulables électroniquement, transfert facile);
- transfert de données analogiques vers un fichier intermédiaire;
- données numériques traitées pour être cohérentes et intégrées dans le système;
- ajout direct de données non numériques dans le système intégré;
- intégration des données numériques.

Pour réaliser ces étapes, l'hydrogéologue a besoin d'ordinateurs portatifs sur le terrain et d'un système performant de gestion des données.

Un autre type de données intéressantes à acquérir est le Modèle numérique de terrain (MNT). Le MNT est un fichier matriciel contenant les données d'altitudes en tout point d'une région. Le MNT (ou souvent sous l'appellation anglaise : DEM pour *Digital Elevation Model*) est une image où chacun des pixels représente l'altitude d'une aire rectangulaire. Les applications liées à un tel fichier sont nombreuses (contrôle d'altitude de données de terrain, construction des cartes de pente, calcul des zones d'intervisibilité, visualisation du relief d'un paysage et calculs d'épaisseur et de volumes des formations géologiques).



Le MNT est généralement produit à partir des courbes de niveau et autres données d'altimétrie provenant des cartes topographiques conventionnelles. Il existe cependant d'autres façons de produire ces fichiers, notamment par interférométrie. Le type de production utilisé est toujours à considérer lorsque l'on utilise les données d'un MNT. Les procédures pour générer un MNT à partir de données topographiques sont plus complexes qu'une simple interpolation entre les courbes de niveau et elles requièrent l'utilisation de logiciels spécifiques comme ANUDEM (cette procédure est implantée dans TOPOGRID de ESRI, 1995).

8.5.1 Acquisition de données sous un autre média

Pour les informations non disponibles en format numérique, on doit procéder à l'étape de numérisation afin de les inclure dans la base de données centrale. Plusieurs méthodes d'acquisition peuvent être utilisées (numérisation manuelle ou vectorisation d'image à l'aide d'un balayeur optique). Ce travail est fastidieux et requiert une phase d'édition relativement longue. De plus, même si les appareils servant à ce type de travail offrent une grande résolution (300, 600 et même 1 200 points par pouce (dpi en anglais), la précision réelle du document obtenu ne dépassera jamais la précision du document d'origine.

Afin d'optimiser la qualité de la version numérique d'un document, on doit s'assurer d'exécuter les étapes suivantes :

- Trouver le ou les documents qui présentent le meilleur état. Les photocopies, les cartes endommagées et pliées ne sont pas recommandées, car elles entraînent souvent de la déformation. Les photographies aériennes doivent être soumises à un traitement de photogrammétrie particulier en raison de leur déformation intrinsèque sur le document d'origine. Des logiciels de restitution vidéogrammétrique comme le *Digital Video Plotter* peuvent être utilisés afin de positionner avec précision les éléments d'une photo en fonction de coordonnées géographiques exactes.
- S'assurer de bien comprendre le système de coordonnées géographiques utilisé par la carte. L'utilisation des coordonnées orthogonales (à angle droit), comme les UTM (*Universal Transverse Mercator*), ou MTM (*Mercator Transverse Modifié*) utilisées par le gouvernement du Québec est fortement recommandée pour cette opération. Les longitudes et latitudes ne peuvent être utilisées facilement comme point de contrôle, car le logiciel de numérisation doit tenir compte de la projection utilisée par la carte. Certains logiciels offrent cette possibilité, mais d'autres en sont incapables.
- S'assurer de compléter la saisie de données en y incluant la topologie adéquate lorsque c'est possible (et désirable). On entend par topologie : l'interconnexion physique entre les éléments géographiques, qui permet la fermeture des polygones, l'établissement de réseaux linéaires, etc.

Mentionnons que le chapitre 6 du livre de Montgomery & Schuch (1993) traite bien de ce sujet.

8.5.2 Intégration des données

Les 10 principaux problèmes concernant l'intégration de données provenant de sources multiples sont définis ci-après. La figure 8.2 qui suit montre un exemple de trois sources de données différentes. Les chiffres de cette figure représentent ces problèmes d'intégration.

1. Fichiers de différents formats et/ou provenant de différents médias (disquette, CD, etc.). Les fichiers sources qui sont stockés dans différents médias peuvent dans la majorité des cas être récupérés si le média n'est pas trop ancien. Les fichiers de format différent peuvent en général être directement importés dans le logiciel de travail. Il est généralement possible d'importer des formats anciens dans des logiciels plus récents, mais presque impossible de faire l'inverse. Des limitations de structure du logiciel d'accueil réduisent aussi la possibilité d'importation (on peut difficilement importer un dessin d'un logiciel comme Corel dans une base de

données comme MSAcess). Il s'avère parfois nécessaire de passer par un format intermédiaire qui est connu par le logiciel exportateur (si ce dernier est disponible pour l'utilisateur) et le logiciel receveur.

Solution : regrouper les fichiers sources sur un même média (disque dur) et trouver des méthodes de conversion vers un logiciel unique.

2. Structures différentes des données. Dans l'exemple de la figure 8.2, les trois sources sont toutes des données de forage, mais elles sont organisées dans des champs et des structures différentes. Les sources 1 et 3 sont normalisées, alors que la source 2 utilise une structure non relationnelle.

Solution : définir une structure pour l'ensemble du projet et trouver des façons de convertir les différentes structures vers cette structure unique.

3. Incohérence d'identifiant unique. Dans une base de données, il existe plusieurs façons d'identifier de manière exclusive un enregistrement. Les sources de données ne sont pas toujours structurées de façon que les données possèdent une identification comportant une clé unique.

Solution : créer une nouvelle clé unique tout en conservant l'ancienne clé dans un champ de documentation (ANCIENNE_CLÉ). Attention, la clé unique n'est pas nécessairement le contenu d'un seul champ; il faut parfois combiner des champs (voir source n° 1)

4. Incohérence de système de coordonnées. Cette erreur est courante, surtout lorsque les coordonnées ne comportent que des différences subtiles. Par exemple, les coordonnées UTM dans les NAD 83 et NAD 27 sont essentiellement identiques, comportant seulement un décalage qu'il est impossible de distinguer si cette information n'est pas présente quelque part.

Solution : les SIG permettent de convertir les coordonnées vers un système unique. Il est alors important de bien comprendre le système de coordonnées d'origine.

5. Différentes représentations d'une même information. Ce problème est une variation du n° 4, mais avec une subtilité concernant la structure de l'information. Dans les trois sources de données de la figure 8.2, on trouve les unités sur le long du forage, mais en structurant l'information par intervalles (n° 1), par épaisseur (n° 2) et par longueur (n° 3). La transformation n'est pas toujours simple car certaines informations sont dépendantes d'autres données. Par exemple, la profondeur dans le cas n° 2 dépend des épaisseurs cumulées, donc des autres enregistrements du forage (un seul enregistrement ne peut pas renseigner sur la profondeur). Le cas de la source de données n° 3 est encore plus complexe, car l'épaisseur dépend de l'orientation du forage (un forage à 45 degrés dans une couche horizontale augmente son épaisseur de 41%); cette orientation se trouve dans la table de structure de cette source. Dans ce cas, on peut difficilement intégrer l'information sans une forme de calcul complexe.

Solution : s'entendre sur une façon de représenter l'information et convertir les sources vers cette représentation.

6. Incohérence de dictionnaire. Des codes utilisés dans la description ne sont pas les mêmes ou encore certaines sources ne sont pas codées (clé de codage inconnue, etc.). Les codes utilisés ne sont pas toujours bien documentés, et l'interprétation du code peut porter à confusion.

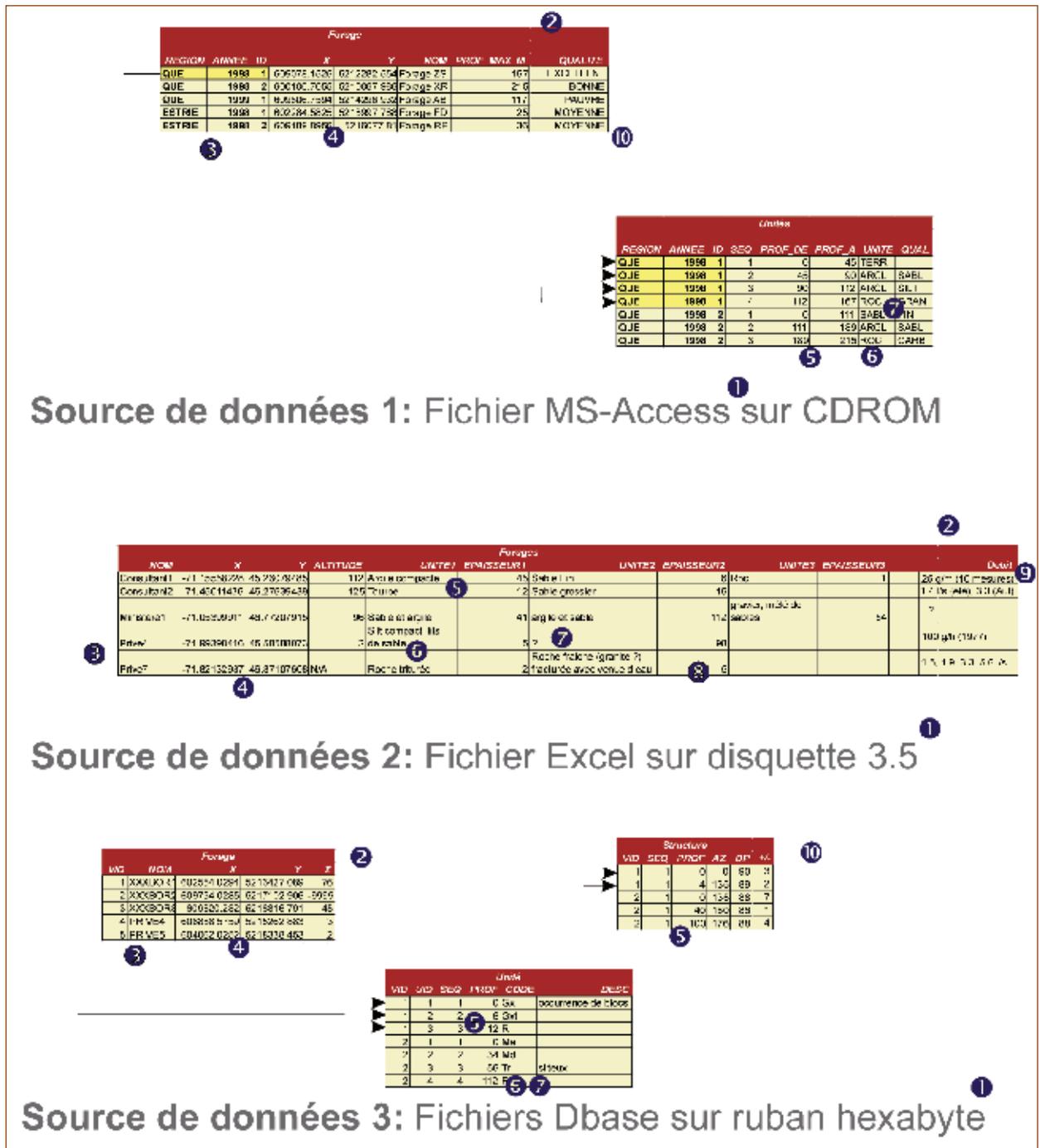
Solution : définir une codification qui répond aux besoins du projet et définir un dictionnaire de traduction. Documenter le dictionnaire.

7. Incohérence de signification dans la classification. Les données de sources variées ne servent pas toutes la même thématique; certains codes servent en géologie, d'autre en hydrogéologie, etc. Il peut être difficile de passer d'un code à l'autre, car il peut arriver que l'information de l'un puisse vouloir dire plusieurs choses dans l'autre. Par exemple, une unité quaternaire comme « Delta Marin : Md » de la source n° 3 peut se traduire soit en sable soit en silt (SABLE ou SILT). Le problème est que les codes utilisés veulent dire des choses différentes (alors que le cas n° 6 avait des codes différents qui voulaient dire la même chose).

Solution : même tactique que pour le cas no 6.

- 
8. Incohérence d'unité. Ce point est semblable au point n° 4. Des données peuvent être codées dans des systèmes d'unités différents (mètre versus pieds, gallon versus litre).
Solution : s'entendre sur des unités, préférentiellement le système international (SI), à moins d'une très bonne raison.
 9. Problème de représentativité. Dans plusieurs cas, il est incertain de juger de la signification et de la représentativité d'une information. Certaines sont effectivement représentatives (moyenne de 200 échantillons étalée sur un mois), alors que d'autres sont douteuses (une seule mesure de niveau d'eau prise après une averse). Lorsque la méthode de prise de mesure n'est pas documentée, il est pratiquement impossible d'évaluer cette mesure.
Solution : il n'existe pas de solution idéale; il faut essayer de mettre en place une cote de représentativité des informations.
 10. Qualité de l'information. Ce point dérive du point n° 9, mais il concerne la documentation en ce qui touche la qualité de la mesure (ou surtout de l'absence de mesure de qualité). Certaines mesures peuvent être très représentatives (200 mesures sur un mois), mais avec un appareil qui comporte une erreur très grande.
Solution : pas de solution idéale, mais essayer de placer une cote de qualité avec les données.

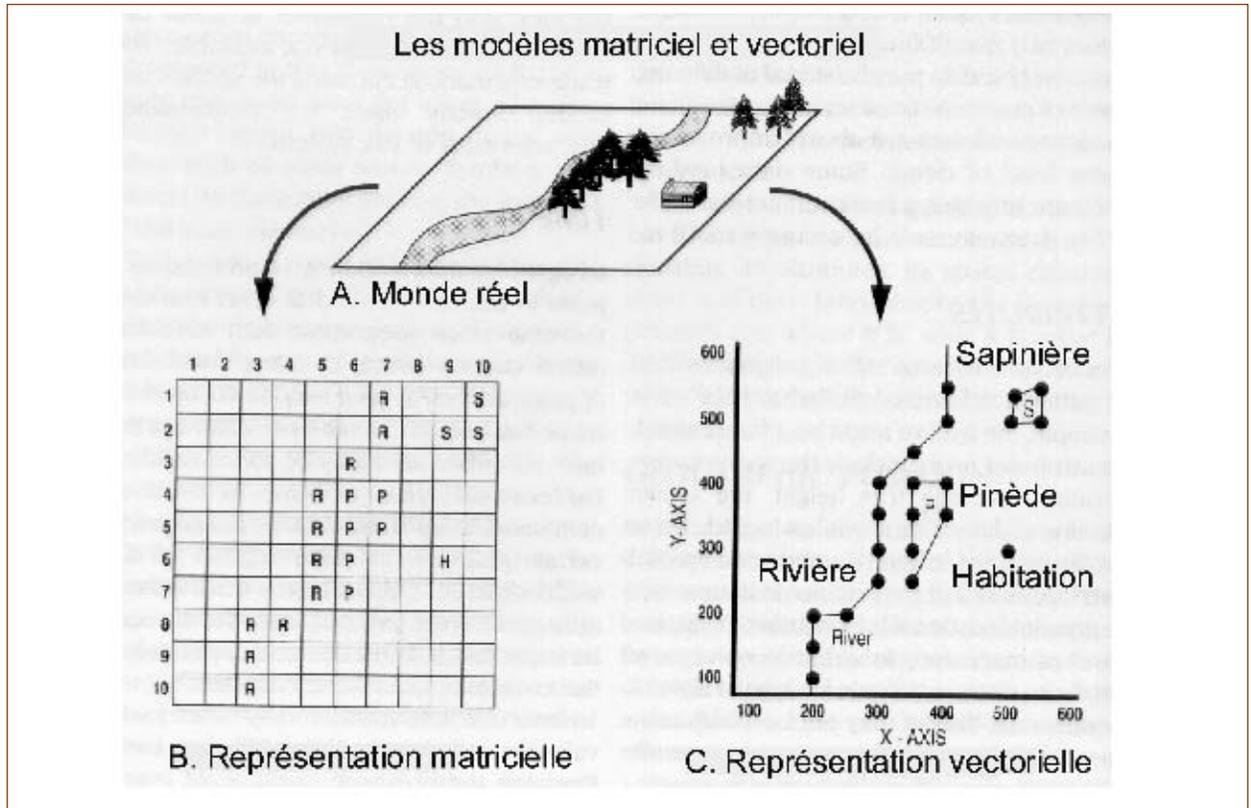
Figure 8.2 Problèmes rencontrés lors de l'intégration de trois sources de données différentes



8.6 Stockage des données

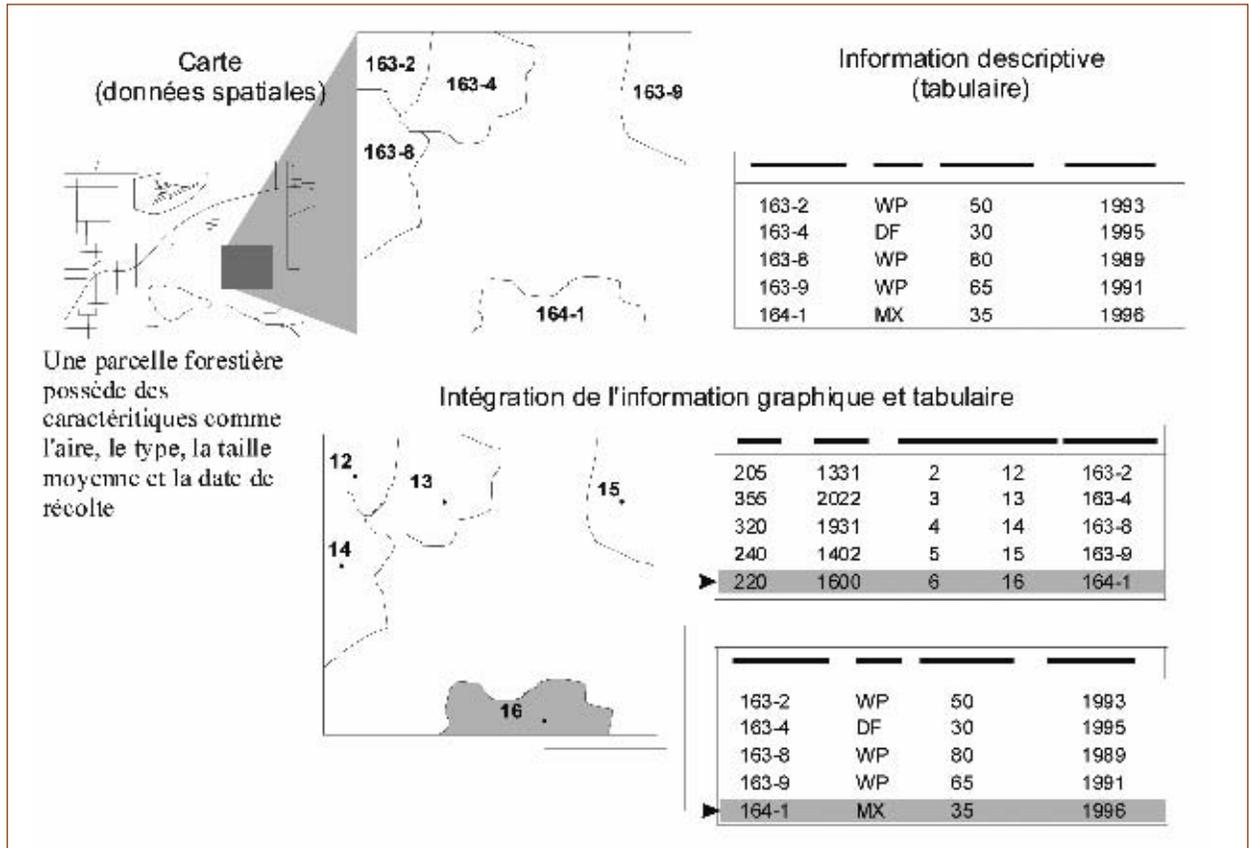
Une fois que les besoins ont été définis et que l'information est prête à être intégrée, il faut déterminer une solution, qu'elle soit informatique ou non, pour répondre à ces besoins. En général, les données géoréférencées comprennent 2 composantes : une représentation spatiale d'une entité géographique (sous forme vectorielle ou matricielle) et ses attributs (fig. 8.3).

Figure 8.3 Codage de la même information en utilisant une structure matricielle et vectorielle (adapté de Aronoff, 1993)



Dans la plupart des logiciels, ces informations sont physiquement distinctes. Un ou plusieurs fichiers ou tables stockent les informations spatiales, et un ou plusieurs fichiers ou tables stockent les attributs. Le lien entre les deux est effectué par une « clé » (voir section 8.4) qui permet de relier une entité géographique et un ou plusieurs attributs (fig. 8.4).

Figure 8.4 Relation entre les attributs et les entités spatiales (adapté de ESRI, 1995)



Si le travail prévu se résume à la cartographie (produire une carte), les outils de base de données fournis par le logiciel SIG sont probablement adéquats. Toutefois, pour un travail de plus grande ampleur où plusieurs personnes contribuent à une base de données de plus grande taille, il est peut-être nécessaire de traiter la base de données d'attributs à l'aide d'un autre logiciel plus approprié tel que les Systèmes de gestion de base de données (SGBD). Il existe plusieurs méthodes pour échanger les données entre un SGBD et un SIG. La liste comparative qui suit peut aider à la décision d'utiliser un SIG simple ou un duo SIG-SGBD.

Tableau 8.2 Fonctionnalités comparées des SIG et des SGBD

PROBLÈME	SIG	SGBD
Gestion d'attributs complexes (répartis sur plusieurs tables)	Limité	Oui
Validation des attributs (vérifier à l'entrée)	Non	Oui
Fonction de gestion d'accès et de sécurité	Non	Oui
Création de formulaires pour permettre la saisie de données	Limité	Oui
Affichage de rapports, graphiques	Parfois	Oui
Opérations géographiques	Oui	Non
Élaboration de procédures (sous-routine)	Variable	Oui
Accès simultané par plusieurs usagers	Non ou partiel	Oui
Conception de Views (table composée de combinaisons d'autres tables)	Parfois	Oui

Si les tâches listées dans la colonne de gauche ne sont pas requises ou que votre SIG peut les prendre en charge, il n'est pas nécessaire de vous équiper d'un SGBD. Toutefois, si la solution d'utiliser un SGBD est retenue, il faut des appareils conçus à cette fin et un personnel formé à l'utilisation de ce type de logiciel.

Les avantages et désavantages de l'approche avec base de données sont résumés dans le tableau 3.3.

Tableau 8.3 Avantages et désavantages de l'approche par base de données (Aronoff, 1993)

AVANTAGES	DÉSAVANTAGES
1. Contrôle centralisé. Une seule base de données sous le contrôle d'une personne ou d'un groupe peut assurer les standards de qualité, la sécurité, et l'intégrité des données.	1. Coût. Les systèmes de base de données sont associés à des coûts de logiciel, de matériel et de personnel.
2. Partage efficace des données. L'utilisation d'un SGBD permet de partager l'information d'une façon flexible mais contrôlée. Les services de gestion de données facilitent aussi l'élaboration de nouvelles applications des données existantes.	2. Plus complexe. Un SGBD est plus complexe a priori qu'un ensemble de fichiers. Les systèmes plus complexes sont donc plus sujets à des problèmes qui sont plus difficiles à résoudre. Les SGBD modernes offrent toutefois des procédés de sauvegarde qui réduisent ces risques.
3. Indépendance des données. Les applications qui utilisent les données ne sont pas soumises au format physique des données dans la base de données.	3. Risque centralisé. Un SGBD signifie aussi que les données sont en copie unique et plus exposées à des problèmes de corruption et de disparition. Les SGBD modernes disposent toutefois de systèmes de sauvegarde et de réplication des données qui réduisent ces problèmes.
4. Implantation facilitée de nouvelles applications de base de données. Les nouvelles applications et les procédures de recherches particulières sont plus facilement implantées en utilisant les services du SGBD.	
5. Accès direct de l'utilisateur. Les SGBD offrent maintenant la possibilité de créer des interfaces d'accès aux données. Au même moment, le SGBD s'occupe de la sécurité et de l'intégrité des données.	
6. La redondance peut être contrôlée. Dans des systèmes où plusieurs fichiers servent au stockage des données, des mécanismes doivent être mis en place pour assurer le synchronisme des données redondantes. Un SGBD peut limiter la propagation du nombre de fichiers et limiter la redondance.	
7. Présentation des données. Les SGBD offrent plusieurs méthodes de présentation des données.	

8.6.1 Petits systèmes

Les travaux de cartographie de petite envergure et à faible budget peuvent être accomplis par des logiciels de la classe des « Desktop Mapping » comme ArcView (ESRI), MapInfo (MapInfo corp.), Idrisi (Clarke University), Manifold, etc. Ces logiciels ont des fonctions de cartographie limitées et utilisent une structure de données spatiales très simple (vectoriel non topologique ou matriciel). Les fonctions de traitement d'analyse géographiques sont aussi plus limitées (à l'exception d'Idrisi qui se veut un outil d'analyse spatiale). La gestion de bases de données est primaire (essentiellement un chiffrier) mais peut offrir certaines possibilités que l'on trouve dans les SGBD (requêtes SQL). La gestion multiusagers est hasardeuse car deux personnes peuvent modifier une même donnée en même temps, ce qui est à éviter à tout prix. La gestion de données matricielles y est à son plus simple si on utilise la version de base du logiciel. Il faut donc ajouter des modules supplémentaires pour avoir accès à des fonctions plus complexes. La création de cartes professionnelles est ardue et demande souvent le transfert vers des logiciels de mise en pages. La symbologie est souvent limitée, et il est difficile d'étendre les bibliothèques de symboles, ces derniers étant souvent incompatibles avec les applications en géosciences. Toutefois, l'interface est simple d'utilisation et le niveau de complexité des concepts exposés à l'utilisateur est faible. Un usager peut facilement commencer à utiliser ces logiciels après quelques heures de formation.

On peut utiliser un SGBD externe car la plupart de ces logiciels supportent le protocole ODBC (Open DataBase Connectivity, Microsoft corp.) qui permet d'échanger des données avec n'importe quel SGBD. Cependant, seule la lecture de données est autorisée; il est donc difficile voire impossible d'entrer de nouvelles données dans un SGBD.

8.6.2 Gros systèmes

Les travaux de cartographie de grande envergure demandent un outillage professionnel. Les logiciels requis contiennent tous les outils de manipulation géographique et de mise en cartes. Les bibliothèques de symboles peuvent être adaptées aux besoins de l'organisation et les machines supportant ces logiciels (comme ArcInfo et Caris) sont en mesure de traiter des quantités beaucoup plus grandes de données et de produire des cartes beaucoup plus complexes. La structure des données spatiales est plus souple (topologique) et permet des analyses géographiques très complexes. Ces systèmes offrent aussi un support très performant pour l'analyse de données matricielles (manipulation, analyse, rendu), mais ces services sont souvent fournis sous forme de modules. La gestion de bases de données est aussi limitée que dans les logiciels mentionnés à la section précédente, et l'utilisation d'un SGBD est parfois nécessaire. Le logiciel, le support et le matériel sont significativement plus chers et demandent un personnel compétent. Les SGBD professionnels sont des systèmes client-serveur (la base de données est servie par un logiciel (ex. : Oracle, SQL Server, Ingres, Interbase, etc.) qui gèrent l'accès aux données). Par ailleurs, les petits SGBD ne fonctionnent que sur le principe de « partage de fichier » où les clients ont simultanément accès au même fichier de base de données (le danger de corruption est beaucoup plus grand).

8.7 GIMS

Le CGQ a développé un logiciel (GIMS = Geoscience Information Management System) qui permet de pallier les déficiences des deux environnements SIG et SGBD en proposant un modèle de structure de données et une interface offrant aux utilisateurs d'interagir avec une structure de base de données (voir GIMS, le Manuel de l'utilisateur). Cette application a été construite pour s'adapter automatiquement à la structure de base conçue par le CGQ; ainsi, l'extension de la base de données à de nouvelles applications est relativement simple. GIMS offre plusieurs services de gestion de données qui ne se trouvent généralement pas dans les SIG conventionnels, comme :

- Tenu d'un journal des ajouts et retraits d'information
- Gestion d'accès à l'information par plusieurs usagers simultanément
- Création dynamique de produits cartographiques à partir de requêtes

- Centralisation des informations de rendu des cartes (couleurs, symbolique)
- Gestion centralisée de thèmes d'information (collection de cartes et de requêtes)
- Gestionnaire de collections, qui sont des sous-ensembles de données
- Interface pour l'ajout ou le retrait d'information
- Gestion de bibliothèques de codes
- Possibilité d'extension des fonctionnalités (extension formelle) par l'ajout de modules
- Système de référence à des fichiers externes (hotlink)
- Gestion centralisée des données spatiales (similaire à OpenGIS)

L'encadré 8.1 décrit la structure de GIMS

Encadré 8.1 La structure de GIMS

Encadré 8.1 La structure GIMS

La structure de la base de données conçue par le CGQ est un compromis entre une « collection » de données et une structure très rigide. Les besoins du projet piémont Laurentien étaient d'intégrer des données de plusieurs sources dans un ensemble le plus cohérent et le plus flexible possible et de permettre d'étendre cette structure à d'autres ensembles potentiels de données. Les types de données se divisaient en deux groupes assez distincts. Premièrement, il y a les données ponctuelles, qui sont généralement des données brutes ou ayant subi peu de traitement. Ces données ont été collectées sur le terrain par le personnel et les étudiants du CGQ ou bien elles proviennent de projets antérieurs. Deuxièmement, il y a les données cartographiques, qui sont pour la plupart issues de l'interprétation des données du premier groupe. Les données ponctuelles du premier groupe sont essentiellement celles qui sont gérées dans la base de données puisque les autres données sont, en grande partie, des ensembles statiques.

La structure conçue pour l'interface GIMS est calquée sur la structure utilisée par le logiciel Fieldlog (<http://gis.nrcan.gc.ca/fieldlog/Fieldlog.html>) qui a été mis au point par Boyan Brodaric à la Commission géologique du Canada. Cette structure a servi de modèle de base auquel des « extensions » formelles ont été ajoutées pour gérer la gamme de données hydrogéologiques, géochimiques et les données fréquemment utilisées provenant de forages et de coupes (forages, coupes stratigraphiques, piézométrie, géochimie, etc.). Le design de la base de données a été guidé principalement par la généralisation des types de données. Les structures proposées, comme celles utilisées pour les forages (voir Boisvert et Michaud, 1999), essaient de résoudre des problèmes d'intégrité, de structure et de flexibilité en fournissant une approche générale et un cadre de référence plutôt que d'imposer une structure fixe. À première vue, la structure peut sembler plus complexe que nécessaire, mais elle a l'avantage de s'appliquer à toutes les circonstances de prise de données et d'offrir au gestionnaire de données la possibilité d'étendre la structure de façon logique et consistante. Cette approche a aussi servi de guide à l'élaboration d'outils de gestion de base de données qui peuvent s'adapter à diverses variations de la même structure générale.

La structure de base de données est décomposée en de grands ensembles fonctionnels regroupés sous les modules suivants :

- La gestion de projet et de métadonnées;
- La gestion des données spatiales;
- La gestion des données attributaires; de base (cœur Fieldlog);
- Les extensions formelles.

GIMS est une application de gestion de données dans un environnement de projet, c'est-à-dire un environnement où beaucoup de données interreliées sont activement collectées. GIMS n'est pas un logiciel de cartographie. Plusieurs autres logiciels sont disponibles pour cette tâche, mais un système qui permet à une équipe de gérer un corps de données en constante évolution et d'en extraire l'information voulue pour la traiter dans d'autres logiciels.

8.8 Références

- Aronoff, S. (1993). Geographic Information Systems: A management perspective, WDL Publication, 294 pages.
- Berdusco, B., Trowell, N. F., Ayer, J. A., Madon, Z., van Haaften, S. and Yeung, A. (1999). From Functional Analysis to CD — « Digital Compilation of the Timmins Map Sheet », Abitibi Greenstone Belt, Ontario *in* Digital Mapping Techniques '99, Workshop Proceedings. Edited by David R. Soller, May 19–22, 1999, Madison, Wisconsin, U. S. Geological Survey Open-file Report 99–386, p. 113-121.
- Bonham-Carter, G. (1994). Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS. Pergamon Press, Computer Methods in the Geosciences, V. 13, 398 pages.
- Boisvert, É., (à venir). *GIMS, (Geoscience Information Management System – Système de gestion des informations géoscientifiques). Manuel de l'utilisateur*. Ressources Naturelles Canada.
- Brodaric, B. (1996). Fieldlog 3.0 manuel, Geological Survey of Canada. User manuel for Fieldlog software. <http://gis.nrcan.gc.ca/fieldlog/Fieldlog.html>
- Cassettari, S. (1993). Introduction to integrated Geo-information management. Chapman & Hall, 252 pages.
- ESRI. (1995). Understanding GIS, the Arc/Info method. Environmental Sciences Research Institute inc., Redland, Californie.
- Eyles, N., Eyles, C. H., Miall, A. D. (1983). *Lithofacies types and vertical profiles analysis; an alternative approach to the description and environmental interpretation of glacial diamict and diamicrite sequences*. *Sedimentology*, v. 30, p. 393-410.
- Eyles, N., Miall, A. D. (1984). Glacial Facies, *in* Facies Models. 2nd Ed., Roger G. Walker, ed., Geosciences Canada, Reprint Series 1. p. 15- 38.
- Grady, R. K. (1990). The lineage of data in land and geographic information systems (LIS/GIS) : *Journal of Urban and Regional Information Systems Association*, v. 2, no 2, p. 2-6.
- Johnson, A. I., Petterson, C. B., Fulton, J. L., ed. (1992). *Geographic Information Systems (GIS) and Mapping - Practices and Standards*. ASTM special technical publications 1126, 346 pages.
- Michaud, Yves, LEFEBVRE, René, McCORMACK, Renald, 2007. Guide méthodologique pour la caractérisation régionale des aquifères granulaires de surface, Québec.
- Montgomery, G. E., Schuch, H. C. (1993). GIS Data Conversion Handbook. GIS World Book, Fort Collins, Colorado, USA, 320 pages.
- Obermeyer, N. J., Pinto, J. K. (1994). Managing Geographic Information Systems. Guildford Press, 226 pages.
- Reingruber, Micheal C., Gregory, William W. (1994). Data Modeling Handbook, A best-practice approach to building quality data models. John Wiley & Sons, 362 pages.
- Snyder, J.P. (1989). *Map Projections, A working Manual*, USGS Professional Paper 1395, 2nd edition, 383 pages.
- Teorey, Toby, J. (1994). *Database Modeling & Design, The fundamental principles*, 2nd edition, Morgan Kaufmann Publishers inc., 277 pages.



Vogel-Ronald, L. (1998). *Why scientists have not been writing metadata*, Eos Transactions, American Geophysical Union, 79, 31, pages 373, 380.

Walker, J. D., Black R. A., Linn J. K, Thomas A. J., Wiseman, R., D'Attilio M. G. (1996). *Development of Geographic Information Systems–Oriented Databases for Integrated Geological and Geophysical Applications*, in GSA Today, Vol. 6, no 1, March 1996, p 1-7.

Équipe de réalisation

Éditeurs scientifiques

Yves Michaud, Ressources naturelles Canada, Commission géologique du Canada

René Lefebvre, Institut national de la recherche scientifique – Eau, Terre et Environnement

Renald McCormack, Envir'eau puits, Saint-Nicolas

Auteurs par ordre alphabétique

Eric Boisvert, Andrée Bolduc, Édith Bourque, Nathalie Fagnan, Richard Fortier, Frédéric Girard, Daniel Larose-Charrette, René Lefebvre, Richard Martel, Y. Michaud, Daniel Paradis, Michel Parent, Harold Vigneault

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2008
ISBN : 978-2-550-51189-2 (pdf)

ANNEXE A

SOURCES D'INFORMATION POUR LA CARTOGRAPHIE HYDROGÉOLOGIQUE RÉGIONALE AU QUÉBEC

SOURCES D'INFORMATION

FÉDÉRAL

F1 – Cartes et rapports sur les formations superficielles

Organisme responsable : Commission géologique du Canada (Secteur des Sciences de la Terre). Ministère des Ressources naturelles.

Description : Les travaux de cartographie des chercheurs de la Commission géologique du Canada mènent, chaque année, à la production de cartes des formations superficielles. Ces cartes constituent un des principaux outils pour la cartographie des aquifères granulaires de surface. Elles renseignent sur le type et la géométrie en surface des formations aquifères ainsi que sur le genre de limites hydrauliques qui les séparent des autres unités géologiques. Ces cartes sont aussi nécessaires pour l'évaluation de la vulnérabilité des nappes à la contamination. La quantité d'information qui peut être déduite et interprétée de ces cartes est très importante.

La base de données des publications de la Commission géologique du Canada (GEOSCAN) est l'un des outils de recherche disponibles pour trouver les cartes recherchées. Les recherches peuvent se faire par zones SNRC. La base de données est disponible sur Internet à l'adresse suivante :

http://www.nrcan.gc.ca/ess/esic/geoscan_f.html.

Le Centre virtuel d'information sur les sciences de la terre (http://www.nrcan.gc.ca/ess/esic/index_f.html) permet d'effectuer des recherches sur certains types de publications scientifiques en vente par les commissions géologiques provinciales et fédérales. Les requêtes peuvent également être effectuées à l'aide du quadrillage topographique national (SNRC) à l'échelle 1 : 250 000. À l'aide de ce site, il est possible d'obtenir une liste de publications incluant les données de till régional, de sédiments lacustres et de ruisseaux, de gîtes minéraux et les cartes de géologie de surface. À ce stade dans le développement du site, il est possible de voir les données suivantes reliées aux bases de données mentionnées ci-haut; auteur(s), année de publication, numéro de rapport, NTS, province et la source de la publication. Cette information permet de commander les données par la librairie de la CGC ou les librairies des commissions provinciales.

Personnes et/ou organisme ressource : Sonia Dupuis, Bibliothécaire, Centre de documentation et bureau de vente régional, Commission géologique du Canada – Québec, Centre Géoscientifique de Québec (GCQ), 880 Chemin Sainte-Foy Bureau 840 C.P. 7500 Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7

Tél. : (418) 654-2677

Télec. : (418) 654-2615

Courriel : sdupuis@nrcan.gc.ca

F2 – Cartes et rapports sur le socle rocheux

Organisme responsable : Commission géologique du Canada. Ministère des Ressources naturelles.

Description : Les cartes géologiques du socle rocheux renseignent sur le type d'aquifères rocheux sous-jacents aux aquifères granulaires. Cette information aide à mieux évaluer le rôle que joue ces roches dans l'écoulement régional (ex. : limite imperméable ou non). De plus, les cartes géologiques du socle présentent les principaux traits structuraux qui caractérisent une région (failles et plis) ainsi que la présence de cavités dans les roches calcaires qui peuvent grandement influencer l'écoulement.

La base de données des publications de la Commission géologique du Canada (GEOSCAN) est l'outil de recherche qui permet de trouver les cartes recherchées. Les recherches peuvent se faire par zones SNRC. La base de données est disponible sur Internet à l'adresse suivante : http://www.nrcan.gc.ca/ess/esic/geoscan_f.html

Personnes et/ou organisme ressource : Sonia Dupuis, Bibliothécaire, Centre de documentation et bureau de vente régional, Commission géologique du Canada – Québec, Centre Géoscientifique de Québec (GCQ),), 880 Chemin Sainte-Foy Bureau 840 C.P. 7500 Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7

Tél. : (418) 654-2677

Télec. : (418) 654-2615

Courriel : sdupuis@nrcan.gc.ca

F3 – Cartes des Inventaires des Terres du Canada

Organisme responsable : Archives nationales du Canada.

Description : L'inventaire des terres du Canada (ITC) constitue l'un des inventaires nationaux les plus importants jamais entrepris. L'objectif de cet inventaire était de stimuler l'économie des régions rurales du pays en mettant en valeur les utilisations potentielles des terres. Les terres ont été classées selon leur potentiel physique d'utilisation en agriculture, en foresterie, en loisir et pour la faune et selon leur utilisation actuelle. Les cartes de reconnaissance de l'ITC fournissent de l'information essentielle à la planification du développement des terres par les autorités municipales, provinciales et fédérales. Bien que ces cartes soient maintenant datées, elles peuvent néanmoins constituer un complément d'information intéressant aux cartes de dépôts de surface et aux cartes de contraintes élaborées par les MRC.

Personnes et/ou organisme ressource : Le site Internet GéoGratis (<http://GEOGRATIS.CGDI.GC.CA/ITC/frames.html>) donne accès à plus de 1000 cartes de l'ITC à l'échelle 1 : 250 000. Ces cartes peuvent être téléchargées gratuitement sous divers formats. Pour plus d'information, vous pouvez aussi communiquer à l'adresse suivante :

Services à la clientèle de GéoGratis
Division GéoAccès, Centre canadien de télédétection, Ressources naturelles Canada
615, rue Booth, Pièce 650
Ottawa (Ontario) K1A 0E9
+01-613-947-2410
info@GeoGratis.cgdi.gc.ca

F4 – Cartes du Système national de référence cartographique (SNRC) et Base nationale de données topographiques (BNDT) (1 : 50 000 et 1 : 250 000)

Organisme responsable : Ressources naturelles Canada.

Description : Le Système national de référence cartographique (SNRC) se compose de cartes topographiques au 1 : 50 000 et 1 : 250 000 illustrant le relief, l'hydrographie, le couvert forestier, les zones administratives, les zones habitées, les voies et infrastructures de transport et les éléments rapportés. La Base Nationale de Données Topographiques (BNDT) est une base de données numériques développée par Géomatique Canada. Elle couvre l'ensemble du territoire canadien et comprend les éléments qu'on retrouve habituellement sur une carte topographique aux échelles de 1 : 50 000 et de 1 : 250 000 : l'hydrographie, l'hypsographie (courbes de niveau), la végétation, le réseau routier, les chemins, le réseau ferroviaire, le réseau énergétique, les aires désignées, le relief et les formes, les sols saturés (terres humides) et les constructions.

Les cartes topographiques sont des outils essentiels à la cartographie hydrogéologique. L'inspection des cartes topographiques et du réseau de drainage permet d'identifier de façon préliminaire les zones de recharge et d'émergence ainsi que de localiser les endroits d'affleurement de l'eau souterraine qui se manifestent, par exemple, par des sources et des étangs. Aussi, l'examen de la densité et la forme du réseau de drainage renseigne considérablement sur les conditions hydrogéologiques qui règnent dans une région.

Personnes et/ou organisme ressource : Les cartes topographiques et du réseau de drainage sont vendues sous format papier et numérique. Les données numériques peuvent être téléchargées à partir du site Internet de Géomatique Canada : <http://www.nrcan.gc.ca/geocan/>. Les cartes topographiques papiers sont vendues aux différents points de distribution de produits de Géomatique Canada (<http://maps.nrcan.gc.ca/bcc/index.html>).

Au Québec il existe deux points de vente, soit :

<u>Aux Quatre Points Cardinaux</u> 551 rue Ontario est Montréal (Québec) H2L 1N8 Téléphone : (514) 843-8116 ou 1-888-843-8116 Télécopieur : (514) 843-9644 Courriel : aqpc@aqpc.com Site Web : http://www.aqpc.com/	<u>Cartopo Enr820 Boul. Charest Ouest</u> <u>Québec (Québec)</u> <u>G1N 2C8</u> <u>Téléphone : (418) 527-4424 ou 1-877-820-2427</u> <u>Télécopieur : (418) 527-4999</u> <u>Courriel : info@cartopo.qc.ca</u> <u>Site Web : http://www.cartopo.qc.ca/</u>
---	--

Il est également possible d'obtenir des images topographiques du Canada gratuitement à partir du site: <http://toporama.cits.rncan.gc.ca/>. Ces images topographiques sont disponibles au 1:250 000 et au 1:50 000.

F5 – Données numériques d'élévation du Canada (1 : 250 000 et 1 :50 000)

Organisme responsable : Géomatique Canada. Ressources naturelles Canada.

Description : Les données numériques d'élévation du Canada (DNEC) sont constituées de quadrillage d'élévation de terrain à intervalle régulier. Ces DNEC sont basées sur les fichiers numériques de la Base nationale de données topographiques (BNDT) à l'échelle de 1 : 250 000, selon le Système national de référence cartographique (SNRC). Ils ont aussi comme source complémentaire les données d'élévation, les points de contrôle d'aérotriangulation et les points de contrôle géodésique.

Les applications des DNE ou, plus communément, des modèles numériques de terrain (MNT) sont multiples. Ils permettent, entre autres, de délimiter automatiquement à partir d'algorithmes les bassins versants, de calibrer l'altitude de forages géoréférencés, d'analyser les systèmes de drainage ou d'examiner les pentes et les formes de terrain. Les nombreux modes de visualisation disponibles pour examiner les MNT permettent d'augmenter le degré d'analyse qui peut être fait de l'information topographique. Cependant il est important de mentionner que le niveau d'interprétation possible va de pair avec l'échelle de la carte à partir de laquelle les MNT sont générés. Les MNT générés des cartes au 1 : 250 000 sont beaucoup moins précis que ceux produits avec des cartes 1:50 000. Pour les applications en hydrogéologie, il est préférable d'utiliser des MNT issus de cartes au 1:50 000.

Personnes et/ou organisme ressource : Pour commander des données numériques d'élévation du Canada il est possible de remplir un bon de commande via Internet à l'adresse suivante :

<http://www.cits.rncan.gc.ca/>

Ou en communiquant avec GÉOMATIQUE Canada :

Équipe de soutien aux usagers de la BNDT

2144, rue King, bureau 010

Sherbrooke (Québec), J1J 2E8

Bndt@rncan.gc.ca

Internet : <http://www.CITS.RNcan.gc.ca>

Tél. : 1-800-661-2638

(819) 564-4857

Télé. : (819) 564-5698

F6 – HYDAT : Archives nationales des données hydrologiques

Organisme responsable : Environnement Canada.

Description : Chaque année, Environnement Canada produit un CD-ROM « HYDAT » qui fournit un accès rapide à une version autonome des Archives nationales des données hydrologiques. Cette grande base de données renferme des renseignements quotidiens, mensuels ou instantanés sur le débit, le niveau de l'eau, la concentration des sédiments en suspension, la grosseur des particules de sédiments et la charge de sédiments pour plus de 2900 stations actives et quelques 5100 stations supprimées du Canada. Les données, recueillies par les bureaux régionaux, sont mises à jour une fois par an dans la base de données nationale. Pour une information plus détaillée : http://www.smc-msc.ec.gc.ca/climate/hydat/index_f.cfm.

Personnes et/ou organisme ressource : Contacts nationaux pour les renseignements et les données hydrométriques : Debra Allsopp, (416) 739-4403, courriel : Debra.Allsopp@ec.gc.ca. Contacts régionaux pour les renseignements et les données hydrométriques : Guy Morin, (514) 283-2084, courriel : Guy.Morin@ec.gc.ca. Jean François Cantin, (514) 283-5677 ou (418) 649-6565, courriel : Jean-Francois.Cantin@ec.gc.ca

Pour plus d'informations, communiquez avec :

Brad Hill

Division des produits climatologiques et hydrologiques

Environnement Canada

4905 Dufferin Street

Downsview, Ontario M3H 5T4

Télé. : (416) 739-4681

Télé. : (416) 739-4446

Courriel : brad.hill@ec.gc.ca

La version actuelle du CD-ROM de HYDAT est disponible auprès du Greenland Engineering Group, que vous pouvez joindre à l'adresse suivante :

7880 Keele Street, Unit 205
Concord, Ontario, Canada
L4K 4G7
Tél. : (905) 738-1818
Télec. : (905) 761-8880
Courriel : greenland@grnland.com

F7 – Catalogue collectif et GEOSCAN (banque de données bibliographiques)

Organisme responsable : Commission géologique du Canada. Ressources naturelles Canada.

Description : Le catalogue collectif contient l'inventaire informatisé des livres des bibliothèques de la Commission géologique du Canada. Les bibliothèques contribuant au catalogue sont le Centre d'information sur les sciences de la Terre (CIST) à Ottawa (collections de géologie, géomatique, des photos et cartes) ainsi que les bibliothèques de la Commission géologique du Canada à Québec (Ste-Foy), Calgary et Vancouver. GEOSCAN est une base de données bibliographique contenant plus de 40 000 fiches bibliographiques relatives à toutes les publications de la Commission géologique du Canada. Les contributions par le personnel de la Commission aux publications externes ont été incluses depuis 1986. Ces deux bases de données bibliographiques permettent de rechercher les rapports, cartes et publications pertinentes à une région ou thématique donnée.

Personnes et/ou organisme ressource : Les clients peuvent exécuter leurs propres recherches en direct ou avoir recours à l'aide du Service de référence du CIST. Adresse de la base de données GEOSCAN et du Catalogue collectif : http://www.nrcan.gc.ca/ess/esic/geoscan_f.html. Une autre adresse, celle du Répertoire des publications géoscientifiques canadiennes : <http://ntserv.gis.nrcan.gc.ca/> permet d'accéder en ligne à toutes les bases de données provinciales ou nationales en géologie.

F8 – Données numériques de levés géodésiques

Organisme responsable : Division des levés géodésiques. Ressources naturelles Canada.

Description : Ces données font parti du Système canadien de référence spatiale (SCRC) qui fournit des informations géodésiques et gravimétriques sur l'ensemble du territoire canadien. Cette banque de données comprend, entre autre, des fiches signalétiques pour les points géodésiques sur laquelle on trouve toutes les informations requises pour utiliser ce point (description du repère et du site, les mesures de repérage requises pour trouver le point géodésique, les coordonnées géographiques de ce point et son altitude). L'accès à l'information se fait via le Système canadien de référence spatiale-Interface Client Léger (SCRS_ICL) qui permet d'accéder, entre autre, aux canevas planimétriques et

altimétriques fédéraux archivés dans le Système canadien d'information géodésique (SCIG). De manière plus spécifique, il s'agit des données du réseau conventionnel de référence qui contient 210000 stations, du Réseau Canadien de Normalisation Gravimétrique qui contient 1700 stations, du Réseau de base canadien qui contient 155 stations et du Réseau nordique 2D de contrôle planimétrique qui contient 10000 stations. Des informations plus détaillées sont disponibles sur le site : http://www.geod.emr.ca/index_f/aboutus_f/programs_f/proggns_f.html

Personnes et/ou organisme ressource : Il est possible d'obtenir un accès gratuit pour un an (renouvelable) au SRCR_ICL en s'enregistrant comme nouveau membre à l'adresse : http://www.geod.emr.ca/index_f/products_f/online_data_f/online_data_f.html. Une personne ressource se chargera de fournir au client un code usager et un mot de passe valide pour une année.

Pour toute information communiquez avec
Services d'information
Division des levés géodésiques
Secteur des sciences de la Terre
613-995-4421
télécopieur 613-995-3215
Ressources naturelles Canada, 615 rue Booth, pièce 440
Ottawa (Ontario) K1A 0E9

F9 – Photos numériques satellitaires

Organisme responsable : Ressources naturelles Canada.

Description : Les images satellites Landsat fournissent des images de l'occupation du sol sur presque toute la surface du globe. Ce sont les systèmes imageurs de ces satellites qui captent le rayonnement électromagnétique et l'enregistrent sur bande pour fournir des données numériques sous forme d'image. Les données issues du satellite Landsat7 se composent de 8 bandes. Chaque bande est caractérisée par une résolution et une partie du spectre électromagnétique. Chaque bande permet de mettre en évidence des éléments particuliers du territoire. Ainsi :

La bande 1 a une résolution de 30X30m, elle se situe dans la partie visible bleu du spectre (longueur d'onde : 0.45-0.52 micromètres) et permet de mettre en évidence la différenciation végétation/sol et la cartographie côtière.

La bande 2 a une résolution de 30X30m, elle se situe dans le vert (longueur d'onde : 0.52-0.60 microns) estime la vigueur de la végétation.

La bande 3 a une résolution de 30X30m, elle se situe dans le rouge (longueur d'onde : 0.63-0.69 microns) et absorbe la chlorophylle ce qui permet de différencier la végétation.

La bande 4 a une résolution de 30X30m, elle se situe dans le proche infrarouge (longueur d'onde 0.76-0.90) et permet de mettre en évidence la différenciation végétation/sol et sol/eau.

La bande 5 a une résolution de 30X30m, elle se situe dans l'infrarouge moyen (longueur d'onde 1.55-1.75) et permet d'évaluer l'humidité du sol et de la végétation et de différencier la neige et les nuages.

La bande 6 a une résolution de 60X60m, elle se situe dans l'infrarouge thermique (longueur d'onde 10.40-12.50) et permet de faire de la cartographie thermique, d'étudier l'humidité du sol et de mesurer les contraintes dues à la chaleur d'usine.

La bande 7 a une résolution de 30X30m, elle se situe dans l'infrarouge moyen (longueur d'onde 2.08-2.35) et permet de faire de la cartographie thermique.

La bande 8 a une résolution de 15X15m, elle se situe dans le vert, le rouge, et le proche infrarouge (longueur d'onde 0.52-0.90 panchromatique) et permet de cartographier de grandes unités et d'étudier les changements urbains.

L'analyse de chaque bande ou de la combinaison de certaines bandes permet de déduire des informations telles que la recharge (grâce au calcul de l'indice NDVI).

Personnes et/ou organisme ressource : Le site internet géogratias (<http://geogratias.cgdi.gc.ca/clf/fr?action=landsat>) permet de commander gratuitement les images Landsat 7 en pleine résolution. L'objectif des responsables des données (Géogratias) est de fournir des images récentes dont la couverture nuageuse est inférieure à 10%, le client le reçoit une à deux semaines après en avoir fait la commande.

Pour toute information communiquer avec :

Services à la clientèle de GéoGratis

Division GéoAccès, Centre canadien de télédétection, Ressources naturelles Canada

615, rue Booth, Pièce 650

Ottawa (Ontario) K1A 0E9

+01-613-947-2410

info@GeoGratis.cgdi.gc.ca

Il existe un autre site sur lequel les images satellitaires Landsat 7 sont disponibles, il s'agit du site du Earth Sciences Data Interface (ESDI) : <http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/glcf/esdi?command=searchMap>. Les données sont directement téléchargeable du site. C'est le client qui choisi son jeu de données (l'information sur l'année, la couverture nuageuse est disponible) et qui choisi les bandes à télécharger.

F10 – Base de Données numériques de la couche de cohérence de l'Infrastructure Canadienne de Données Géospatiales (ICDG)

Organisme responsable : Centre d'information topographique de Sherbrooke. Ressources naturelles Canada.

Description : Les données de la couche de cohérence sont des données géospatiales constitués de points facilement identifiables sur le territoire. Ces points, déduits de la BNDT, permettent de géoréférencer des données provenant de diverses sources. Les points de la couche de cohérence sont soit des éléments ponctuels (barrage, pont, phare etc.), soit des intersections (route, chemin de fer, autoroute etc.). La projection est géographique (longitude, latitude) et le système de référence horizontal est le NAD 83. Le système de référence vertical est le géodésique de 1928 (CGVD28). La précision horizontale et verticale de ces points varie en fonction de l'organisme qui fourni les données et de l'échelle des données d'origine. La base de données de la couche de

cohérence contient actuellement 7 113 123 points pour l'ensemble du territoire canadien. Pour une information plus détaillée : <http://ccdi.icdg.gc.ca/html/presentations/presentations-f.html>.

Personnes et/ou organisme ressource : Il est possible de télécharger gratuitement et directement du site internet tous les points disponibles de la couche de cohérence pour un secteur donné : <http://ccdi.icdg.gc.ca/html/data/chercher-ccdi.html>. Pour plus d'information communiquez avec :

Équipe de la couche de cohérence des données de l'ICDG
Centre d'information topographique- Sherbrooke
2155, rue King Ouest, Bureau 010
Sherbrooke (Québec) Canada J1J 2E8
Télécopieur: (819) 564-4892
Adresse électronique: ccdi@rncan.gc.ca

PROVINCIAL

P1 – Cartes et rapports sur les formations superficielles

Organisme responsable : Forêt Québec. Ministère des Ressources naturelles.

Description : Le Ministère des Ressources naturelles du Québec, Service de l'inventaire forestier, a publié des cartes des formations superficielles pour la majorité du territoire québécois au sud du 52^e parallèle. Ces cartes (carte de dépôts de surface, document de travail) ont été produites afin de développer des outils de gestion forestière. Les cartes sont produites par interprétation des photographies aériennes et avec quelques levés de terrain. Le but de cette cartographie est d'établir les districts écologiques afin d'aider l'industrie forestière à mieux gérer sa ressource. Ces cartes ont l'avantage d'avoir une légende commune à travers le Québec, et d'offrir une couverture systématique du territoire. Toutefois, le niveau de détail varie d'une carte à l'autre, les éléments géomorphologiques sont souvent absents ou peu représentés, les épaisseurs de dépôts ne sont pas indiquées (sauf dans le cas du till mince), et parce que les levés de terrain sont minimums, il reste une certaine validation à faire, tel que spécifié sur les cartes. Néanmoins, les cartes produites par le Service de l'inventaire forestier du MRNQ représentent une bonne source d'information pour identifier les zones présentant un potentiel aquifère granulaire en surface.

Personnes et/ou organisme ressource : Le répertoire de la Cartothèque forestière et écoforestière contient les cartes-index et les informations requises pour commander les produits. Il est disponible gratuitement en s'adressant à Madame Lucille Labbé, Ministère des Ressources naturelles, Forêt Québec, Direction des inventaires forestiers.
880 chemin sainte-foy, 3^{ième} étage, Québec (Québec) G1S 4X4
Tél. : 418-627-8669 poste 4311
ou 1-800-877-9FORÊTS poste 4311

Télec. : 418-644-9672
Courriel : lucille.labbe@mrn.gouv.qc.ca
Internet : <ftp://ftp.mrn.gouv.qc.ca>
Répertoire public/dif/diffusio/cartonum

P2 – Cartes et rapports sur le socle rocheux

Organisme responsable : Géologie Québec. Ministère des Ressources naturelles.

Description : Géologie Québec met à la disposition du public un important fond documentaire constitué des publications géoscientifiques du ministère (plus de 4 000 titres) et de tous les dossiers d'exploration minière soumis au ministère en vertu de la loi sur les mines (environ 56 000 références). La banque de données EXAMINE contient le signalement de l'ensemble de ces documents et permet d'effectuer des recherches par mots-clés. EXAMINE constitue donc la source d'information pour la recherche de rapports hydrogéologiques qui ont jadis été des produits de Ressources naturelles dans les années 70 et 80.

Les rapports hydrogéologiques constituent bien entendu des sources d'information de très grande valeur dont on doit tenir compte avant de débiter tout travail de cartographie hydrogéologique.

Personnes et/ou organisme ressource : La banque de données EXAMINE peut être consultée via Internet à l'adresse suivante : <http://examine.mrn.gouv.qc.ca/dex/plsql/app.debut>. Les publications peuvent aussi être consultées ou achetées au Centre de diffusion, à Charlesbourg, ainsi que dans les bureaux régionaux du Secteur mine

Les commandes postales doivent être adressées au Centre de diffusion à Charlesbourg :

Direction de la Géologie
Centre de la diffusion
5700, 4e avenue Ouest,
Charlesbourg (Québec)
G1H 6R1
Tél. : (418) 627-6278

P3 – Cartes et rapports sur les ressources en granulats

Organisme responsable : Géologie Québec. Ministère des Ressources naturelles.

Description : La banque de données EXAMINE contient le signalement de l'ensemble des publications géoscientifiques du ministère et permet d'effectuer des recherches par mots-clés. EXAMINE constitue donc la source d'information pour la recherche de rapports sur les ressources en granulats.

Personnes et/ou organisme ressource : La banque de données EXAMINE peut être consultée via Internet à l'adresse suivante : <http://examine.mrn.gouv.qc.ca/dex/plsql/app.debut>. Les publications peuvent aussi être consultées ou achetées au Centre de diffusion, à Charlesbourg, ainsi que dans les bureaux régionaux du Secteur mines

Les commandes postales doivent être adressées au Centre de diffusion à Charlesbourg :

Direction de la Géologie
Centre de la diffusion
5700, 4e avenue Ouest,
Charlesbourg (Québec)
G1H 6R1
Tél. : (418) 627-6278

P4 – Cartes et rapports pédologiques

Organisme responsable : Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA).

Description : La cartographie des sols est complétée pour tout le territoire habité du Québec et au moins cinquante pourcent des cartes papiers sont maintenant disponibles sous format numérique. Les cartes pédologiques (échelle : 1 : 20 000) contiennent l'information concernant les paramètres physiques qui contrôlent l'infiltration et sont donc utiles pour l'évaluation de la recharge. De plus, la carte des sols est aussi utile pour l'évaluation de la vulnérabilité des nappes à la contamination. L'IRDA fournit également, sur commande, une base de données numérique complète du Québec qui permet de joindre les couvertures des cartes numériques avec, entre autre, l'appellation cartographique des sols ou séries de sol, le nom et les propriétés de chaque sol ou série de sol rencontrée.

Personnes et/ou organisme ressource : Les demandes doivent être acheminées à Réal Camiré ou Yves Lemay de l'IRDA.

Soit par :

- courrier ordinaire : IRDA, 2700, rue Einstein, local B.1.310, Sainte-Foy (Québec), G1P 3W8
- télécopieur : (418) 644-6855
- téléphone : (418) 644-6868 ou (418) 643-2787
- courriel : yves.lemay@irda.qc.ca ou real.camire@irda.qc.ca

P5 – Banque de données sur les sols québécois (BIRSQ)

Organisme responsable : Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.

Description : Banque de données contenant des informations sur des sites et des résultats analytiques provenant de l'inventaire des sols (lors du projet ARDA), de la dégradation des sols et des résultats de recherche en chimie, physique, fertilité et conservation des sols. Les variables incluses dans cette banque de données sont : données descriptives et analytiques sur les sols ou séries de sol québécois, matériel et méthode utilisés, résultats, discussions et conclusions de recherche sur les sols québécois

Personnes et/ou organisme ressource : M. Gérard Laflamme, Agronome-Pédologue, Centre de recherche et d'expérimentation des sols, Complexe Scientifique, 2700 rue Einstein, bureau B.1.3.10.3, Sainte-Foy, Québec, G1P 3W8
Tél. : 418-644-6958
Télec. : 418-644-6855
Courriel : glaflamm@agr.gouv.qc.ca

Pour commander les cartes, il faut s'adresser à l'Institut de recherche en agro-environnement au (418) 644-6868 à M. Yves Lemay.

P6 - Photographies aériennes (1 : 15 000 et 1 : 40 000)

Organisme responsable : Photocartotheque québécoise. Ministère des Ressources naturelles.

Description : Les photographies aériennes aux échelles 1 : 15 000 et 1 : 40 000 couvrent le Québec méridional en entier. Les photographies aériennes permettent d'analyser en détail certains traits du territoire qui ne ressortent pas nécessairement sur les cartes topographiques. En effet, les ruisseaux intermittents, la géologie et certains traits structuraux ressortent de façon plus marquée sur les photographies aériennes.

La sélection des photographies aériennes se fait à partir des cartes-index qui renferment toute l'information requise pour localiser les photographies aériennes disponibles pour un territoire donné. Ces cartes index sont disponibles sur demande à la photocartotheque. La photocartotheque québécoise a récemment développé un nouvel outil de recherche : SIPA. Ce système de recherche donne accès à la collection de photographies aériennes de la Photocartotheque québécoise et permet à l'utilisateur de faire sa propre recherche et de commander le produit désiré directement à partir du terminal. SIPA offre la possibilité d'effectuer une recherche parmi quelque 1 300 000 photographies aériennes aux échelles 1 : 15 000 et 1 : 40 000 sur tout le territoire québécois.

Personnes et/ou organisme ressource : Les index des lignes de vol sont disponibles sur demande. La Photocartotheque québécoise diffuse également les photos réalisées par d'autres producteurs.

Photocartotheque québécoise
5700, 4e Avenue Ouest, bureau B 200
Charlesbourg (Québec) G1H 6R1
Tél. : (418) 627-6356
Sans frais au Québec : 1 877 803-0613
Télé. : (418) 646-6706
Courriel : photocarto@mrn.gouv.qc.ca
Site Web : <http://www.mrn.gouv.qc.ca/photocartotheque/index.htm>

P7 – Index des puits forés pour l’exploration du gaz et du pétrole

Organisme responsable : Direction du gaz et du pétrole. Ministère des Ressources naturelles.

Description : Identification et localisation des forages d’exploration et d’exploitation pour le pétrole et le gaz naturel au Québec. La banque de données comprend les informations géologiques et stratigraphiques du socle rocheux ainsi que les résultats papiers de diagraphies (sonic, densité, gamma, résistivité, etc.). La banque de données ne contient pas d’information sur les niveaux d’eau. Les informations de forages sont rendues publiques deux ans après le forage d’un puits. Bien qu’elle soit fonctionnelle, cette banque de données n’est toutefois pas, à ce jour, disponible au grand public. La direction prévoit la rendre disponible via Internet dans les plus brefs délais.

Personnes et/ou organisme ressource : Toutes les demandes doivent être acheminées à Claude Morin, direction du gaz et du pétrole, 5700 4^e Avenue, bureau A-412, Charlesbourg (Québec)
Tél. : 418-627-6390.

P8 – Carothèque

Organisme responsable : Ministère des Ressources naturelles.

Description : Les carothèques sont les endroits d’entreposage des carottes de forage effectuées lors des travaux d’exploration. Seules les carothèques de Rouyn, Chibougameau, Ste-Anne-des-Monts et Sept-Îles sont encore actives. Cependant, dans un avenir rapproché, seule la carothèque de Rouyn demeurera en fonction.

La visualisation de carottes de forage permet d’avoir une appréciation visuelle de la fracturation macroscopique des roches. Du point de vue de l’hydrogéologie des roches fracturées, cette évaluation peut aider à identifier les zones du socle rocheux qui contribuent de façon significative à l’écoulement de l’eau souterraine.

Personnes et/ou organisme ressource : Pour avoir accès aux carottes de forage des carothèques il faut contacter le géologue résident de chacun des bureaux régionaux du secteur des Mines. Chaque bureau régional comprend une équipe de spécialistes en sciences de la Terre qui réalisent des inventaires et des études géoscientifiques et agissent

à titre d'experts-conseils sur la géologie de leur district. L'adresse de chaque bureau peut être obtenue à partir du site Internet de Géologie Québec : <http://www.mrn.gouv.qc.ca/nousjoindre/nousjoindre-mines.jsp>
Ou en contactant Léon Carbonneau de l'information générale de Géologie Québec au : (418) 627-6278

P9 – Données géotechniques du MTQ

Organisme responsable : Ministère des Transports.

Description : Dans le cadre de ses travaux, le ministère des Transports du Québec (MTQ) doit effectuer divers types de sondages. La localisation et les informations issues de ces sondages sont compilées par le service géotechnique et de géologie sur une série de cartes accompagnées de rapports géotechniques. Le MTQ gère également une deuxième banque de données, soit celle qui lui a été transférée par le MRN en 1980 lorsque celui-ci a dissous son service de géotechnique. Cette banque de données est interrogeable par coordonnées UTM et peut être transmise sur support informatique. Les deux banques de données du ministère des Transports contiennent des informations sur la stratigraphie et les niveaux d'eau. De plus, une partie non négligeable des informations archivées porte sur les propriétés des matériaux. Les mesures telles que la plasticité, la résistance au cisaillement et la teneur en eau pour les matériaux argileux y sont archivées ainsi que les résultats des essais scissométriques, pressiométriques et au pénétromètre.

La diffusion des deux banques de données du MTQ est limitée aux organismes publics. Le service de géotechnique et de géologie n'ayant pas de personne ressource pour la gestion et la diffusion de l'information, il lui est impossible de répondre de façon régulière à toutes les demandes de diffusion.

Personnes et/ou organisme ressource : Bruno Roberge, Direction des sols et matériaux, Service des sols et Chaussée, Division Géotechnique, 930 chemin Ste-Foy, 5e étage, Québec (Québec), G1S 4X0
Tél.: 418-643-8577

P10 – Levés géophysiques

Organisme responsable : Géologie Québec. Ministère des Ressources naturelles.

Description : Données géophysiques compilées dans le cadre de projets précis qui se sont déroulés entre 1968 à 1997. Les levés géophysiques couvrent principalement les régions du nord du Québec. Toutefois, quelques levés ont été effectués dans les régions du sud du Québec, tels que la Beauce, Memphrémagog et les Basses-Laurentides au nord de Montréal. La région de la Gaspésie n'est pas incluse dans cette banque de données. Les

données sont offertes par feuillet SNRC au 1 : 250000 et sont vendus sous format de CD-ROM.

Pour commander : On peut rechercher les données géophysiques à partir du système SIGÉOM qui est maintenant accessible sur Internet : http://siggeom.mrn.gouv.qc.ca/signet/classes/I0101_index. Ou en se rendant sur place, au centre de documentation. Les demandes peuvent aussi être acheminées via courriel au Centre de diffusion à M. Léon Carbonneau.

Direction de la Géologie

Centre de la diffusion

5700, 4e avenue Ouest, local

Charlesbourg (Québec)

G1H 6R1

Tél. : (418) 627-6278

Courriel : Leon.carbonneau@mrn.gouv.qc.ca

P11 – Base de données topographiques (BDTQ) (1:20000)

Organisme responsable : Ministère des Ressources naturelles.

Description : Le territoire québécois fait l'objet d'une couverture cartographique à l'échelle 1 / 20 000, où chaque feuille est numérotée en fonction du Système québécois de référence cartographique (SQRC). Ces cartes, de format 90 cm x 112 cm, illustrent divers éléments de la surface terrestre regroupés en quatre catégories principales : hydrographie (lacs, rivières, ruisseaux, marécages, tourbières, etc.), végétation (forêts, arbres, pépinières, vergers, etc.), infrastructures (autoroutes, routes, bâtiments, carrières, etc.) et relief (courbes de niveau équidistantes de 10 mètres, points cotés, élévations approximatives, etc.). De plus, toutes les cartes topographiques sont maintenant disponibles sous format numérique (BDTQ).

Les cartes topographiques sont des outils essentiels à la cartographie hydrogéologique. L'inspection des cartes topographiques et du réseau de drainage permet d'identifier de façon préliminaire les zones de recharge et d'émergence ainsi que de localiser les endroits d'affleurement de l'eau souterraine qui se manifestent, par exemple, par des sources et des étangs. Aussi, l'examen de la densité et la forme du réseau de drainage renseigne considérablement sur les conditions hydrogéologiques qui règnent dans une région.

Personnes et/ou organisme ressource : Plus de 40 détaillants autorisés distribuent les cartes topographiques. La liste de ces détaillants se trouve à l'adresse suivante : <http://photocartotheque.mrn.gouv.qc.ca/pcq/classes/accueil>

Pour plus d'information, contactez le centre d'information de la Photocartotheque québécoise :

5700, 4e Avenue Ouest, bureau B 200

Charlesbourg (Québec) G1H 6R1
Tél. : (418) 627-6356
Sans frais au Québec : 1 877 803-0613
Télec. : (418) 646-6706
Courriel : photocarto@mrn.gouv.qc.ca

P12 – Banque de données géodésiques du Québec (GÉODEQ II)

Organisme responsable : Ministère des Ressources naturelles.

Description : GÉODEQ II est une banque de données du réseau géodésique québécois, concernant la position et l'altitude des points géodésiques au Québec et la distribution de leurs repères. Elle comprend entre autres des fiches signalétiques pour les points géodésiques sur laquelle on trouve toutes les informations requises pour utiliser ce point (description du repère et du site, les mesures de repérage requises pour trouver le point géodésique, les coordonnées géodésiques et rectangulaires de ce point et son altitude). Les données peuvent être transférées sous format papier ou sous version informatique à l'aide d'une disquette qui contient le logiciel de formatage RAPTEC.

Le nivellement des points de mesures de niveaux d'eau est nécessaire dans les régions à faibles reliefs. La variation latérale de l'altitude des niveaux d'eau étant faible, il devient alors crucial d'obtenir des données d'altitude précises du niveau piézométrique. La précision des données permettra, entre autres, de tracer avec plus de confiance les limites de partage des bassins hydrogéologiques ainsi que les directions d'écoulement de l'eau souterraine.

Personnes et/ou organisme ressource : La banque de données GÉODEQ ne peut être interrogée directement par le public. Les demandes doivent donc être acheminées par courrier ou en personne à M. Pierre Esculier, Direction de la Géologie, Photocartotheque québécoise, 5700, 4e avenue Ouest, B-200, Charlesbourg, G1H 6R1
Tél.: (418) 646-3387

P13 – Système d'informations hydrogéologiques (SIH)

Organisme responsable : Ministère de l'Environnement.

Description : Le système d'informations hydrogéologiques du MENV est principalement composé de données provenant des rapports de forages effectués par les puisatiers. Au Québec, plus de 6000 puits à usage domestique sont forés et installés annuellement par les puisatiers (Perron, communication personnelle). De par la Loi, les foreurs doivent fournir un rapport de forage au MENV contenant les informations sur la construction de ces puits, les couches géologiques rencontrées en cours de forage, le niveau de l'eau dans le puits ainsi qu'une appréciation des débits disponibles. Au total, le MENV détient jusqu'à ce jour les informations concernant plus de 100 000 forages, la grande majorité de ceux-ci ayant eu pour cible le roc. Outre ce type d'informations, le SIH contient aussi

quelques données qui ont été récupérées auprès de deux ministères, soit celui des Transports et celui des Ressources Naturelles. À diverses reprises, dans le cadre de leurs activités respectives, ces deux ministères ont eu à effectuer de nombreux forages à travers le Québec et ce sont les informations de ces forages qui sont contenues dans le système d'informations hydrogéologiques. Le pourcentage des données de forages du MRN et MTQ par rapport aux données provenant des puisatiers est par contre très faible.

Avec ces 100 000 données de forages, le système d'informations hydrogéologiques est certainement la source de données hydrogéologiques la plus importante au Québec. Cependant, la qualité des informations est grandement variable. Certains forages peuvent, par exemple, être mal localisés, ce qui peut contribuer à fausser les interprétations stratigraphiques d'une région donnée. Le MENV évalue à environ 10% le nombre de forages dont la localisation est erronée (Ouellet, communication personnelle). Une autre contrainte d'utilisation de ces données de forages se situe au niveau de la qualité des descriptions stratigraphiques. En effet, bien que la séquence stratigraphique de certains forages soit bien détaillée, une quantité significative de forages possède des descriptions très sommaires où l'on a eu recours à des termes plutôt vagues. Ces faits réduisent considérablement la fiabilité de cette base de données et limitent son utilisation pour certaines applications.

Les principales informations pertinentes à la cartographie hydrogéologique contenues dans cette banque sont les unités stratigraphiques majeures rencontrées en cours de forage, les niveaux d'eau et les profondeurs au roc. Ces données de forages sont disponibles sous format dBase, Access ou Excel.

Personnes et/ou organisme ressource : Raymond Perron, Direction des politiques du secteur municipal, Édifice Marie-Guyart, 8e étage, 675, boulevard René-Lévesque Est Québec (Québec), G1R 5V7
Tél. : (418) 521-3885 poste 4817
Télécopieur: (418) 644-8562
Courriel : raymond.perron@menv.gouv.qc.ca

P14 – Banque de données piézométriques

Organisme responsable : Ministère de l'Environnement.

Description : Banque de données contenant les informations des piézomètres installés par le MENV dans le cadre d'études spécifiques. Les informations comprennent des descriptions stratigraphiques, des mesures de niveaux d'eau, des résultats d'essais de perméabilité et d'analyses granulométriques. Le réseau piézométrique ne couvre pas la totalité du territoire québécois. Les informations de cette banque sont toutefois très fiables.

Personnes et/ou organisme ressource : La direction des politiques du secteur municipal est responsable de traiter les demandes d'accès à l'information de la banque de données piézométriques. Veuillez contacter M. Raymond Perron, Direction des politiques du

secteur municipal, Édifice Marie-Guyart, 8e étage, 675, boulevard René-Lévesque Est, Québec, G1R 5V7

Tél. : (418) 521-3885 poste 4817

Télécopieur: (418) 644-8562

Courriel : raymond.perron@menv.gouv.qc.ca

P15 – Cartes et rapports hydrogéologique produits par les ministères provinciaux

Organisme responsable : Ministère de l'Environnement.

Description : Les ministères des Ressources Naturelles (MRN) et de l'Environnement (MENVQ) ont procédé à des travaux de cartographie hydrogéologique durant les années 1970 et 1980 dans le cadre de programmes fédéraux et provinciaux : DHI - décennie hydrologique internationale (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 volet cartes de vulnérabilité (1985-1988) (McCormack, communication personnelle). Ces travaux ont principalement mené à des études de reconnaissance mais aussi, de façon ponctuelle, à quelques études détaillées. L'ensemble de ces travaux n'a cependant pas couvert la totalité du territoire et utilisait la technologie et l'information disponibles à ces époques. Une liste complète de tous les rapports et cartes publiés suites à ces travaux est présentée à l'annexe B.

La majorité des rapports hydrogéologiques est accompagnée d'une série de cartes hydrogéologiques et hydrogéochimiques concernant la 1) 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 captages présents sur le territoire, et 3) la distribution de certains paramètres physicochimiques (fer, dureté, chlorure, pH et conductivité). Les données additionnelles aussi généralement présentées sont la localisation des puits d'essai et des sondages stratigraphiques. 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 des informations paramétriques (i.e., épaisseur des dépôts, topographie du socle, piézométrie, etc.).

Personnes et/ou organisme ressource : La direction des politiques du secteur municipal est responsable de traiter les demandes d'accès à l'information des rapports hydrogéologiques. Veuillez contacter M. Raymond Perron à la Direction des politiques du secteur municipal, Édifice Marie-Guyart, 8e étage, 675, boulevard René-Lévesque Est, Québec, G1R 5V7

Tél. : (418) 521-3885 poste 4817

Télécopieur: (418) 644-8562

Courriel : raymond.perron@menv.gouv.qc.ca

P16 – Rapports d'études hydrogéologiques de consultants disponibles au MENV

Organisme responsable : Ministère de l'Environnement.

Description : De nombreuses informations hydrogéologiques intéressantes peuvent être obtenues à partir de rapports publics soumis au MEF ou à d'autres organismes publics. Par exemple, les rapports concernant des demandes de permis pour des sites d'enfouissement sanitaire ou les rapports sur la recherche de sources d'approvisionnement en eau souterraine par des municipalités sont des sources d'informations privilégiées. Ces rapports renferment plusieurs informations sur les propriétés hydrauliques des aquifères telles que la conductivité hydraulique, les coefficients d'emmagasinement, la porosité, la granulométrie et la séquence stratigraphique rencontrée en cours de forage. De plus, la composition chimique détaillée des eaux souterraines, les mesures de niveaux d'eau ainsi que la localisation des sources de contamination potentielles sont souvent des informations complémentaires contenues dans ces rapports. La qualité de l'information contenue dans ces rapports est généralement bonne.

Personnes et/ou organisme ressource : Les demandes de consultation des rapports hydrogéologiques doivent être faites à la direction centrale du MEF ainsi que dans les directions régionales. Certains rapports sont dupliqués mais il est possible que certains rapports se trouvent exclusivement dans l'une ou l'autre des directions. À la Centrale, les demandes doivent être cheminées à : M. Raymond Perron, Direction des politiques du secteur municipal, Édifice Marie-Guyart, 8e étage, 675, boulevard René-Lévesque Est, Québec, G1R 5V7
Tél. : (418) 521-3885 poste 4817
Télécopieur: (418) 644-8562
Courriel : raymond.perron@menv.gouv.qc.ca

P17 – Données climatologiques

Organisme responsable : Ministère de l'Environnement.

Description : Données climatologiques (précipitation en neige et pluie et températures) provenant des stations météorologiques présentes sur le territoire québécois. Les données de précipitation et de température sont nécessaires pour l'évaluation du bilan hydrologique et la quantité moyenne annuelle de la recharge des aquifères.

Personnes et/ou organisme ressource : Les demandes doivent être faites à la direction du milieu atmosphérique.

Pour les moyennes mensuelles sur 30 ans :

Roger Gagné
Tél.: (418) 521-3826 (poste 4579)
Télec. : 418-643-9591

Pour les données horaires et journalières :

Paul Lamb
Tél.: (418) 521-3826 (poste 4583)
Télec. : 418-643-9591

Direction du milieu atmosphérique
Édifice Marie-Guyart, 5e étage
675, boulevard René-Lévesque Est
Québec (Québec)
G1R 5V7

P18 – Cartes et informations sur les bassins versants

Organisme responsable : Ministère de l'Environnement. Centre d'expertise hydrique du Québec.

Description : Une des fonctions du centre d'expertise hydrique est de fournir de l'information sur les bassins versants. La direction est à produire, à l'échelle du 1:20 000, les limites des bassins versants sur fichiers numériques. Ces fichiers ne sont pas tous disponibles pour le moment et ceux qui le sont n'ont pas été vérifiés. Cependant, la direction fournit des copies papiers des limites des bassins versants à l'échelle du 1 : 50 000 et du 1 : 250 000. Les cartes numériques des bassins versants au 1 :20 000 fournissent de l'information sur les bassins et sous-bassins jusqu'au niveau 4.

Les limites hydrogéologiques des aquifères libres en milieu poreux correspondent fréquemment aux limites des bassins hydrologiques. Ainsi, les limites des bassins hydrogéologiques peuvent être initialement estimées à l'aide de ces cartes.

Personnes et/ou organisme ressource : Louis Hébert, Centre d'expertise hydrique du Québec,
Édifice Marie-Guyart, 2^{ième} étage
675, boul. René-Lévesque Est
Québec (Québec) G1R 5V7

Tél. : (418) 521-3876 poste 7308
Télec. : (418) 643-6900

P19 – Banque de données hydriques

Organisme responsable : Ministère de l'Environnement.

Description : La Direction du milieu hydrique possède plusieurs réseaux de stations hydrométriques dans son programme d'inventaire et de recherche sur les eaux de surface. Elle compile aussi les données fournies par d'autres organismes qui exploitent des centrales hydroélectriques, des barrages, des stations sur les cours d'eau limitrophes, etc. Toutes ces données sont traitées par ordinateurs et emmagasinées sur support informatique.

La direction produit aussi un Annuaire hydrologique du Québec. L'annuaire ne vise pas à produire une copie exacte de toutes les données disponibles, mais plutôt à fournir à la clientèle une vue d'ensemble des conditions d'écoulement dans la province.

Les données hydriques sont nécessaires pour produire le bilan hydrologique d'une région.

Personnes et/ou organisme ressource : Les demandes doivent être acheminées directement à la Direction du milieu hydrique. La personne ressource est Denis Lapointe ou Gilles Barabé, Direction du milieu hydrique, 150 boul. René-Lévesque Est, 9e étage, Québec (Québec), G1R 4Y1

Téléphone: (418) 644-3437

Télec. : (418) 644-7100

P20 – Système eau potable

Organisme responsable : Ministère de l'Environnement.

Description : La direction des politiques du secteur municipal dresse à chaque année une liste des aqueducs municipaux et des types de captage à laquelle elle ajoute les résultats d'analyses physico-chimiques effectuées après traitement. La connaissance des utilisateurs d'eau souterraine permet de dresser un portrait de l'utilisation en eau. De plus, la connaissance de la localisation des captages municipaux permet d'évaluer, de façon préliminaire, la productivité des aquifères exploités.

Personnes et/ou organisme ressource : Les demandes doivent être faites à M. Alain Riopel de la direction des politiques du secteur municipal. Édifice Marie-Guyart, 8e étage, 675 boulevard René-Lévesque Est, Québec (Québec), G1R 5V7

Tél. : (418) 521-3885

Télécopieur: 418) 644-2003

Télec.: (418) 644-3513

P21 – Banque de données sur la qualité du milieu aquatique

Organisme responsable : Ministère de l'Environnement.

Description : La BQMA est une banque de données physico-chimiques et biologiques des lacs et rivières du Québec recueillies dans le cadre d'une quarantaine de projets. La qualité des eaux de surface devient une donnée intéressante dans le cas où les rivières sont en lien hydraulique avec les aquifères. L'interaction étant alors possible entre les eaux de surface et souterraines, il devient important de connaître la qualité des deux types d'eau.

Personnes et/ou organisme ressource : Mario Bérubé, Analyste du milieu aquatique, Direction des écosystèmes aquatiques, Édifice Marie-Guyart, 7e étage, 675 boulevard René-Lévesque Est, Québec (Québec), G1R 5V7

Tél. : (418) 521-3820 poste 4739
Télé. : (418) 646-8483

P22 – Production Piscicole

Organisme responsable : Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation

Description : La direction régionale de l'Estuaire et des eaux intérieures tient à jour une banque de données sur les producteurs piscicoles au Québec. Les informations publiques qui peuvent être transmises de cette banque de données sont le nom et l'adresse des producteurs piscicoles. La production piscicole nécessite généralement une utilisation importante d'eau souterraine. La connaissance de la localisation des piscicultures qui sont actives est importante puisqu'elle permet de mieux évaluer la productivité des aquifères. Cette information complète aussi le portrait des utilisateurs d'eau souterraine d'une région donnée.

Personnes ressources : Les demandes doivent être acheminées par téléphone à Mme Danielle Roy, MAPAQ, Direction régionale de l'Estuaire et des eaux intérieures, 460 boul. Louis Fréchette, Nicolet, J3T 1Y2

Tél. : 819-293-5677

Courriel : droy@agr.gouv.qc.ca

P23 – Banque de données sur les terrains contaminés GTC

Organisme responsable : Les Directions régionales du MENVQ.

Description : Répertoire présentant des informations d'ordre général, administratif et technique sur les dossiers de sols contaminés portés à l'attention du Ministère de l'Environnement et sur les anciens dépotoirs industriels. (Information issue des défunts programmes GERLED et GERSOL). Les informations incluses sont :

- identification et localisation du terrain
- nom et type de propriétaire
- origine de la contamination
- nature des déchets et contaminants
- volume et superficie (déchets et sols)
- étape d'avancement du dossier
- années d'ouverture et de fermeture du dossier
- technique de restauration et coûts
- responsable du dossier et mise à jour

Le bureau central du Ministère de l'Environnement s'occupe de la gestion de la banque de données alors que la mise à jour des informations est effectuée par chacune des 17 directions régionales. Ce sont donc aux directions régionales que doivent être acheminées les demandes d'accès à l'information.

Personnes et/ou organisme ressource : Les demandes d'accès à l'information doivent être acheminées aux directions régionales respectives. L'adresse des 17 directions régionales se trouve sur le site Internet du Ministère de l'Environnement :

<http://menv.gouv.qc.ca>

Il est toutefois possible de consulter le répertoire des terrains contaminés sur le site internet : <http://www.menv.gouv.qc.ca/sol/terrains/terrains-contamines/recherche.asp>.

P20 – Lieux d'enfouissement divers

Organisme responsable : Les Directions régionales du MENV.

Description : Chaque direction régionale du MENV possède une liste des sites d'enfouissement sanitaire, dépôts de matériaux secs, dépôts en tranchée et lieux de compostage de boues de fosses septiques de la région qu'il couvre. Ces données sont importantes au niveau de la gestion du territoire et de la ressource en eau souterraine ainsi que pour évaluer la vulnérabilité effective des nappes à la contamination.

Personnes et/ou organisme ressource : Les demandes d'accès à l'information doivent être acheminées aux directions régionales respectives. L'adresse des 17 directions régionales se trouvent sur le site Internet du Ministère de l'Environnement :

<http://menv.gouv.qc.ca>

P21 – Envirodoq et Collection générale (Banque de données bibliographiques)

Organisme responsable : Ministère de l'Environnement.

Description : Envirodoq et Collection générale sont deux bases de données qui s'interrogent simultanément via Internet pour la clientèle externe. Envirodoq contient les documents en environnement sur le territoire québécois (documents du ministère de l'Environnement ainsi que ceux du secteur faune). Les documents portent sur des sujets tels que: la connaissance des écosystèmes, la dépollution, les substances dangereuses, le développement durable, la ressource faunique et les parcs. Elle a aussi pour mandat de répertorier les publications du ministère de l'Environnement du Québec. La collection générale comprend les livres du Centre de documentation, classés selon le système de classification de la *Library of Congress*.

On peut accéder à la banque via Internet en utilisant le site Internet du ministère, ou bien en utilisant la recherche Z39.50 de la Bibliothèque nationale du Québec et sélectionner la cible Canada-Québec-Ministère de l'Environnement.

Toute activité ou événement qui a le potentiel d'altérer la qualité des eaux souterraines devrait être examinée. Envirodoq et la Collection générale constituent d'autres sources de données à partir desquelles il est possible de retracer l'existence de sites contaminés ou potentiellement contaminés. Toutes ces données devraient donc être compilées afin de dresser un portrait le plus réaliste possible des sources potentielles ou actuelles de contamination.

Personnes et/ou organisme ressource : Carole Robitaille, Bibliothécaire, Centre de documentation, boîte 57, Édifice Marie-Guyart, r.-d.-c., 675 boulevard René-Lévesque Est, Québec (Québec), G1R 5V7
Téléphone: (418) 521-3821 poste 4138
Télécopieur: (418) 528-0406
Courriel biblio@mef.gouv.qc.ca
Internet <http://www.mef.gouv.qc.ca>

P26 - EXAMINE et SIGÉOM

Organisme responsable : Ministère des Ressources naturelles.

Description : La banque de données EXAMINE recense l'ensemble de la documentation géoscientifique disponible au ministère des Ressources naturelles du Québec (MRN). Elle constitue, avec plus de 62 000 références, une véritable mine d'informations pour les spécialistes en exploration minière. EXAMINE contient le signalement de toutes les publications géoscientifiques du MRN (plus de 4000 références) et de tous les dossiers d'exploration minière soumis au MRN en vertu de la Loi sur les mines (environ 56 000 références). EXAMINE signale également les thèses en sciences de la terre couvrant le territoire québécois. Près de 1700 thèses y sont recensées à ce jour. Adresse de la base de données EXAMINE : <http://examine.mrn.gouv.qc.ca/des/plsql/app>.

Tous les produits numériques tels que les cartes et bases de données sont générées par le Système d'Information géominière du Québec (SIGÉOM). Ce système est disponible via Internet à l'adresse suivante : http://sigecom.mrn.gouv.qc.ca/signet/classes/I0101_index

Personnes et/ou organisme ressource : Géologie Québec. Ministère des Ressources naturelles, Service de la géoinformation, Ministère des Ressources naturelles, 5700 4e Avenue Ouest, local A 214, Charlesbourg, G1H 6R1
Tél. : (418) 627-6274
Télec. : (418) 643-2816

P27 – Système sur les découpages administratifs du Québec (SDA), 1 : 20 000

Organisme responsable : Ministère des Ressources naturelles.

Description : Le système sur les découpages administratifs (SDA) remplace dorénavant le fichier informatique des limites administratives (FILA). Il présente une synthèse, mise à jour trois fois par année, des limites administratives suivantes : frontières, limites des régions administratives, municipalités régionales de comté et territoires équivalents, municipalités, territoires non organisés (TNO) et territoires autochtones. Les noms, codes et désignations complètent ces informations. SDA renferme également des informations relatives aux systèmes de référence cartographique (SNRC et SQRC). La connaissance des limites administratives dans le cadre de projet de cartographie hydrogéologique est nécessaire puisque la gestion de l'utilisation du sol, qui inclut celle

de l'eau souterraine, se fait actuellement suivant ces limites administratives. L'hydrogéologue et les gestionnaires doivent donc être en mesure de retrouver les entités administratives sur les cartes hydrogéologiques.

Personnes et/ou organisme ressource : Les informations du SDA sont disponibles sous format papier ou numérique. Les demandes peuvent être faites via le site Internet de la Photocartotheque : [http://photocartotheque.mrn.gouv.qc.ca/pcq/classes/accueil en cliquant sur cartographie topographique et thématique..](http://photocartotheque.mrn.gouv.qc.ca/pcq/classes/accueil_en cliquant sur cartographie topographique et thématique..), ou par écrit ou directement sur place.

Photocartotheque québécoise
5700, 4e Avenue Ouest, bureau B 200
Charlesbourg (Québec) G1H 6R1
Tél. : (418) 627-6356
Sans frais au Québec : 1 877 803-0613
Télec. : (418) 646-6706
photocarto@mrn.gouv.qc.ca

P28 – Cartes d'utilisation du sol et données sur les pratiques agricoles

Organisme responsable : Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation

Description : Les directions régionales du MAPAQ possèdent de l'information sur le type de production animale et végétale ainsi que sur l'utilisation du sol pour chaque MRC. L'information sur la production animale et végétale est fournie sous forme de carte thématique à intervalles de classes. Ces cartes permettent d'avoir un bon aperçu de la répartition et de l'intensité des différents type de production ayant lieu sur un territoire. Il est à noter que les données nominales sur la production animale et végétale ne sont toutefois pas publiquement disponibles. Pour leur part, les cartes d'utilisation du sol présentent, pour une période donnée, le type utilisation du sol tel que le milieu urbain et les routes, les tourbières, les milieu agricole et forestier. Les cartes d'utilisation du sol ont été produites à partir de l'analyse et la classification de 16 images satellitaires Landstat V couvrant une superficie de 400 000 km². 89 MRC du Québec ont à ce jour été cartographiées de cette façon. Ces cartes offrent à l'utilisateur une vue globale de l'utilisation des ressources naturelles dans une MRC ainsi qu'une bonne indication sur l'intensité de son utilisation. Ce document cartographique est un outil qui offre plusieurs possibilités quant à son utilisation au niveau de la gestion des eaux souterraines. Les secteurs agricoles dynamiques (vastes superficies caractérisées par une nette dominante de l'agriculture) mis en relation avec les données géologiques permettent de mieux évaluer le risque de contamination des eaux souterraines. Les zones forestières isolées en milieu rural reflètent souvent le caractère pierreux du substratum et constituent donc des indices pour l'identification des zones de recharge pour les aquifères captifs. La localisation des milieux humides permet de façon préliminaire d'identifier les zones de résurgence des eaux souterraines.

Personnes et/ou organisme ressource : Bureaux de renseignements agricoles du Québec. La liste des bureaux de renseignements agricoles est disponible à l'adresse suivante : <http://www.agr.gouv.qc.ca/dgpar/carter/1region.htm>

MUNICIPAL

M1 – MRC : Schéma d'aménagement

Organisme responsable : Municipalités Régionales de Comté.

Description : Le schéma d'aménagement représente l'outil de base des MRC pour l'aménagement du territoire. La partie du schéma d'aménagement la plus intéressante, du point de vue hydrogéologique, est celle consacrée à l'utilisation actuelle du territoire et aux contraintes d'utilisation future. Cette partie contient généralement un inventaire des données sur ;

- Sites de disposition des déchets. Les informations sur les sites de disposition des déchets sont normalement compilées par les MRC. Ces données comprennent : les dépôts de pneus et de neiges usées, les lieux d'enfouissement sanitaire et d'entreposage de déchets dangereux et les cimetières d'automobiles. Toutes ces informations apportent une précision supplémentaire aux cartes de vulnérabilité indiquant les activités potentiellement polluantes pour les nappes.
- Les zones d'épandages de fumier. Les MRC à vocation agricole regroupent de nombreux producteurs porcins, laitiers et de volailles. Le fumier produit par ces élevages constitue un fertilisant de qualité qui peut être épandu sur les champs de cultures variées. L'épandage de ces fumiers en doses raisonnables ne cause pas de dommage aux écosystèmes environnants. Cependant, lorsque les doses épandues dépassent les capacités d'absorption des sols et des plantes, les quantités excédentaires peuvent s'infiltrer plus profondément dans les sols et éventuellement atteindre la nappe phréatique. Par conséquent, la connaissance de la répartition de ces zones d'épandage aide à mieux caractériser le potentiel de contamination des eaux souterraines par ces activités.
- L'utilisation du sol. Les cartes d'utilisation du sol illustrent la répartition des zones urbaines, rurales et forestières ainsi que les principaux corridors routiers et de transport hydroélectrique. Du point de vue hydrogéologique, la distinction entre les zones urbaines, rurales et forestières permet de mieux caractériser la recharge des aquifères étant donné que celle-ci dépend de la condition des sols (sols compacts, présence de béton, systèmes racinaires bien développés dans les champs où l'on cultive les petits fruits, etc.). De plus, l'identification des principaux corridors de transport hydroélectrique et routier est importante étant donné qu'ils représentent des passages sur lesquels peuvent se faire, respectivement, l'épandage d'herbicides et le transport de matières dangereuses (ex. transport d'hydrocarbures, etc.) ou l'épandage

de sels de déglacage. La caractérisation de la vulnérabilité des formations aquifères sous-jacentes à ces corridors peut s'avérer être une donnée intéressante.

- Prises d'eau municipales et privées. Les informations sur les captages d'eau contiennent généralement la localisation des captages, le mode de rétention, le type de traitement, les débits pompés et le pourcentage de la population desservie. Les données d'approvisionnement en eau sont très importantes car elles renseignent sur l'utilisation de la ressource en eau souterraine, les débits pouvant être extraits des formations aquifères et permettent aussi d'orienter les travaux de terrain au niveau de la recherche en eau.
- Réseaux d'aqueduc à l'extérieur des périmètres urbains. L'étendue de ces réseaux d'aqueduc donne un bon aperçu des secteurs qui sont desservis par les prises d'eau municipales et privées et permet ainsi d'identifier les zones où l'approvisionnement se fait à partir de puits individuels ou par l'entremise de petits réseaux d'aqueduc privés. Cette information est très pertinente dans les étapes préliminaires de la cartographie hydrogéologique car elle permet de mieux cibler les campagnes de terrain telles que l'échantillonnage et les prises de mesures de niveaux d'eau.
- Cartes des sites d'extraction. Les sites d'extraction de matériaux granulaires telles que les sablières et gravières sont des endroits privilégiés pour la prise de mesures de niveaux d'eau. De plus, ces sites, lorsque abandonnés, se transforment parfois en lieux de disposition de déchets domestiques et deviennent donc des sources potentielles de contamination. Il est possible que les informations concernant l'exploitation des carrières et des ressources en granulats soient plus à jour que celles disponibles dans les ministères. Ceci est probablement dû au fait que les inventaires des MRC proviennent des résultats d'enquêtes effectuées directement auprès des municipalités.
- Zones où se pratiquent des cultures nécessitant l'épandage important de nitrates et de pesticides. L'identification des régions où se pratique de telles cultures permet, comme dans le cas des zones d'épandage et des sites de disposition des déchets, d'améliorer les cartes de vulnérabilité. La superposition de cette information aux cartes de vulnérabilité fait ressortir les secteurs qui sont plus susceptibles d'être contaminés par les nitrates et les pesticides et sert donc d'outil de gestion pour la protection de la ressource.

Personnes et/ou organisme ressource : Les schémas d'aménagement et toute autre information doivent être demandés sur place dans les MRC. La liste de toutes les MRC du Québec sur le site Internet : <http://www.mreg.gouv.qc.ca/fr/default.asp>

M2 – Instances Municipales

Organisme responsable : Municipalités du Québec.

Description: Les informations concernant les bornes géodésiques, les aqueducs privés, les sites d'extraction de granulats et les sites d'entreposage de déchets divers sont souvent disponibles dans les municipalités. Ces informations peuvent être complémentaires à celles qui ont été recueillies auprès des MRC. En effet, il est possible que certaines informations soient restées au niveau des municipalités. Il est donc important de faire aussi un suivi au niveau de l'utilisation du sol et de la ressource auprès de celles-ci.

ANNEXE B

FICHES DE TERRAIN

CGQ / LCNP 2001: FICHE HYDROGÉOLOGIQUE

LOCALISATION		# LOCALISATION de référence	ALIAS
ZONE	# PUIS dossier		
CARTE NTS	2	<input type="checkbox"/> UTM <input type="checkbox"/> 50 000	
X	Y	<input type="checkbox"/> AT77 <input type="checkbox"/> 20 000	
		<input type="checkbox"/> NAD27 <input type="checkbox"/> GPS	ALTITUDE <input type="checkbox"/> 50 000
		<input type="checkbox"/> NAD83 <input type="checkbox"/> AUTRES	<input type="checkbox"/> 20 000 <input type="checkbox"/> m
			<input type="checkbox"/> Nivelée <input type="checkbox"/> p
DESCRIPTION DE LA STATION :		CAPTAGE <input type="checkbox"/>	FORAGE <input type="checkbox"/>
		NOTES : 1	
PROPRIÉTAIRE		# TÉLÉPHONE	
NOM	PRÉNOM	3	
NOM DE L'ORGANISME / INDUSTRIE / MUNICIPALITÉ		CODE POSTAL	
ADRESSE		VILLE	<input type="checkbox"/> adresse du puits
INFO CAPTAGE		NOM DE L'AQUEDUC	POPULATION DESSERVIES
<input type="checkbox"/> PRIVÉ	UTILISATION	ÉLEVAGE	TÊTE
<input type="checkbox"/> MUNICIPAL			
			RELIÉ A UN <input type="checkbox"/> AQUEDUC <input type="checkbox"/> N
AQUIFÈRE	NAPPE	RÉSERVOIR	CAPACITÉ
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	UNITÉ
			LITRES
NOM PUISATIER	TRAITEMENT	TYPE DE TRAITEMENT	NOTES :
	<input type="checkbox"/> o		
	<input type="checkbox"/> N		
INFRASTRUCTURE DU CAPTAGE OU DU FORAGE		UNITÉS MESURES <input type="checkbox"/> mètre <input type="checkbox"/> pied	
DATE CONSTRUCTION	MÉTHODE	ENVIRON	PROF
			<input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> M
1-LONG	1-PROF	2-LONG	2-PROF
CRÉPINE	CRÉPINE	CRÉPINE	CRÉPINE
<input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> M	<input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> M	<input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> M	<input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> M
			PROF. POMPE
			TYPE DE POMPE
1-PROF	1 - VENUE DÉTAIL :	2-PROF	2 - VENUE DÉTAIL :
VENUE		VENUE	
<input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> M		<input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> M	
INFO GÉNÉRALE		NOTES : 6	
RAPPORT DISPONIBLE	ESSAI POMPAGE DISPONIBLE		
<input type="checkbox"/> o <input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> o <input type="checkbox"/> N		

SCHÉMA

7

ACTIVITÉS POTENTIELLEMENT POLLUANTES

ACTIVITÉ	DIST. CAPTAGE	<input type="checkbox"/> E	UNITÉS MESURES	<input type="checkbox"/> Métrique	<input type="checkbox"/> Impérial	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> M				NOTES: _____
ACTIVITÉ	DIST. CAPTAGE	<input type="checkbox"/> E				
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> M				NOTES: 8 _____
ACTIVITÉ	DIST. CAPTAGE	<input type="checkbox"/> E				
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> M				NOTES: _____
ACTIVITÉ	DIST. CAPTAGE	<input type="checkbox"/> E				
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> M				NOTES: _____

STRATIGRAPHIE / DÉTAILS DE CONSTRUCTION DU PUIT

NOTES: _____

9 _____

PERCEPTION DE LA QUALITÉ DE L'EAU: MANQUE O QUAND STATION # STATION
 D'EAU N

QUALITÉ DE L'EAU (évaluation qualitative)

E excellente <input type="checkbox"/>	S sulfures <input type="checkbox"/>
B bonne <input type="checkbox"/>	F fer <input type="checkbox"/>
M moyenne <input type="checkbox"/>	MN manganèse <input type="checkbox"/>
MV mauvaise <input type="checkbox"/>	S salée <input type="checkbox"/>
D dure <input type="checkbox"/>	CO couleur <input type="checkbox"/>
C corrosive <input type="checkbox"/>	X autre <input type="checkbox"/>

NOTES:
 10

NIVEAUX D'EAU (NE)

1- CONDITION DU NE	PROF EAU (p/r tubage le plus bas)	ALTITUDE DU NIVEAU EAU	hauteur margelle casing	Delta margelles (casing/PVC)	Conversion si margelle oblique	HAUTEUR MARGELLE (TOP CASING P/R SOL)	DELTA MARGELLES (CASING/PVC)	NOTES:
1 2 3	<input type="checkbox"/>	M M	↑	↑	↑	M M	M M	
2- CONDITION DU NE	PROF EAU (p/r tubage le plus bas)	ALTITUDE DU NIVEAU EAU	hauteur margelle casing	Delta margelles (casing/PVC)	Conversion si margelle oblique	HAUTEUR MARGELLE (TOP CASING P/R SOL)	DELTA MARGELLES (CASING/PVC)	
1 2 3	<input type="checkbox"/>	M M	↑	↑	↑	M M	M M	

ALTITUDE VARIATION ANNUELLE DU SOL DU NIVEAU EAU E M

LITHOLOGIE

INTERVAL	ID	DESC	R/Q	Lib	CONTACT	TYPE	STRAT/ FACIES	%	LITHO/ MATÉRIAU	QUALIF/ MATÉRIAU	TEX/STRUC	TEX/STRUC	COULEUR FRAICHE/ALTÉRÉE	ÉPAISSEUR MIN	MAX	MOY	REF-ID	COMMENT
I																		
I																		
I																		
I																		

12

ÉCHANTILLON ROC / MATÉRIEL

INTERVAL	ID	NO ECHAN	BUT	ELEV DS SECTION	REF-ID	NOTE
I	E					
I	E					
I	E					
I	E					

13

PHOTO

ROULEAU	NO	INTERVAL	ID	COMMENTAIRE
		I		
		I		
		I		

14

NOTES:
 15

CGQ / LCNP 2001: FICHE HYDROGÉOLOGIQUE

ÉCHANTILLONNAGE D'EAU
 STATION # STATION Nom échantillon **16** DUPLICATAT: n DATE: / / HEURE:

NOM DU DUPLICATAT: _____

CALIBRATION DES APPAREILS / MESURE DE STANDARDS:

<input type="checkbox"/>	Date: / /	Heure: _____	T: _____	PARAM _____	VAL_Utilisée _____	VAL_Mesurée _____	calibration <input type="checkbox"/>	Vérification <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Date: / /	Heure: _____	T: _____	PARAM _____	VAL_Utilisée _____	VAL_Mesurée _____	calibration <input type="checkbox"/>	Vérification <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Date: / /	Heure: _____	T: _____	PARAM _____	VAL_Utilisée _____	VAL_Mesurée _____	calibration <input type="checkbox"/>	Vérification <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Date: / /	Heure: _____	T: _____	PARAM _____	VAL_Utilisée _____	VAL_Mesurée _____	calibration <input type="checkbox"/>	Vérification <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Date: / /	Heure: _____	T: _____	PARAM _____	VAL_Utilisée _____	VAL_Mesurée _____	calibration <input type="checkbox"/>	Vérification <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Date: / /	Heure: _____	T: _____	PARAM _____	VAL_Utilisée _____	VAL_Mesurée _____	calibration <input type="checkbox"/>	Vérification <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Date: / /	Heure: _____	T: _____	PARAM _____	VAL_Utilisée _____	VAL_Mesurée _____	calibration <input type="checkbox"/>	Vérification <input type="checkbox"/>

PURGE: VOLUME D'EAU PURGÉE _____ unité DURÉE _____ unité DÉBIT _____ unité MÉTHODE: _____

TYPE DE PARAMÈTRES: Inorganique bactériologique Isotopique

NB BOUTELLES: _____

TRAITÉE BRUTE PROVENANCE DE L'ÉCHANTILLON/ PROFONDEUR (m) _____

ODEUR: _____ COULEUR: _____ GOÛT: _____ HUILE: _____ TURBIDITÉ: _____

VALEURS MESURÉES	VALEUR RETENUE
T (°C) _____	_____
pH _____	_____
CONDUCTIVITÉ (mS/cm) _____	_____
CONDUCTIVITÉ SPÉCIFIQUE (mS/cm) _____	_____
SALINITÉ (ppt) _____	_____
MDT/ TDS (mg/L) _____	_____
O.D. (mg/L) _____	_____
O.D. (%) _____	_____
POT. REDOX. Eh (mV) _____	_____

ALCALINITÉ (PPM CaCO₃)

RÉACTIF ml	pH	ALCALINITÉ (PPM CaCO ₃)	RÉACTIF ml	pH	ALCALINITÉ (PPM CaCO ₃)	RÉACTIF ml	pH	ALCALINITÉ (PPM CaCO ₃)
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____

20